

NOVEMBER 2013
NORDDJURS KOMMUNE

KYSTBESKYTTELSE PÅ NORDSTRAND - ANHOLT

DESIGNRAPPORT



COWI

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

NOVEMBER 2013
NORDDJURS KOMMUNE

KYSTBESKYTTELSE PÅ NORDSTRAND - ANHOLT

DESIGNRAPPORT

PROJEKTNR.	A039861
DOKUMENTNR.	01
VERSION	0
UDGIVELSESDATO	26 November 2013
UDARBEJDET	CEL/JSTE/NAGE
KONTROLLERET	OJJ/CEL/NAGE/JSTE
GODKENDT	CEL

INDHOLD

1	Indledning	7
2	Baggrund for kystbeskyttelse	8
3	Opmåling	9
4	Lokalitetsbeskrivelse	12
4.1	Overordnede forhold	12
4.2	Historisk kystudvikling	17
4.3	Kystinspektion	19
5	Basis for projektering	26
5.1	Bølgemodellering (DHI)	26
5.2	Dimensionsgivende parametre	32
5.3	Sedimenttransport	43
5.4	Vurdering af fremtidig form af stranden	48
5.5	Strandprofil	49
6	Konceptstudie	56
6.1	KDIs skitseprojekt	56
6.2	COWIs koncept	57
7	Detailprojektering	60
7.1	Projekt parametre	60
7.2	Kriterier for dæk- og filterlag	61
7.3	Bølgebryder	62
7.4	Høfden	64
7.5	Skråningsbeskyttelse	65
7.6	Strandfodring	69

8	Anlægsoverslag	70
8.1	Mængder	70
8.2	Enhedspriser	71
8.3	Samlede anlægsoverslag	71
9	Referencer	73
10	Appendiks A Notat fra KDI, ref. 1	74
11	Appendiks B Opmåling	75
12	Appendiks C Tegninger - Detailprojektering	76

1 Indledning

Norrdjurs Kommune har den 21.06.2013 indgået rådgiveraftale med COWI vedrørende detailprojektering af kystbeskyttelse langs vejen og campingpladsen ved Nordstrand på Anholt.

Detailprojektet omfatter skråningsbeskyttelse, bølgebrydere og strandfodring ved Nordstrand på en strækning på cirka 400 meter baseret på Scenarie 1 - Alternativ A, Ref. 1.

Kysten blev besigtiget af COWI og Kommunen i forbindelse med opstartsmødet den 28.08.2013. Her blev rammerne for projektet diskuteret og aftalt nærmere.

Efterfølgende har Kommunen den 03.09.2013 bedt COWI forestå opmåling af kysten og havbunden langs Nordstrand som en tillægsopgave for at sikre et godt teknisk grundlag for detailprojektet. Kysten blev efterfølgende opmålt den 13.09.2013 af COWIs underleverandør Dansk Søopmåling.

Desuden har COWI udført en ekstremværdianalyse af bølgetidsserie leveret af DHI, som er benyttet til at fastlægge designbasis for projektet og herunder dimensionsgivende bølgeforskel og sedimenttransport.

2 Baggrund for kystbeskyttelse

Den nordvestvendte kyst øst for Anholt Havn har gennem mange år været under tilbagerykning. Problemet er aktualiseret gennem de seneste år, hvor vej og campingplads har været under pres. I forbindelse med højvandet under storm i november 2011 blev en del af vejen skyllet i havet, og der var betydelig kysttilbagerykning udfor campingpladsen. Vejforbindelsen er midlertidigt flyttet længere ind i landet. Der har siden været foretaget fodring dels med oprenset materiale fra havnen og dels med sand indvundet fra søsiden. Vejen er én ud af to veje, som forbinde havnen med Anholt By, Ref. 1.

Kommunen og de lokale beboere ønsker en varig løsning på problemet med kysterosion ved Nordstrand.

I samarbejde med Staten er der udarbejdet et kommissorium til undersøgelse af mulige løsninger på problemet. I den forbindelse har Kystdirektoratet (KDI) udarbejdet et skitseprojekt for strækningen, se Appendiks A, Ref. 1.

COWI skal arbejde videre med Scenarie 1 - Alternativ A, hvor vejen og campingpladsen bevares ved hjælp af kystbeskyttelse, Ref. 1.

3 Opmåling

Der er foretaget en opmåling af Nordstrand øst for Anholt Havn, som danner basis for projekteringen af kystbeskyttelsen, se også Appendiks B.

Formålet med opmålingen er at bestemme dybdeforholdene i en række profiler ud for Nordstrand samt topografien op over stranden og klitterne, se Figur 3-1.

Opmålingen er foretaget af Dansk Søopmåling den 13.09.2013, medens COWI har koordineret opgaven og stået for databehandlingen.



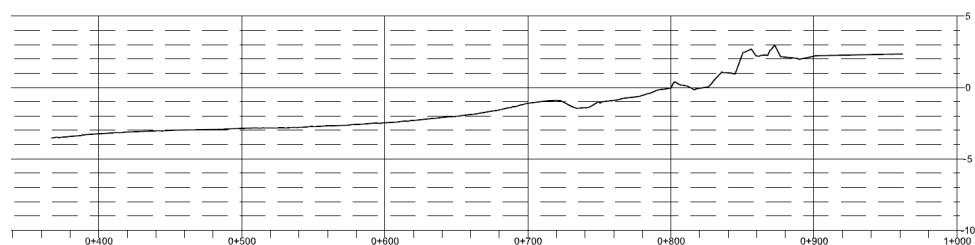
Figur 3-1 Opmålingsplan for Nordstrand

Opmålingen omfatter pejling af de gule profillinjer indenfor det røde område til -1 meter kurven, se Figur 3-1. Endvidere er der målt med et overlap fra land med alle knækpunkter hen over stranden, klitterne og vejen ca. 140 m fra vandlinjen. Afstanden mellem profilerne er ca. 50 m langs stranden.

Opmålingen er foretaget i forhold til koordinatsystemet: UTM32-DVR90.

Dansk Søopmåling har leveret opmåling af området i form af digitale koordinatpunkter x, y, z.

COWI har efterfølgende udarbejdet 10 profiloptegninger på baggrund af opmålingen af de 17 profiler vinkelret på kysten langs Nordstrand, se Figur 3-2 og Appendiks B Opmåling. Profilerne er benyttet som basis for projektering og udarbejdelse af tegninger af kystbeskyttelsen.



Figur 3-2 Eksempel på opmålt profillinje

COWI har desuden udarbejdet en terrænmodel af området suppleret med det seneste ortofoto af området, se Figur 3-3. Terrænmodellen er også benyttet som basis for tegningerne af kystbeskyttelsen.

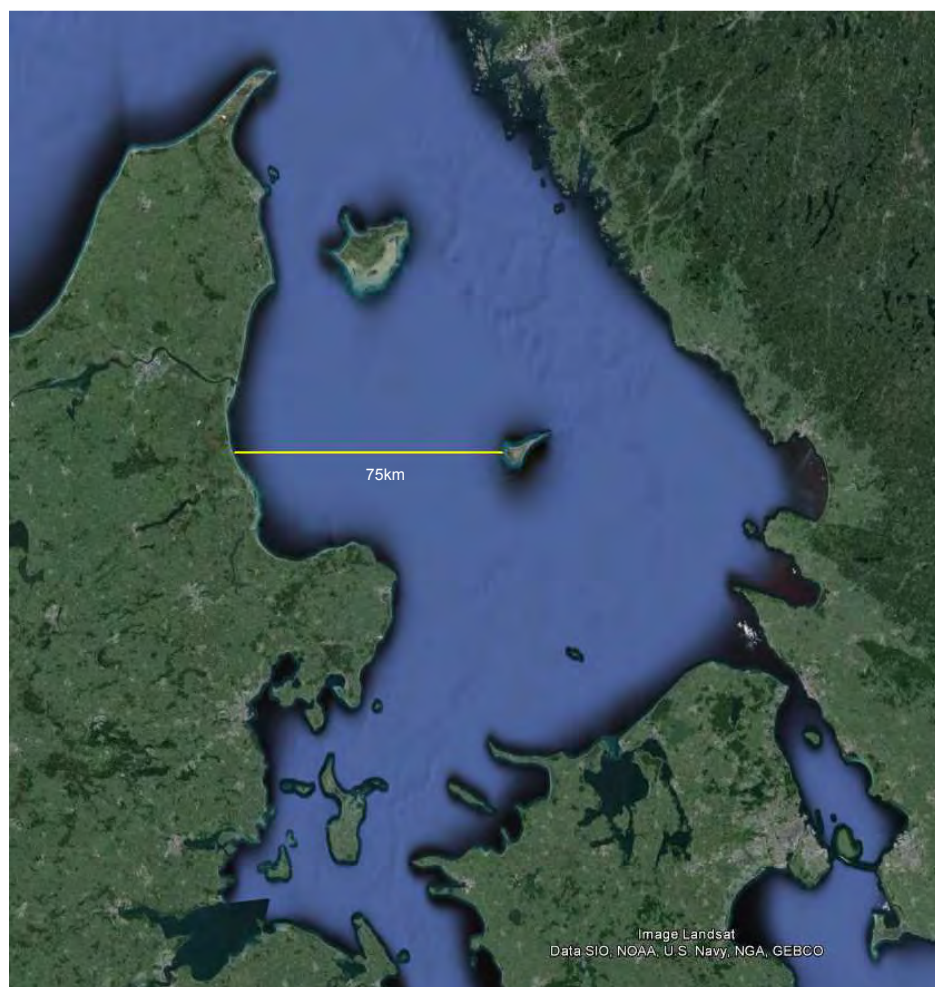


Figur 3-3 Terrænmodel af Nordstrand og havbunden ud for

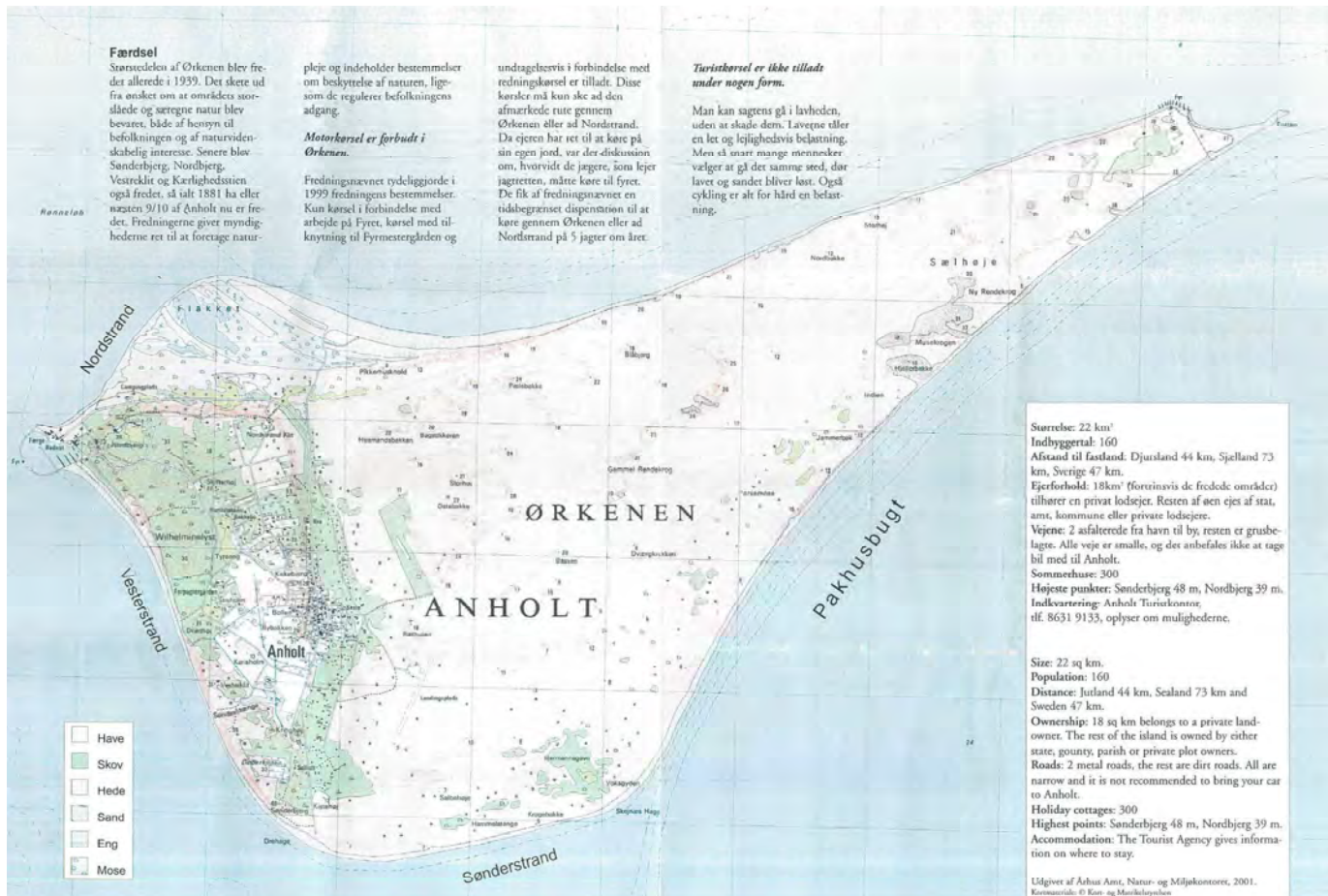
4 Lokalitetsbeskrivelse

4.1 Overordnede forhold

Figur 4-1 viser Anholts placering centralt i Kattegat. Figur 4-2 viser et kort over Anholt og indeholder desuden en række generelle baggrundsinformation om øen.

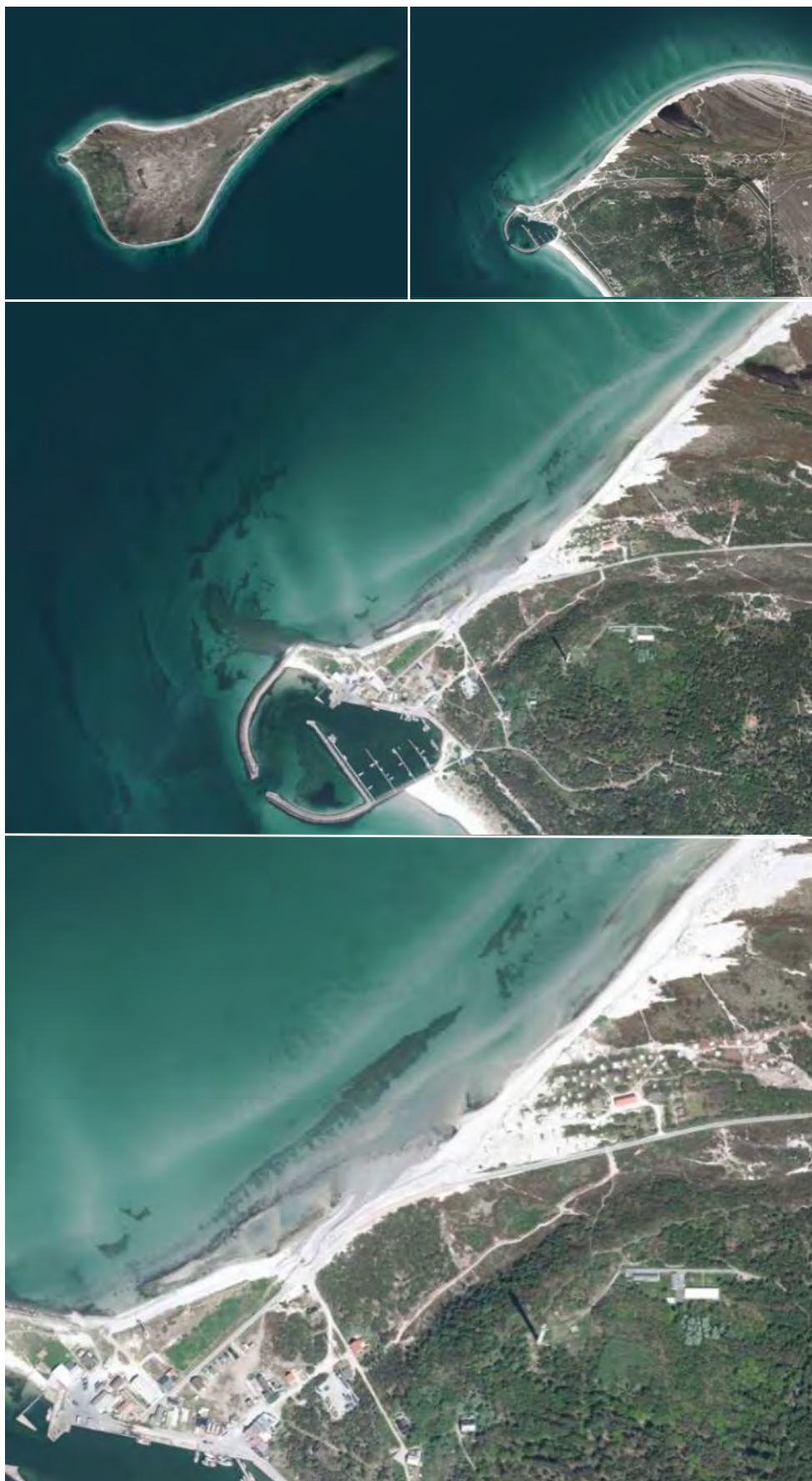


Figur 4-1 Anholts placering i Kattegat



Figur 4-2 Kort af Anholt, Norddjurs Kommune

Figur 4-3 og Figur 4-4 viser Anholt fra luften fra henholdsvis 2012 og 2010. Billedet fra 2010 er medtaget, da stranden er under opbygning med sandfodring på det nyeste billede fra 2012, se Figur 4-3. Luftfotoene viser, at der er stenbund (mørke områder) ud for en del af Nordstrand. Det medfører, at kysterosion i dybden foregår forholdsvis langsomt i forhold til de områder, hvor der er sandbund (lyse områder). De områder der er dækket af sten er velegnet til placering af kystkonstruktioner, da den eksisterende havbund herved medvirker til at danne et solidt fundament.

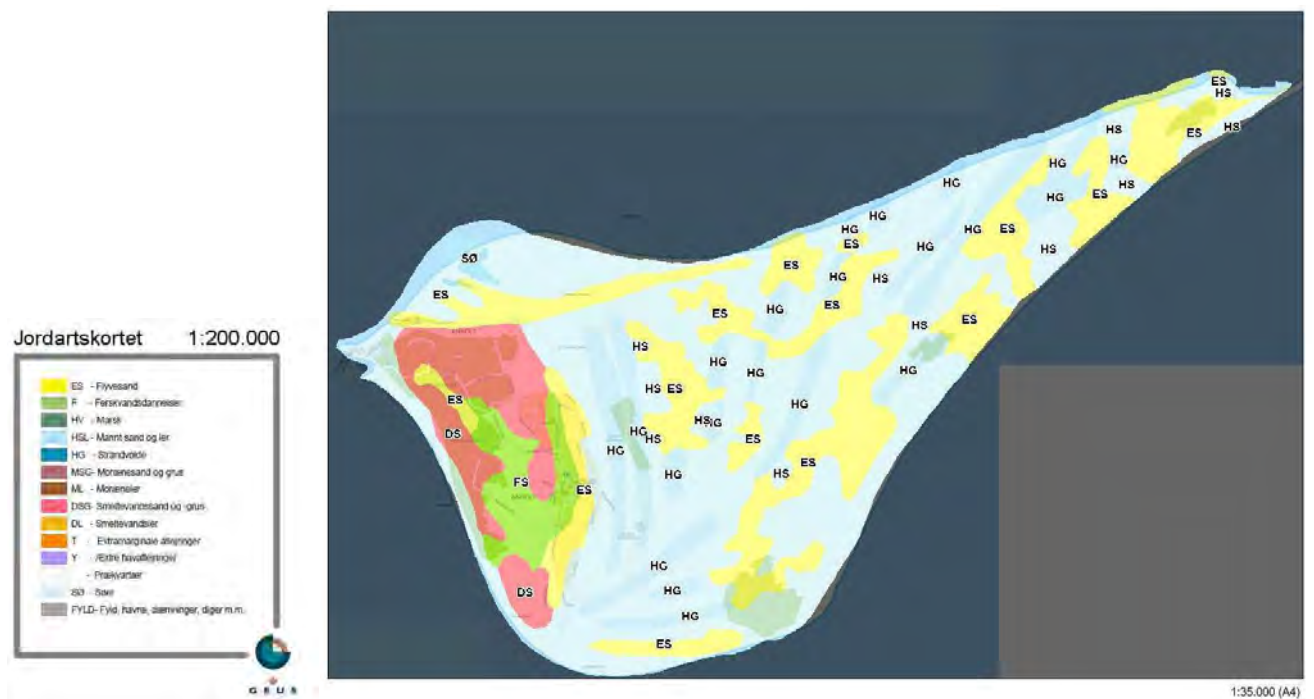


Figur 4-3 Lufifoto af Nordstrand – Anholt, COWI 2012



Figur 4-4 Luftfoto af Nordstrand – Anholt 2010, COWI

Figur 4-5 viser et jordartskort over Anholt. Der er marint sand og ler langs Nordstrand. Der er desuden mindre områder med flyvesand foran kystskrænten. Kernen af de markante bakker er opbygget af smeltvandssand og grus.



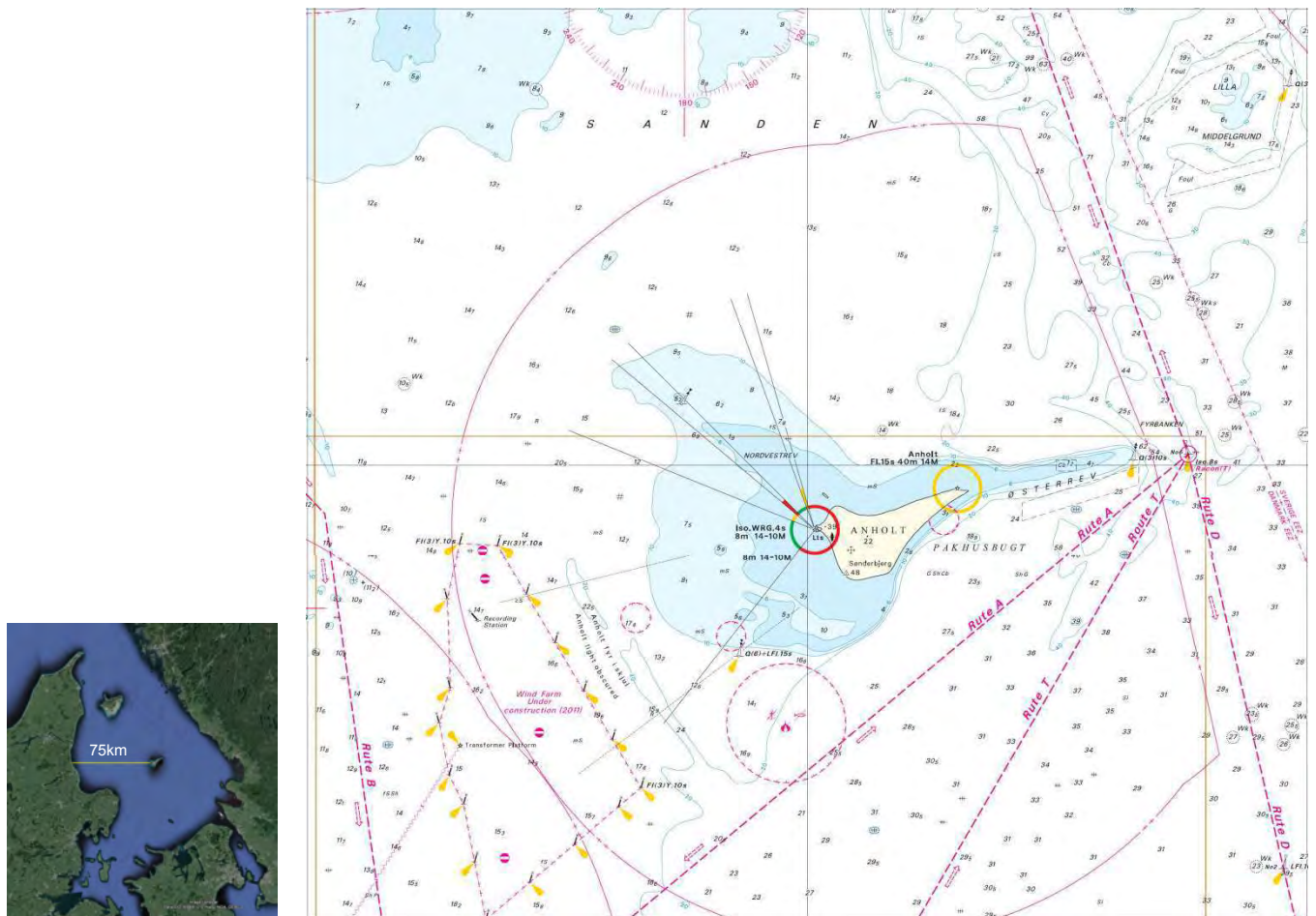
Figur 4-5 Jordartskort – Anholt, GEUS

Figur 4-6 viser et udsnit af Per Smeds landsskabskort over Anholt. Der er ikke så mange detaljer på kortet som følge af den anvendte målestok. Kortet viser dog de markante gamle kystkliner i Anholts vestlige del.



Figur 4-6 Landskabskort – Anholt. Per Smed

Figur 4-6 og Figur 4-7 viser desuden dybderne i farvandet rundt om Anholt. Der er dybt ud for den østlige del af Anholt, medens der er rev med i størrelsesordenen 5 m vanddybde både nordvest og sydvest for.



Figur 4-7 Søkort – Anholt

Anholts nuværende form er dannet ved nedbrydning af de markante klinger i øens vestlige del, som har leveret materialet til opbygningen af det marine forland og ørkenen i øens nordlige og østlige del.

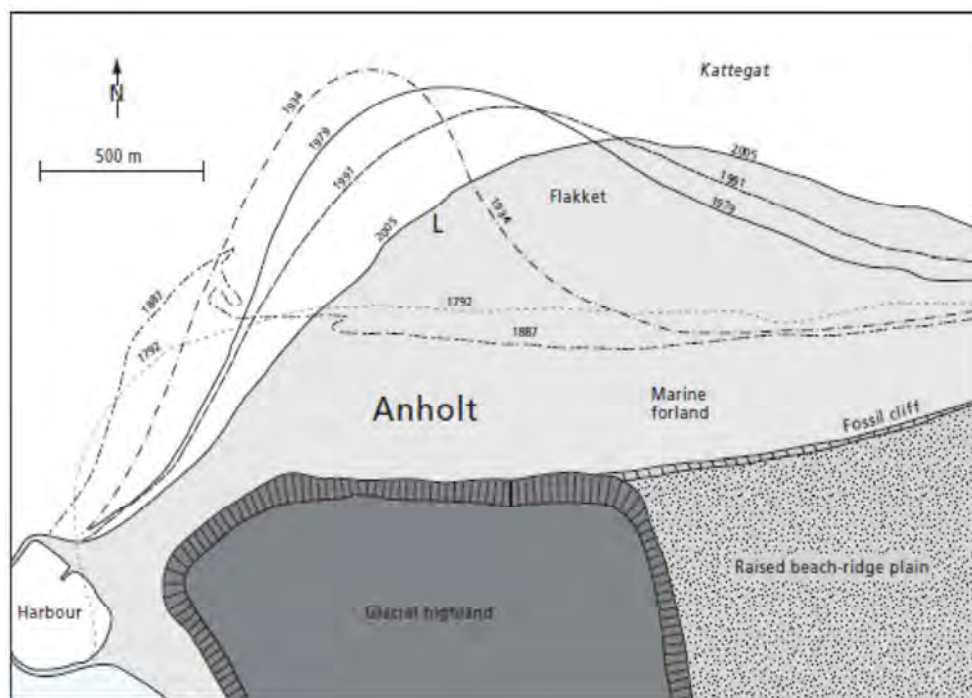
Sand, grus og sten er, som følge af de dominerende vinde og bølger fra vest, gennem årtusinder transporteret rundt om pynten mod øst, hvor havnen ligger i dag.

