

Rapport om kystsikringsforsøg ved anvendelse af lodrette drænrør fra Skallerup Klit til Nørlev Strand i perioden maj 2000 til maj 2003.

Hans F. Burcharth
Prof. dr. techn.

April, 2004.

Indholdsfortegnelse:	side
1. Forord	2
2. Forsøgets baggrund	2
3. Forsøgsområdet	3
4. Forsøgsprocedure	5
5. Vandstands- og vindforhold i forsøgsperioden	6
6. Særlige forhold	7
7. Forsøgsresultater	7
8. Diskussion af forsøgsresultater	15
9. Konklusion	17
10. Anbefalinger	18
11. Referencer	18
12. Bilagsfortegnelse	18

1. Forord

Nærværende rapport giver en bedømmelse af det treårige kystsikringsforsøg med anvendelse af lodrette drænrør etableret af Skagen innovationscenter, SIC.

Undertegnede udfærdigede efter ét års forsøg en rapport, der i november 2001 blev publiceret af Hjørring Kommune, trafik og Miljø. I denne rapport blev det anbefalet, at forsøget skulle fortsætte i endnu to år.

Nærværende rapport for de tre år indeholder i opdateret form de generelle afsnit i étårsrapporten og kan således læses uden opslag i étårsrapporten. Første års strandprofilopmålinger er dog ikke medtaget igen.

2. Forsøgets baggrund

Med økonomisk støtte fra Erhvervsfremmestyrrelsen gennemførte Hjørring Kommune i samarbejde med Skagen Innovationscenter, SIC, et étårigt kystsikringsforsøg (maj 2000 til maj 2001) med anvendelse af lodrette drænrør over en 3.7 km lang kyststrækning fra Skallerup Klit til Nørlev nord. Strækningen er stationeret St. 0,0 – St 3.7 på vedlagte Hjørring Kommune Tegn. Nr. 1-00, dateret 29.7.1999.

Forsøget var et forsøgsprojekt, hvis udfald skulle danne grundlag for en beslutning om eventuel fortsat anvendelse af SIC's kystdrænmetode. Undertegnede anbefalede efter en analyse af forsøgsdataene, at forsøget blev forlænget med to år, for at give et bedre grundlag for en vurdering af kystsikringsmetoden. Anbefalingen blev fulgt af Hjørring Kommune.

Fra Kystdirektoratet foreligger tilladelse til det treårige forsøg.

Projektgruppen til planlægning og gennemførelse af forsøget bestod af

Ingeniør Mogens Christensen, Hjørring Kommune

Statsskovrider Frede Jensen, Nordjyllands Statsskovdistrikt

Opfinder Poul Jacobsen, SIC

Prof., dr. techn. Hans F. Burcharth

Sidstnævnte blev ved brev af 20.3.2000 fra SIC anmodet om at være forskningsvejleder på forprojektet.

Nærværende rapport resumerer den observerede kystudvikling samt giver en vurdering af drænrørens indvirkning på kystudviklingen.

3. Forsøgsområdet

Geologisk består kystmaterialerne på forsøgsstrækningen af postglaciale sand, grus og stenaflejringer overlejret med flyvesand. Havets erosion har dannet en kystskrænt langs et strandplan af varierende bredde.

Kystdirektoratets målinger i årene 1970-2003 i fem profiler viser, at i gennemsnit har den årlige tilbagerykning af den aktuelle kyststrækning været ca. 1,6 m. Tilbagerykningen er ulige fordelt over årene, idet antallet af storme med pålandsvinde og samtidig ekstremt højvande veksler fra år til år. Tilbagerykningen er tilmed meget ulige fordelt over kyststrækningen, idet der i den nordlige del har været meget lille erosion medens erosionen i den sydlige del har været næsten 3 m pr. år.

Større vandstandsvariationer på kysten er i hovedsagen bestemt af vinden, idet tidevand kun giver anledning til en vandstandsforskel på ca. 0.3 m imellem middelhøjvande og middellavvande. Vandopstuvning som følge af kraftige vestlige vinde samt barometrisk lavtryk og tidevand kan give vandspejlshøjder større end 1.5 m over DNN. I [1] angives følgende statistiske værdier baseret på vandstandsmålinger i Hirtshals havn i perioden 1966-1977:

Vandstand	gennemsnitlig varighed af overskridelse
+ 1.20 m	1 time/10 år
+ 0,76 m	10 timer/år

Det bemærkes at vandstanden på den aktuelle kyststrækning kan være højere end i Hirtshals havn under kraftige vestlige og nordvestlige vinde.

I øvrigt bemærkes, at en vandstandsstatistik alene ikke giver et godt grundlag for vurdering af erosionsforholdene på kysten, idet store højvande også forekommer ved vindretninger, som ikke giver væsentlig bølgeangreb. En sammenligning af vandstandsstatistikken for forsøgsåret med gennemsnitsvandstandsstatistikken i [1] kan således i almindelighed ikke afgøre, om forsøgsåret har været værre eller bedre end et gennemsnitsår med hensyn til kystnedbrydende forhold.

Den dominerende transport af sand langs kyster sker i nordøstlig retning. Den årlige nordgående nettotransport skønnes ifølge Kystdirektoratets rapport, Sedimentbudget Vestkysten, 2001, at være ca. 900.000 m³. Langt den største del af materialtransporten sker, når der er stor bølgeaktivitet på kysten.

I 1985 blev anlagt fire høfder i områdets sydlige del (stationerne 3.05, 3.25, 3.45 og 3.65) ud for feriebyen Skallerup Klit. Formålet med høfderne var at reducere kysttilbagerykningen lokalt.

Kystdirektoratet har for årene 1970 – 2001 som led i Vestkystopmålingerne også opmålt og analyseret kystprofilerne for den aktuelle forsøgsstrækning, jfr. Bilagene 1 og 2 samt Kystdirektoratets tegninger nr. 1, 2, 3, 4 og 5, dateret 17.7.03. Kystlinien er dog opmålt frem til maj 2003. De relevante opmålingslinier er linierne 1620, 1630, 1640, 1650 og 1660. Liniepositionerne er markeret på tegning 1-00 (Hjørring kommunes tegning) som HP1620, HP1630, etc.

Ud fra Kystdirektoratets analyse af kystprofilmålinger (1970 – 2001) for linie 1660 kan det konstateres, at skrænten har rykket tilbage ud for høfdegruppen. Det har således været nødvendigt at forlænge den nordre høfde mod land med ca. 20 m i 1996 og ca. 15 m i 1999 på grund af bagskæring. Næst nordligste høfde blev forlænget mod land med ca. 20 m i 1996.

Selve kystlinien, d.v.s. kote 0,0 m, har i linie 1660, som ligger i den sydlige ende af høfdegruppen, har stort set holdt sin position siden høfderne blev bygget, medens den bagved liggende skrænt er rykket ca. 1.0 m pr. år tilbage i samme periode.

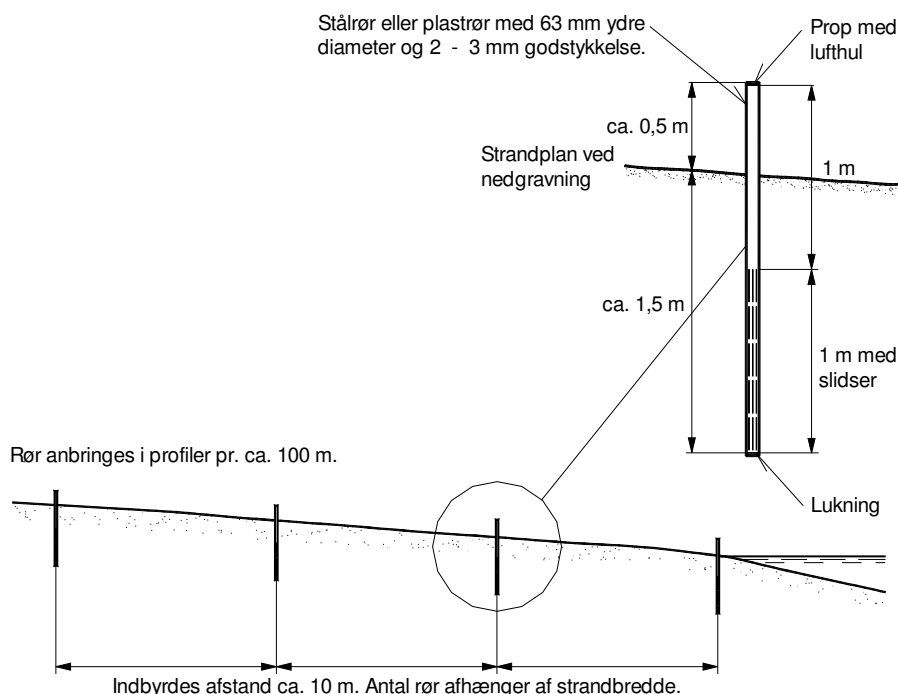
I området umiddelbart nordøst for høfdegruppen (linie 1650) er der en markant tilbagerykning af både skrænt og kystlinie med i gennemsnit henholdsvis 3,21 m / år og 3,17 m/år i henholdsvis årene 1973-2001 og 1972-2003. Før etableringen af høfderne var den gennemsnitlige erosion af skræntfoden 1.0 m/år og af kystlinien 0.65 m/år. Efter etableringen af høfderne er den gennemsnitlige erosion forøget til 5.3 m/år for skræntfoden og 5.4 m/år for kystlinien. Ca. 800 m længere mod nordøst (linie 1640) er erosionen af skrænt og kystlinie aftaget til henholdsvis 1,23 m/år og 1,51 m/år. Yderligere ca. 700 m og 900 m mod nordøst (linierne 1630 og 1620) er erosionen reduceret til mindre end en halv meter pr. år. Den store erosion umiddelbart nordøst for høfderne er den såkaldte læsideerosion, som skyldes høfdernes ændring af materialtransporten, der tvinges ud fra kysten. Det har den i forbindelse ikke hjulpet denne lokalitet, at Kystdirektoratet siden 1986 har strandfodret med ca. 15.000 – 30.000 m³ sand årligt ved Lønstrup. Kystinspektorens profilmålinger viser for linierne 1620 og 1630 stort set uændret udviklingsmønster før og efter 1986, hvilket som også forventet tyder på, at strandfordringen heller ingen betydning har for strækningen videre nord for høfdegruppen.

Ved station 2,1 (linie 2100) ligger nogle store betonfundamenter ca. 75 m fra kystskrænten. Fundamenterne, der stammer fra anden verdenskrig, var oprindeligt placeret på den daværende kystskrænt. Dette svarer til en årlig tilbagerykning af kystskrænten på ca. 1,3 m. Fundamenterne synes ikke at have haft nogen markant indflydelse på kystudviklingen. Dette er også forventeligt, idet fundamenternes udstrækning er for lille til at fremkalde en egentlig tombolodannelse. En tombolo, d.v.s. en afspærrende sandaflejring over kote 0.0 m imellem fundamenter og kystskrænt, ville have forårsaget kraftig læsideerosion i området nordøst for fundamenterne. En sådan markant erosion er imidlertid ikke konstateret. I december 2001 blev i linie 1500 etableret en vejnedkørsel til stranden. Nedkørslen er forstærket med en stensætning, som i dag stikker frem fra skræntfoden og ud i stranden.

Ved station 1,9 (linie 1900) etablerede Hjørring Kommune et udløb primo februar, 2001.

4. Forsøgsprocedure

Drænrørene har været anbragt langs hele forsøgsstrækningen efter princippet vist i Fig. 1.



Figur 1. Illustration af drænrørssystemet

Hjørring Kommunes Tegn. Nr. 1-04 viser en principskitse af rørenes placering i kystprofilet medens tegningerne nr. 1-01, 1-02 og 1-05 viser placeringen langs kysten. Antallet af rør i de forskellige stationer er angivet på bilag 3. Det fremgår, at der er foretaget små reguleringer i antallet af rør i forsøgsperioden. Ifølge oplysning fra SIC blev der i august 2000 sat ca. 20 rør hvor stranden var blevet bredere siden første nedsætning af rør. Senere ændrede SIC fremgangsmåde, idet man bl.a. i eftersommeren 2001 fjernede rør fra den brede strand omkring st. 2,0 – 2,3 for at opnå en mere ensartet strandbredde uden fremspring. Der foreligger ikke nøjere oplysninger om disse reguleringer.

Som et led i forsøget blev i juni-juli måned, 2000, sat faskiner fra station 2,5 til station 3,45, jfr. markeringen på tegning 1-00. Faskinerne på strækningen fra station 2,5 til 2,85 blev imidlertid eroderet væk i december, 2000.

Efter etablering af referencelinier er kystprofilet pr. 100 meter opmålt fem gange. Første opmåling i maj 2000 blev foretaget af Hjørring Kommune og SIC. Anden opmåling i oktober 2000, tredje opmåling i maj 2001, fjerde opmåling 12. juni 2002 og femte opmåling i maj 2003 blev alle foretaget af landinspektørfirmaet Birk & Boe I/S.

5. Vandstands- og vindforhold i forsøgsperioden

Første år i den étårige forsøgsperiode fra maj 2000 til maj 2001 indtraf 5 situationer med højvande større end +0,80 m over D.N.N. Tabel 1 giver oplysning om tilhørende max. vandstand samt max. 10 minutters middelvindhastighed målt i Hirtshals havn for denne periode.

Dato	Varighed i timer af vandstand over +0,80 m D.N.N.	Max. vandstand i m over D.N.N.	Max. middelvindhastighed over 10 min. i m/s	Vindretning
30 og 31.10 2000	18	1,59	13,0	SSE-SSW
11.12.2000	1 ½	0,85	18,5	WSW-W
13.12.2000	13	1,05	25,5	SW-WSW
14.12.2000	4	0,84	20,8	SW
15.12.2000	8	0,99	14,3	SW-W-NW-N

Tabel 1. Situationer med vandstande over + 0,8 m og tilhørende vinde målt i Hirtshals havn i perioden 15.4.2000 til 15.6.2001.

Ved sammenligning med vandstandsstatistikken for Hirtshals Havn angivet i [1] må det konkluderes, at forsøgsåret med hensyn til varighed af højvande har frembudt hårdere vilkår for kysten end svarende til et gennemsnitsår, også selv om det tages i betragtning at det meget store højvande i oktober, 2000, optrådte ved sydlige vinde, som kun giver begrænset bølgeaktivitet på kysten. Selv om vandstandsstatistik alene ikke kan bruges til at bedømme de kystnedbrydende kræfter, jfr. Afsnit 2, vurderes det, at det første forsøgsår har været værre end et gennemsnitsår med hensyn til kystbrydende kræfter.

I forsøgsperiodens andet år fra maj 2001 til maj 2002 indtraf ifølge oplysninger fra Danmarks Meteorologiske institut 4 situationer med højvande større end + 0.80 m over D.N.N. (målt i Hirtshals Havn), jfr. Tabel 2.

Dato	Varighed i timer af vandstand over +0.80 m D.N.N.	Max. Vandstand i m over D.N.N.	Max. middelvindhastighed over 10 min. i m/s	Vindretning
29.1.2002	2	0.86	29.3	WSW-W
22.2.2002	1 ½	0.83	22.1	WSW
27.2.2002	3 ½	1.01	10.8	WNW-N
09.3.2002	1/3	0.82	19.6	WSW

Tabel 2. Situationer med vandstande over +0.8 m med tilhørende vinde målt i Hirtshals Havn i perioden 1.5.2001 til 1.5.2002.