4.2 Historisk kystudvikling

Havnen har blokeret for størstedelen af materialetransporten mod øst rundt om det nordvestlige hjørne af Anholt. Det har været medvirkende til, at der er sket store morfologiske ændringer af Nordstrand gennem de sidste godt hundrede år, se Figur 4-8.

En anden årsag kunne være, at der er gravet i de naturlige stenrev nord for Anholt, hvilket har kunnet medvirke til at ændre bølgeforskelene. Desuden kan en generel ændring af vindklimaet mod nordvest have medvirket til at ændre Nordstranden, ref. /1/.

Kysten er eroderet betydeligt tilbage langs Nordstrand, hvilket samtidig har medvirket til at opbygge kysten mod øst. Erosionen har medført en generel reorientering af Nordstranden fra vestnordvest mod nordvest.



Figur 4-8 Historisk kystudvikling af Nordstrand fra 1792 til 2005, Ref. 1

Figur 4-9 viser en mere detaljeret analyse af kystudviklingen ved Nordstrand baseret på luftfoto, Ref. 1. Tabel 4-1 viser de målte kysttilbagerygningshastigheder.

Analysen viser, at der er betydelig mindre erosion i området umiddelbart øst for havnen i forhold til ud for og øst for campingpladsen. Dette skyldes formodentligt, at der er stenstrand umiddelbart øst for havnen og der er stenbrolægning langs kysten på lavt vand fra havnen hen til campingpladsen. Disse stenformationer er mere erosionsresistente og medvirker derfor til at bremse kysttilbagerykningen. Omvendt er der mindre stenbrolægning ud for og øst for campingpladsen og stenene ligger dybere, hvilket har betydet, at erosionen er større her. Stenbrolægningen ud for vejen medvirker til at refraktere/dreje bølgerne således, at de er mere parallelle med vejen på lavt vand. Dette vil reducere erosionspresset ud for vejen og derved øge effektiviteten af den kommende kystbeskyttelse.



Figur 4-9 Historisk kystudvikling af Nordstrand baseret på luftfoto, Ref. 1

Strækning	Målelinjer	Tilbageryknings- hastighed
		m/år
Trekanten	A	0,5
Vej	B, C og D	1,7
Campingplads	E, F og G	3,3

Tabel 4-1 Kysttilbagerykningshastighed langs Nordstrand baseret på luftfoto, Ref. 1

4.3 Kystinspektion

Kysten ved Nordstrand blev besigtiget sammen med Kommunen i forbindelse med opstartsmødet den 29.08.13.

I det følgende gennemgås projektstrækningen med henblik på at skabe en forståelse af de eksisterende forhold langs kysten, som har betydning for anlæggelsen af kystbeskyttelsen.

Figur 4-10 viser et oversigtsbillede af Nordstrand taget fra toppen af den gamle kystskrænt. Billedet viser havnen og den eksponerede vej langs stranden samt campingpladsen.



Figur 4-10 Nordstrand – Anholt

Figur 4-11 viser den inderste del af havnebassinet i Anholt Havn. I forbindelse med de udførte strandfodringer har sandsugeren benyttet kajen, som normalt benyttes af færgen til Grenå. Herfra er der ført en stålørledning langs vejen mod øst til den vestlige del af Nordstrand, hvor sandet er pumpet ud. Rørledningen ligger stadig i vejkanthen mellem havnen og Nordstrand.



Figur 4-11 Det inderste del af havnebassinet i Anholt Havn

Luftfotoene i Figur 4-3 og Figur 4-4 viser, at der er et markant stenflak/rev ud for den østlige ende af den nordlige havnemole. Figur 4-12 viser, at der er meget lavvandet på flakket umiddelbart ud for molen. Stenflakket medvirker til at bryde bølgerne fra vest og resulterer i, at bølgerne øst for havnen drejer mod syd rundt om flakket. Stenflakket og havnemolen er således med til at stabilisere stranden øst for havnen.



Figur 4-12 Stenflak ud for nordmolen ved Anholt Havn

Figur 4-13 viser østsiden af havnen og Nordstrand samt den markante bakke og gamle kystklint bagved vejen.



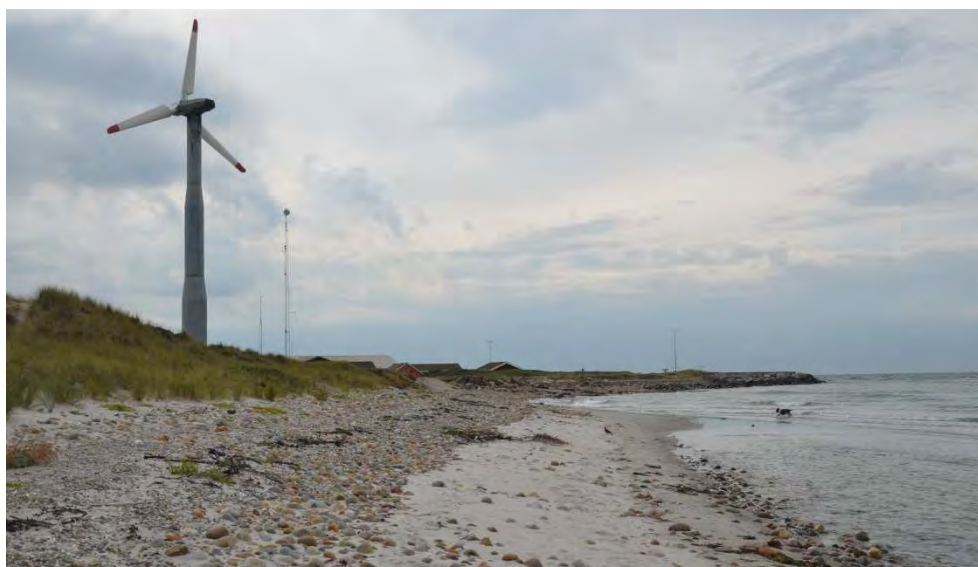
Figur 4-13 Østlige side af nordmolen ved Anholt Havn

Kysten er stenet umiddelbart øst for havnemolen, men der er på trods heraf erosion af materialet bag stenene, se Figur 4-14. Dette viser, at der kan forekomme betydelig bølgepåvirkning af selv den beskyttede side af havnen, som er eksponeret mod nordøst. Den stenede strand viser, at materialetransporten er mod øst selv helt inde i hjørnet mellem stranden og molen.



Figur 4-14 Stenstrand langs østsiden af Anholt Havn

Stenstranden øst for havnen er høj nok til at beskytte klitterne på denne strækning, som ikke viser nylige tegn på erosion, se Figur 4-15. Der ligger et spildevandsanlæg begravet bag stranden. Den yderste del er i dag koblet fra, men dele af diget i form af en geotekstil foran anlægget er nu ved at blive eksponeret på stranden.



Figur 4-15 Ralstrand øst for Anholt Havn

Der er et markant spring i kystlinjen, der hvor stenstranden stopper og den inderste del af stranden øst herfor er domineret af sand, se Figur 4-16 og Figur 4-17. Under højvandet i november 2011 blev en del af vejen skyllet i havet og der skete en betydelig kysttilbagerykning ud for campingpladsen. Vejforbindelsen er midlertidigt flyttet længere ind i landet. Der har siden været foretaget fodring dels med oprenset materiale fra havnen og dels med sand indvundet fra søsiden. Det er tydeligt, at ralstranden beskytter klitterne. Øst herfor er de naturlige klitter langs vejen forsvundet og erstattet af sandfodring, som er benyttet til at opbygge en sandbuffer langs vejen.

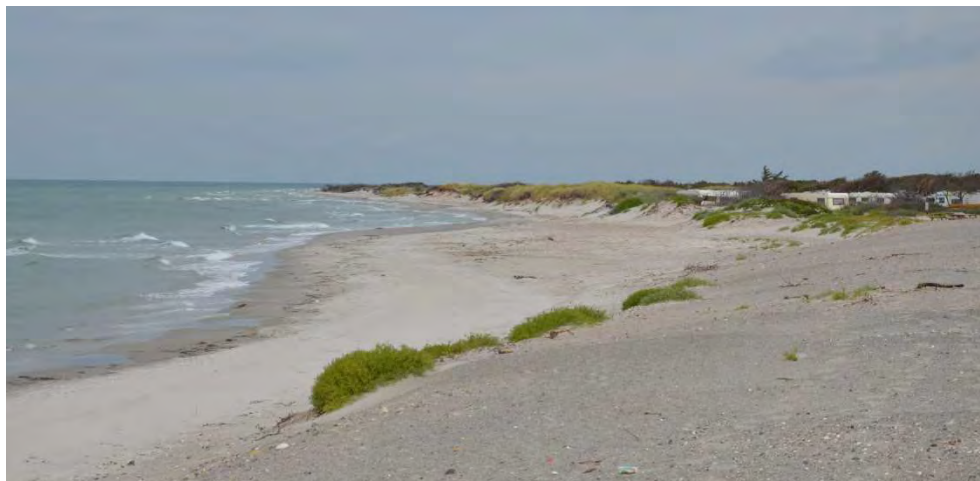


Figur 4-16 Ralstrand øst for Anholt Havn set ned mod den nyeste strandfodring langs vejen



Figur 4-17 Vejen øst for Anholt Havn er i dag beskyttet af vold skabt vha. strandfodring

Figur 4-18 og Figur 4-19 viser stranden udfor campingpladsen. Klitterne er her under erosion, men der er en betydelig strandbredde i hjørnet mellem vejen og campingpladsen. Det kan skyldes et lavvandet område udfor stranden eller de foretagne sandfodringer, som bevirker, at der ligger mere sand her. Den bredere strand øger beskyttelsen af campingpladsen og der er ved at danne sig spredt vegetation langs klitfoden, hvilket viser, at det kun er i forbindelse med kraftige storme, at vandet når så langt op her.



Figur 4-18 Strand i hjørnet mellem vejen og campingpladsen



Figur 4-19 Smal strand og små klitter foran campingpladsen

Stranden er meget smal langs den østlige del af campingpladsen og længere mod øst. Klitterne eroderer kraftigt her og kysten rykker tilbage med stor hastighed, se Figur 4-19 og Figur 4-20. Det er ikke umiddelbart et problem, at kysten rykker tilbage øst for campingpladsen, da dette er et naturområde. Kysten får således lov til at udvikle sig naturligt. På sigt kan erosion i dette område dog true den østlige del af campingpladsen, hvilket diskuteres i et senere afsnit. Der er en gammel faskine

nedgravet i klitterne umiddelbart øst for campingpladsen, som kan blive eksponeret i løbet af nogle år, når kysttilbagerykningen er mere fremskreden.



Figur 4-20 Smal strand og små klitter foran naturområdet øst for campingpladsen

5 Basis for projektering

5.1 Bølgemodellering (DHI)

5.1.1 Generelt

Til etablering af bølgedata er benyttet data fra to af DHIs bølge-hindcast-modeller:

- › En model som dækker Nordsøen, benævnt NS modellen
- › En model som dækker indre danske farvande og Østersøen, benævnt DKBS modellen

De to bølgemodeller dækker perioden fra 1. februar 1994 til 31. december 2011 (18 år).

COWI har på Kommunens vegne indkøbt en bølgedataserie fra DHI, som har stået for selve modelleringen. COWI har efterfølgende foretaget analyse af bølgedataene samt modellering af sedimenttransport.

5.1.2 Numerisk model – MIKE 21 SW

Bølgemodelleringen er blevet gennemført med DHIs numeriske bølgemodel, MIKE 21 SW. Modellen er en såkaldt spektralbølgemodel, som simulerer dannelsen, spredningen og henfaldet af bølger genereret af vindens påvirkning på havoverfladen. Modellen tager hensyn til alle væsentlige effekter, herunder for eksempel vindens variation i både tid og sted, og de varierende vanddybde- og kystlinjeforhold i modelområdet, som vil påvirke bl.a. bølgenes vækst og henfald, udbredelse, dæmpning og brydning. MIKE 21 SW blev benyttet i en fuld spektral version.

5.1.3 Modelområder

Modelområderne er vist på Figur 5-1 for Nordsø-modellen (NS) og på Figur 5-2 for DKBS modellen.

Nordsø-modellen er åben mod Nordatlanten, hvor der derfor er anvendt randdata fra DHIs Nordatlant model. DKBS-modellen har tilsvarende en modelrand mod Nordsøen, hvor der er anvendt data fra NS-modellen. De resterende rande betragtes som lukkede.



Figur 5-1 Modelområder for NS-modellen



Figur 5-2 Modelområde for DKBS-modellen

Model-opløsningen for de to modeller varierer fra ca. 20 km i Nordatlanten til 1-3 km i Bælthavet og Øresund.

5.1.4 Vind-input

Det primære input til modellerne, ud over vanddybderne, er vindfelter. For både NS-modellen og DKBS-modellen er der anvendt 2D vindfelter fra DHIs vind-database. Databasen dækker perioden fra 1. februar 1994 og frem til i dag. Modellerne har gennem tiden været leveret af forskellige leverandører, som har anvendt forskellige modeller og opløsning i tid og sted. Tabel 5-1 viser en oversigt over de anvendte vind-data.

Startdato	Opløsning i tid	Opløsning i sted	Koordinat-system	Global / Regional model	Leverandør
1994-02-01 -	6 h	9 sømil	UTM-32	IFS/HIRLAM	DMI
1997-09-15 -	3 h	9 sømil	UTM-32	IFS/HIRLAM	DMI
2002-01-01 -	3h	0.15°	Long/Lat	GFS/ETA	VEJR2 A/S
2003-01-16 -	1 h	0.15°	Long/Lat	GFS/ETA	VEJR2 A/S
2008-12-18 -	3 h	0.50°	Long/Lat	GFS/ -	NOAA
2009-01-30 - today	1 h	0.10°	Long/Lat	IFS/WRF	StormGeo

Tabel 5-1 Oversigt over data i DHIs vind-database

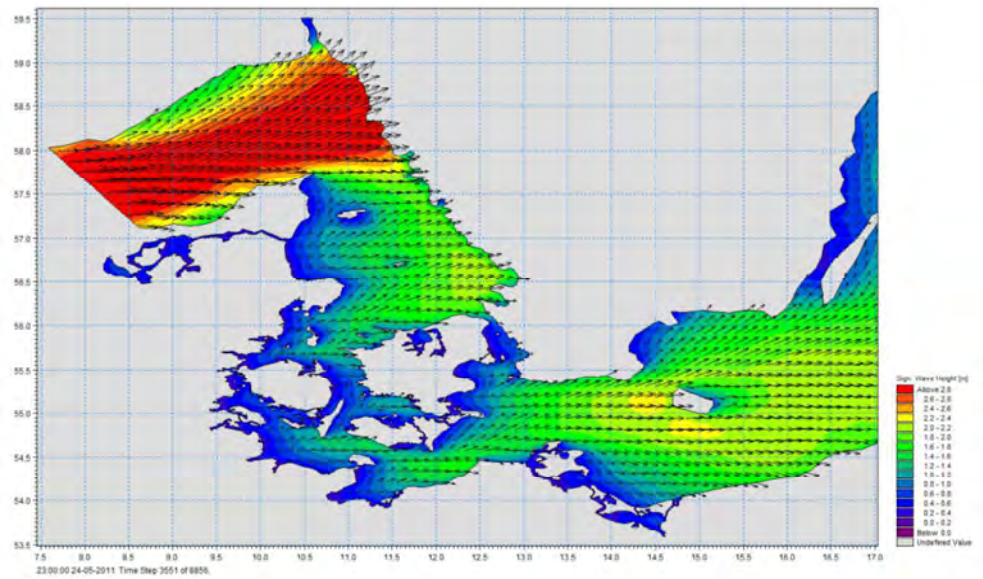
5.1.5 Vandstand

Som input til bølgemodelleringen er inkluderet den varierende vandstand – time for time. Vandstanden er før bølgemodelleringen blevet modelleret med DHIs hydro-dynamiske modeller baseret på tidevandsvariationer og de samme tryk- og vindfelter som anvendt til bølge-modelleringen.

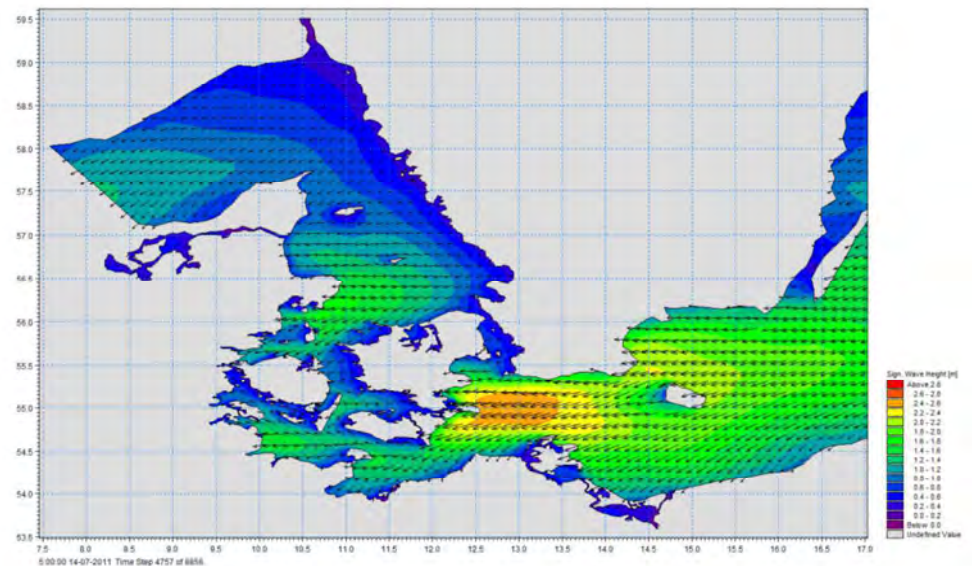
5.1.6 Simuleringer

Perioden 1. februar 1994 til 31. december 2011 (18 år) er simuleret. Det blev valgt at benytte denne 18 års periode, idet de tilgængelige vindfelter for perioden før 1994 gav resultater, som ikke var konsistente med perioden efter 1993. Det blev altså vurderet at bølgeklima-estimerne blev mere pålidelige ved at anvende 18-års perioden end ved at medtage data fra før 1994 og dermed opnå en længere hind-cast-periode.

Figur 5-3 og Figur 5-4 viser øjebliksbilleder fra simuleringerne med DKBS-modellen.



Figur 5-3 Øjebliksbillede af bølgefelt (signifikant bølgehøjde, H_m). Vektorer angiver middelbølgeretning (MWD). Tidspunkt: 24. maj 2011 kl. 23



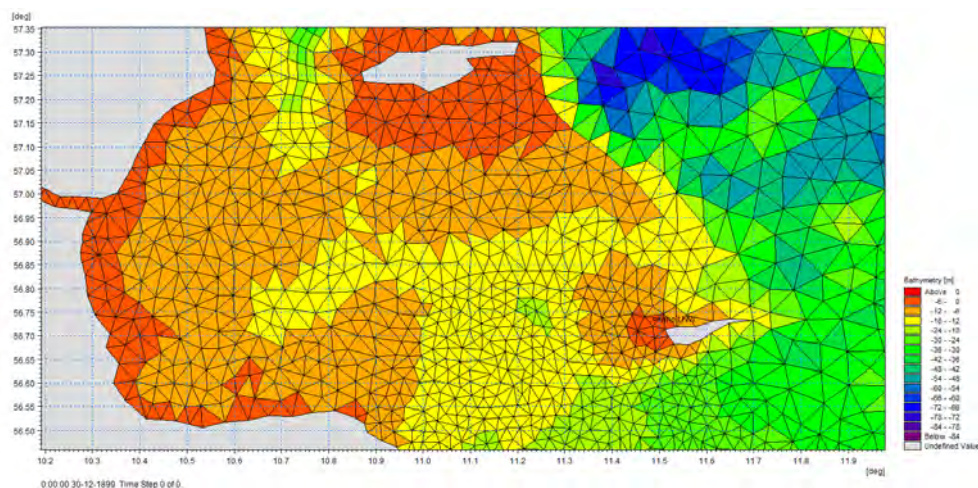
Figur 5-4 Øjebliksbillede af bølgefelt (signifikant bølgehøjde, H_m). Vektorer angiver middelbølgeretning (MWD). Tidspunkt: 14. juli 2011 kl. 05

5.1.7 Bølger ved Nordstrand, Anholt

Som basis for kystbeskyttelsesprojektet ved Nordstrand er der benyttet en indkøbt tidsserie med bølgeforhold, vandstand og vind nord for Anholt, baseret på DHIs modeller beskrevet i det foregående. Dataserien dækker en periode på 10 år mellem 01.01.2002 og 01.01.2012.

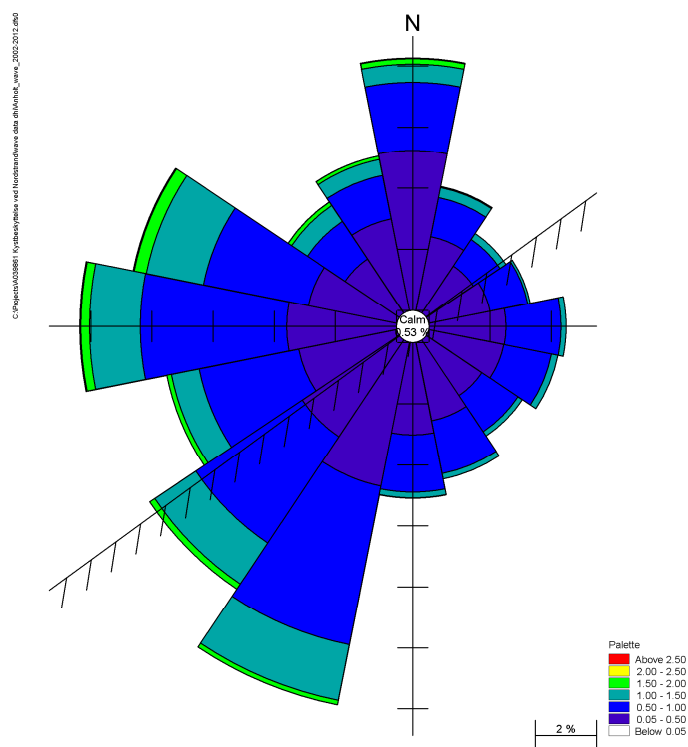
Tidsserien danner grundlag for sedimenttransportmodellering og bestemmelse af den stabile kystlinjeorientering samt designbølgeforholdene langs stranden mm.

Figur 5-5 viser et udsnit af den numeriske bølgemodel ved Anholt og placeringen af udtrækspunktet for den anvendte tidsserie indeholdende bølgeforhold, vandstand og vind i perioden 2002 til 2012. Tidsserien er udtrukket på 5,33m vanddybde.



Figur 5-5 Udsnit af numerisk modelområdet ved Anholt og placering af udtrækspunkt for den anvendte dataserie

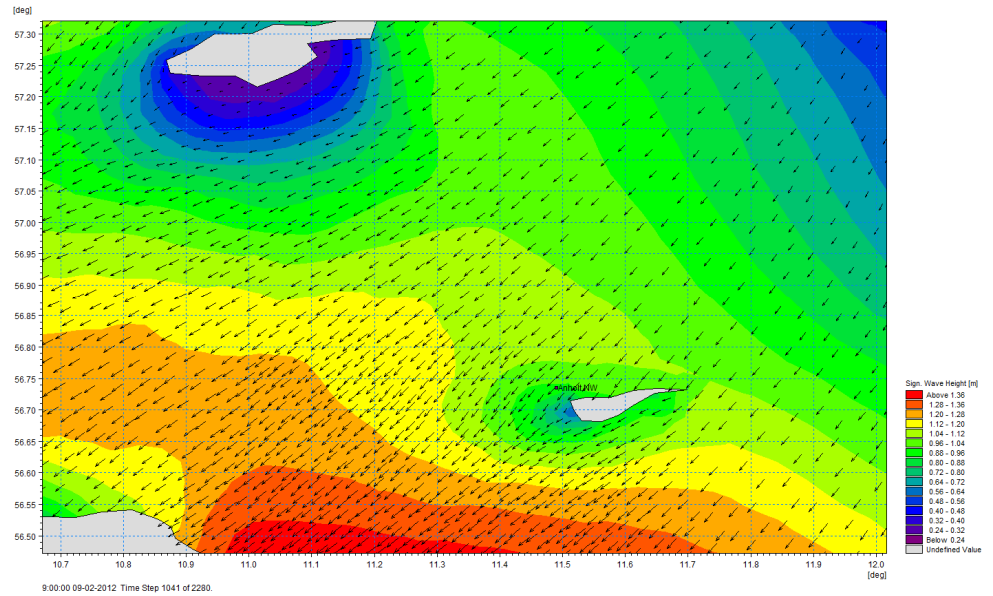
Figur 5-6 viser en bølgerose baseret på den signifikante bølgehøjde, H_s , nord for Anholt, samt kystens orientering ved Nordstrand.



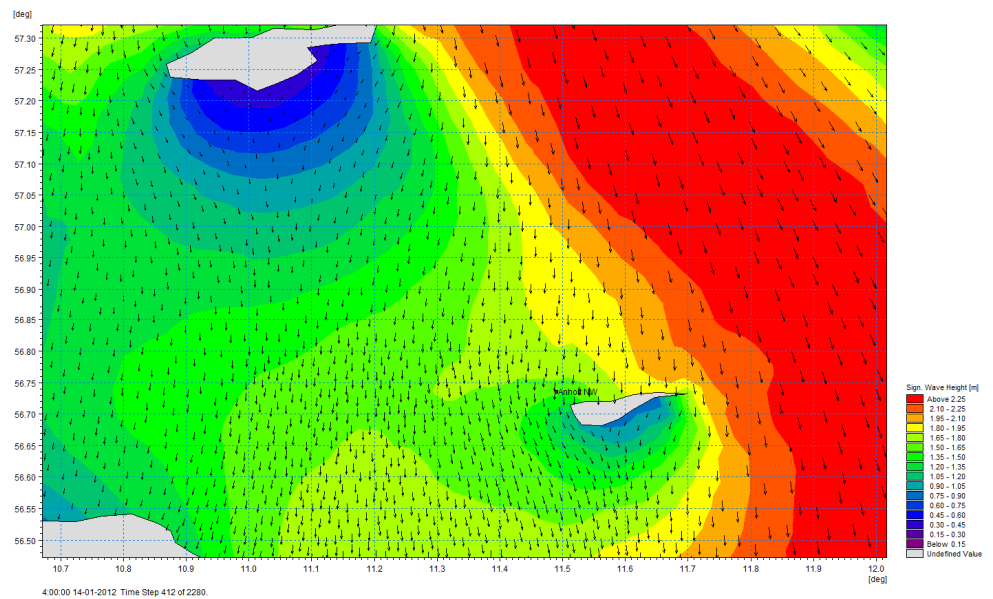
Figur 5-6 Bølgerose for signifikant bølgehøjde, H_s nord for Anholt

Bølgerosen er domineret af bølger fra vestlige retninger. Bølgerne fra syd og syd-vest har mindre betydning ved Nordstrand, da kystens orientering er mod nordvest. De dominerende bølger ved Nordstrand kommer fra vest og nord.

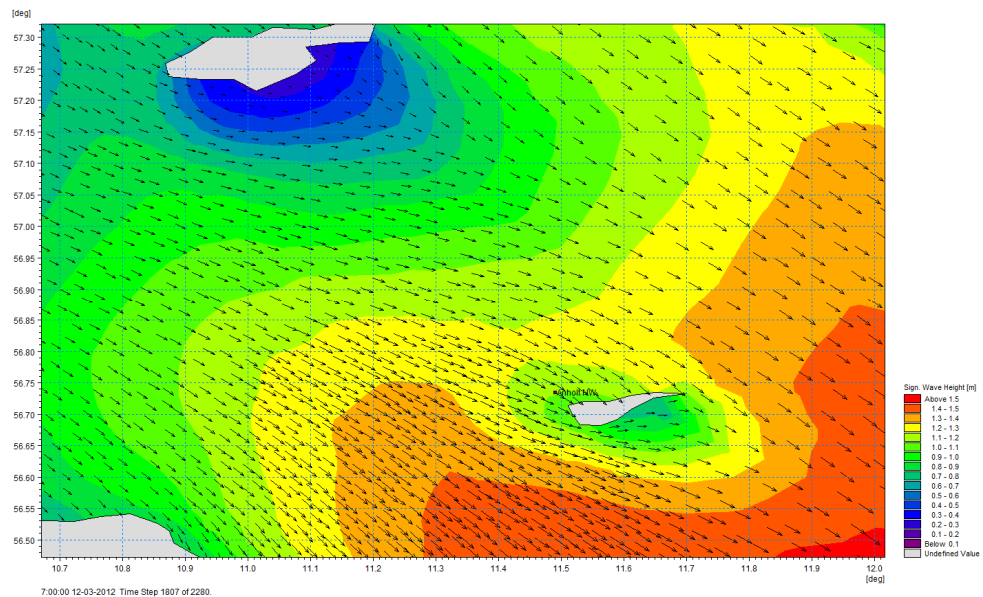
Figur 5-7 til Figur 5-10 viser eksempler på bølgeforholdene nord for Anholt i forbindelse med bølger fra mellem vest og nordøst.



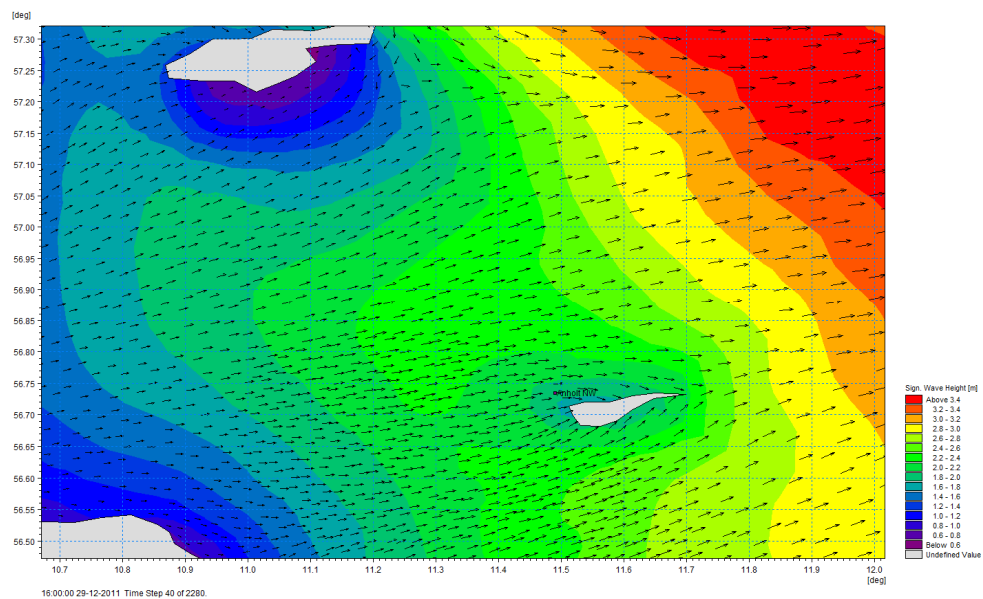
Figur 5-7 Eksempel på bølger fra nordøst



Figur 5-8 Eksempel på bølger fra nord



Figur 5-9 Eksempel på bølger fra nordvest



Figur 5-10 Eksempel på bølger fra vest

5.2 Dimensionsgivende parametre

5.2.1 Projekteringsbasis

Staten anbefaler at klimatilpasningen sker gradvis i årene fremover.

KDI anbefaler desuden, at kystkonstruktioner har en sikkerhed minimum svarende til en 50 års middeltidshændelse.

Det er forholdsvis let at vedligeholde kystbeskyttelses anlægget ved Nordstrand i tilfælde af skader på konstruktionerne, stranden og vejen. Desuden kan anlægget forholdsvis let forstærkes i fremtiden efterhånden som havspejlsstigningen øges udover det forudsatte. Endelig vil stranden øge beskyttelsen af vejen og campingpladsen ud over det forudsatte, da strandens niveau en stor del af tiden er højere end forudsat i beregningerne.

For at holde omkostningerne til kystbeskyttelsen nede, anbefales det, at kystbeskyttelsen ved Nordstrand projekteres på basis af en stormhændelse med en returperiode på 50 år. Derudover anbefales konstruktionerne at have en levetid på 50 år ifølge gældende praksis. Dette giver en sandsynlighed for, at designforudsætningerne overskrides på 63% i de kommende 50 år og der derved kan opstå skader.

Stranden skal vedligeholdelsesfodres med større hyppighed, hvilket er vurderet i afsnit 7.6.

5.2.2 Ekstremvandstand på dybt vand

Ekstremvandstand baseret på KDIs analyse af målt vandstand

KDI har opgivet følgende ekstremvandstandsstatistik for Anholt Havn baseret på data fra perioden 1961 til 1995. Der er ikke længere en vandstandsmåler ved Anholt Havn.

Hændelse	Vandstand	
år MT	m DNN	m DVR90
20	1,46	1,43
50	1,62	1,59
100	1,74	1,71

Tabel 5-2 Vandstandsstatistik for Anholt Havn (1961-1995), KDI

Ekstremvandstandsanalyse baseret på DHIs tidsserie

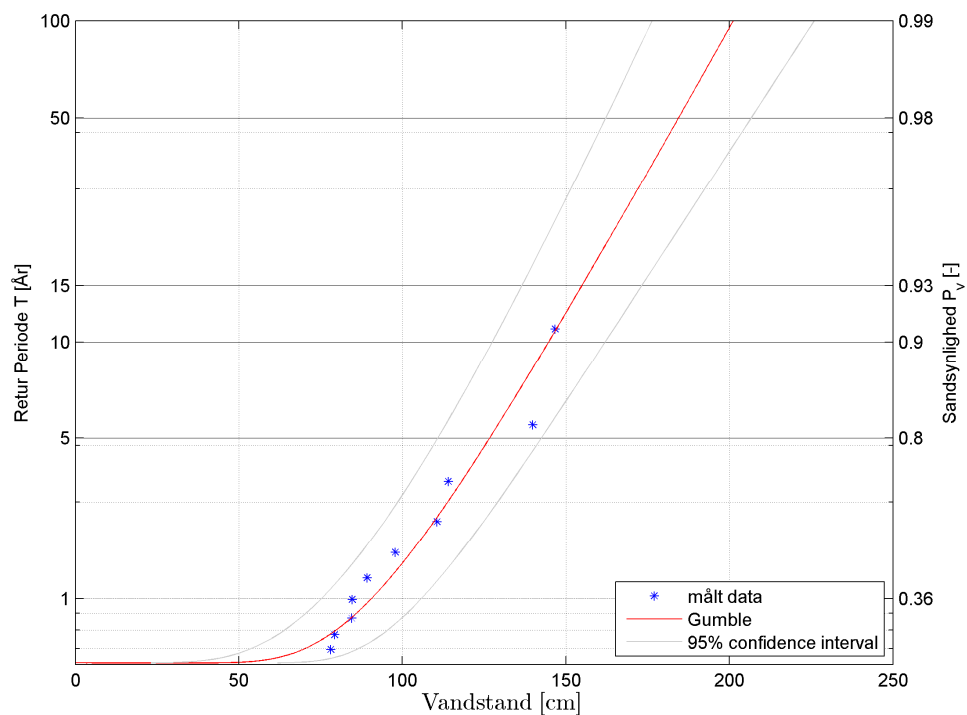
I Figur 5-11 og Figur 5-12 er vist den ekstreme høj- og lavvandstand baseret på den 10 årige tidsserie fra MIKE 21 SW modelleringen. Gumbel fordelingen er anvendt til at udlede de ekstreme vandstande for 1, 50 og 100 års returperiode, se Tabel 5-3. Gumbel fordelingen er anvendt, da den gav den bedste tilnærmelse. Fordelingen er baseret henholdsvis på de årlige maksimums og minimums vandstande.

Retur perioden, T_R , svarende til en sandsynlighed er givet ved

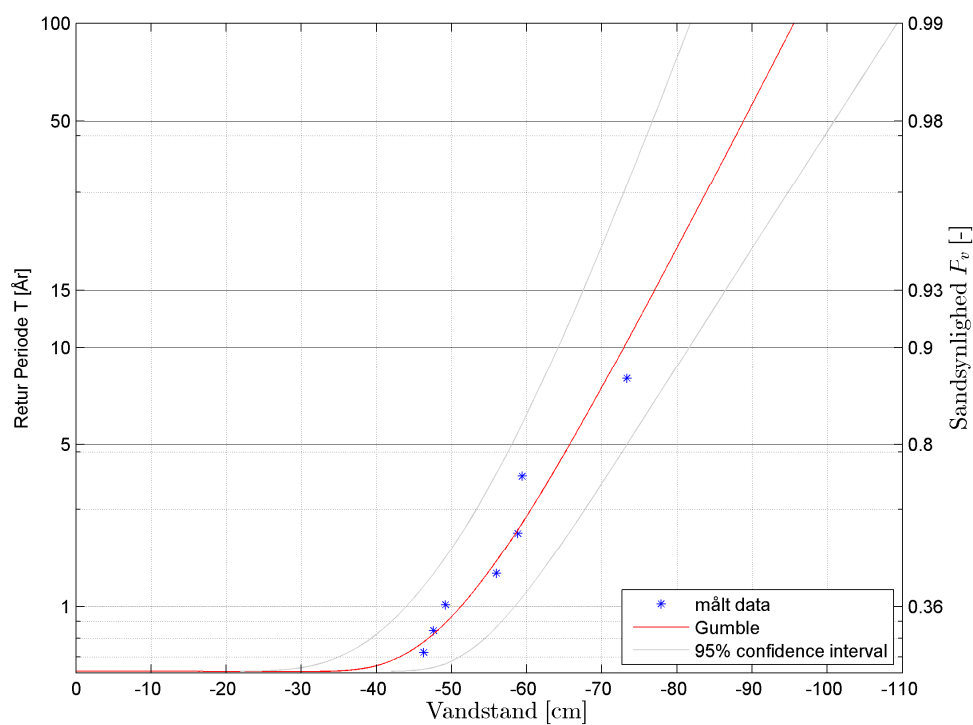
$$P_v(V_{T_R}) = 1 - \frac{1}{T_R}$$

For en Gumbel fordeling anvendes $T_R = 1.58$ i den årlige maksimum fordeling for at få, hvad der svarer til en virkelig 1 års returperiode, Ref. 2.

Tabel 5-3 viser, at ekstremværdierne for den modellerede tidsserie er betydelig højere end værdierne angivet af KDI, Tabel 5-2, Ref. 1.



Figur 5-11 Ekstrem højvande (mMSL)



Figur 5-12 Ekstrem lavvande (m MSL)

Retur periode (år)	1	50	100
Højvande (m MSL)	+0,91	+1,84	+2,01
Lavvande (m MSL)	-0,51	-0,89	-0,96

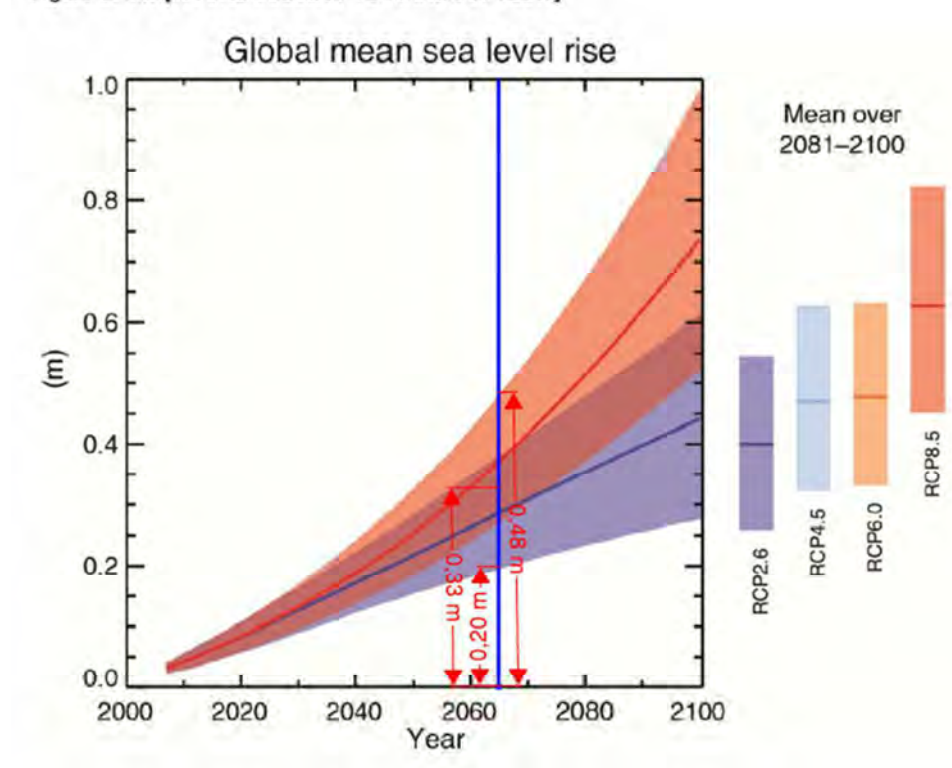
Tabel 5-3 Ekstrem høj- og lavvande ved Anholt (m DVR90)

5.2.3 Havspejlsstigning

Eustatiske havspejlsstigning

Figur 5-13 viser den seneste fremskrivning af den globale havspejlsstigning baseret på IPCCs rapport fra 2013.

Figure SPM.9 [FIGURE SUBJECT TO FINAL COPYEDIT]



Figur 5-13 Fremskrivning af den globale havspejlsstigning, IPCC 2013

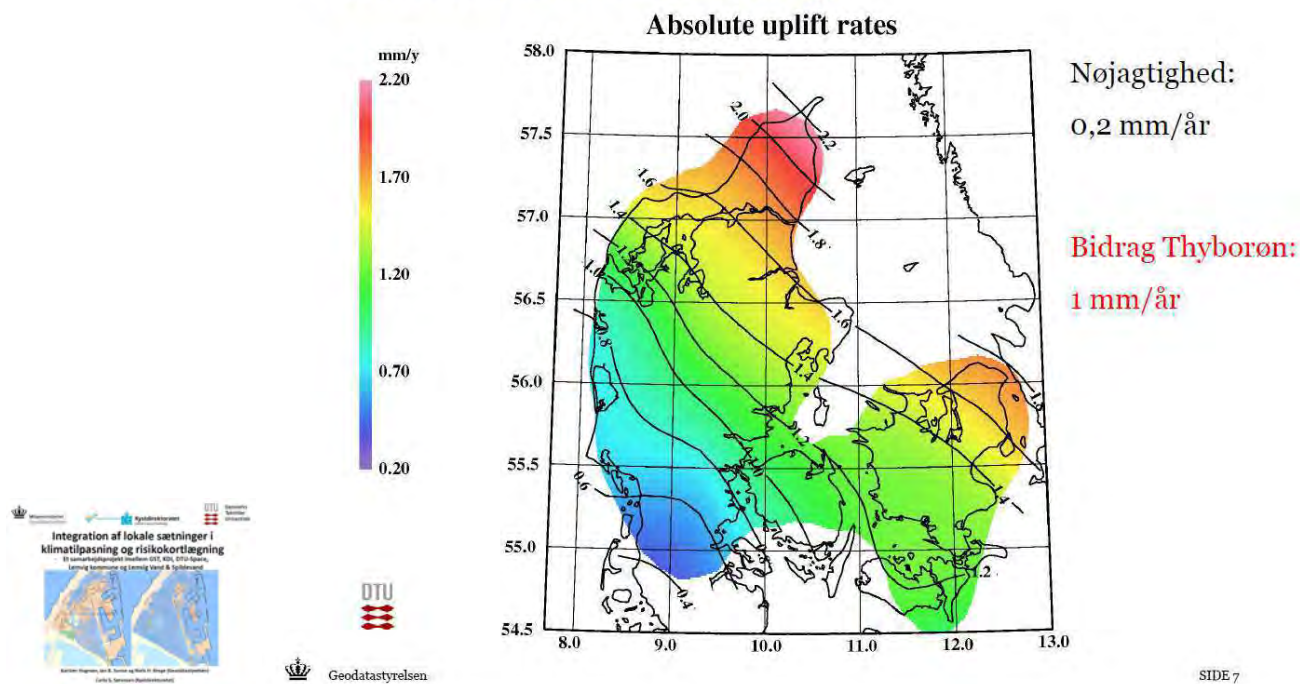
Figuren viser, at den globale havspejlsstigning er i størrelsesordenen 20 til 50 cm om 50 år med et centralt estimat omkring 33 cm.

Isostatisk landhævning

Udover den eustatiske havspejlsstigning har isostatisk landhævning / sætninger også betydning for vandstanden ved Nordstrand fremover.

Figur 5-14 viser et kort med den seneste opgørelse af de relative landændringer i Danmark.

Isostatisk landhævning



Figur 5-14 Kort over isostatisk landhævning i Danmark

Ud fra figuren vurderes den relative landhævning på Anholt at være i størrelsesordenen 1,8 mm/år.

Dette betyder, at den relative landhævning på Anholt er +9 cm om 50 år.

5.2.4 Dimensionsgivende vandstand på dybt vand

Følgende tabel viser en opgørelse af dimensionsgivende vandstand for skråningsbeskyttelse og bølgebrydere på dybt vand ud for Nordstrand for en 50 års stormhændelse som indtræffer om 50 år, som forudsat i designgrundlaget.

Dimensionsgivende vandstand på dybt vand	KDI statistik	Analyse af DHIs data
Ekstremvandstand, m DVR90	+1,59	+1,84
Global havspejlsstigning, IPCC	+0,33	+0,33
Landhævning, GST, KDI DTU-space	-0,09	-0,09
Dimensionsgivende vandstand, m DVR90	+1,83	+2,08

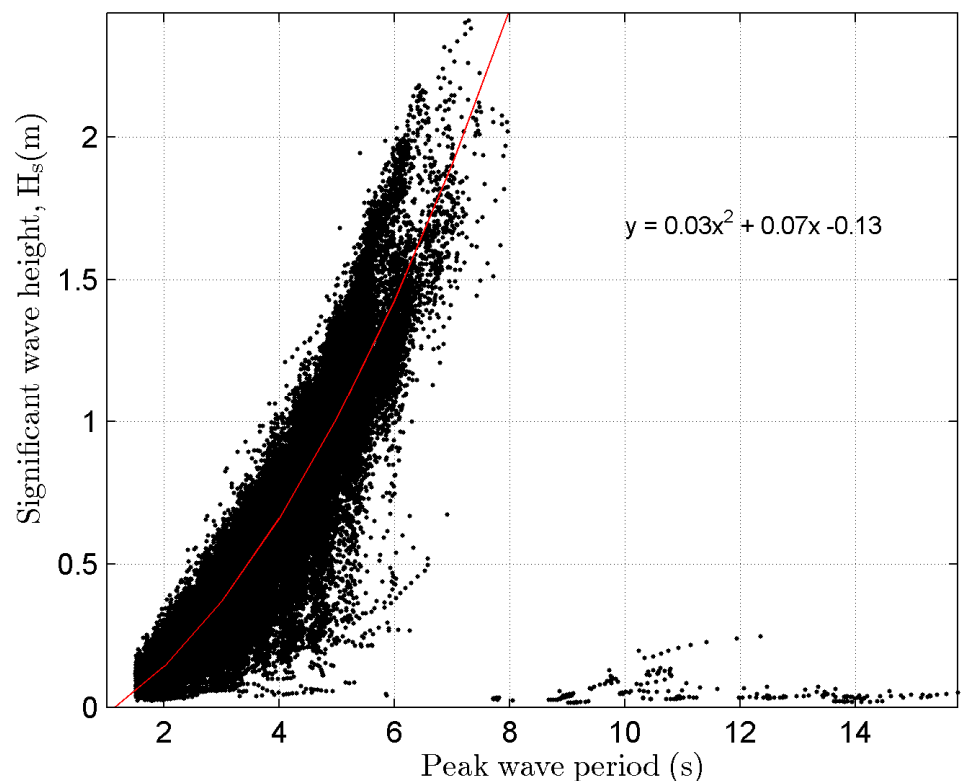
Tabel 5-4 Dimensionsgivende vandstand med retur periode på 50 år i år 2065 på dybt vand ud for Nordstrand

I forbindelse med projekteringen af kystbeskyttelsen på Nordstrand benyttes analysen af DHI tidsserie som udgangspunkt, da den bygger på de nyeste data og ikke er påvirket af landhævninger, som det er tilfældet for de målte vandstande fra Anholt Havn. Det er desuden konservativt at benytte den højeste af de to estimerede ekstreme vandstande i projekteringen af kystbeskyttelsen.

For at kunne bestemme de lokale parametre ved konstruktionerne er der foretaget en modellering af transformationen af bølger og ændringer af vandstanden ind over kystprofilen med LITPACK, se afsnit 5.5.

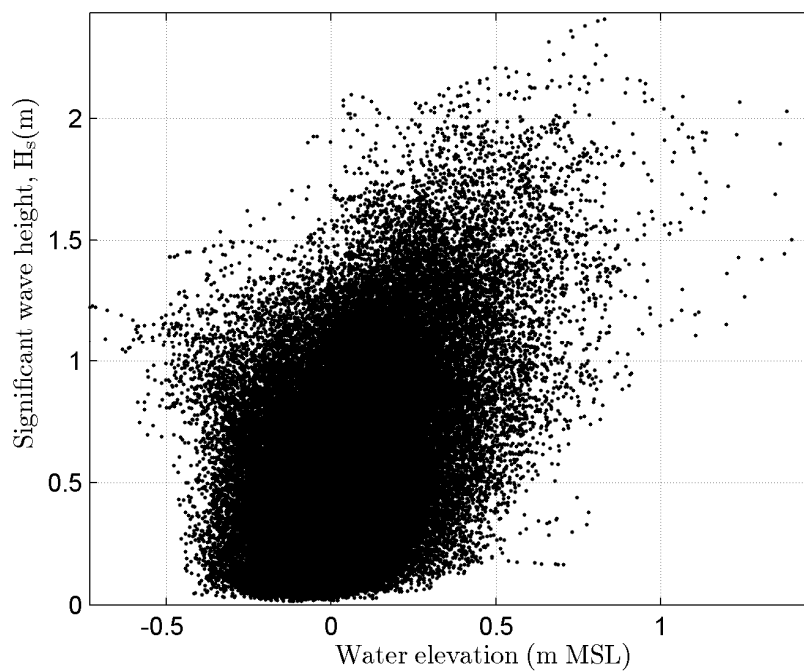
5.2.5 Bølgeforhold på dybt vand

Figur 5-15 viser korrelationen mellem den signifikante bølgehøjde og peak bølgeperioden baseret på bølgetidsserien fra DHI. Bølgeforholdene er domineret af lokale vindforhold. Der er kun forholdsvis små dønninger i farvandet ved Anholt, som typisk har lang bølgeperiode i forhold til bølgehøjde.



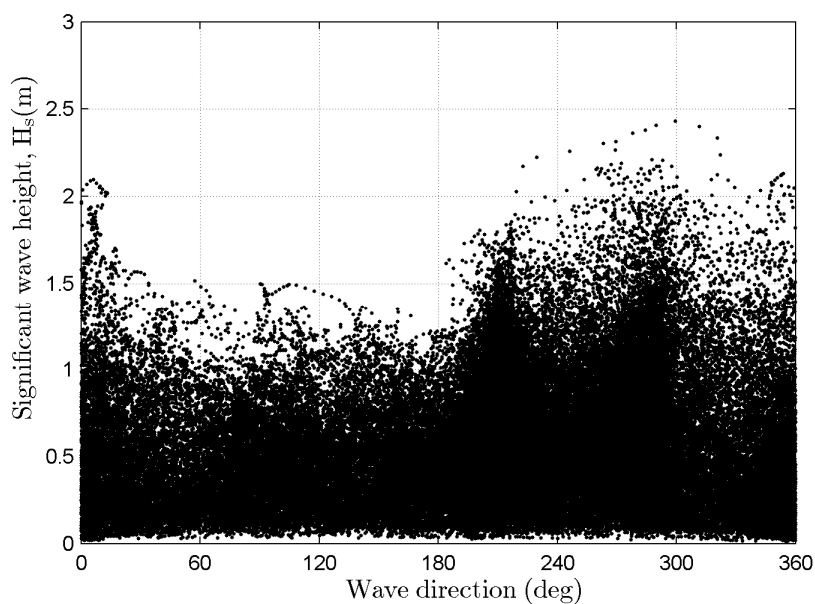
Figur 5-15 Korrelation mellem bølgehøjde, H_s , og bølgeperiode, T_p
Dønningerne er ikke medregnet i tendenslinjen

Figur 5-16 viser korrelationen mellem signifikante bølgehøjde og vandstand. På trods af store spredning i dataene, viser figuren, at der er en sammenhæng, og de største bølger forekommer i forbindelse med de højeste vandstande.



Figur 5-16 Relation mellem bølgehøjde, H_s , og vandstand

Figur 5-17 viser relationen mellem bølgehøjde, H_s , og bølgeretning, MWD. Figuren viser, at de største bølger kommer fra retninger mellem sydvest og nord. Den største observerede bølgehændelse er fra 300 grader nord, hvilket har en lille indfaldsvinkel på i størrelsesorden 25 grader i forhold til Nordstrand og således har stor påvirkning af kysten, da sådanne hændelser typisk sker i forbindelse med højvande, jf. Figur 5-16.



Figur 5-17 Korrelation mellem bølgehøjde, H_s , og bølgeretning, MWD

Baseret på Figur 5-15, Figur 5-16 og Figur 5-17 vurderes det, at der er sammenfald mellem ekstreme bølgeforhold og vandstandsforhold i forhold til den maksimale påvirkning af kysten ved Nordstrand, hvilket skal tages i regning i forbindelse med projekteringen af kystbeskyttelses anlægget.

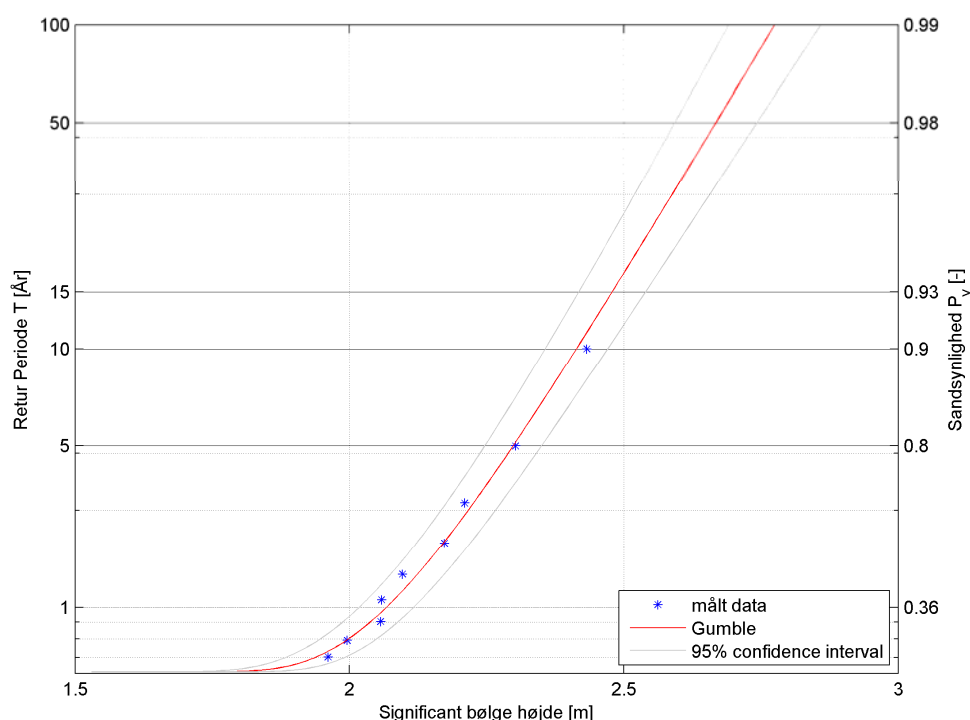
5.2.6 Ekstrembølger nord for Anholt

Ekstreme bølgehøjder for 1, 50 og 100 års returperioder er udledt fra ekstremanalyse af den 10 årige modellerede tidsserie. Gumbel fordelingen er anvendt til at udlede ekstremværdierne for returperioderne, da den gav den bedste tilnærmelse, se Figur 5-18. Fordelingen er baseret på de årlige maksimumsværdier. I Tabel 5-5 er listet de ekstreme bølgehøjder for de tre returperioder fordelt på retninger.