Det vurderes, at andet forsøgsår har været mildere end et gennemsnitsår med hensyn til kystnedbrydende kræfter. Det bemærkes dog, at kraftige stormbølger uden særlig højvande i ca. 14 dage ultimo maj – primo juni, 2001 eroderede nedre del af strandplanet uden at erodere skræntfoden, der tværtimod byggede op på grund af flyvesand.

I forsøgsperiodens tredje år fra maj 2002 til maj 2003 indtraf ifølge oplysninger fra Danmarks Meteorologiske Institut to situationer med højvande større end +0.80 m over D.N.N. (målt i Hirtshals Havn, jfr. Tabel 3).

Dato	Varighed i timer af vandstand over +0.80 m D.N.N.	Max. Vandstand i m over D.N.N.	Max. middelvindhastighed over 10 min. i m/s	Vindretning
------	---	--------------------------------	---	-------------

26.10.2002	6 ½	0.90	22.7	W
15. og 16.1 2003	3 2/3	0.91	22.7	SW-WSW

Tabel 3. Situationer med vandstande over + 0.8 m og tilhørende vinde målt i Hirtshals havn i perioden 1.5.2002 til 1.5.2003.

Det vurderes, at andet forsøgsår har været omtrentlig som et gennemsnitsår.

For den samlede forsøgsperiode skønnes det at gælde, at forholdene i gennemsnit har svaret til gennemsnittet for perioden 1966-1977. Skønnet er selvsagt behæftet med usikkerhed som forklaret ovenfor.

6. Særlige forhold

I forbindelse med en grundvandssænkning ved feriecentret (ifølge entreprenøren påbegyndt 22.5.2002) blev der, i henhold til oplysninger fra Gunnar Schmøkel, Skallerup Klit, i perioden indtil ca. 1.7.2002 udledt ca. 2.500 m³ vand i døgnet igennem en rørledning, der udmundede bagved skrænttoppen bag klitten ved området i linie 3200. Den kraftige udstrømning forårsagede en sænkning af strandplanet imellem linierne 3000 og 3400 umiddelbart før opmålingen i 2002.

7. Forsøgsresultater

1. års opmålinger

Opmålingerne udført af landinspektørfirmaet Birk og Boe I/S fremgår af de fire plantegninger dækkende henholdsvis station 0 – 1000, 900 – 1900, 1900 – 2900 og 2900 – 3700. Tegningerne er dateret henholdsvis 25.10.01, 25.10.01, 26.10.01 og 29.10.01. (Birk & Boe I/S anvender en stationeringsbetegnelse, som er 1000 gange den af Hjørring Kommune anvendte). Opmålingerne er endvidere afbilledet ved kystprofiloptegninger dækkende samtlige 38 opmålingslinier. De målte ændringer er i profiltegningerne kvantificeret ved volumetilvækst eller volumenfradrag i m³ pr. meter strandlinie målt fra referencelinie til kystlinie (kote 0,0 m). Nettofradrag (erosion) i samme periode er vist med rød skravering. Endvidere er nettoændringer i profilt bredden målt fra referencelinie til kystlinie angivet. Det bemærkes, at initialopmålingen samt etablering af referencelinie blev foretaget af Hjørring Kommune og SIC.

2. års opmåling

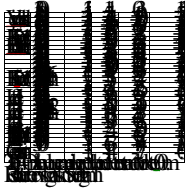
Opmålingen, der er udført af Birk & Boe I/S i lighed med 1. års opmåling, fremgår af de fire plantegninger dækkende henholdsvis station 0-1000 (dateret 25.7.02), 900-1900 (dateret 25.7.02), 1900-3000 (dateret 26.7.02) og 2900-3700 (dateret 26.7.02). De 38 opmålte kystprofiler er afbilledet som ved 1. års opmåling. Selve opmålingen blev foretaget 12.6.2002.

3. års opmåling

Opmålingen, der er udført af Birk & Boe I/S i lighed med de foregående års opmålinger, fremgår af de fire plantegninger dækkende henholdsvis station 0-1000, 900-1900, 1900-2900 og 2900-3700, alle dateret 28.5.03. De 38 opmålte kystprofiler er afbilledet som ved foregående års opmålinger.

For at lette overblikket er opmålingerne i det følgende fremstillet dels i tabelform, dels ved stavdiagrammer. Tabel 4 samt Stavdiagram 1 viser de opmålte strandvolumenændringer

per løbende meter strand over kote 0,0 m over henholdsvis 1. år, 2. år, 3. år og samtlige 3 år.



Tabel 5 samt Stavdiagram 2 viser de opmålte ændringer af strandbredden i kote 0,0 m over henholdsvis 1. år, 2. år, 3. år og samtlige 3 år.

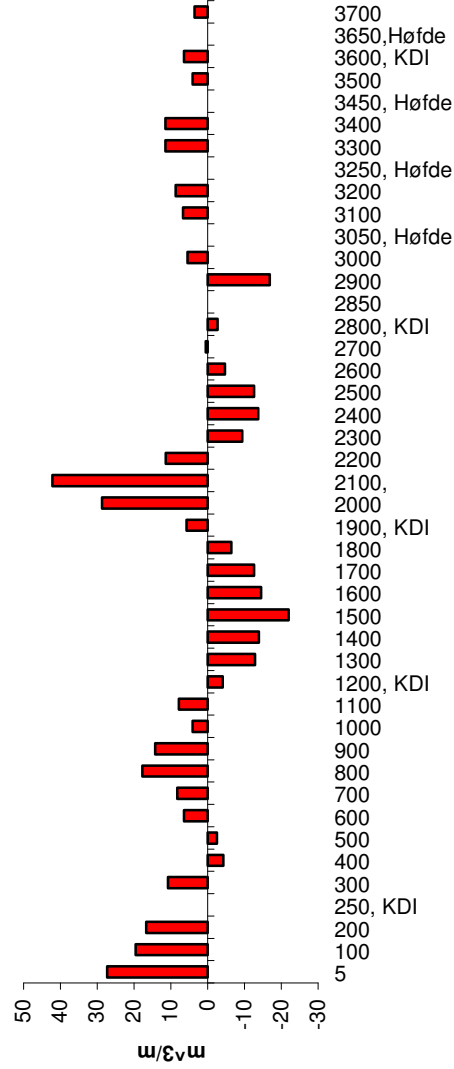
Tabel 6 samt Stavdiagram 3 viser de opmålte horizontale positionsændringer af øvre strandplan i kote ca. 2.0 m til + 2.5 m (d.v.s. omtrentlig skræntfod) over henholdsvis 1. år, 2. år, 3. år og samtlige 3 år.

Tabel 7 giver en oversigt over ændringerne over 3 år af strandvolumen, profilbredde i kote 0,0 m, samt horisontal positionsændring af øvre strandplan i kote ca. + 2.0 m til + 2.5 m.