Retur perioden, T_R , svarende til en sandsynlighed er givet ved

$$P_v(H_{s,T_R}) = 1 - \frac{1}{T_R}$$

For en Gumble fordeling anvendes $T_R = 1.58$ i den årlige maksimumfordeling for at få, hvad der svarer til en virkelig 1 års retur periode, Ref. 2.



Hs (m)	Retur periode (år)		
Bølgeretning	1	50	100
Alle	2,1	2,7	2,8
N	1,8	2,2	2,3
NNØ	1,5	2,4	2,6
NØ	1,3	1,6	1,7
ØNØ	1,2	1,6	1,7
Ø	1,2	1,5	1,6
ØSØ	1,1	1,7	1,9
SØ	1,2	1,5	1,6
SSØ	1,1	1,6	1,7
S	1,2	1,8	2,0
SSV	1,7	1,9	2,0
SV	1,8	2,4	2,5
VSV	1,8	2,5	2,6
V	2,0	2,7	2,8
VNV	2,0	2,7	2,8
NV	1,8	2,7	2,8
NNV	1,7	2,2	2,3

Tabel 5-5 Retningsfordelt ekstrem signifikant bølgehøjde baseret på 10 årig modelleret tidsserie

Bølgeperioder tilhørende de signifikante bølgehøjder i Tabel 5-5 er listet i Tabel 5-6. Bølgeperioderne er udledt efter tendenslinjen i Figur 5-15.

Tp (s)	Retur periode (år)		
Bølgeretning	1	50	100
Alle	7,4	8,4	8,6
N	6,8	7,6	7,7
NNØ	6,2	7,9	8,3
NØ	5,7	6,4	6,6
ØNØ	5,5	6,4	6,6
Ø	5,5	6,2	6,4
ØSØ	5,2	6,6	7,0
SØ	5,5	6,2	6,4
SSØ	5,2	6,4	6,6
S	5,5	6,8	7,2
SSV	6,6	7,0	7,2
SV	6,8	7,9	8,1
VSV	6,8	8,1	8,3
V	7,2	8,4	8,6
VNV	7,2	8,4	8,6
NV	6,8	8,4	8,6
NNV	6,6	7,6	7,7

Tabel 5-6 Retningsfordelt ekstrembølgeperiode baseret på 10 årig modelleret tidsserie

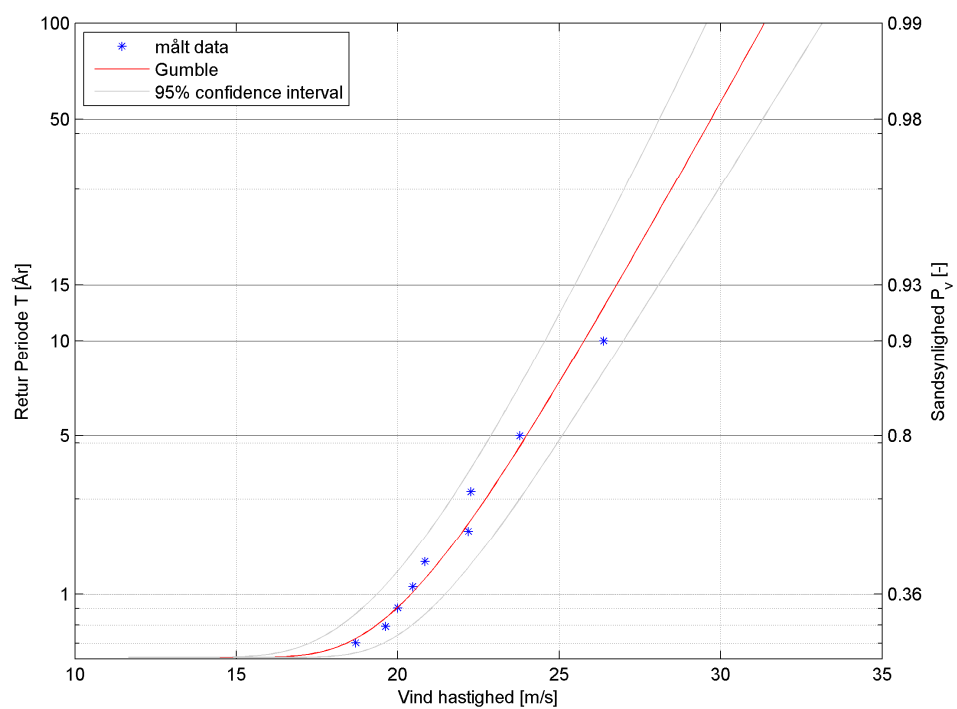
5.2.7 Ekstrem vind

I Figur 5-19 er ekstremværdierne for vindhastighed vist. Gumbel fordelingen er anvendt til at udlede ekstremværdierne for returperioderne, da den gav den bedste tilnærmelse. Fordelingen er baseret på de årlige maksimumsværdier af den modellerede tidsserie. I Tabel 5-5 er listet de ekstreme vindhastigheder for de tre returperioder fordelt på retninger.

Retur perioden, T_R , svarende til en sandsynlighed er givet ved

$$P_v(W_{T_R}) = 1 - \frac{1}{T_R}$$

For en Gumbel fordeling anvendes $T_R = 1.58$ i den årlige maksimumfordeling for at få, hvad der svarer til en virkelig 1 års returperiode, ref. 2.



Figur 5-19 Ekstrem analyse for vindhastighed baseret på 10 årig modelleret tidsserie

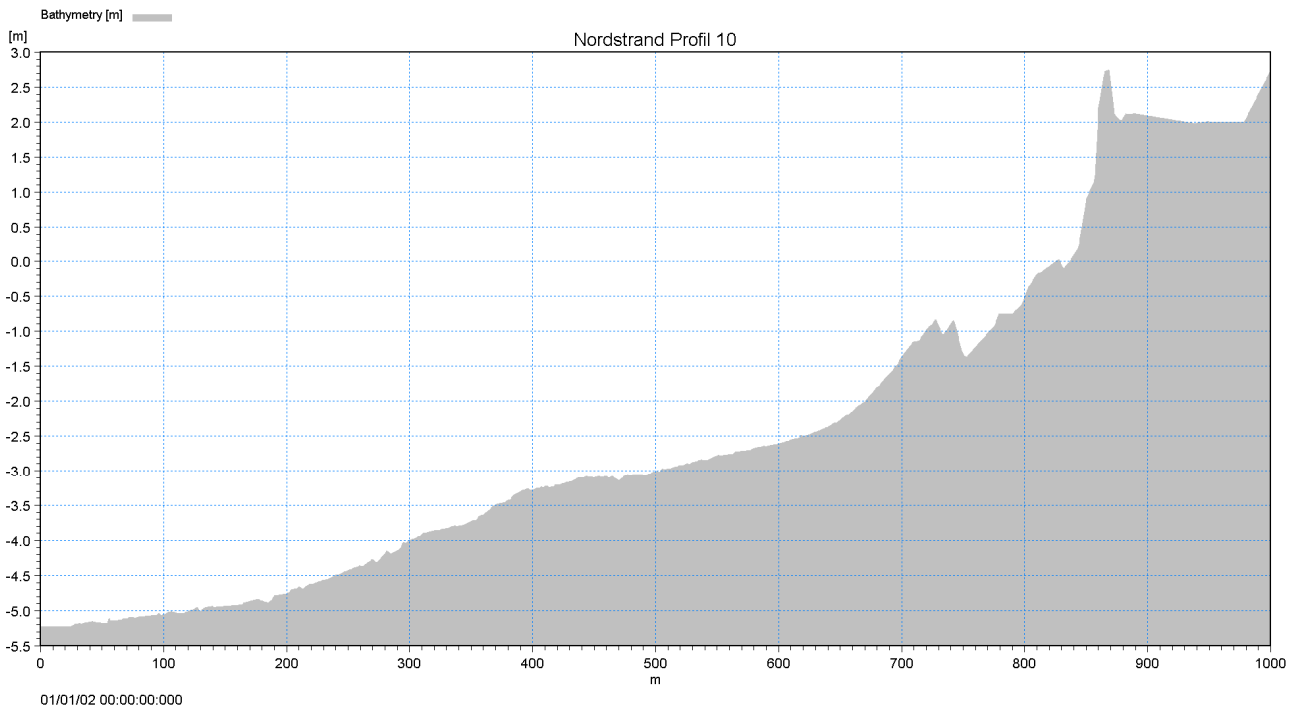
Vind hastighed (m/s)	Retur periode (år)		
Vindretning	1	50	100
Alle	20,4	29,7	31,5
N	14,1	25,4	27,4
NNØ	13,5	21,8	23,3
NØ	13,2	18,9	19,9
ØNØ	13,5	17,0	17,3
Ø	13,1	15,8	16,0
ØSØ	14,0	21,7	23,1
SØ	14,7	19,2	20,0
SSØ	14,7	23,1	24,6
S	16,5	23,7	25,0
SSV	17,0	23,2	24,3
SV	18,0	26,3	27,8
VSV	18,4	29,6	31,4
V	19,6	29,7	31,5
VNV	18,6	29,5	31,4
NV	17,2	26,6	28,3
NNV	14,4	22,3	23,8

Tabel 5-7 Retningsfordelt ekstrem vindhastighed baseret på 10 årig modelleret tidsserie

5.3 Sedimenttransport

For at kunne vurdere stabiliteten af stranden, beregnes sedimenttransporten langs kysten. LITDRIFT er anvendt til at modellere den årlige kystparallelle sedimenttransportkapacitet i brydningszonen ved Nordstrand for forskellige orienteringer af stranden. LITDRIFT er en del af LITPACK softwarepakken udviklet af DHI. LITPACK indeholder en række moduler til modellering af hydrodynamik og sedimenttransport i bølgebrydningszonen.

Sedimenttransporten er beregnet på baggrund af det indkøbte bølgeklima fra DHI og det aktuelle kystprofil, Profil 10, se Figur 5-20.



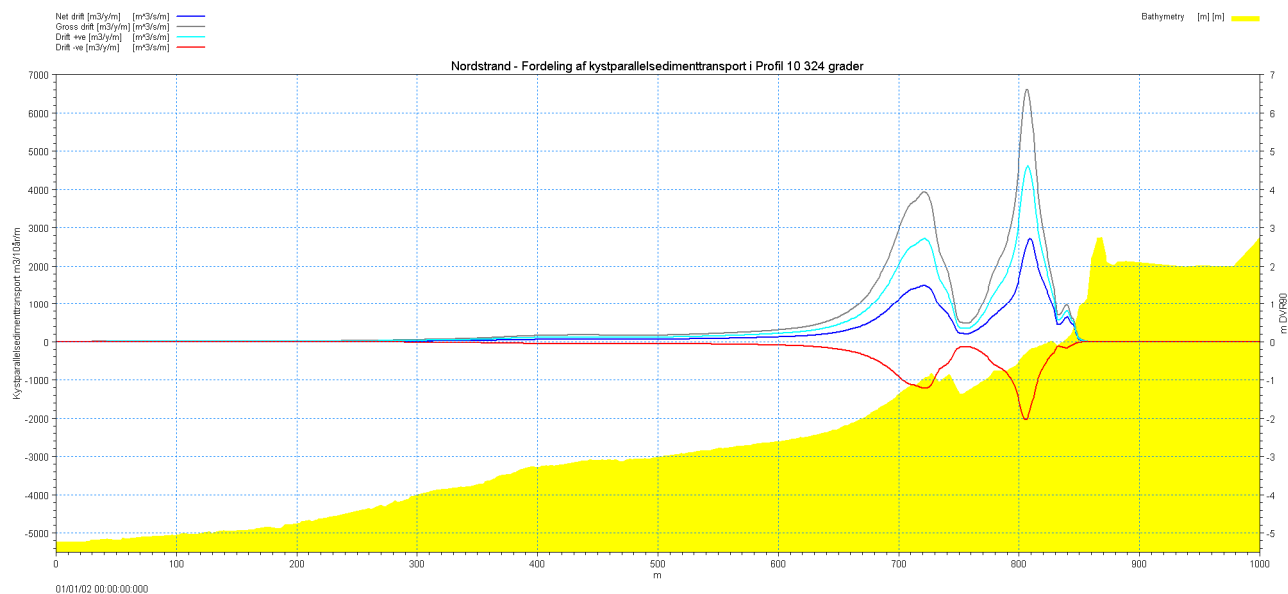
Figur 5-20 Nordstrand Profil 10

Der foreligger ingen informationer vedrørende kornstørrelsesfordelingen af sandet ude i kystprofilen ved Nordstrand, men luftfotoene af strækningen indikerer, at der er sand på bunden ved revlen og på lavt vand foran stranden, hvor sedimenttransporten erfaringsmæssigt er størst.

Sedimenttransportmodellen er sat op på baggrund af en antagelse om, at havbunden er dækket af sand med en middelhkornstørrelse på $d_{50}=0,35\text{mm}$, som svarer til den kornstørrelse, der specificeres for fodringssandet langs den nye fremskudte strand. Orienteringerne af det modellerede kystprofil er som udgangspunkt 324 grader nord svarende til den aktuelle kystorientering centralt ved Nordstrand.

På basis af den opstillede model vurderes de modellerede sedimenttransportrater at være i den høje ende, da områder med ral og sten vil reducere den faktiske transport.

Figur 5-21 viser, hvorledes den kystparallelle sedimenttransport fordeler sig over det aktuelle kystprofil ved Nordstrand.



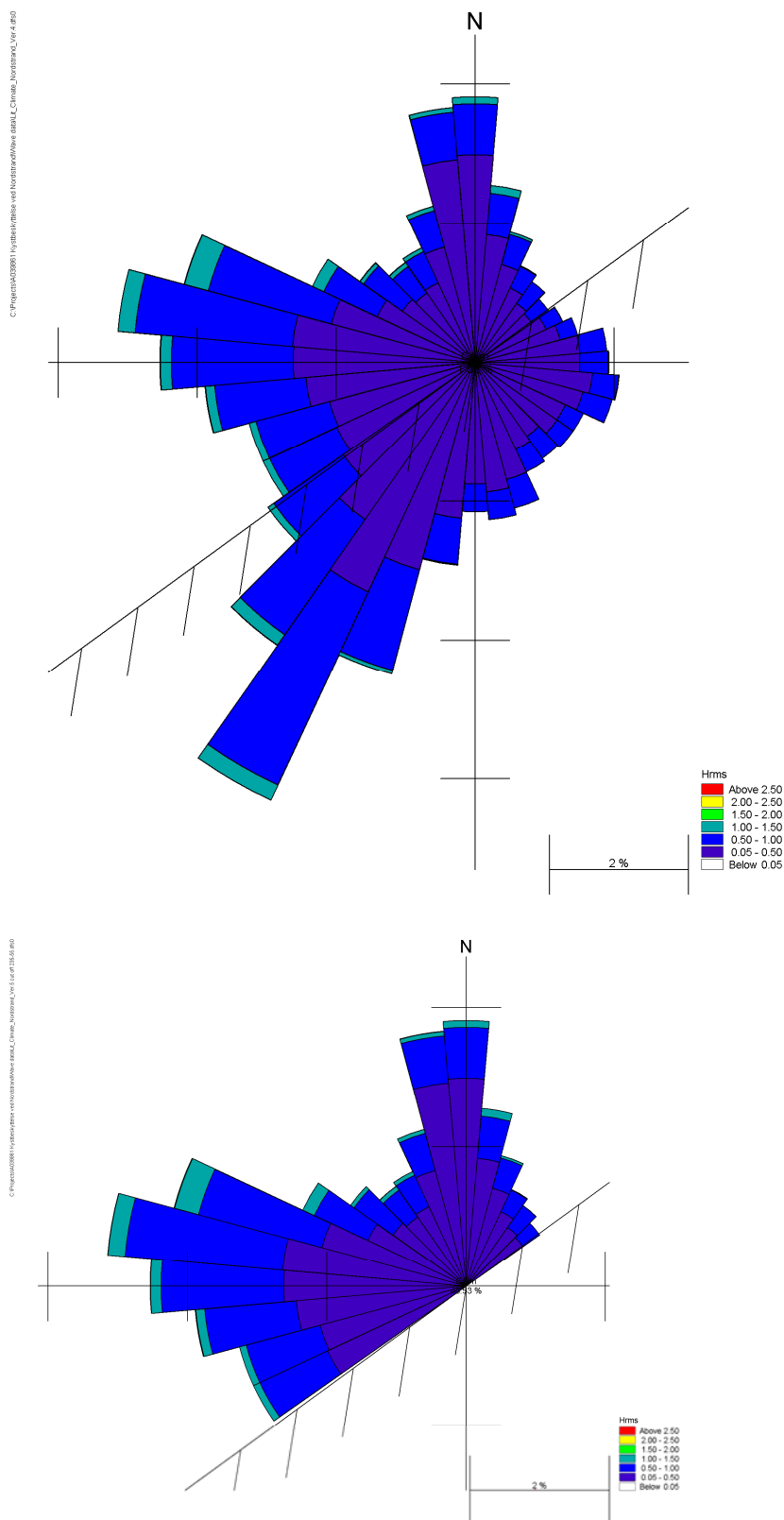
Figur 5-21 Fordeling af modelleret kystparallel sedimenttransportkapacitet ved Nordstrand. Profil 10 med aktuell kystorientering på 324 grader nord

Den samlede nettosedimenttransport langs kysten ved Nordstrand er modelleret til at være i størrelsesorden $20.000\text{m}^3/\text{år}$ mod nordøst for den aktuelle kystorientering på 324 grader nord. Bruttosedimenttransporten er modelleret til at være i størrelsesorden $50.000\text{m}^3/\text{år}$.

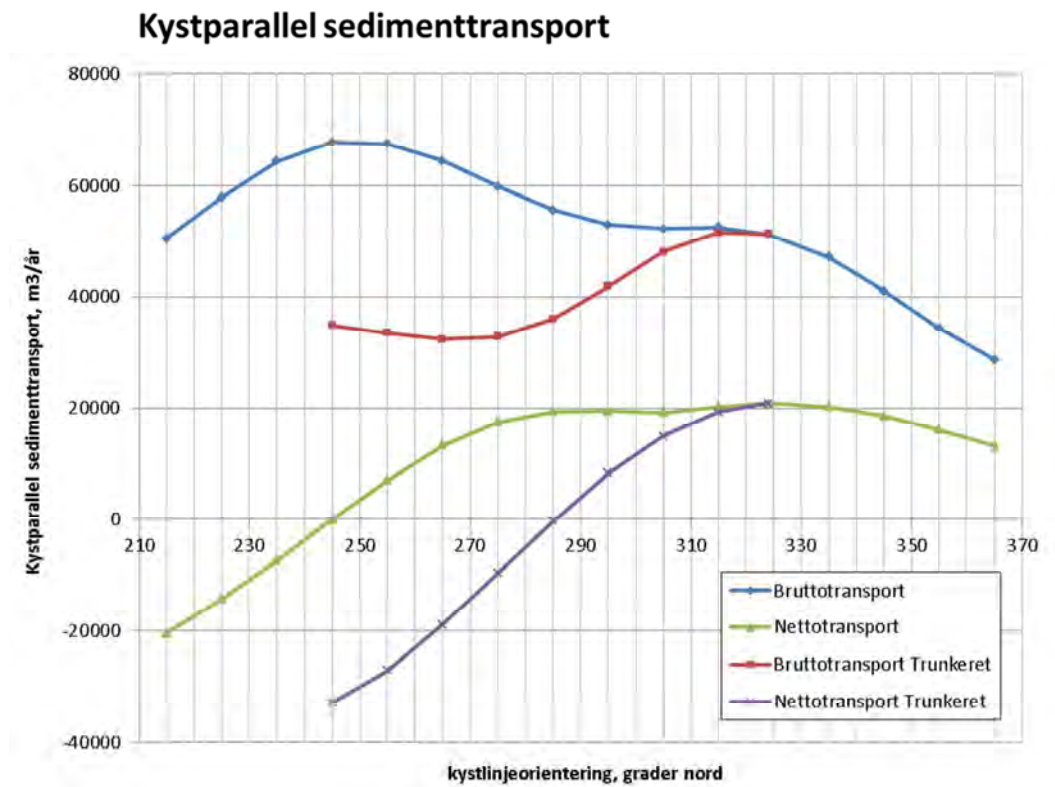
Generelt er der stor bruttotransport i forhold til nettotransport ud for Nordstrand. Dette skyldes, at bølgeklimate har en komponent fra vest og nord, som betyder, at sedimenttransporten går begge veje.

For at beregne den stabile orientering af kysten ved Nordstrand, er den kystparallelle sedimenttransport modelleret for en række forskellige kystorienteringer. Den stabile kystlinjeorientering kan efterfølgende bestemmes ud fra Figur 5-23, som den orientering, der giver en gennemsnitlig kystparallel nettosedimenttransport på 0.

Der er foretaget en modellering af den stabile kystorientering for to forskellige bølgeklimate. I første omgang blev den fulde bølgetidsserie modelleret. Den stabile kystorientering er dog hermed bestemt til 235 grader, hvilket er vinkelret på den nuværende strand. Dette resultat er ikke realistisk, da bølger fra sydvestlige retninger ikke vil kunne dreje rundt om havnen og derved give det meget skrå bølgeindfald. I stedet er bølgeklimate tilpasset således, at bølger som ikke har en komponent på den eksisterende kystlinje sorteres fra, dvs. bølger med en indfaldsvinkel på mere end 90 grader i forhold til den nuværende kystlinje. Dette er også en konservativ modellering, da havnen blokerer for bølger op til 245 grader nord. De meget skået indfaldende bølger har dog en mindre indflydelse på den stabile kystorientering og denne metode vurderes derfor at give et fornuftigt resultat i forhold til at kunne projekttere bølgebryderne ved Nordstrand.



Figur 5-22 Originalt og modificeret (trunkeret) bølgeklima ud for Nordstrand

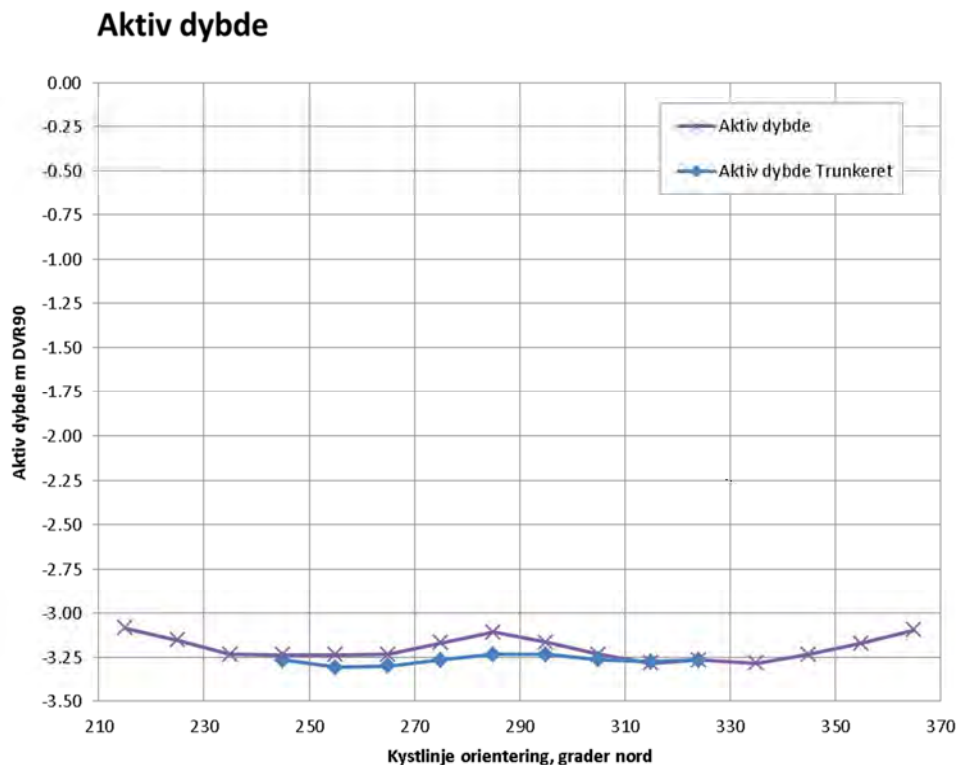


Figur 5-23 Modelleret kystparallel sedimenttransportkapacitet, som funktion af kystorienteringen

Den stabile kystorientering er bestemt til 245 grader nord ved Nordstrand for den fulde bølgetidsserie og 285 grader nord for den trunkerede tidsserie, se Figur 5-23.

Ved at sammenholde den modellerede stabile kystorientering med den aktuelle kystorientering kan den karakteristiske bølgeindfaldsvinkel bestemmes til 79 grader for den originale bølgetidsserie og 39 grader for den trunkerede tidsserie.

Figur 5-24 viser, at den kystparallelle sedimenttransport primært foregår ned til omkring -3,3m. Dette er den aktive dybde og beregnes, som den dybde, hvor 97,5% af den bølgegenererede kystparallelle bruttotransport foregår indenfor.



Figur 5-24 Modelleret aktiv dybde som funktion af kystorienteringen

5.4 Vurdering af fremtidig form af stranden

MEPBAY programmet er benyttet til at modellere formen af bugterne mellem de foreslåede bølgebrydere. Dette er baseret på den karakteristiske bølgeindfaldsvinkel, som antages at være gældende i den østlige 1/3 af bugterne mellem konstruktionerne, hvor de skråt indfaldne bølger løber mere direkte ind, se Figur 5-25. Der er cirka 1 m dybt ved konstruktionerne og den nye strand er derfor trukket 20 til 25 m tilbage fra enderne af konstruktionerne for at opfylde ligevægtsprofilen for sand med en kornstørrelse på omkring $d_{50}=0,35\text{ mm}$. Dette sikrer, at der ikke er for store mængder sand, som forsvinder udenom konstruktionerne.

Den beregnede bølgeindfaldsvinkel vurderes at være konservativ forstået på den måde, at bølgerne refrakteres inden de når ind til bølgebryderne. Derfor bliver bugterne mellem konstruktionerne sandsynligvis lidt mindre dybe end beregnet med MEPBAY. Analysen af den fremtidige form af stranden skal forstås som et øjebliksbillede og der vil være en naturlig variation i strandens form over tid og sted afhængigt af de aktuelle storme, og deres retning samt bølge- og vandstandsforhold mm.

For at kunne tage højde for den naturlige og løbende tilpasning af formen af bugterne mellem konstruktionerne er stranden rykket lidt ud i forhold til de modellerede former for at skabe en naturlig buffer.



Figur 5-25 Estimering af formen af bugterne mellem de foreslående bølgebrydere ved Nordstrand

5.5 Strandprofil

5.5.1 Udvikling af kystprofil og kystnære ekstrembølger

Kystprofilet ud for den aktuelle strækning er relativt lavvandet. De høje bølger bryder derfor på vejen ind mod land. Samtidig stiger vandstanden som følge af vindstuvning og bølge-setup. Desuden påvirkes kystprofilet af stormhændelser og bunden tilpasses de aktuelle bølge- og vandstandsforhold. Den dimensionsgivende bølgehøjde er derfor bestemt af dybden foran konstruktionerne i forbindelse med stormhændelser.

LITPROF er benyttet til at modellere udviklingen af kystprofilet og bølgeforholdene foran konstruktionerne i forbindelse med den dimensionsgivende stormhændelse. LITPROF er en del af LITPACK softwarepakken udviklet af DHI. LITPACK indeholder en række moduler til modellering af hydrodynamik og sedimenttransport i bølgebrydningszonen.