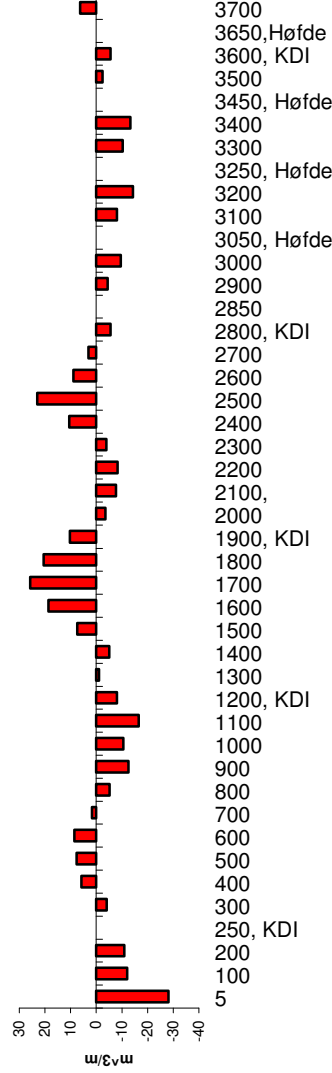
	Station	Tillæg/erosion i m ³ /m			
		1. år	2. år	3. år	I alt over 3 år
	5	+27.3	-28.2	+3.5	+2.6
	100	+19.6	-12.0	-3.7	+3.9
	200	+16.7	-10.9	-10.0	-4.2
KDI linie 1620	250				
	300	+10.8	-4.1	-11.3	-4.6
	400	-4.3	+5.8	-1.7	-0.2
	500	-2.5	+7.7	-4.9	+0.3
	600	+6.4	+8.6	-8.5	+6.5
	700	+8.3	+1.7	-8.0	+2.1
	800	+17.7	-5.2	-9.0	+3.5
	900	+14.3	-12.6	-7.7	-6.0
	1000	+4.1	-10.5	-15.4	-21.7
	1100	+7.8	-16.6	-9.9	-18.7
KDI linie 1630	1200	-4.1	-8.0	-4.1	-16.2



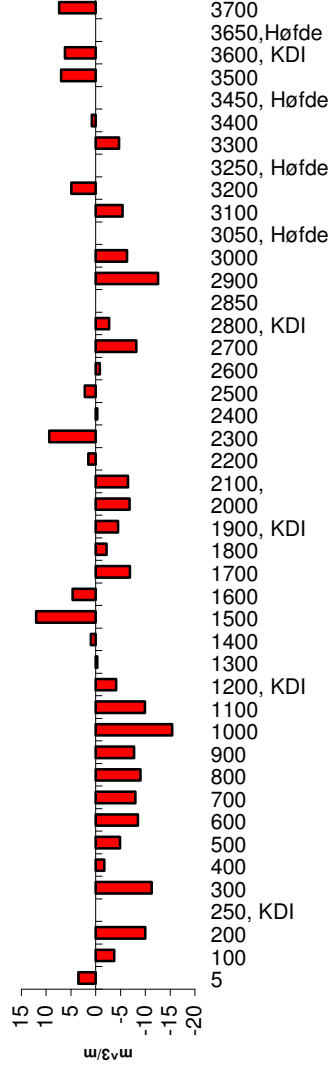
1. år.



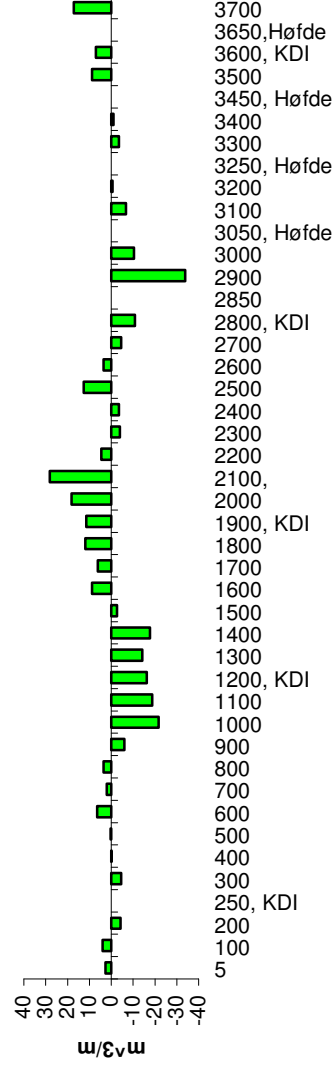
2. år.



3. år.



I alt over 3 år



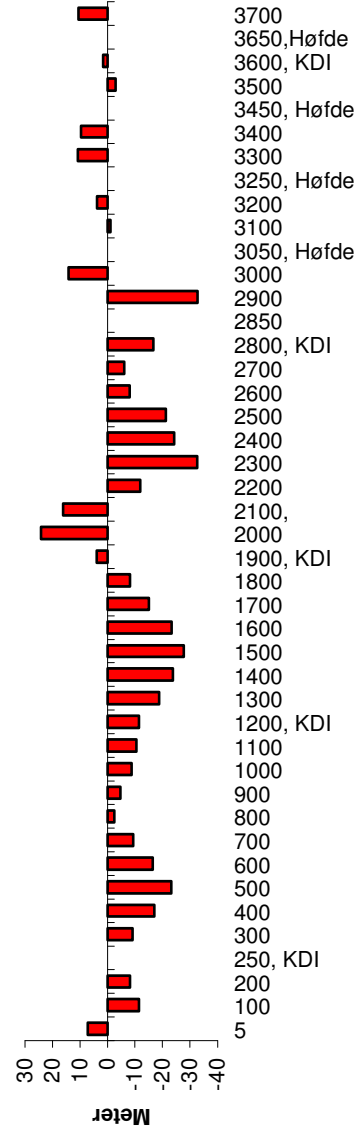
Stavdiagram 1. Opmålte volumenændringer per løbende meter strand over kote 0.0 m.

	Station	Bredder i m		Profilbreddeændring i m, kote 0,0 m			
		Maj 2000	Maj 2003	1. år	2. år	3. år	I alt over 3 år
	5	75	82	+7.2	-13.6	+6.7	-7.0
	100	82	62	-11.4	-4.2	-4.2	-19.8
	200	71	50	-8.2	-8.8	-4.0	-21.0
KDI linie 1620	250						
	300	66	52	-9.1	-2.4	-2.5	-14.0
	400	57	47	-17.0	+16.5	-9.4	-9.9
	500	65	50	-23.2	+15.6	-7.4	-15.0
	600	65	54	-16.4	+13.0	-7.2	-10.6
	700	54	43	-9.4	+5.5	-7.4	-11.3
	800	60	50	-2.4	-2.0	-5.9	-10.3
	900	66	42	-4.7	-7.4	-11.8	-23.9
	1000	60	32	-8.8	-2.8	-16.6	-28.2
	1100	63	45	-10.6	-7.5	-0.6	-18.7
KDI linie 1630	1200	46	42	-11.4	+0.3	+7.5	-3.6
	1300	54	46	-18.8	-1.3	+12.0	-8.1
	1400	63	46	-23.8	-7.4	+14.2	-17.0
Vejnedkørsel	1500	55	47	-27.7	+8.0	+11.2	-8.5
	1600	48	53	-23.3	+18.8	+9.2	+4.7
	1700	36	43	-15.1	+29.4	-7.4	+6.9
	1800	25	36	-8.2	+21.9	-3.1	+10.6
KDI linie 1640	1900	35	45	+3.9	+4.7	+1.7	+10.3
	2000	43	66	+24.1	-3.5	+1.8	+22.4
Fundamenter	2100	63	72	+16.2	-13.2	+6.1	+9.1
	2200	77	68	-11.9	-8.7	+11.9	-8.7
	2300	80	59	-32.6	+3.6	+8.3	-20.7
	2400	64	56	-24.3	+15.8	+0.2	-8.3
	2500	29	40	-21.1	+28.0	+2.9	+9.8
	2600 fask.	31	29	-8.1	+10.7	-5.0	-2.4
	2700 ca. 6	28	16	-6.1	+5.5	-11.8	-12.4
KDI linie 1650	2800 mdr.	44	24	-16.6	-1.5	-1.9	-20.0
	2850						
	2900	55	16	-32.7	+2.4	-9.3	-39.6
	3000	39	24	+14.1	-22.5	-6.7	-15.1
Højde	3050						
	3100 fask.	44	26	-1.1	-6.3	-10.7	-18.1
	3200 ca. 12	38	28	+3.8	-19.5	+6.1	-9.6
Højde	3250 mdr.						
	3300	32	27	+10.8	-6.2	-9.9	-5.3
	3400	28	26	+9.6	-11.7	-0.4	-2.5
Højde	3450						
	3500	44	51	-2.9	+1.6	+8.0	+6.7
KDI linie 1660	3600	41	48	+1.6	+2.3	+3.2	+7.1
Højde	3650						
	3700	27	44	+10.6	+1.0	+5.6	+17.2
Gennemsnit				-8.0	+1.4	-0.9	-7.5