Der er opstillet 4 scenarier for storme, for at kunne bestemme dimensionsgivende bølgeforhold og vandstand, samt den maksimale dybde i profilet foran konstruktionerne. Tabel 4-1 viser en oversigt over de kritiske bølgeforhold, som modelleres med LITPROF for at kunne bestemme de lokale designparametre for kystbeskyttelses anlægget ved Nordstrand. De enkelte storme antages at vare i 24 timer, hvor vandstanden stiger fra 0 op til maksimum 12 timer senere og herefter tilbage til 0. Inputbølgerne holdes konstant i de 24 timer.

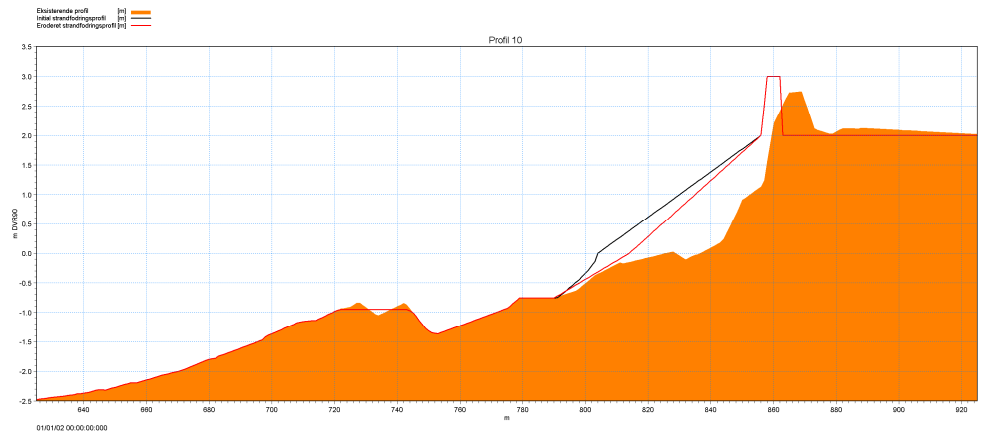
Vind og bølgeretning	VNV 292,5 grader	NV 315 grader
Retur Periode	50 år	50 år
Bølgehøjde, Hs m	2,7	2,7
Bølgehøjde, Hrms m	1,9	1,9
Peak bølgeperiode Tp, s	8,4	8,4
Vindhastighed, m/s	29,5	26,6
Vandstand, m DVR90 Retur periode 50 år i år 2065	+2,08	+2,08
Vandstand, m DVR90 Retur periode 1 år i 2015	+0,91	+0,91

*Tabel 5-8 Dimensionsgivende stormhændelser med returperiode på
50 år i år 2015 og 2065*

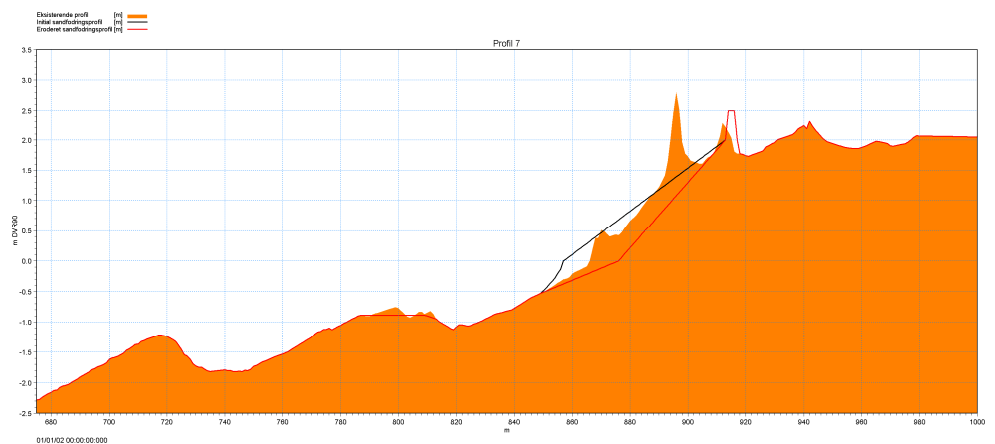
LITPROF er generelt sat op på samme måde som LITDRIFT beskrevet i det foregående.

Profil 7 og 10 er benyttet som udgangspunkt for modellering med LITPROF, se Figur 5-26 og Figur 5-27. De modellerede kystprofiler er dog tilrettet således, at de illustrerer den variation, der er i kystlinjens beliggenhed, som er bestemt ud fra MEPBAY i det foregående.

Der er tale om forenklede scenarier, som skal illustrere den værst tænkelige situation i de kommende 50 år, som konstruktionerne dimensioneres ud fra. I realiteten vil der være klitter foran og over konstruktionerne, som vil øge beskyttelsen i forhold til det modellerede kystprofil. Desuden er stranden bredere på størstedelen af strækningen.



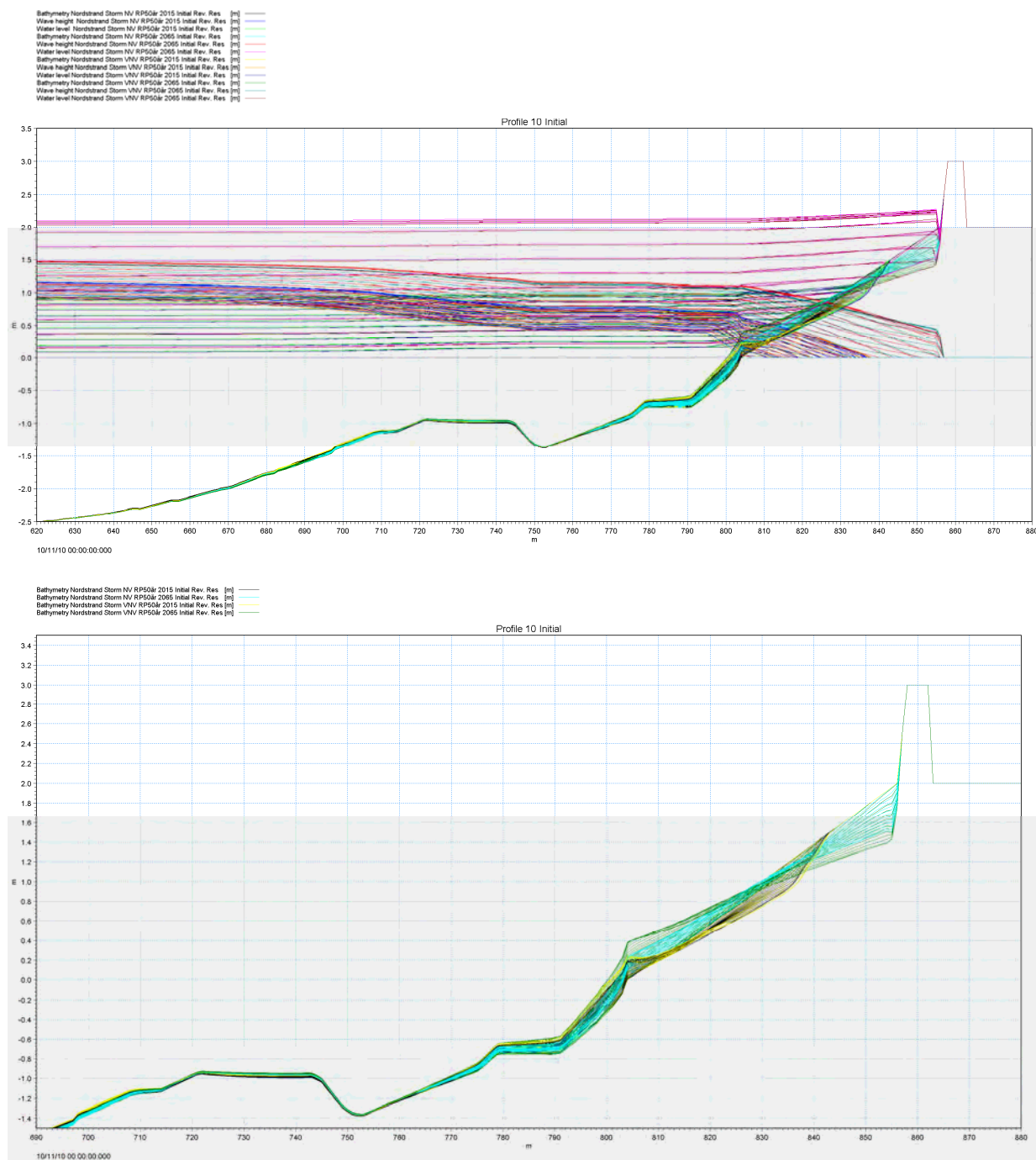
Figur 5-26 Nordstrand Profil 10 initial sandfodringsprofil og eroderet sandfodringsprofil sammenlignet med eksisterende kystprofil



Figur 5-27 Nordstrand Profil 7, initial sandfodringsprofil og eroderet sandfodringsprofil sammenlignet med eksisterende kystprofil

Figur 5-28 til Figur 5-31 viser udviklingen i kystprofilet i løbet af stormene samt variationen af bølgeforskel og vandstand ind over profilet og foran skråningsbeskyttelserne.

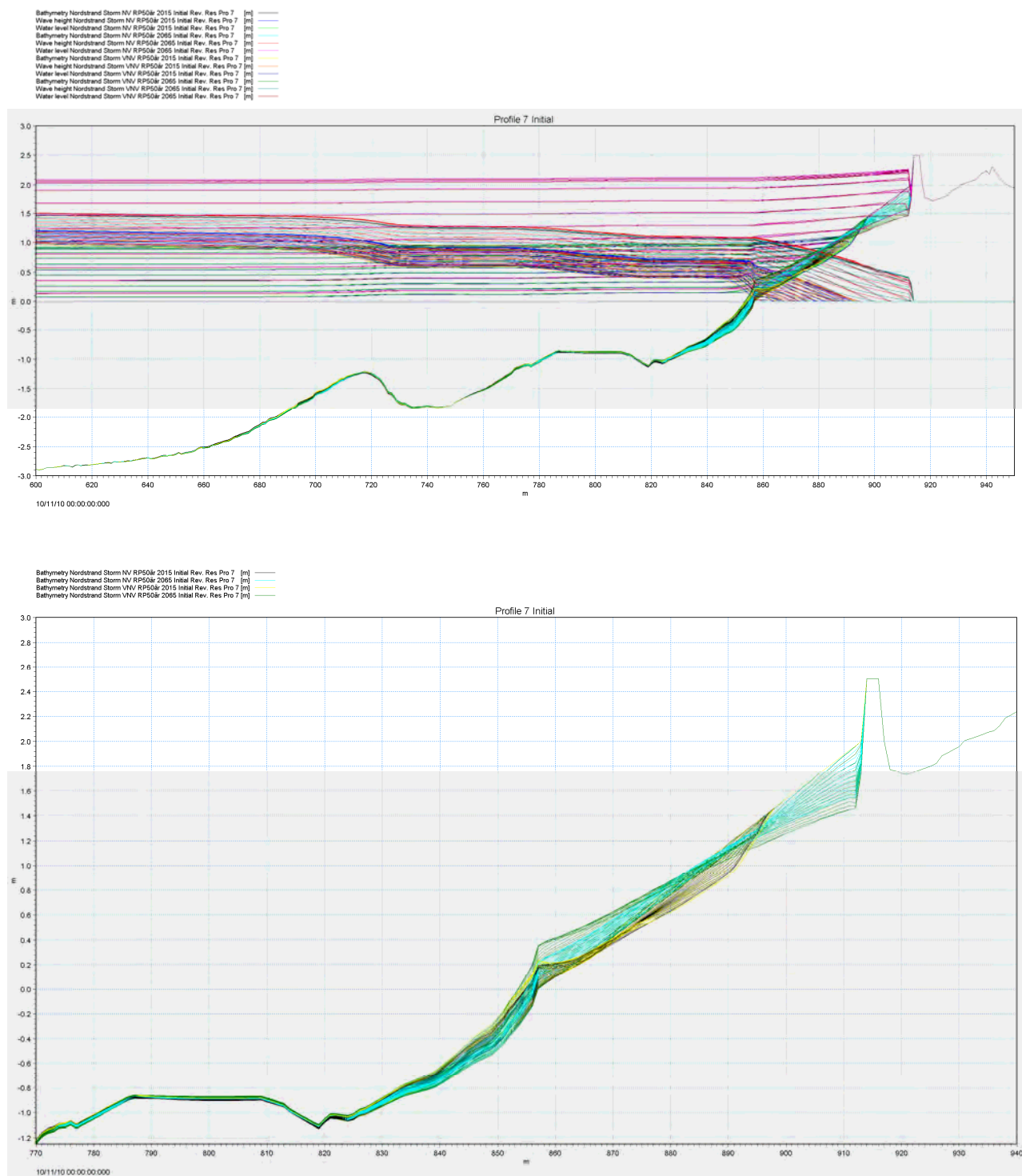
Kurverne er vist oven på hinanden for let at kunne bestemme maksimum i bølgehøjde og vandstand, samt det laveste strandniveau foran konstruktionerne. Disse parametre er benyttet til dimensionering af skråningsbeskyttelsen langs vejen og strandvolden ved campingpladsen samt bølgebryderne og høfden.



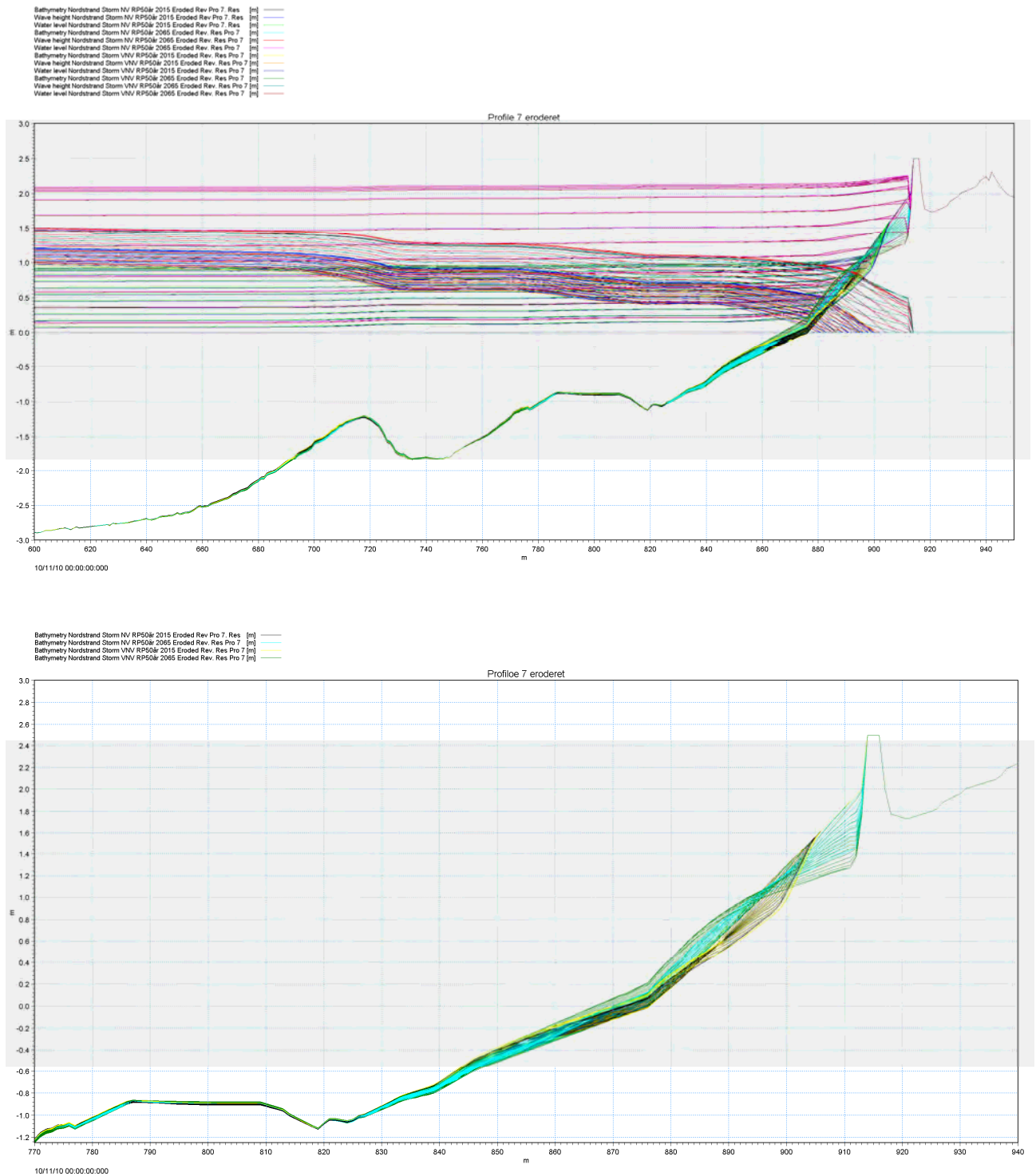
Figur 5-28 Nordstrand Profil 10, udvikling af initial sandfodringsprofil som følge af dimensionsgivende stormhændelse, samt bølge og vandstandsforhold



Figur 5-29 Nordstrand Profil 10, udvikling af eroderet sandfodringsprofil som følge af dimensionsgivende stormhændelse, samt bølge og vandstandsforhold



Figur 5-30 Nordstrand Profil 7, udvikling af initial sandfodringsprofil som følge af dimensionsgivende stormhændelse, samt bølge og vandstandsforhold



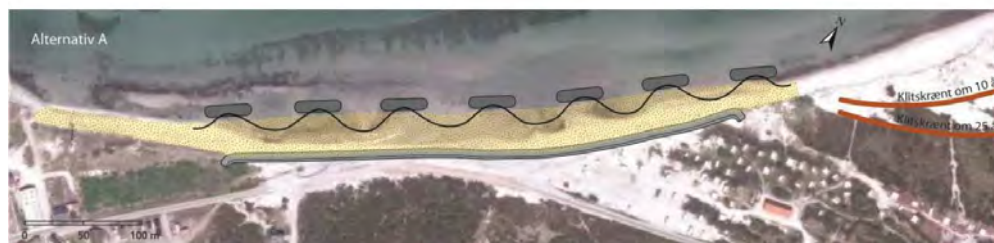
Figur 5-31 Nordstrand Profil 7, udvikling af eroderet sandfodringsprofil som følge af dimensionsgivende stormhændelse, samt bølge og vandstandsforhold

6 Konceptstudie

6.1 KDIs skitseprojekt

Kystdirektoratet har udarbejdet et skitseprojekt for kystbeskyttelsen ved Nordstrand, som er benyttet som beslutningsgrundlag for Kommunen, Ref. 1.

COWI er af Kommunen blevet bedt om at tage udgangspunkt i Scenarie 1, Alternativ A, som beskrevet i Kystdirektoratets notat, se Figur 6-1, Tabel 6-1 og Tabel 6-2, Ref. 1. For yderligere beskrivelse af KDIs skitseprojekt henvises til Ref. 1.



Figur 6-1 Skitseforslag Scenarie 1 Alternativ A, KDI, Ref. 1

Alternativer	Beskyttelse af vej og campingplads			
	Skrånings- beskyttelse	Bølge- brydere	Fodring	
			Initial	Vedligeh.
	m	stk	m3	m3/år
A	410	7	31.000	8.000

Tabel 6-1 Skitseforslag Scenarie 1 Alternativ A, KDI, Ref. 1

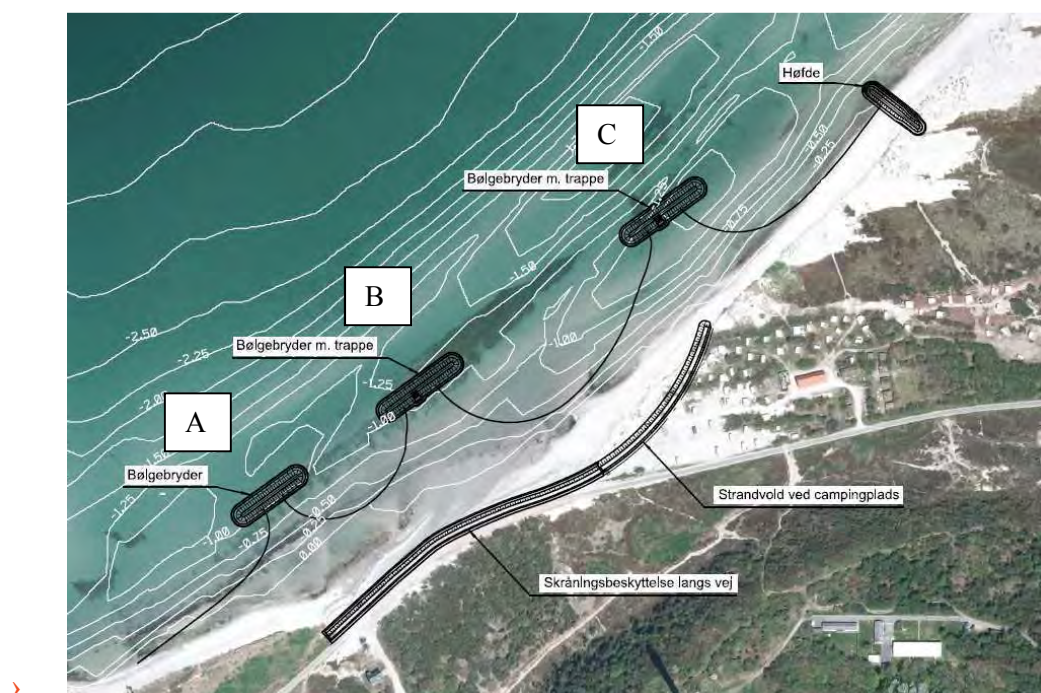
Scenarie	Alternativ	Sum overført	Initialfodring		Vedligeholdelsesfodring		Andre udgifter	Samlet udgift	
			Mængde	Deludgift	Mængde	Deludgift		Anlæg	Drift
			m3	1.000 kr	m3/år	1.000 kr/år		1.000 kr	1.000 kr/år
1	A	5.663	31.000	3.687	8.000	1.085	400	9.750	1.085

Tabel 6-2 KDIs prisoverslag for skitseforslag Scenarie 1 Alternativ A, KDI, Ref. 1

Som følge af skråt bølgeindfald er det nødvendigt at etablere endnu en bølgebryder mod vest ind mod havnen for at sikre hele vejens længde.

De tre bølgebrydere benævnes A, B og C, hvor A er længst mod vest og C længst mod øst, se Figur 6-3.

Bølgebryderne er placeret cirka 80-130 m ud for kysten, og danner et beskyttet område bagved, hvor der dannes tomboloer.



Figur 6-3 Skitse af konstruktionerne på Nordstrand

Mod øst kan der efterhånden komme erosion som følge af, at hele kysten rykker tilbage. Der er potentielt fare for, at der vil ske bagskæring af campingpladsen fra østsiden efterhånden som stranden eroderer naturligt tilbage. På sigt kan det potentielt blive nødvendigt at lave en skråningsbeskyttelse langs nordøstsiden af Campingpladsen.

Der er i det oprindelige skitseprojekt ikke indtænkt en langsigtet løsning på problematikken vedrørende den fremtidige læsideerosion, se Figur 6-1. Dog er der i KDIs skitseprojekt forudsat, at der sandfodres løbende.

COWI foreslår at lave en mindre høfde på stranden for at beskytte østsiden af campingpladsen og forskyde eventuel læsideerosion mod øst. Denne konstruktion skal forstærkes i fremtiden efterhånden som kysten rykker betydeligt tilbage. Høfden vil også kunne medvirke til at forhindre / udsætte at den faskine der er nedgravet i klitterne øst for campingpladsen bliver eksponeret.

COWI foreslår en reel skråningsbeskyttelse langs vejen for at beskytte vejen optimalt. Konstruktionen dækkes delvist med sand og der plantes marehalm for at skjule stenene.

Vi foreslår dog at lave en ralstrandvold ved campingpladsens strand, som er gravet ned i klitterne et stykke fra stranden.

Det vurderes, at det ikke er optimalt at have en fremskudt skråningsbeskyttelse ved campingpladsen som på sigt kan blive eksponeret og som er besværlig at passere for gæsterne. Ralstrandvolden er gravet ned og dækket helt af små klitter.

7 Detailprojektering

7.1 Projekt parametre

Konstruktionerne projekteres for en stormhændelse med retur periode på 50 år og med en levetid på 50 år (2065).

Alle tegninger er præsenteret i Appendiks C - Tegninger.

Tabel 7-1 viser en oversigt over de dimensionsgivende designbølgeforhold og funderingsniveau for kystbeskyttelseskonstruktionerne ved Nordstrand baseret på LITPROF modelresultaterne præsenteret i Figur 5-28 til Figur 5-31. Dimensionsgivende parametre på dybt vand er beskrevet nærmere i afsnit 5.5.1, men disse benyttes ikke direkte i projekteringen.

Konstruktion	Bølgebrydere	Højde	Skrånings- beskyttelse ved vej	Strandvold ved campingplads
Bølgehøjde, Hs m	1,8	1,6	1,1	1,1
Bølgehøjde, Hrms m	1,4	1,2	0,8	0,8
Peak bølgeperiode Tp, s	8,4	8,4	8,4	8,4
Vandstand, m DVR90 Retur periode 50 år i år 2065	+2,1	+2,2	+2,2	+2,2
Modelleret funderingsniveau, m DVR90	-1,25	-0,5 til +0,5	+1,25	+1,25
Anvendt funderingsniveau, m DVR90	-1,5 til -1,0	-1,25 til - 0,75	+0,5	+0,5

*Tabel 7-1 Dimensionsgivende parametre for kystbeskyttelseskonstruktionerne ved Nordstrand.
Retur periode 50 år i år 2065*

Vand- og stendensiteten er antaget som følgende

- › Vanddensitet, ρ_w 1025 kg/m³
- › Dæksten densitet, ρ_s 2680 kg/m³
- › Filtersten/kernefyld, ρ_s 2400 kg/ m³

7.2 Kriterier for dæk- og filterlag

Konstruktionerne består hovedsageligt af et filterlag overlagt med dæksten. Van der Meer's formel er anvendt til bestemmelse af stenstørrelserne af dæklaget, ref. 3:

$$\frac{H_{des}}{\Delta D_{n50}} = \begin{cases} c_{pl} P^{0.18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \xi_m < \left[\frac{c_{pl}}{c_s} P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha} \right]^{\frac{1}{P+0.5}} \\ c_s P^{-0.13} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^P \xi_m > \left[\frac{c_{pl}}{c_s} P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha} \right]^{\frac{1}{P+0.5}} \end{cases}$$

Hvor

- › D_{n50} er den nominelle stendiameter (m)
- › H_{des} er design bølgehøjde
- › Δ er den relative densitet, $\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1$
- › $\cot(\alpha)$ er hældningen af dæklaget (1:1,5 til 1:2)
- › g er tyngdeaccelerationen
- › P er konstruktionens permeabilitet (0,2 - 0,3)
- › S_d er en dimensionsløs skadesniveau (2 svarende til 0 - 5% skade)
- › N er antal bølger i en designstorm (3000 – lavt vand)
- › ξ_m er en bølgestejlhedsparemetre (surf similarity)
- › c_{pl} og c_s er bølgeparametre (lavt vand: $c_{pl}=8.4$, $c_s=1.3$)

Filterlaget skal give et stabilt underlag for dæklaget og minimere gennemstrømning af vand og sand. Følgende kriterier bruges til projektering af filterlaget, ref. 3:

$$\frac{D_{15,a}}{D_{15,f}} < 7 - 20$$

$$\frac{D_{50,a}}{D_{50,f}} < 7$$

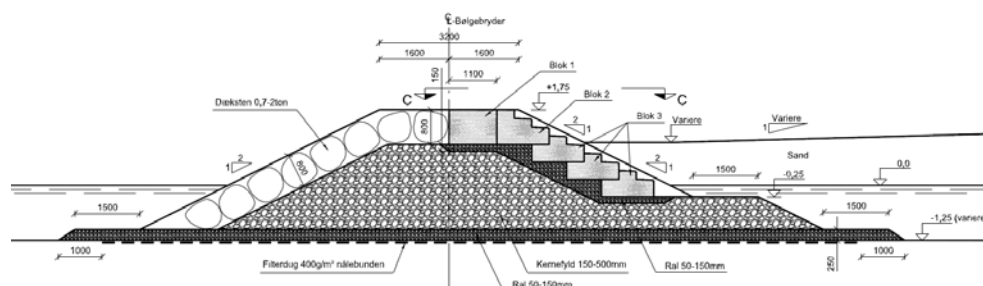
$$\frac{D_{15,a}}{D_{85,f}} < 4$$

Hvor a og f refererer til dæklag og filterlag.