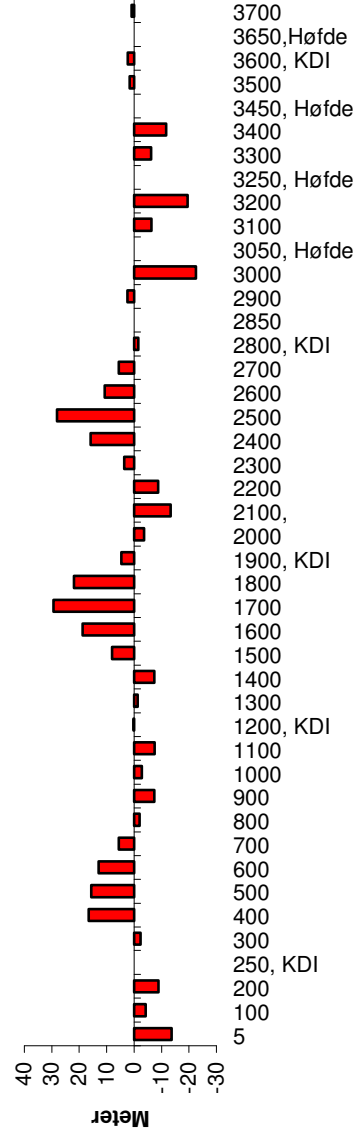
Tabel 5. Opmålte ændringer af bredder fra referencelinierne i kote 0.0 m.

Resultaterne er vist grafisk i Stavdiagram 2.

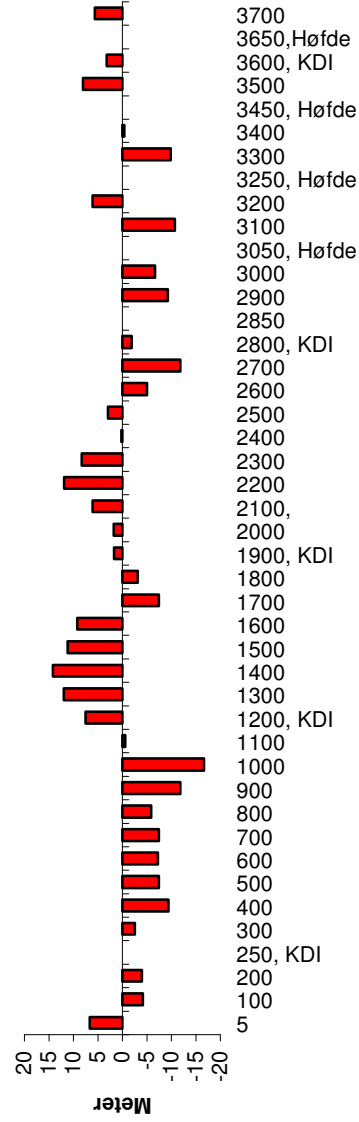
1. år.



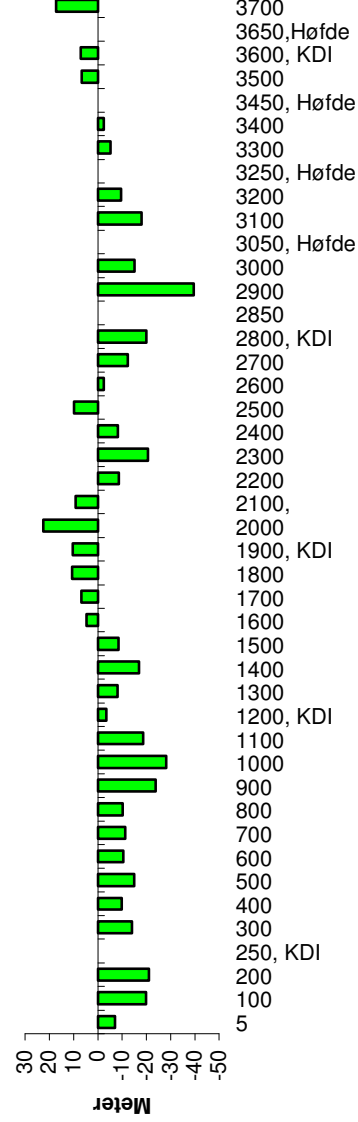
2. år.



3. år.



I alt over 3 år



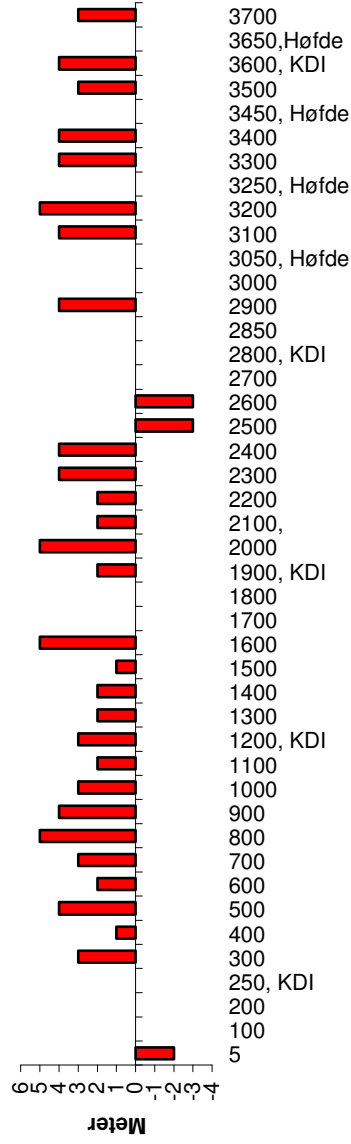
Stavdiagram 2. Opmålte ændringer af strandbredden i kote 0.0 m.

	Station	Horizontal positionsændring i m af øvre strandplan (kote ca. + 2,0 m til + 2,5 m)			
		1. år	2. år	3. år	I alt over 3 år
	5	-2	-4	+11	+ 5
	100	0	+2	+1	+3
	200	0	+1	0	+1
KDI linie 1620	250				
	300	+3	+1	0	+4
	400	+1	-1	-2	-2
	500	+4	-1	-2	+1
	600	+2	+1	-2	+1
	700	+3	+1	-2	+2
	800	+5	+2	-2	+5
	900	+4	+2	-2	+4
	1000	+3	0	ca. -3	ca. 0
	1100	+2	0	ca. -2	ca. 0
KDI linie 1630	1200	+3	-3	ca. -2	ca.-2
	1300	+2	-3	ca. -3	ca. -4 (ikke målt)
	1400	+2	0	ca. -5	ca.-3
Vejnedkørsel	1500	ca. +1	ca. -1	ca. 0	ca. 0 (ikke målt)
	1600	ca. +5 (ikke målt)	ca. -4	ca. +7	ca. +8 (ikke målt)
	1700	ca. 0 (ikke målt)	ca. -4	+4	ca. 0 (ikke målt)
	1800	ca. 0 (ikke målt)	ca. 0	0	ca. 0 (ikke målt)
KDI linie 1640	1900	+2	-1	+1	+2
	2000	+5	+1	-2	+4
Fundamenter	2100	+2	+2	0	+4
	2200	+2	+1	0	+3
	2300	+4	0	-2	+2
	2400	+4	-2	ca. -2	ca.0
	2500	ca. -3 (ikke målt)	ca. +6 (ikke målt)	ca. -3 (ikke målt)	ca. 0 (ikke målt)
	2600 fask.	ca. -3 (ikke målt)	ca. +3 (ikke målt)	ca. -3	ca.-3 (ikke målt)
	2700 ca. 6	ca. 0 (ikke målt)	ca. 0 (ikke målt)	ca. -3 (ikke målt)	ca.-3 (ikke målt)
KDI linie 1650	2800 mdr.	ca. 0 (ikke målt)	ca. -8 (ikke målt)	ca. -4 (ikke målt)	ca. -12 (ikke målt)
	2850				
	2900	+4	ca. -9 (ikke målt)	ca.-3 (ikke målt)	-8
	3000	ca. 0 (ikke målt)	ca. -2	ca. -2 (ikke målt)	ca.-4
Høfde	3050				
	3100 fask.	+4	-2	-2	0
	3200 ca. 12	ca. +5	-4	0	ca. +1
Høfde	3250 mdr.				
	3300	+4	-3	-2	-1
	3400	+4	-2	ca. -2 (ikke målt)	ca. 0
Høfde	3450				
	3500	+3	-2	ca. -1	ca.0
KDI linie 1660	3600	+4	0	0	+4
Høfde	3650				
	3700	+3	+10	0	+13
		Gennemsnit +2	Gennemsnit -1	Gennemsnit -1	Gennemsnit 0

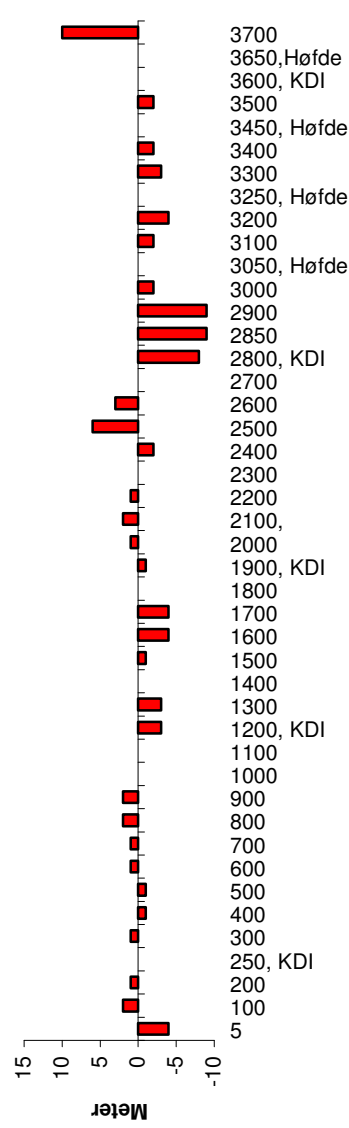
Tabel 6. Opmålte ændringer i horisontal position af øvre strandplan (kote ca.+2.0 m til + 2.5 m)

Resultaterne er vist grafisk i Stavidagram 3.

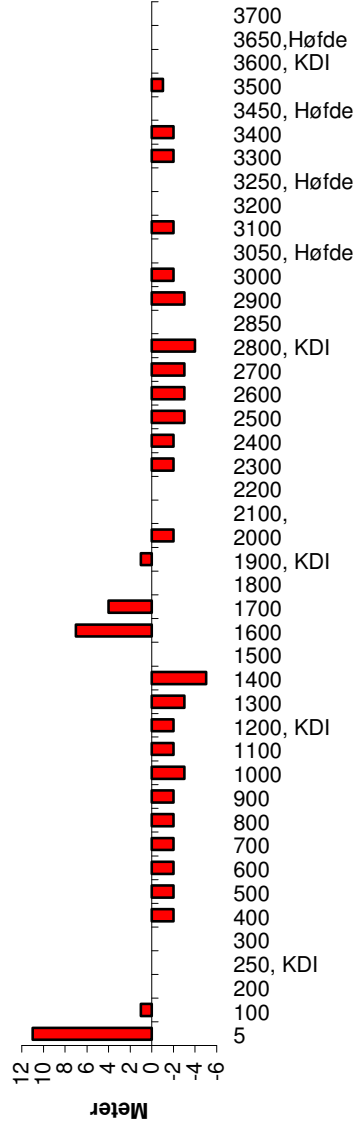
1. år.



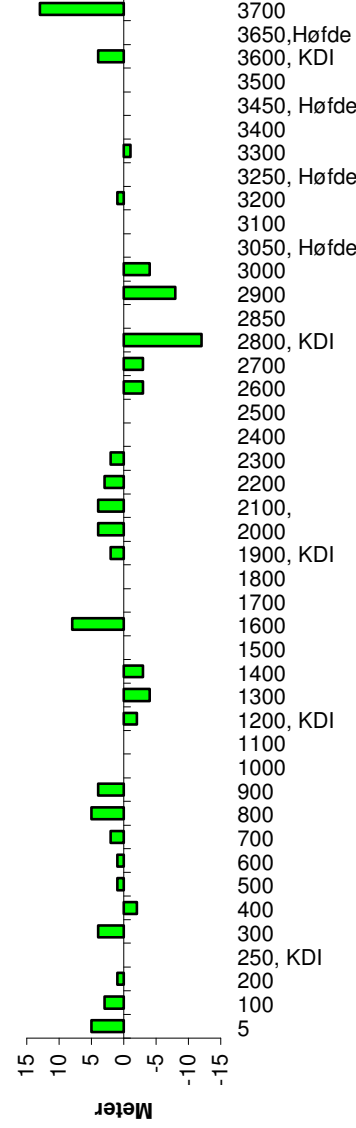
2. år.



3. år.



I alt over 3 år



Stavdiagram 3. Opmålte ændringer i horisontal position af øvre strandplan (kote ca. + 2.0 m til + 2.5 m).

	Station	Tillæg/erosion m ³ /m	Profilbreddeændring i m, kote 0,0	Horisontal positionsændring i m af øvre strandplan (kote ca. + 2.0 m til + 2.5 m)
	5	+2.6	-7.0	ca. -2 (ikke målt)
	100	+3.9	-19.8	+3
	200	-4.2	-21.0	+1
KDI linie 1620	250		(-1.1)*	(-1.1)*
	300	-4.6	-14.0	+3
	400	-0.2	-9.9	-2
	500	+0.3	-15.0	+1
	600	+6.5	-10.6	+1
	700	+2.1	-11.3	+2
	800	+3.5	-10.3	+3
	900	-6.0	-23.9	+4
	1000	-21.7	-28.2	0
	1100	-18.7	-18.7	0
KDI linie 1630	1200	-16.2	(-1.3)*	(-1.2)*
	1300	-14.2	-8.1	ca. -5 (ikke målt)
	1400	-17.7	-17.0	-4
Vejnedkørsel	1500	-2.6	-8.5	ca. 0 (ikke målt)
	1600	+8.8	+4.7	ca. +9 (ikke målt)
	1700	+6.2	+6.9	ca. -0 (ikke målt)
	1800	+11.8	+10.6	ca. +1 (ikke målt)
KDI linie 1640	1900	+11.5	(-2.9)*	(-4.5)*
	2000	+18.2	+22.4	+3
Fundamenter	2100	+28.1	+9.1	+4
	2200	+4.6	-8.7	+3
	2300	-3.9	-20.7	+1
	2400	-3.5	-8.3	0
	2500	+12.6	+9.8	ca. 0 (ikke målt)
	2600 fask.	+3.5	-2.4	ca. -3 (ikke målt)
	2700 ca. 6	-4.6	-12.4	ca. -4 (ikke målt)
KDI linie 1650	2800 mdr.	-10.9	(-16.1)*	(-15.9)*
	2850			ca. -11 (ikke målt)
	2900	-33.9	-39.6	-8
	3000	-10.4	-15.1	-4
Højde	3050			
	3100 fask.	-6.7	-18.1	0
	3200 ca. 12	-0.6	-9.6	0
Højde	3250 mdr.			
	3300	-3.5	-5.3	-1
	3400	-1.0	-2.5	0
Højde	3450			
	3500	+8.8	+6.7	0
KDI linie 1660	3600	+7.1	(+1.1)*	(-2.9)*
Højde	3650			
	3700	+17.1	+17.2	+10
Gennemsnit		-0.7	(- 4.1)*	(- 5.1)*
				ca. +0.1

Tabel 7. Opmålte kystændringer over perioden maj 2000 til maj 2003.