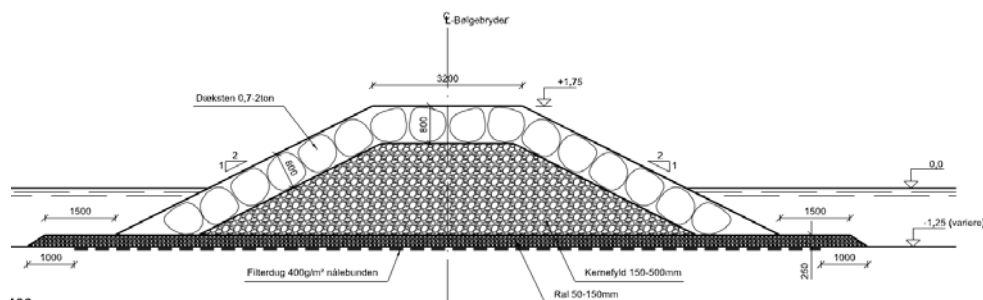
7.3 Bølgebryder

Der bygges tre bølgebrydere på kysttrækningen. Bølgebryderene består af et enkelt lag dæksten oven på en kerne af ral eller håndsten. Under kernen er et lag af mindre ral og nederst en filterdug. Da dæklaget består af et enkelt lag sten skal disse pakkes godt/meget tæt i konstruktionsfasen. Det er valgt at benytte kun et lag dæksten for at reducere gennemstrømningen af vand og sand og reducere prisen på anlægget. Tilsvarende opbygning har været benyttet i Liseleje.

På bølgebryderne B og C (se Figur 6-3) vil der være mulighed for at gå op på bølgebryderen via en betontrappe. Figur 7-1 og Figur 7-2 viser tværsnit af bølgebryderne med og uden betontrappe. I Tabel 7-2 er designparametrene for bølgebryderne vist.



Figur 7-1 Tværsnit af bølgebryder med trappe



Figur 7-2 Tværsnit af bølgebryder uden trappe

	Bølgebryder A	Bølgebryder B	Bølgebryder C
Bølgehøjde, $H_{2\%}$ (m)	2,25	2,25	2,29
Peak bølgeperiode T_p , (s)	8,4	8,4	8,4
Vandstand, (m) DVR90	+2,1	+2,1	+2,1

Tabel 7-2 Dimensionsgivende parametre for bølgebrydere

Dæklagets stenstørrelse bestemmes på baggrund af Van der Meers formel, se afsnit 7.2:

- › Stenklasse: 0,7 – 2 t

For denne stenklasse skal den nominelle diameter være:

- › $D_{n,50} = 800$ mm

Kernefyldet opfylder filterkriteriet, afsnit 7.2:

- › 150 – 500 mm
- › $D_{50} = 260$ -390 mm

Bølgebryderne er placeret på et lag ral, som består af følgende gradering:

- › 50-150 mm
- › $D_{50} = 80$ -120 mm

Stenklasserne gælder for alle tre bølgebrydere. Stenene kan enten være søsten eller brudsten, men må maksimalt indeholde 5% hvid flint. De forskellige stenklasser skal være velgraderede.

Filterdugen skal være en 400 g/m² nålebundne dug, som ikke er varmebehandlet.

Betontrappen er 5m bred og består af 1,5 m og 2,0 m lange betonelementer. Betonelementerne forskydes i forhold til hinanden således, at de fastlåses og ligger i forbandt. De forskellige betonelementer ses i Figur 7-3. Elementerne er uarmerede. Elementerne skal stables forsigtigt og der må højst stables fire elementer oven på hinanden i forbindelse med transport. Følgende krav til betonelementerne skal opfyldes:

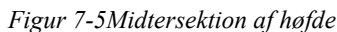
- › Beton cylinder styrke = 30 MPa

Efter storme bør konstruktionerne undersøges for skader og eventuelle nedrullede dæksten flyttes på plads.



Betonblok 2, 1:50

Høfden er opbygget af en kerne overlagt med dæksten og med en filterdug nederst. På høfdens nordøst side er den forstærket med en tå for at beskytte konstruktionen, når kystlinen eroderer tilbage og vanddybden stiger. Høfden har varierende tværsnit over sin længde. Længst inde mod land er høfden smallere og har mindre dæksten end længere ude. På hovedet af høfden er der to lag dæksten, mens resten har et enkelt, se Figur 7-4 til Figur 7-6. I Tabel 7-3 er dimensionsgivende parametre for høfden vist.



Bølgehøjde, $H_{2\%}$ (m)	1,95
Peak bølgeperiode T_p , (s)	8,4
Vandstand, (m) DVR90	+2,2

Tabel 7-3 Dimensionsgivende parametre for høfden

Dæklagets stenstørrelse bestemmes på baggrund af Van der Meers formel, se afsnit 7.2:

Dæksten for hoved og midterste sektion af høfden:

- › Stenklasse: 0,7 – 2 t
- › $D_{n,50} = 800$ mm

Dæksten for sektion længst mod land:

- › Stenklasse: 0,3 – 1 t
- › $D_{n,50} = 625$ mm

Stenklasse for tåen af høfden:

- › Stenklasse: 60 – 300 kg
- › $D_{n,50} = 410$ mm

Filterlaget opfylder filterkriteriet, afsnit 7.2 for de forskellige dæksten:

- › Stenklasse: 150 – 500 mm
- › $D_{50} = 260-390$ mm

Filterdugen skal være en 400 g/m² nålebundne dug, som ikke er varmebehandlet.

Med tiden vil kysten nordøst for høfden erodere tilbage. Høfden skal derfor renoveres og eventuelt forstærkes i fremtiden. I tilfælde af, at kysten eroderer langt tilbage skal høfden forlænges ind i landet.

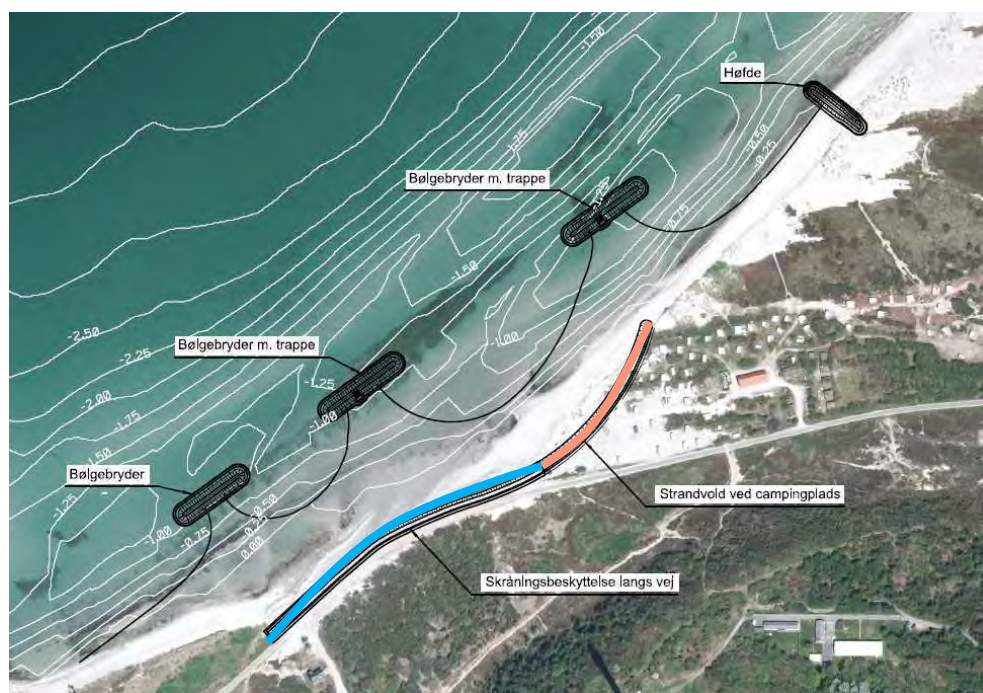
7.5 Skråningsbeskyttelse

Skråningsbeskyttelsen er placeret foran vejen og fortsætter hen foran campingpladsen, Figur 7-7. Beskyttelsen består af to forskellige typer:

- Konventionel skråningsbeskyttelse ved vejen
- Dynamisk strandvold ved campingpladsen

Skråningsbeskyttelsen foran campingpladsen er projekteret som en dynamisk strandvold, som dækkes af sand for at give stranden et så naturligt udseende som muligt.

Skråningsbeskyttelsen langs vejen er kun delvist dækket af sand som udgangspunkt. Klitten tilplanlægges med marehalm for at reducere sandfygning, hvilket kan påvirke vejen. Det forventes, at skråningsbeskyttelsen gradvist dækkes af fygesand, men vil indledningsvist fange en del af det sand, der uundgåeligt vil blæse ind fra stranden indtil marehalmen får et tæt dække.



Figur 7-7 Oversigt over skråningsbeskyttelse

Blå linje: Skråningsbeskyttelse. Orange linje: Strandvold

7.5.1 Skråningsbeskyttelse langs vejen

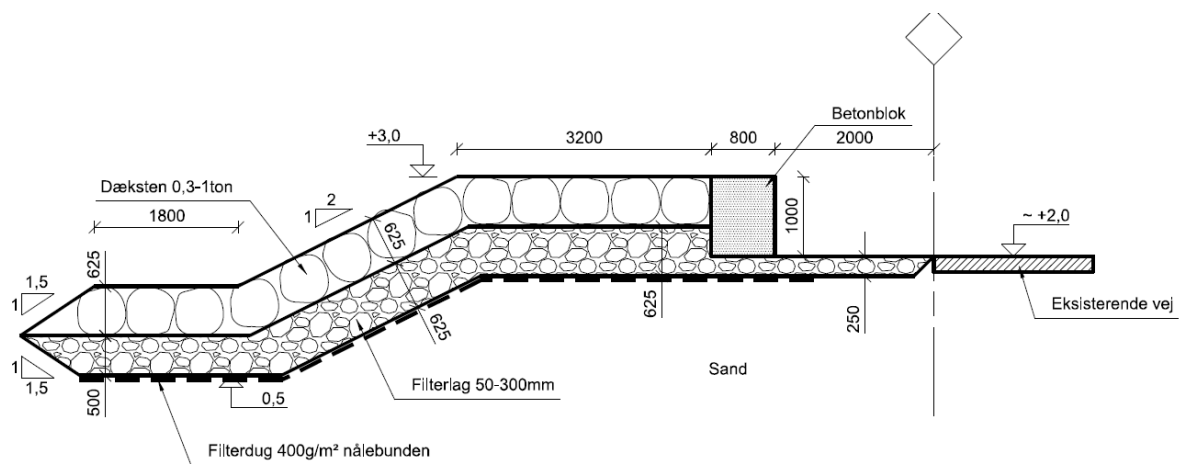
Skråningsbeskyttelsen opbygges med et dæklag bestående af store sten, der ligger ovenpå et filterlag af finere stenmaterialer og en kerne bestående af eksisterende sand. Mellem filterlag og sand indlægges en filterdug for at undgå udvaskning af sand og dermed følgende sætninger af konstruktionen. Dæklaget består af ét lag sten, og skal derfor placeres tæt pakket.

Skråningsbeskyttelsen anlægges med funderingsniveau i kote +0,5 m DVR90 baseret på designbølgeforldene vist i Tabel 7-4 på lavt vand foran samt LITPROF modelberegningerne.

Bølgehøjde, $H_{2\%}$ (m)	1,4
Peak bølgeperiode T_p , (s)	8,4
Vandstand, (m) DVR90	+2,2

Tabel 7-4 Dimensionsgivende parametre for skråningsbeskyttelse langs vejen

Figur 7-8 viser et tværsnit af skråningsbeskyttelsen ved vejen.



Figur 7-8 Skråningsbeskyttelse ved vejen

Brudsten eller søsten bruges som dæklag. Stenstørrelsen udregnes på baggrund af Van da Mer's formel, se afsnit 7.2.

- Stenklasse: 0,3 – 1 t

For denne stenklasse er den nominelle diameter:

- $D_{n,50} = 625 \text{ mm}$

Filterlaget opfylder filterkriteriet, afsnit 7.2:

- Stenklasse: 50 – 300 mm
- $D_{n,50} = 140\text{-}210 \text{ mm}$

Filterdugen skal være en 400 g/m² nålebundne dug som ikke er varmebehandlet.

COWIs projekt indeholder en betonblok (0,8 x 1,0m) ind mod vejen. Betonblokken bevirker, at der ikke vaskes sand og sten gennem konstruktionen i forbindelse med

kraftige storme og beskytter således vejen mod erosion og aflejring af materiale. Betonblokkene skal støbes med fer og not.

For en 50 års stormhændelse er middelbølgeoverskyllet på vejen beregnet i henhold til ref. 3 og 4 og giver:

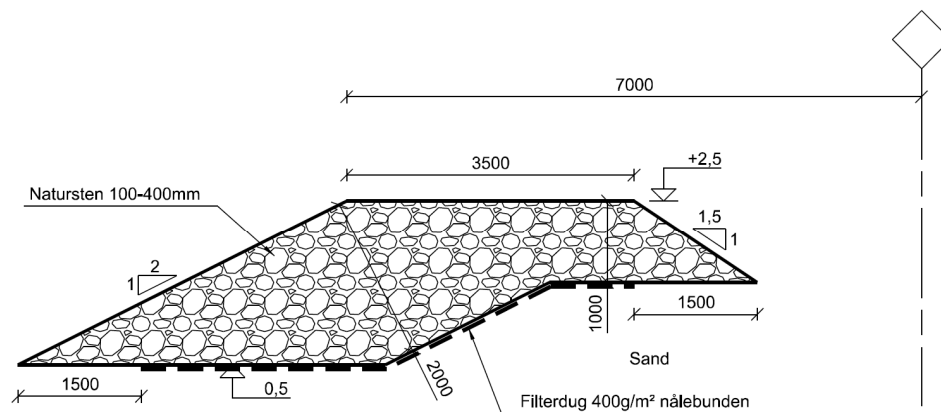
› Overskyl: ~2 l/s/m

Stenene kan enten være søsten eller brudsten, men må maksimalt indeholde 5% hvid flint. Stenklasserne skal være velgraderede.

Efter storm bør konstruktionerne efterses og eventuelle skader udbedres.

7.5.2 Dynamisk strandvold ved campingpladsen

Skråningsbeskyttelsen ved campingpladsen opbygges af ral og håndsten, se tværsnit i Figur 7-9. Skråningsbeskyttelsen er en dynamisk strandvold, som ved en dimensionsgivende storm vil ændre form og efterfølgende vil skulle repareres. Den vil dog stadigvæk mindske overskyl og erosion af campingpladsen. Fordelen ved konstruktionen er, at selv om den eksponeres ødelægges de rekreative muligheder ikke. Derudover er konstruktionen mindre og billigere end skråningsbeskyttelsen ved vejen. Den dynamiske strandvold dækkes af en lav klit, som beplantes med marehalm og er således som udgangspunkt ikke synlig.



Figur 7-9 Dynamisk strandvold ved campingpladsen

Stenstørrelsen for skråningsbeskyttelsen er:

- › Stenklasse: 100-400 mm
- › $D_{n,50} = 200-300$ mm

Filterdugen skal være en 400 g/m² nålebundne dug som ikke er varmebehandlet.

Stenklassen skal være velgraderet. Der må maksimalt være 5% hvid flint i skråningsbeskyttelsen. Efter storm bør konstruktionerne efterses og eventuelle skader udbedres.

7.6 Strandfodring

Der er i projektet lagt vægt på at flytte bølgebryderne lidt ud fra kysten og derved skabe en bredere strand bag bølgebryderne og foran vejen og campingpladsen. Herved er der plads til mere sand, og der kan således fodres med et større tidsinterval for derved at reducere de høje mobiliseringsomkostningers negative indvirkning på enhedsprisen på sand. Der vil således skabes en bred strand og mulighed for, at der er mere eller mindre permanente klitter, som helt eller delvist dækker skråningsbeskyttelserne langs vejen og campingpladsen. Dette skaber en høj rekreativ værdi af den nye strand.

Fodringssandet forudsættes at have en middeldkornstørrelse på minimum $d_{50}=0,35\text{mm}$.

Dette sand vil skabe en stejlere hældning af stranden end den naturlige strand og således reducere tabet af sand ud på dybere vand.

Der er i projektet indeholdt en forholdsvis stejl forstrand på 1:10 mellem 0 og +1m. Under vandet anlægges strandprofilet 1:20, svarende til ligevægtsprofilet for sand med $d_{50}=0,35\text{mm}$.

Strandens bredde varierer mellem konstruktionerne og hældingen af toppen af stranden varierer således også, men er generelt fladere end 1:20 mellem kote +1 og +2m. Det forudsættes, at højden af stranden er +2,0m langs klitfoden svarende nogenlunde til vandstanden i forbindelse med en 50 års storm.

Bølgebryderne har en topkote på +1,75m og oversvømmes således i forbindelse med meget kraftige storme. Dette kan føre til betydelig tab af sand fra stranden i forbindelse med sådanne ekstreme hændelser. Det kan derfor være nødvendigt at foretage vedligeholdelsesfodring efter kraftige storme.

Det forventes at der generelt er behov for vedligeholdelsesfodring med cirka 5 til 7 års interval med cirka 40.000m^3 eller efter behov, når det viser sig, hvor hurtigt stranden eroderer tilbage. Dette svarer nogenlunde til det niveau KDI har estimeret i forbindelse med skitseprojektet, ref. 1.

Kommunen kan evt. tage beslutning om der evt. skal vedligeholdes med mindre sandfodring, da kystbeskyttelseskonstruktionerne vil holde effektivt på sandet ved Nordstrand og således lade kysten øst for erodere med større hastighed. Der er i dag et naturligt klitområde øst for og således kun naturmæssige værdier på spil, som ikke vurderes at forringes betydeligt som følge af en fortsat naturlig kysterosion.

8 Anlægsoverslag

8.1 Mængder

Tabel 8-1 viser en oversigt over mængderne af de enkelte materialer, som indgår i COWIs detailprojekt for kystbeskyttelsen ved Nordstrand.

Materiale		m ³	Sum, m ³
Dæksten	Dæksten (0,7 - 2 ton)	2950	4550
	Dæksten (0,3 - 1 ton)	1500	
	Tå (60 - 300 kg)	100	
Filtersten	Kernefyld (150 - 500 mm)	3200	7100
	Ral (50 - 150 mm)	1000	
	Natursten (100 - 400 mm)	1400	
	Filterlag (50 - 300 mm)	1500	
Diverse	Filterdug	8000	8000
	Beton	240	240
Sand	Sand	49000	49000

Tabel 8-1 Oversigt over mængder for alle konstruktioner, som indgår i COWIs detailprojekt for kystbeskyttelsen ved Nordstrand

Normal porøsitet af dæklag er ca. 40 %. Omregning fra volumen til vægt (t) er dermed ca. 1,6 t/m³. Tæt pakning af dæklag vil medføre mindre porøsitet, ca. 28%, så densiteten vil være ca. 1,76 t/m³. I Tabel 8-1 og Tabel 8-2 er mængderne for et lag dæksten øget med 10 % for at tage højde for dette.

8.2 Enhedspriser

Anlægsoverslagene præsenteret i det følgende afsnit er baseret på enhedspriser fra KDIs skitseprojekt, Ref. 1 og COWIs seneste erfaringer fra danske kyst- og havneprojekter samt indkomne tilbud fra den tidligere afholdte licitation på sandfodring ved Nordstrand.

8.3 Samlede anlægsoverslag

Der er udarbejdet samlede økonomiske overslag for anlægsudgifterne for det beskrevne detailprojekt for kystbeskyttelsen ved Nordstrand på Anholt.

Det samlede anlægsoverslag er vist i Tabel 8-2 baseret på de indhentede enhedspriser. Mængderne er baseret på COWIs projekt.

For at kunne sammenligne COWIs detailprojekt med KDIs skitseprojekt er KDIs enhedspriser og beregningsforudsætninger indledningsvis benyttet direkte af COWI, Tabel 8-2 Prisoverslag 4. Sammenligningen viser, at prisen på de to projekter er næsten ens, når KDIs enhedspriser benyttes, se Tabel 6-2 og Tabel 8-2 Prisoverslag 4. COWIs detailprojekt indeholder dog næsten 20.000m³ sand mere end KDIs skitseprojekt. Omvendt er der i COWIs detailprojekt reduceret på antallet af konstruktioner og der er indeholdt en mindre skråningsbeskyttelse ved campingpladsen for at reducere omkostningerne på anlægget. Endelig er der i COWIs projekt anvendt et lag dæksten for at reducere muligheden for at sand vandrer gennem konstruktionerne og desuden for at reducere prisen.

COWIs erfaring er dog, at KDIs enhedspriser på sten er for lave i forhold til det aktuelle marked og i og med projektet ligger på en ø, hvor adgangsmulighederne er begrænsede mm.

Den samlede pris på strandfodring er sammenlignelig, når KDIs beregningsforudsætninger benyttes sammenlignet med det mest fordelagtige tilbud på fodringen fra den gennemførte licitation på strandfodring ud fra de mængder, der er indeholdt i COWIs detailprojekt, Tabel 8-2 Prisoverslag 2 og 4.

COWI vurderer, at den samlede anlægspris på kystbeskyttelsesprojektet ved Nordstrand kommer til at ligge på omkring DKK 13,6 mio. eksklusiv moms, Tabel 8-2 Prisoverslag 2.

			Prisoverslag 1		Prisoverslag 2		Prisoverslag 3		Prisoverslag 4	
Enhedspriser for konstruktioner fra			COWI		COWI		COWI		KDI	
Enhedspriser for sandfodring fra			Entreprenør 1		Entreprenør 2		KDI		KDI	
	Mængde	Enhed	Enheds pris	Pris (kr)	Enheds pris	Pris (kr)	Enheds pris	Pris (kr)	Enheds pris	Pris (kr)
Bølgebryder										
Dæksten (0,7 - 2 ton)	2550	m³	500	1.275.000	500	1.275.000	500	1.275.000	360	918.000
Kernefyld (150 - 500 mm)	2600	m³	450	1.170.000	450	1.170.000	450	1.170.000	165	429.000
Ral (50 - 150 mm)	1000	m³	450	450.000	450	450.000	450	450.000	165	165.000
Beton blokke	35	m³	3500	122.500	3500	122.500	3500	122.500	3500	122.500
Filterdug (400 g/m²)	4000	m²	45	180.000	45	180.000	45	180.000	40	160.000
SUM			3.200.000		3.200.000		3.200.000		1.800.000	
Høfde										
Dæksten (0,7 - 2 ton)	400	m³	500	200.000	500	200.000	500	200.000	360	144.000
Kernefyld (150 - 500 mm)	600	m³	450	270.000	450	270.000	450	270.000	165	99.000
Tå (60 - 300 kg)	100	m³	500	50.000	500	50.000	500	50.000	360	36.000
Filterdug (400 g/m²)	700	m²	45	31.500	45	31.500	45	31.500	40	28.000
SUM			550.000		550.000		550.000		310.000	
Skråningsbeskyttelse										
Dæksten (0,3 -1 ton)	1500	m³	500	750.000	500	750.000	500	750.000	360	540.000
Filterlag (50 - 300 mm)	1450	m³	450	652.500	450	652.500	450	652.500	165	239.250
Beton blokke	200	m³	3500	700.000	3500	700.000	3500	700.000	3500	700.000
Filterdug (400 g/m²)	2450	m²	45	110.250	45	110.250	45	110.250	30	73.500
SUM			2.200.000		2.200.000		2.200.000		1.600.000	
Strandvold										
Natursten (100 - 400 mm)	1400	m³	450	630.000	450	630.000	450	630.000	360	504.000
Filterdug (400 g/m²)	910	m²	45	40.950	45	40.950	45	40.950	30	27.300
SUM			670.000		670.000		670.000		530.000	
SUM, Konstruktioner			6.600.000		6.600.000		6.600.000		4.200.000	
Mobilisering										
Uforudset udgifter	10% af anlægs- omkostning		300.000		300.000		300.000		200.000	
			690.000		690.000		690.000		440.000	
Samlet anlægsudgift			7.600.000		7.600.000		7.600.000		4.800.000	
Strandfodring										
Strandfodring	49210	m³	156	7.700.000	95	4.700.000	92	4.500.000	92	4.500.000
Mobilisering	1	nos	62.500	60.000	869.000	870.000	500.000	500.000	500.000	500.000
Samlet strandfodring pris			7.800.000		5.600.000		5.000.000		5.000.000	
Udbudsmaterialer										
Tilbudsevaluering og kontrakt			45.000		45.000		45.000		45.000	
Tilsyn			185.000		185.000		185.000		185.000	
Samlet pris										
			15.800.000		13.600.000		13.000.000		10.200.000	
Alle priser er markedsafhængige										

Tabel 8-2 Anlægsoverslag. Alle priser er eksklusiv moms. Priserne er markedsafhængige.

9 Referencer

- Ref. 1 Kystdirektoratet (2013) Kystbeskyttelse på Anholt. Notat af januar 2013. KDI*
- Ref. 2 Beran M.A. et al. (1976) Estimation of Low Return Period Floods*
- Ref. 3 CIRIA (2007) The Rock Manual, 2nd edition, 2007*
- Ref. 4 HR Wallingford (2007) EurOtop - Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures. Assessment Manual*

10 Appendiks A Notat fra KDI, ref. 1

Kystbeskyttelse på Anholt

Notat af januar 2013

1 Indledning

Den nordvestvendte kyst øst for Anholt havn har gennem mange år været under tilbagerykning. Problemet er aktualiseret gennem de seneste år, hvor vej og campingplads har været under pres. Under højvandet i november 2011 blev en del af vejen skyllet i havet og en del af campingpladsen blev ligeledes eroderet. Vejforbindelsen er midlertidigt flyttet længere ind i landet. Der har siden været foretaget fodring dels med oprenset materiale fra havnen og dels med sand indvundet fra søsiden. Vejen er én ud af to veje, som forbinder havnen med Anholt By.

Kommunen og de lokale beboere ønsker en varig løsning på problemet. I samarbejde med staten er der udarbejdet et kommissorium til undersøgelse af mulige løsninger på problemet. Ifølge kommissoriet skal to scenarier belyses. I det første scenarie bevares vej og campingplads ved hjælp af kystbeskyttelse. I det andet scenarie opgives de nuværende placeringer af vejen og campingpladsen og muligheder for nye placeringer undersøges.

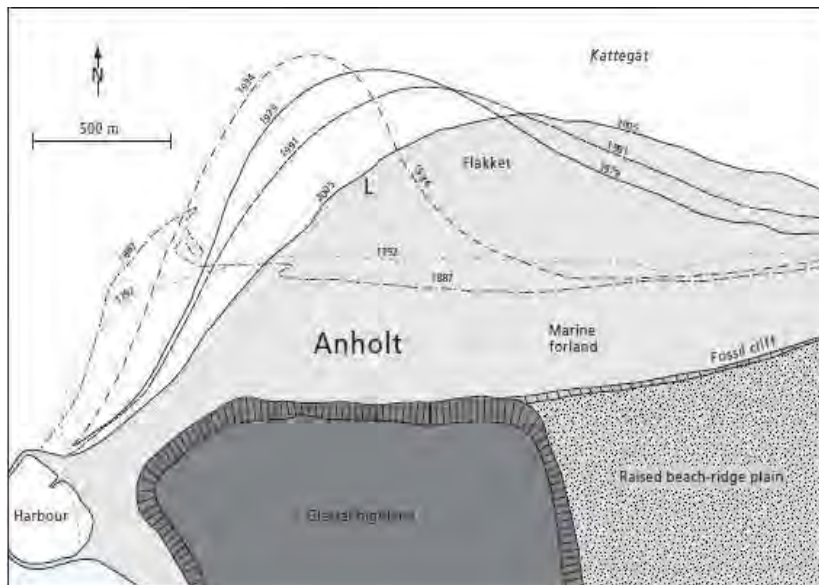
Primo november afholdt teknisk arbejdsgruppe besigtigelse samt første møde på Anholt. Det aftaltes da at belyse et tredje scenarie, hvor vejen bibeholdes, men campingpladsens nuværende beliggenhed opgives.

2 Problemstilling

2.1 Overordnet udvikling af Flakket

Den aktuelle kyststrækning udgør en del af oddekomplekset kaldet Flakket, se figur 2.1. Det fremgår, at kysten gennem det sidste århundrede har været under konstant tilbagerykning. Dette er bemærkelsesværdigt, når det samtidigt ud fra figuren kan konstateres, at samme kyststrækning har været under opbygning fra slutningen af 1700-tallet og op gennem 1800-tallet. Tidspunktet for ændring i kystudviklingen kan ikke fastslås ud fra figuren, men det må ligge mellem 1887 og 1934.

Tilbagerykningen vokser på den nordvestvendte del af Flakket desto større afstanden er til havnen. Det bemærkes ligeledes, at tilbagerykningen på størstedelen af strækningen er vokset med tiden siden 1934.



Figur 2.1 Kystudvikling af Flakket nordøst for Anholt Havn
(efter Clemmensen et al., 2011)

Der er forskellige mulige årsager til ændringen i kystudviklingen og det kan også være tale om en kombination af årsager. Mulige årsager kan være havnen, som er anlagt i 1902 og som medfører læsideerosion øst for havnen. En anden årsag kan være stenfiskeriet i 1900-tallet på Nordvestrevet, som har betydet større dybder med større bølgeenergiindfald på kysten. Der er også den mulighed at vindvirkeresultanten er drejet med uret, hvilket vil medføre ændrede bølgeforhold. Det ligger dog ikke kommissoriet, at undersøge årsagen til kysterosionen på den aktuelle strækning.

2.2 Recent kystudvikling

Der foreligger ikke opmåling af kystprofilet til bestemmelse af de seneste års kystudvikling på den aktuelle strækning. I stedet anvendes ortofotos, som er tilgængelige på Danmarks Miljøportal. Der er adgang til ortofotos fra perioden 1995-2010. Klitskrænten er markeret til forskellige årstal på figur 2.2 og er analyseret og bearbejdet i bilag 1.



Figur 2.2 Klitskræntens beliggenhed udtegnet efter ortofotos fra Danmarks Miljøportal (<http://kort.arealinfo.dk/>). Målelinjer angivet.

Den beregnede gennemsnitlige udvikling af klitskrænten er vist i tabel 2.1

Tabel 2.1 Klitskræntens udvikling

Strækning	Målelinjer	Tilbageryknings- hastighed
		m/år
Trekanten	A	0,5
Vej	B, C og D	1,7
Campingplads	E, F og G	3,3

Kystlinjeudviklingen mellem 1991 og 2005, figur 2.1, bekræfter størrelsen af de fundne værdier for kystudviklingen.

2.3 Oversvømmelsesrisiko

Så vidt vides er der ikke udtrykt bekymring for oversvømmelse af baglandet. Klitten har da også tidligere beskyttet baglandet mod oversvømmelse, se figur 2.3 Den fortsatte kysttilbagerykning har dog betydet, at klitpartier er forsvundet på store dele af strækningen. Der er derfor en reel risiko for oversvømmelse i de lavest liggende områder.



Figur 2.3 Terrænkort over området (Danmarks Højdemodel, scannet 2004-06). Klitskrænten i 2012 er indtegnet efter luftfoto.

På figuren er den nuværende kystskrænt indtegnet. Ved høje vandstande vil de lavtliggende områder af campingpladsen være truet. De lavest liggende områder her ligger i intervallet 1,5-1,75 m DVR90. Dette kan sammenholdes med de vandstande, som er angivet i afsnit 3.2. Bølgeoverløb vil forstærke effekten af en eventuel oversvømmelse.

Derimod vurderes området bag vejen ikke at være truet af oversvømmelse fra havsiden.

3 Hydrauliske parametre

3.1 Dimensionsgivende hændelse

En forudsætning for at konstruktionerne kan modstå en storm ved højvande er, at de er i stand til at modstå en given hydraulisk påvirkning fra havet. Det betyder, at der skal træffes et valg af den dimensionsgivende hændelse. Kystdirektoratet anbefaler, at konstruktioner mindst har en sikkerhed svarende til en 50 års middeltidshændelse, altså at de skal kunne modstå en højvandshændelse som statistisk set forekommer én gang hver halvtredsindstyve år. Dette betyder dog ikke, at der nødvendigvis vil gå 50 år inden en sådan – eller en sjældnere – hændelse indtræffer.

Med en beregningsmæssig levetid af konstruktionerne på 40 år kan sandsynligheden for, at en given hændelse forekommer inden for konstruktionens levetid beregnes ved hjælp af formlen $p = 1 \div (1 \div T)^L$, hvor p er sandsynligheden, L er levetiden og T er middeltidshændelsen. Sandsynligheden er beregnet i tabel 3.1.

Tabel 3.1 Sandsynlighed for hændelse indtræffer

Hændelse	Levetid	Sandsynlighed
år MT	år	%
50	40	55
100	40	33

På grund af den store sandsynlighed for at en 50 års middeltidshændelse vil forekomme i konstruktionens levetid, vælges her at arbejde videre med en 100 års middeltids-sikkerhed.

3.2 Vandstande

Der er systematisk målt vandstande i Anholt Havn i perioden 1961-1995. Med manglende måleperioder bliver det i alt til 32 års målinger. Den udarbejdede højvandsstatistik (Kystinspektoret,1997) er gengivet i tabel 3.2.

Tabel 3.2 Middeltidsvandstande

Hændelse	Vandstand	
år MT	m DNN	m DVR90
20	1,46	1,43
50	1,62	1,59
100	1,74	1,71

Ifølge havnefogeden udføres der ikke længere vandstandsmålinger i havnen. Det betyder, at der ikke findes vandstandsmålinger fra højvandet i november 2011. Ud fra observationer på stedet vurderer havnefogeden vandstanden til at have været mellem 140 og 150 cm over middelvandstand.

3.3 Bølger

Dansk Hydraulisk Institut (DHI) har udført bølge- og strømsimuleringer i perioden 1994-2011 for indre danske farvande. Kystdirektoratet har i anden sammenhæng bedt DHI om at udføre bølgestatistikker for udvalgte steder. Der er udført statistik for en lokalitet lidt nord for Anholt på 12 m vanddybde.

Bølgeperioden T_p for en 100 års middeltidshændelse er 8 sek.

Kystprofilet ud for den aktuelle strækning er lavvandet. De høje bølger bryder og reduceres på vejen ind mod land. Den dimensionsgivende bølgehøjde er derfor bestemt af dybden foran den pågældende konstruktion.

4 Løsningsmuligheder

4.1 Scenarie 1

I scenarie 1 bevares vejen og campingpladsen. Dette skal ske ved hjælp af kystbeskyttelse af den i alt 620 m lange strækning umiddelbart øst for havnen.

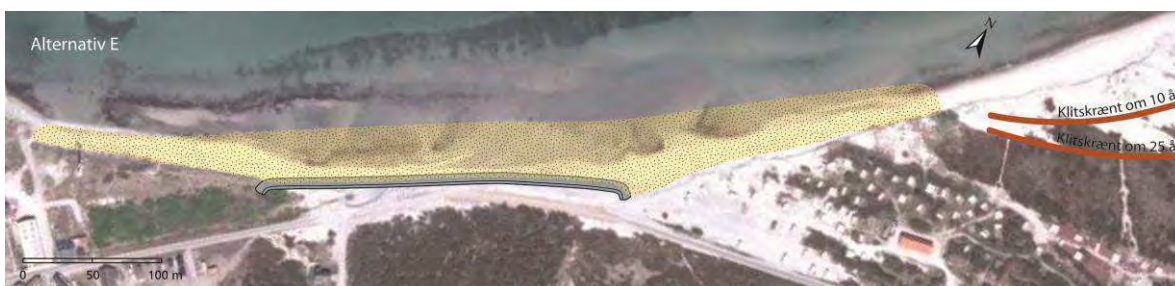
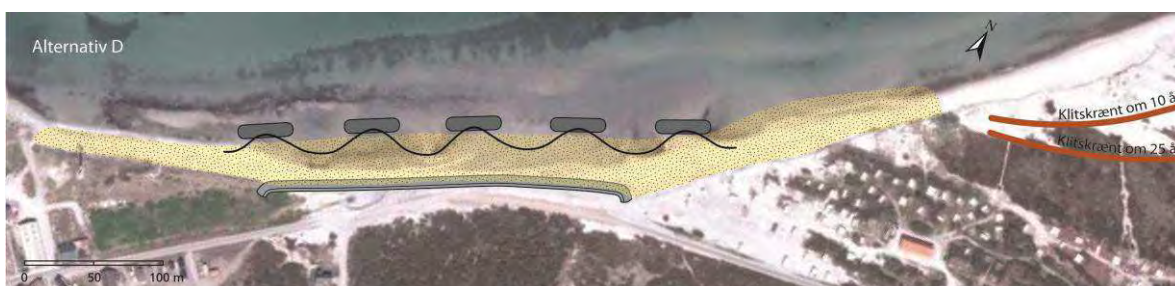
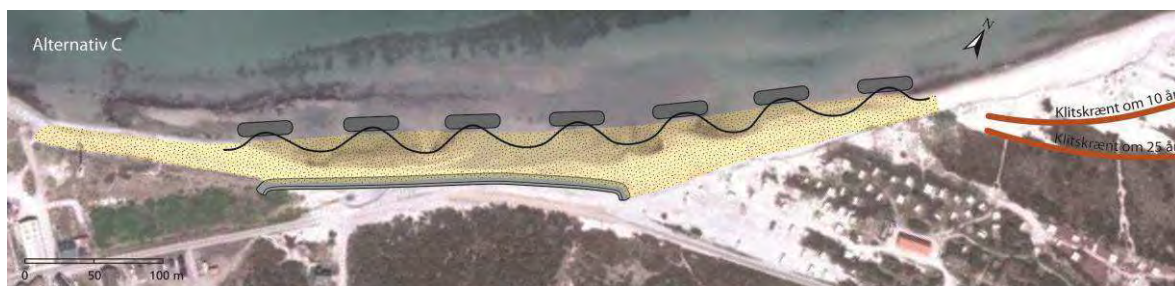
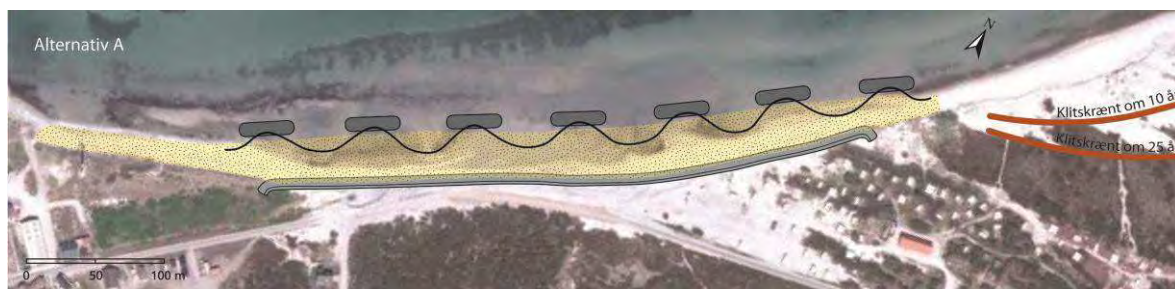
Vejen er delvist borteroderet på en delstrækning under højvandet i november 2011 og denne er midlertidigt flyttet landværts. Den udsatte placering betyder, at der ikke er plads til optagelse af en eventuel kliterosion, som kan finde sted under højvande. Det foreslås derfor at beskytte skrænten med en langsgående skråningsbeskyttelse, som ligger langs den mest udsatte del af vejen. For at eliminere langtidserosion i kystprofilet udføres fodring med en mængde der modsvarer erosionen. På grund af den fortsatte erosion skal denne derfor med mellemrum gentages som en vedligeholdelsesfodring. Indledningsvis udføres en initialfodring til opbygning af skrænten og strandprofilet.

Strækningen foran campingpladsen beskyttes med en initialfodring til opbygning af profilet, hvorefter der fremover udføres vedligeholdes fodringer. Ud fra en gennemsnitsbetragtning forventes det derved at være muligt at fastholde kysten, men midlertidig højvandserosion i klitskrænten vil kunne forekomme. Ønskes der en fastlåsning af kystskrænten skal denne strækning ligeledes sikres med en skråningsbeskyttelse.

Som alternativ til en løsning udelukkende med fodring – til imødegåelse af langtidserosionen – gives en kombineret løsning med fodring og bølgebrydere. Bølgebryderne nedsætter bølgeenergien på stranden og i klitten bag bølgebryderne, hvorfor fodringsbehovet bliver reduceret.

Scenarie 1. Kombinationer af alternative løsninger

Alternativer	Beskyttelse af vej og campingplads			
	Skrånings- beskyttelse	Bølge- brydere	Fodring	
			Initial	Vedligeh.
	m	stk	m3	m3/år
A	410	7	31.000	8.000
B	410	0	31.000	11.000
C	240	7	31.000	8.000
D	240	5	31.000	9.000
E	240	0	31.000	11.000



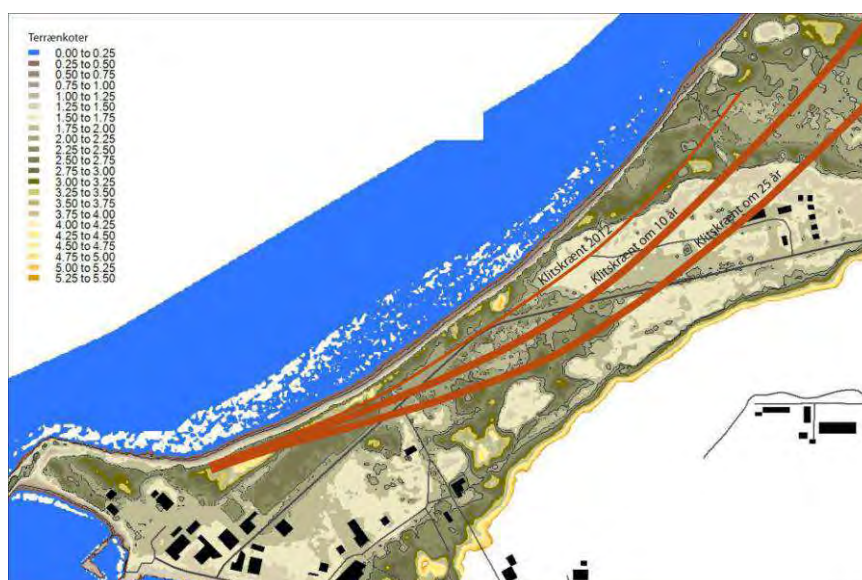
Figur 4.1 Scenarie 1, 5 alternative løsningsforslag (luftfoto fra 2012)

4.2 Scenarie 2

I scenarie 2 foretages der ikke kystbeskyttelse. Kysten vil fortsætte sin tilbagerykning og vejen og campingpladsen må opgives og eventuelt flyttes.

Kysten har været under accelereret tilbagerykning gennem de seneste årtier, se afsnit 2. Effekten af forventede klimaændringer vil givetvis forværre denne udvikling. I modsat retning trækker det forhold, at kystlinjeorienteringen på den nordvestvendte del af Flakket har været og er under ændring. Kystlinjen vil forsøge at indstille sig i en retning således at den er i balance med den påvirkning bølgerne udøver. Set i et længere tidsperspektiv anses det derfor for sandsynligt at erosionen vil aftage. Da man ikke kender til den konkrete årsags-/virkningssammenhæng, se afsnit 2.1, kan der dog ikke siges noget konkret om dette forhold.

Det bedste skøn på kystudviklingen de næste 10 og 25 år er derfor en fremskrivning af den nuværende klitskrænttilbagerykning, se figur 4.2.



Figur 4.2 Scenarie 2, fremskrivning af klitskræntens tilbagerykning

Som det ses vil større og større dele af vejforbindelsen og campingpladsen bortero dere.

Områder med risiko for oversvømmelse vil tiltage i forhold til området nævnt i afsnit 2.3. Set i et 25 årigt tidsperspektiv vil der også være risiko for oversvømmelse af det lavtliggende område syd for vejen ved campingpladsen. Set i et endnu længere tidsperspektiv vil risikoen for oversvømmelse af terrænet syd for T-vejkrydset blive aktuel.

4.3 Scenarie 3

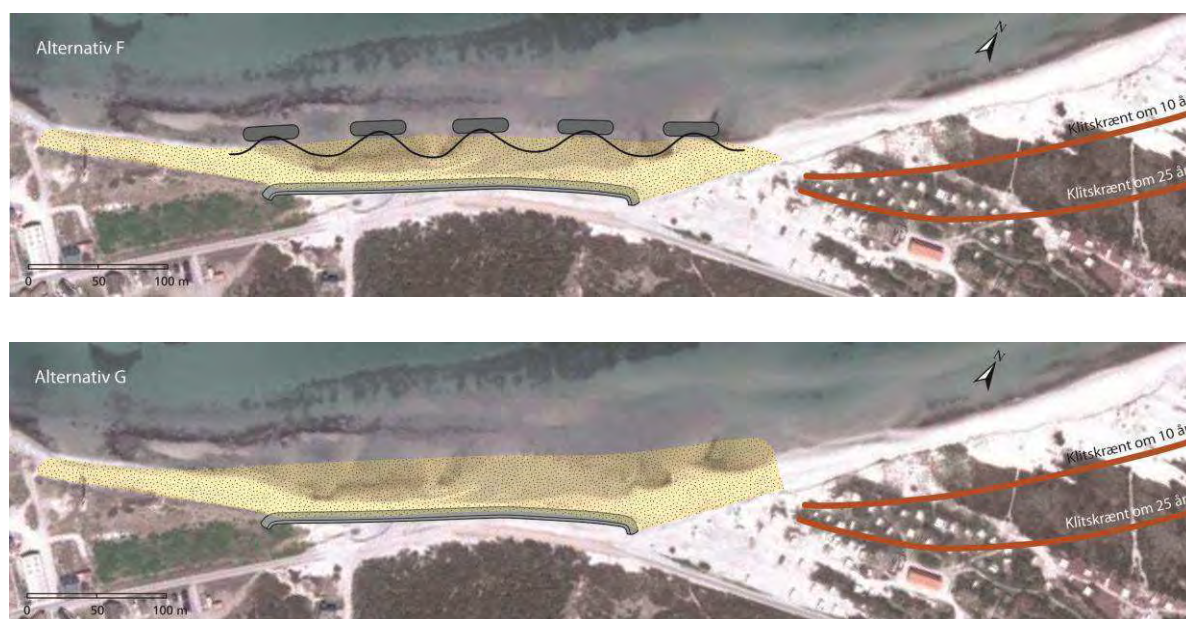
I scenarie 3 bevares vejen, medens campingpladsens nuværende placering opgives. Dette sker ved hjælp af kystbeskyttelse af den i alt 480 m lange strækning umiddelbart øst for havnen.

Kystbeskyttelsen består af en 240 m lang skråningsbeskyttelse foran den mest udsatte del af vejen. Beskyttelsen suppleres med en fodringsindsats eller alternativt en kombination af bølgebrydere og fodring.

Argumenterne for de foreslåede løsninger er identiske med dem nævnt i afsnit 4.1.

Scenarie 3. Kombinationer af alternative løsninger

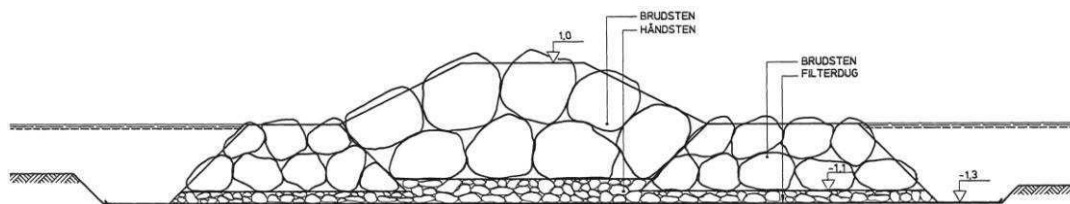
Alternativer	Beskyttelse af vej			
	Skrånings- beskyttelse	Bølge- brydere	Fodring	
			Initial	Vedligeh.
	m	stk	m3	m3/år
F	240	5	19.000	5.000
G	240	0	19.000	7.000



Figur 4.3 Scenarie 3, 2 alternative løsningsforslag (luftfoto fra 2012)

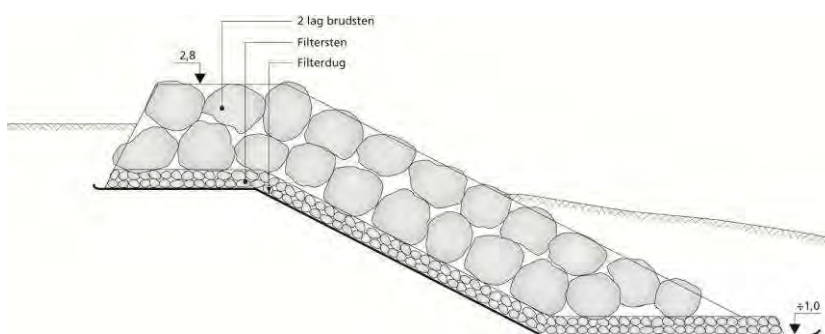
4.4 Konstruktioner

Bølgebryderne er kystnære forstået på den måde, at de ligger tæt på kystlinjen på lav vanddybde. Bølgebrydersystemet er konfigureret efter forholdet 40/30, hvilket vil sige 40 m bølgebryder og 30 m mellemrum imellem bølgebryderne.



Figur 4.4 Bølgebryder, tværsnit

Skråningsbeskyttelsen er en stenkonstruktion med 2 lag dæksten. Kronekoten tager højde for en fremtidig relativ havspejlsstigning på godt 20 cm frem til år 2052.



Figur 4.5 Skråningsbeskyttelse, tværsnit

5 Økonomi

5.1 Generelt

I forbindelse med den delvise borte-rodering af vejen blev denne flyttet landværts til dens nuværende position. I de følgende beregninger er det forudsat, at vejen bibeholdes i den nuværende position. I modsat fald skal der anvendes fyldmængder til fremrykning af vejen til den tidligere linjeføring.

Fodring foregår fra søsiden. På grund af de lave dybder indtil stor afstand fra kysten vil det ikke være realistisk at fodre direkte fra søsiden gennem en udlagt ledning på havbunden. Skibet skal bruge vanddybder på 5-6 m ved tilkoblingsstedet. Derfor forudsættes det, at skibet lægger til kaj i havnen og losser gennem et udlagt rør på land til udpumpningsstedet på stranden.

Ifølge oplysninger oprenser havnen 7-8.000 m³ årligt fra indsejlingen. Der er tidligere pumpet oprenset sand ud på stranden. Under besigtigelsen blev det konstateret, at det udlagte sand var

finkornet. Tilsyneladende er der ikke foretaget sigteanalyser af det oprensede sand. Såfremt sandet ligger i den finkornede fraktion – $D_{50} \leq 0,2 \text{ mm}$ – anses det ikke for velegnet. I givet fald vil der skulle suppleres med kompenserende mængder. Da der ikke er vished for sandets kornstørrelse regnes budgetmæssigt med fodring med indvundet sand.

Detailprojektering af konstruktionerne kræver et bedre bathymetrisk grundlag end søkort. Derfor bør der foretages søopmåling.

5.2 Enhedspriser

Anvendte enhedspriser er dels erfaringstal fra tidligere udførte entreprisarbejder, dels priser indhentet særskilt fra entreprenører.

Det forudsættes, at stenleverancer foregår over kaj i Anholt Havn. Ligeledes forudsættes det, at fodringssand udpumpes fra liggeplads i havnen, gennem ledning lagt over land og ud på stranden.

Ifølge havnefogedens optegnelser fra april 2011 er dybderne ved kaj (vest for færgets liggeplads) mellem 4 og $4\frac{1}{2}$ m.

Udgiften til fodring fra søsiden bygger på kalkulation. Enhedsprisen på fodring består af dels en anstillingsudgift, dels en driftsudgift. Anstillingsudgiften er udgift til mobilisering af rørledning og afrigning, forlængelse af rør på stranden samt afskrivning. Udgiften er en engangsudgift og er uafhængig af størrelsen af fodringsmængde. Udgiften sættes til 500.000 kr.

Forudsætningen for beregning af driftsudgiften er anvendelse af et skib med nyttelast på 1.100 m³ til en lejepris på 8.500 kr/time. Afgørende for enhedsprisen er den tid der går til hver cyklus. Ved dette begreb forstås den samlede tid til indvinding, sejltid frem og tilbage samt udpumpning. Der findes fire udlagte indvindingsområder i en afstand på mellem 40 og 50 km fra Anholt. Med en cyklus på 8 timer og en anslået standsning af arbejdet grundet vejrlig på 25 % af tiden bliver enhedsprisen for produktion 82 kr/m³. Hertil skal lægges vederlag på anslået 5 kr/m³ og regulering af sandet på stranden 5 kr/m³, i alt 92 kr/m³. Der betales ikke råstofafgift af sand indvundet til kystfodring.

Andre væsentlige enhedspriser for prisudregningen er levering af brudsten til anlægssted på 225 kr/ton og levering af håndsten til 165 kr/ton. Enhedspriser for udførelse af selve konstruktionerne bygger på erfaringsmæssigt tidsforbrug samt timepriser på mandskab og materiel.

5.3 Budgetter

Nedenfor er budgetterne for de 7 nævnte alternativer i scenarierne 1 og 3 nævnt.

Prisberegningerne bygger på fodring hvert andet år med den dobbelte mængde, men således at udgiften fordeles jævnt over årene. Initialfodring forudsættes udført i år 0 medens første vedligeholdelsesfodring udføres i år 2. Såfremt det viser sig, at fodringen kan udføres med større tidsinterval, medfører det større besparelse på udgiften til mobilisering og demobilisering.

Udgiften til skråningsbeskyttelsen er beregnet til 6.900 kr/lbm. Tilsvarende er udgiften til bølgebrydere beregnet til 300.000 kr/stk. Hertil kommer 200.000 kr i udgift til anstilling og drift af arbejdsplads. Beløbet er indregnet i udgiften til skråningsbeskyttelse, da denne indgår i alle forslag.

Uforudsete udgifter sættes til 10 % af entreprisensummen og er indregnet i budgettal for konstruktioner og fodring.

Under andre udgifter er udgiften til søopmåling sættes til 100.000 kr, medens udgift til rådgiver til projektering, udbud og tilsyn sættes til 300.000 kr.

Priser er angivet i prisniveau 2012, excl. moms.