*) Tal i parentes er gennemsnit over 3 år baseret på Kystdirektoratets profilmålinger i perioden 1986-2000. (Højder bygget i 1985).

8. Diskussion af forsøgsresultater

8.1 Indledende bemærkninger.

Ud fra Tabellerne 4, 5, 6 og 7 og de tilhørende stavdiagrammer ses det, at der for de enkelte delstrækninger af den 3,7 km lange forsøgsstrækning tilsyneladende ikke er nogen systematik i opbygning og erosion over de tre år. Således finder hverken opbygning eller erosion for en specifik delstrækning sted i alle de tre år, men veksler imellem opbygning og erosion fra år til år. Eneste undtagelse er læsideerosionsstrækningen fra station 2650 til station 3050, som eroderes jævnt i hele perioden, samt sydsiden af søndre hofde ved station 3700, hvor der som ventet finder luvsidetilsanding sted.

Det må således konkluderes, at kystudviklingen for delstrækningerne varierer ganske meget fra år til år, hvilket vanskeliggør en delstrækningsanalyse. Man ledes derfor til at betragte den gennemsnitlige udvikling over hele forsøgsstrækningen. Det er dog relevant at betragte hofdeområdet, læsideerosionsområdet samt den øvrige strækning hver for sig på grund af forventet forskellighed i morfologisk udvikling.

8.2 Diskussion af gennemsnitlig udvikling over hele forsøgsstrækningen.

Hofdeområdet strækker sig fra station 3050 til station 3700. Læsideerosionsområdet fra station ca. 2650 til station 3050. Det øvrige forsøgsområde er fra station 5 til station ca. 2650. I det følgende diskuteres forsøgsresultaterne både ud fra den gennemsnitlige udvikling over hele forsøgsstrækningen og ud fra udviklingen for de nævnte delstrækninger.

Betragtes udviklingen i første forsøgsår ses det af Tabel 6 og Stavdiagram 3, at der i gennemsnit er sket en opbygning af øvre strandplan svarende til en forstærkning af klitfoden. I relation hertil er sket en volumenopbygning af stranden (jfr. Tabel 4 og Stavdiagram 1), men strandbredden er samtidig blevet reduceret (jfr. Tabel 5 og Stavdiagram 2). Strandprofilet er således blevet smallere men stejlere med større højder op mod klitten. Det vurderes, at strandprofilets modstandsdygtighed overfor erosion i gennemsnit er forbedret, idet bølgeopskyttet har sværere ved at nå klitfoden. Første forsøgsår afspejler hermed en positiv udvikling. Det vurderes, at første forsøgsår indeholdt flere højvands-situationer med kraftige vestenvinde end et gennemsnitsår.

I løbet af andet og tredje forsøgsår, som bedømmes til at være henholdsvis lidt mildere og lig med et gennemsnitsår, reduceres i gennemsnit strandhøjden noget, medens strandbredden i gennemsnit stort set ikke ændrer sig. Der tæres tilsyneladende alene på den strandhøjdeopbygning, der skete i første forsøgsår. Stranderosionen imellem stationerne 3100 og 3400 forårsaget af udledning af oppumpet grundvand lige før 2. års opmåling fremgår tydeligt af tabellerne 4, 5 og 6.

Status efter tredje forsøgsår fremgår af Tabel 7, der viser, at beliggenheden af den øvre del af strandplanet ved klitfoden i gennemsnit er uændret (0.1 m fremrykning), d.v.s. ingen kliterosion. Strandvolumenet er i gennemsnit reduceret en smule ($0.7 \text{ m}^3/\text{m}$ strand) medens strandbredden i gennemsnit er reduceret med 7.5 m.

For forsøgsvis at vurdere disse tal, der dækker en treårs udvikling, er på basis af Kystdirektoratets profilopmålinger i perioden 1972-2000 beregnet den gennemsnitlige strandbredeændring og klitfodspositionsændring over tre år. Disse tal er i Tabel 7 anført i pa-

rentes med stjerne ud for de fem stationer, hvor Kystdirektoratet har målt. I gennemsnit er klitfoden rykket 5,1 m tilbage og strandbredden reduceret med 4,1 m. (Der har dog været særdeles store svingninger i strandbredden i nævnte periode, især ved KDI linie 1620).

Sammenlignes disse gennemsnitstal med de målte gennemsnitstal for den treårige forsøgsperiode ses en markant forskel i erosion af klitfod til fordel for forsøgsperioden, nemlig fra -5,1 m til +0,1 m, d.v.s. en differens på 5,2 m. Med hensyn til strandbredden er situationen omvendt, idet den målte reduktion i forsøgsperioden er 7,5 m mod 4,1 m, som er treårgennemsnittet baseret på Kystdirektoratets målinger, d.v.s. en differens på 3,4 m. Set i relation til strandbredder på 30-60 m er dette en mindre reduktion. Når bortses fra høfdelæsideerosionen har reduktionen i øvrigt været størst i områdets nordligste del, der ellers tidligere har udvist beskeden gennemsnitlig tilbagerykning, men med store variationer fra år til år, jfr. Kystdirektoratets målinger.

Det skal bemærkes, at strandbredden på tidspunktet for første opmåling i maj 2000 selvsagt har stor indflydelse på resultaterne, idet en bred strand på dette tidspunkt vil resultere i mindre tilvækster eller større reduktioner end hvis stranden i maj 2000 var smal. Det vurderes, at stranden i maj 2000 var relativ bred hvorfor forsøgsresultaterne bliver mindre positive.

Ved en inspektion af forsøgsstrækningen d. 25. februar 2004 kunne det konstateres, at der ikke havde fundet skræntfodserosion sted i meget lang tid, når bortses fra høfdelæsideerosionsområdet samt et mindre område umiddelbart nord for vejnedkørselsforstærkningen (Nørlev Strandvej) i stationen 1500. Sidstnævnte tyder på begyndende læsideerosion.

Der kan selvsagt rettes principielt berettiget kritik af en sammenligning af kystudviklingen baseret på Kystdirektoratets opmålinger i perioden 1986-2000 i fem linier med kystudviklingen baseret på den mere detaljerede opmåling i forsøgsperioden. Imidlertid har det ikke været muligt at tilvejebringe et bedre grundlag.

8.3 Diskussion af udviklingen i høfdeområdet fra station 3050 til station 3700.

I høfdeområdet er strandvolumenet i gennemsnit forøget med 3,0 m³ pr. meter strand i løbet af de tre år. Samtidig er strandbredden i gennemsnit reduceret med 0,6 m, men klitfoden er i gennemsnit rykket 1,9 m frem. Mest markant er tilvæksten sket i station 3700, som er i luvsiden af søndre høfde. Det vurderes, at tallene ville have været endnu mere positive såfremt erosionen forårsaget af vandudledningen i forsommeren 2002 ikke havde fundet sted. I forhold til treårgennemsnittet baseret på Kystdirektoratets målinger i station 3600 (tal i parametre i Tabel 7) har området klaret sig bedre.

8.4. Diskussion af udviklingen i høfde-læsideerosionsområdet fra station 2650 til station 3050.

I læsideerosionsområdet er strandvolumenet i gennemsnit formindsket med 15,0 m³ pr. meter strand i løbet af de tre år. Samtidig er strandbredden i gennemsnit reduceret med 21,8 m og klitfoden er i gennemsnit rykket 6,8 m tilbage. Det er meget vanskeligt at afgøre, om området har klaret sig bedre eller dårligere i forhold til treårgennemsnittet baseret på Kystdirektoratets målinger i station 2800 (tal i parentes i tabel 7). Strandbredden udviser større reduktion, medens klitfodstilbagerykningen er mindre. Området er under alle omstændigheder under stærk tilbagerykning.

8.5 Diskussion af udvikling i området fra station 5 til station 2650.

Strandvolumenet er i gennemsnit forøget med $0,4 \text{ m}^3$ pr. meter strand i løbet af de tre år. Samtidig er strandbredden i gennemsnit reduceret med $7,16 \text{ m}$, men klitfoden er i gennemsnit rykket $0,9 \text{ m}$ frem.

I områdets nordlige del er strandbredden markant formindsket, medens den er forøget i den sydlige del. Den gennemsnitlige reduktion på $7,16 \text{ m}$ er væsentlig større end treårgennemsnittet baseret på Kystdirektoratets målinger. Som ovenfor nævnt har der dog i perioden for Kystdirektoratets målinger været meget store svingninger i strandbredden i området. I øvrigt foreligger ingen opmålinger vedrørende eventuelle ændringer i vanddybderne udenfor kystlinien i undersøgelsesperioden. En forøgelse af vanddybderne vil medføre større erosion. Det fremgår af Tabel 5, at strandbredden målt fra referencelinierne til kystlinie varierede mindre ved forsøgets afslutning i maj 2003 end ved forsøgets start i maj 2000.

9. Konklusion

Klitfod

Analyse af strandopmålinger foretaget over den treårige forsøgsperiode viser, at positionen af øvre strandplan ved klitfod stort set er uændret når bortses fra læsideerosionsområdet nord for nordligste hofde. På størstedelen af forsøgsstrækningen er klitfoden endog rykket lidt frem.

Dette er en forbedring af forholdene i forhold til den hidtidige gennemsnitlige udvikling af klitfoden i perioden 1972-2000, dokumenteret ved Kystdirektoratets målinger.

Ifølge disse målinger er den gennemsnitlige tilbagerykning af klitfoden beregnet for hele forsøgsstrækningen over en 3 års periode ca. 5 m , hvis hofdelæsideerosionsområdet medregnes, og ca. $2,5 \text{ m}$ hvis dette område ikke medregnes.

Strandbredde

Forsøgsområdets gennemsnitlige strandbredde er i den treårige forsøgsperiode blevet reduceret med ca. 7.5 m mod forventet ca. 4 m beregnet som et treårs gennemsnit ud fra Kystdirektoratets målinger af hidtidig udvikling. Begge tal medtager hofdelæsideerosionsområdet. Fraregnes dette er den gennemsnitlige breddeformindskelse i forsøgsperioden ca. 6 m mod forventet ca. 1 m beregnet ud fra den hidtidige udvikling. Strandbreddeerosionen har således været større i forsøgsperioden end forventet ud fra den gennemsnitlige hidtidige udvikling. Årsagen hertil er ukendt, men det forhold, at strandbredden var relativ stor da initialopmålingen blev foretaget i maj 2000, spiller en rolle. I øvrigt bemærkes, at strandbredden målt i kote $0,0 \text{ m}$ er en meget følsom parameter, idet selv mindre aflejringer eller fjernelser af sand i havstokområdet giver store forskydninger i strandbredden. Kystdirektoratets målinger udviser da også meget store hidtidige svingninger i strandbredden.

Sandvolumen på stranden

Der har i forsøgsperioden i gennemsnit over forsøgsstrækningen været en svag erosion svarende til fjernelse af ca. 1 m^3 sand pr. løbende meter kyst. Der eksisterer ikke sammenlignelige tal fra Kystdirektoratets opmålinger.

Strandprofiludviklingen

Sammenholdes udviklingen af klitfodposition, strandbredde og sandvolumen på stranden må det konkluderes, at strandprofilet i forsøgsperioden i gennemsnit er blevet smalle, men også lidt højere op mod klitfoden, d.v.s. at strandprofilstejlheden er forøget. Det vurderes dog, at strandprofilet som helhed er blevet forstærket lidt overfor erosion, idet klitfoden er bedre beskyttet.

Stranddrænenes funktion

Stranddrænenes virkemåde er efter min mening stadig ikke klarlagt ud over, at en virkning i retning af forøget lodret nedadrettet dræning af opskyllet vand på strandplanet medfører en positiv effekt i relation til sandaflejring. Endvidere medfører en bedre dræning desuden større vindbåren sandtransport (sandflugt), som hjælper til at opbygge klitten. Det statistiske grundlag er for svagt til at drage endelige konklusioner om drænenes virkning, men det synes som om drænene har haft en positiv virkning på opbygning af klitfoden.

10. anbefalinger

- Det anbefales, at høfderne afkortes såfremt takten i den fremadskridende læsideerosion ønskes reduceret. Samtidig anbefales det, at klitfoden i læsideerosionsområdet beskyttes. Denne anbefaling gælder uanset om der anvendes lodrette dræn eller ej. En afkortning kan måske medføre en lidt reduceret strandbredde imellem høfderne.
- Klitfoden synes at være bedre sikret i forsøgsperioden end i de foregående år. Det anbefales derfor, at rørene forbliver, samt at opmåling af strandprofilerne foretages igen om to år.

11. Referencer

[1] Kystdirektoratets rapport Lønstrup 81.

12. Bilagsfortegnelse

Bilag 1. Placering af Kystdirektoratets opmålingslinier.

Bilag 2. Kystdirektoratets analyse af kysttilbagerykning for perioden 1970-2003.

Bilag 3. Oversigt over antal rør i de forskellige stationer.

Tegn. nr. 1 af 17.7.03, Kystdirektoratet, Harrerenden – Nørlev Strand, profiludvikling, linie 1620.

Tegn. nr. 2 af 17.7.03, Kystdirektoratet, Harrerenden – Nørlev Strand, profiludvikling, linie 1630.

Tegn. nr. 3 af 17.7.03 Kystdirektoratet, Harrerenden – Nørlev Strand, profiludvikling, linie 1640.

Tegn. nr. 4 af 17.7.03, Kystdirektoratet, Harrerenden – Nørlev Strand, profiludvikling, linie 1650.

Tegn. nr. 5 af 17.7.03,	Kystdirektoratet, Harrerenden – Nørlev Strand, profiludvikling, linie 1660.
Tegn. n. 1-00 af 29.7.1999,	Hjørring Kommune, Trafik & Miljøafdelingen. Oversigtsplan visende stationering samt faskinplacering.
Tegning nr. 1-01 af 29.7.1999,	Hjørring Kommune, Trafik & Miljøafdelingen. Placering af kystdræn, Zone 1 og 2.
Tegning nr. 1-02 af 29.7.1999,	Hjørring Kommune, Trafik & Miljøafdelingen. Placering af kystdræn, Zone 3 og 4.
Tegning nr. 1-04 af 29.7.1999	Hjørring Kommune, Trafik & Miljøafdelingen. Principskitse af kystdrænplacering.
Tegning nr. 1-05 af 17.8.2000	Hjørring Kommune, Trafik & Miljøafdelingen. Oversigtsplan over placering af rør.