Tabel 5.1 Udgift til de forskellige alternative forslag

Scenarie	Alternativ	Skråningsbeskyttelse		Bølgebrydere		Sum Overføres
		Længde	Deludgift	Antal	Deludgift	
		m	1.000 kr	stk	1.000 kr	1.000 kr
1	A	410	3.340	7	2.323	5.663
	B	410	3.340	-	-	3.340
	C	240	2.046	7	2.323	4.369
	D	240	2.046	5	1.659	3.705
	E	240	2.046	-	-	2.046
3	F	240	2.046	5	1.659	3.705
	G	240	2.046	-	-	2.046

Tabel 5.1 fortsat

Scenarie	Alternativ	Sum overført	Initialfodring		Vedligeholdelsesfodring		Andre udgifter	Samlet udgift	
			Mængde	Deludgift	Mængde	Deludgift		Anlæg	Drift
		1.000 kr	m3	1.000 kr	m3/år	1.000 kr/år	1.000 kr	1.000 kr	1.000 kr/år
1	A	5.663	31.000	3.687	8.000	1.085	400	9.750	1.085
	B	3.340	31.000	3.687	11.000	1.388	400	7.427	1.388
	C	4.369	31.000	3.687	8.000	1.085	400	8.456	1.085
	D	3.705	31.000	3.687	9.000	1.186	400	7.792	1.186
	E	2.046	31.000	3.687	11.000	1.388	400	6.133	1.388
3	F	3.705	19.000	2.473	5.000	781	400	6.578	781
	G	2.046	19.000	2.473	7.000	983	400	4.919	983

For begge scenarier gælder der det indlysende forhold, at for alternative forslag med bølgebrydere bliver anlægsudgiften større end for de tilsvarende alternativer uden, medens omvendt vedligeholdelsesudgifterne bliver mindre.

5.4 Kapitalisering af udgiften

Beskyttelsen mod langtidserosion kan bestå udelukkende af en fodringsindsats, alternativt af en kombination af bølgebrydere og reduceret fodringsindsats.

Ud fra en økonomisk betragtning kan der foretages en sammenligning af de kapitaliserede værdier for de to alternativer set over konstruktionernes forventede levetid.

Udgiften til bølgebrydere er i princippet en engangsudgift, medens udgiften til vedligeholdelsesfodring er tilbagevendende set over kystbeskyttelsens levetid.

I tabel 5.2 er udgiften til erosionsbeskyttelsen kapitaliseret til år 0 for de forskellige alternative forslag ved forskellige renteniveauer.

Tabel 5.2 Kapitaludgift til kompensation for langtidserosion (mio.kr) ved given rentefod

Alternativ	Forslag med bølgebrydere	Periode 25 år			Periode 40 år		
		1 %	3 %	5 %	1 %	3 %	5 %
A, C	Ja	26,2	21,2	17,6	37,9	27,4	20,9
D	Delvist	27,8	22,3	18,4	40,6	29,1	22,0
B, E	Nej	30,6	24,2	19,6	45,6	32,1	23,8
F	Ja	18,9	15,3	12,7	27,3	19,7	15,1
G	Nej	21,7	17,1	13,9	32,3	22,7	16,9

Set over et længere åremål vil kombinationen af fuld udbygning med bølgebrydere og fodring være den billigste løsning, medens en løsning udelukkende med fodring vil være den dyreste.

Referencer

- | | |
|--------------------------|---|
| Clemmensen et al.,2011) | L. B. Clemmensen, M. Bendixen, L. Nielsen, S. Jensen & L. Schrøder. Coastal evolution af a cusplate foreland (Flakket, Anholt, Denmark) between 2006 and 2010. Bulletin of the Geological Society of Denmark, Vol. 59, pp. 27-44. ISSN 0011-6297. |
| (Kystinspektoratet,1997) | Kystinspektoratet. Højvandsstatistikker '97. Marts 1997. |

Bilag 1

Beregning af kystudvikling

Der foreligger ikke opmåling af kystprofilet til bestemmelse af de seneste års kystudvikling på den aktuelle strækning. I stedet anvendes ortofotos, som er tilgængelige på Danmarks Miljøportal. Der er adgang til ortofotos fra perioden 1995-2010. Klitskrænten er markeret til forskellige årstal på figur 1. Desværre er effekten af det seneste alvorlige højvande i november 2011 ikke inkluderet i fotoserien.



Figur 1 Kystskræntens beliggenhed udtegnet efter ortofotos fra Danmarks Miljøportal (<http://kort.arealinfo.dk/>). Målelinjer angivet.

Positionen af klitskrænten er bedre defineret end kystlinjens ditto, bl.a. fordi kystlinjen er afhængig af den øjeblikkelige vandstand. Klitskræntens position er aflæst i 7 målelinjer vinkelret på kysten for hver af de syv årgange, se figur 2. Usikkerheden ved aflæsning vurderes at være 1,5 m.

Tendenslinjer – beregnet ved lineær regression – er indtegnet. Udviklingen i linjerne A-D synes rimelig lineær og tendensen vurderes derfor tilstrækkelig beskrevet ved lineær regression.

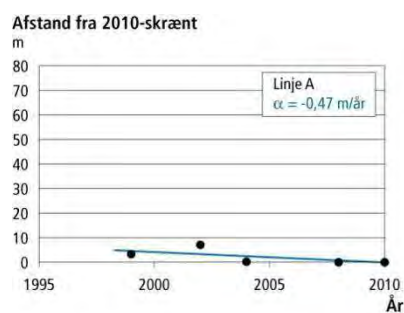
I linjerne E-G sker der en større indskæring i klitskrænten i perioden fra 2006 til 2008 end mellem de øvrige år. Med henblik på at perioden kun dækker en periode på 15 år vurderes det derfor, at regressionen overestimerer den faktiske tendens af skræntudviklingen. Der er derfor også udført regressionsanalyse på delperioden 1995-2006, som bedre repræsenterer en lineær tendens. Det vurderes, at det bedste skøn på udviklingen beskrives ved en midling af tendenserne for perioden

1995-2005 og hele perioden 1995-2010, se tabel 1. I tabellen er Trekanten, som betegner strækningen umiddelbart øst for havnen, repræsenteret ved en linje, medens de to andre delstrækninger er repræsenteret ved tre linjer.

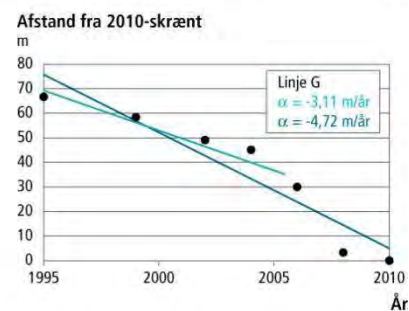
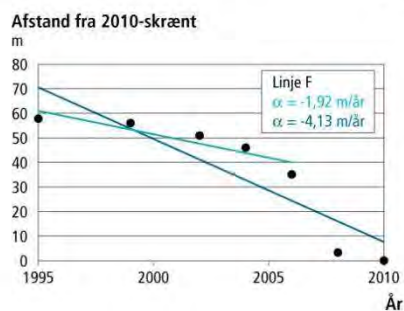
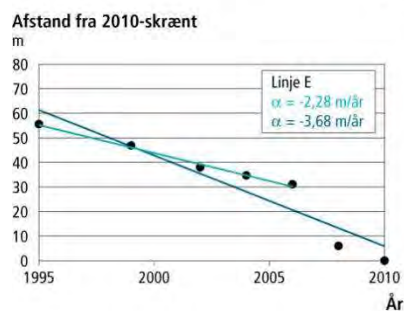
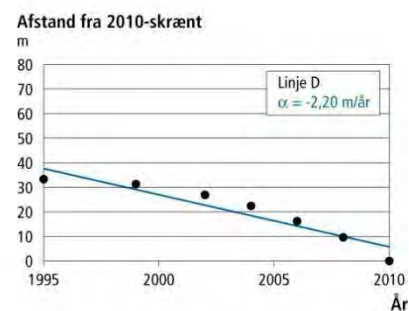
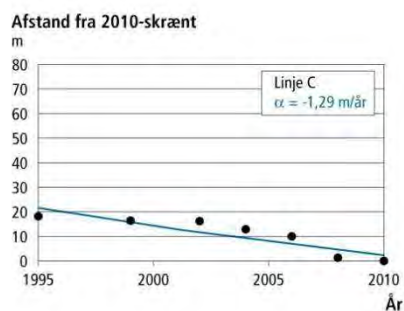
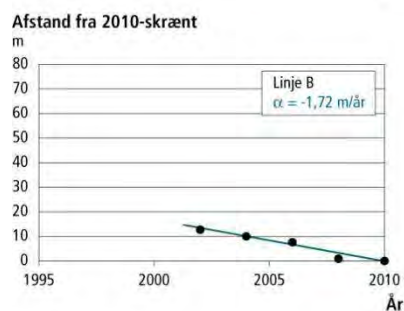
Tabel 1 Klitskræntens udvikling

Strækning	Linje	Periode	Tilbagerykningshastighed				
						Gennemsnit	Middel
			m/år	m/år	m/år	m/år	m/år
Trekant	A	1995-2010	0,47			0,5	0,5
Vejforbindelse	B,C,D	1995-2010	1,72	1,29	2,20	1,7	1,7
Campingplads	E,F,G	1995-2006	2,28	1,92	3,11	2,4	3,3
		1995-2010	3,68	4,13	4,72	4,2	

Sidste søjle angiver den beregnede gennemsnitlige tilbagerykning af klitskrænten for de tre delstrækninger.



α betegner hældningen på tendenslinjerne



Figur 2 Udvikling af klitskrænten

Bilag 2

Økonomisk følsomhed

De økonomiske beregninger hviler naturligvis i høj grad på de givne forudsætninger. Indhentede oplysninger om kornstørrelse fra GEUS tyder på, at der findes velegnet sand i de nærmest liggende indvindingsområder. Men såfremt kvaliteten ikke er tilstrækkelig vil sejlafstanden til anvendelige indvindingsområder vokse, hvilket har konsekvens for økonomien.

Fodringen i 2012 blev udført med groft sand med middeldiameter $D_{50} \geq 0,5$ mm. Sandet blev indvundet i et område ud for Nordsjælland. Fodringscyklus, som er den tid der går med indvinding, transport til og fra indvindingsområdet samt udpumpning, var 12 timer.

For at illustrere betydningen af ændrede forudsætninger vedrørende enhedspriser på fodring er der nedenfor foretaget en økonomisk sammenligning mellem en cyklus på 8 timer, som forudsat i rapportens beregninger, og en cyklus på 12 timer, som foretaget under den udførte fodring i 2012.

Udgifter til konstruktioner og anstillingsudgifter til fodringsarbejder er de samme.

Forudsætningerne for de anvendte enhedspriser er i øvrigt angivet i rapportens afsnit 5.2 og 5.3.

Med en fodringscyklus på 8 timer er enhedsprisen på fodring beregnet til 92 kr/m³, medens den med cyklus på 12 timer er beregnet til 134 kr/m³.

Tabel 1 Udgift til konstruktioner

Scenarie	Alternativ	Skråningsbeskyttelse		Bølgebrydere		Sum
		Længde	Deludgift	Antal	Deludgift	
		m	1.000 kr	stk	1.000 kr	1.000 kr
1	A	410	3.340	7	2.323	5.663
	B	410	3.340	-	-	3.340
	C	240	2.046	7	2.323	4.369
	D	240	2.046	5	1.659	3.705
	E	240	2.046	-	-	2.046
3	F	240	2.046	5	1.659	3.705
	G	240	2.046	-	-	2.046

Tabel 2 Udgift til fodring med fodringscyklus 8 timer

Scenarie	Alternativ	Initialfodring		Vedligeholdelsesfodring		Andre udgifter
		Mængde	Deludgift	Mængde	Deludgift	
		m ³	1.000 kr	m ³ /år	1.000 kr/år	1.000 kr
1	A	31.000	3.687	8.000	1.085	400
	B	31.000	3.687	11.000	1.388	400
	C	31.000	3.687	8.000	1.085	400
	D	31.000	3.687	9.000	1.186	400
	E	31.000	3.687	11.000	1.388	400
3	F	19.000	2.473	5.000	781	400
	G	19.000	2.473	7.000	983	400

Tabel 3 Udgift til fodring med fodringscyklus 12 timer

Scenarie	Alternativ	Initialfodring		Vedligeholdelsesfodring		Andre udgifter
		Mængde	Deludgift	Mængde	Deludgift	
		m3	1.000 kr	m3/år	1.000 kr/år	
1	A	31.000	5.119	8.000	1.454	400
	B	31.000	5.119	11.000	1.896	400
	C	31.000	5.119	8.000	1.454	400
	D	31.000	5.119	9.000	1.602	400
	E	31.000	5.119	11.000	1.896	400
3	F	19.000	3.351	5.000	1.012	400
	G	19.000	3.351	7.000	1.307	400

I tabel 4 er udgifterne stillet op overfor hinanden.

Tabel 4 Samlet udgift til kystbeskyttelse afhængig af fodringscyklus

Scenarie	Alternativ	Cyklus 8 timer		Cyklus 12 timer	
		Anlæg	Drift	Anlæg	Drift
		1.000 kr	1.000 kr/år	1.000 kr	1.000 kr/år
1	A	9.750	1.085	11.182	1.454
	B	7.427	1.388	8.859	1.896
	C	8.456	1.085	9.888	1.454
	D	7.792	1.186	9.224	1.602
	E	6.133	1.388	7.565	1.896
3	F	6.578	781	7.456	1.012
	G	4.919	983	5.797	1.307

Forskellen i anlægsudgifter indenfor de enkelte alternative løsningsforslag skyldes ændringen i udgiften til initialfodring, medens forskellen i driftsudgifter skyldes ændring i udgiften til vedligeholdelsesfodring.

Da det kan være vanskeligt at forholde sig til en kombination af engangsudgifter og tilbagevendende driftsudgifter foretages en sammenligning af de kapitaliserede udgifter. I princippet er det den kapital, der skal sættes i banken i år 0 og som med renters rente vil kunne finansiere de samlede udgifter til kystbeskyttelsen over et givet åremål.

Beskyttelsen mod langtidserosion kan bestå udelukkende af en fodringsindsats, alternativt af en kombination af bølgebrydere og reduceret fodringsindsats.

I tabel 5 og 6 er udgiften til erosionsbeskyttelsen kapitaliseret til år 0 for de forskellige alternative forslag ved forskellige renteniveauer. Tabel 4 gælder for en fodringscyklus på 8 timer og tabel 5 for en cyklus på 12 timer. Bemærk, at udgiften til skråningsbeskyttelse, som beskytter mod højvandserosion, ikke er inkluderet.

*Tabel 5 Kapitaludgift til kompensation for langtidserosion (mio.kr)
ved fodringscyklus på 8 timer*

Alternativ	Forslag med bølgebrydere	Periode 25 år			Periode 40 år		
		1 %	3 %	5 %	1 %	3 %	5 %
A, C	Ja	26,2	21,2	17,6	37,9	27,4	20,9
D	Delvist	27,8	22,3	18,4	40,6	29,1	22,0
B, E	Nej	30,6	24,2	19,6	45,6	32,1	23,8
F	Ja	18,9	15,3	12,7	27,3	19,7	15,1
G	Nej	21,7	17,1	13,9	32,3	22,7	16,9

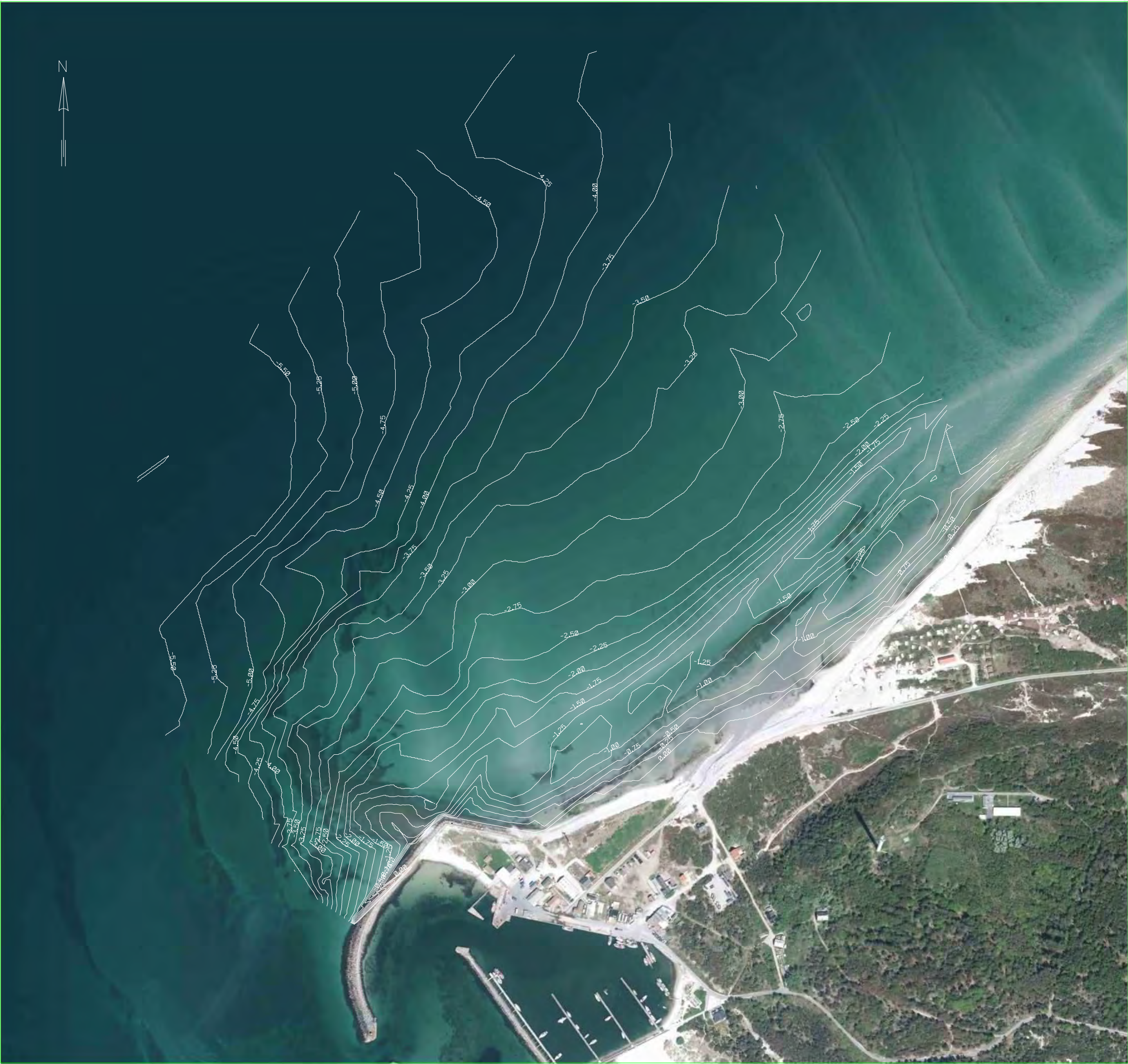
*Tabel 6 Kapitaludgift til kompensation for langtidserosion (mio.kr)
ved fodringscyklus på 12 timer*

Alternativ	Forslag med bølgebrydere	Periode 25 år			Periode 40 år		
		1 %	3 %	5 %	1 %	3 %	5 %
A, C	Ja	34,3	27,6	22,8	50,1	35,9	27,3
D	Delvist	36,9	29,5	24,2	54,3	38,7	29,1
B, E	Nej	41,8	33,0	26,7	62,3	43,8	32,5
F	Ja	23,9	19,3	15,9	34,9	25,1	19,0
G	Nej	28,8	22,8	18,4	42,9	30,2	22,4

Generelt bemærkes, at kombinationen af fuld udbygning med bølgebrydere og fodring er den billigste løsning set over et længere tidsperspektiv, medens en løsning udelukkende med fodring vil være den dyreste løsning.

Såfremt driftsudgifterne stiger – i eksemplet på grund af øgede enhedspriser på fodring – vil forskellen i kapitaliserede værdier mellem alternative løsninger også forøges.

11 Appendiks B Opmåling



Kystbeskyttelse ved Nordstrand, Anholt

0.25 konturer kun søopmåling - Luftfoto COWI 2012

Opmålt den: 16/9-13

Opmålingsmetode: Ekkolod og GNSS

NE-koordinater: UTM32 euref89

Z-koordinater: DVR90

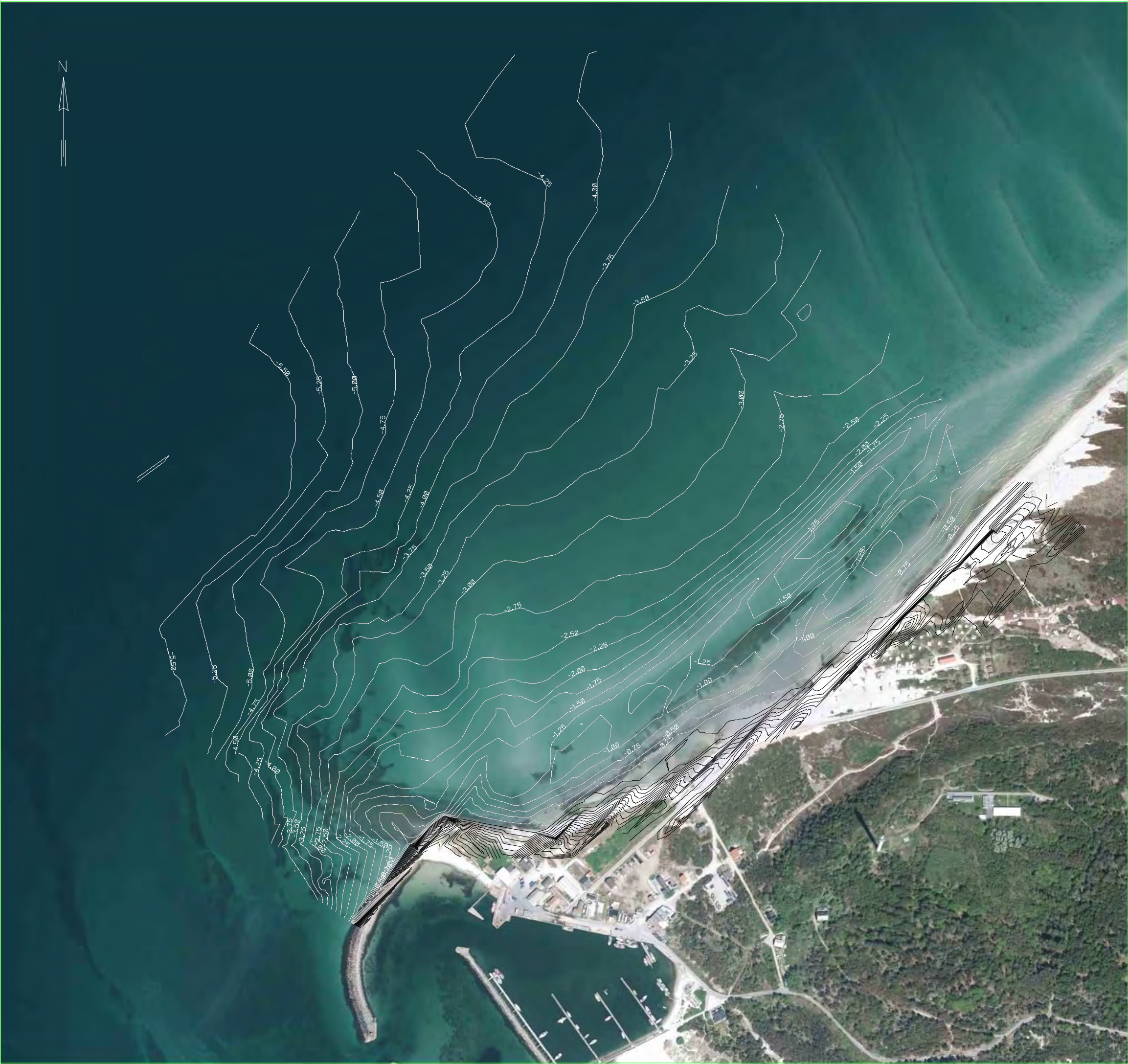
Opmålt af: DS

Alle ubenævnte mål i m



- Søpmålingspunkter (hvidt kryds)
- Terrænkoter
- Profiler

Kystbeskyttelse ved Nordstrand, Anholt									
Sejllinjer og profilplacering - Luftfoto COWI 2012									
Opmålt den: 16/9-13		Opmålt af: DS		COWI-Projektnr: 39861					
Opmålingsmetode: Ekkolod og GNSS									
NE-kordinater: UTM32 euref89		Z-kordinater: DVR90		Alle ubenævnte mål i m		 1:5000			
Proj.	A039861-002	Tegnet	ESBK	Kontrol	CEL	Godk.	CEL	Dato	18-10-2013
		COWI A/S Jens Chr. Skous Vej 9 8000 Århus C		Telefon 56 40 00 00 Telefax 56 40 99 99 www.cowi.dk		Tegn. nr.		Ver.	
						Anh_profil_00.dgn 1			



Kystbeskyttelse ved Nordstrand, Anholt

0.25 konturer - Luftfoto COWI 2012

Opmålt den: 16/9-13 Opmålt af: DS COWI-Projektnr: 39861
Opmålingsmetode: Ekkolod og GNSS
NE-koordinater: UTM32 euref89
Z-koordinater: DVR90 Alle ubenævnte mål i m 10 50 100m 1:5000

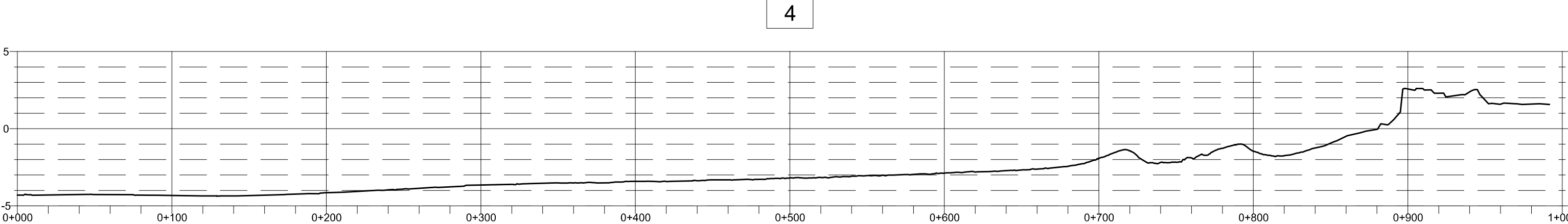
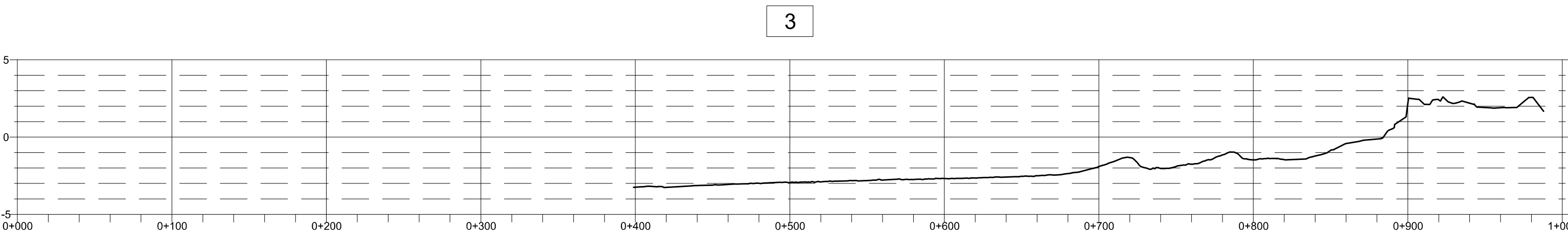
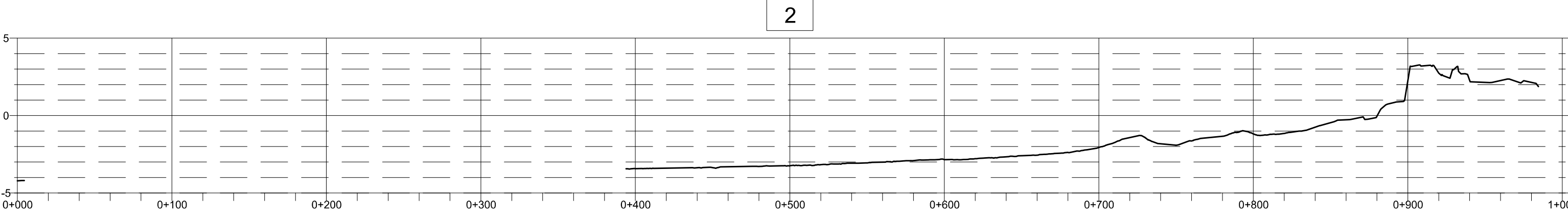
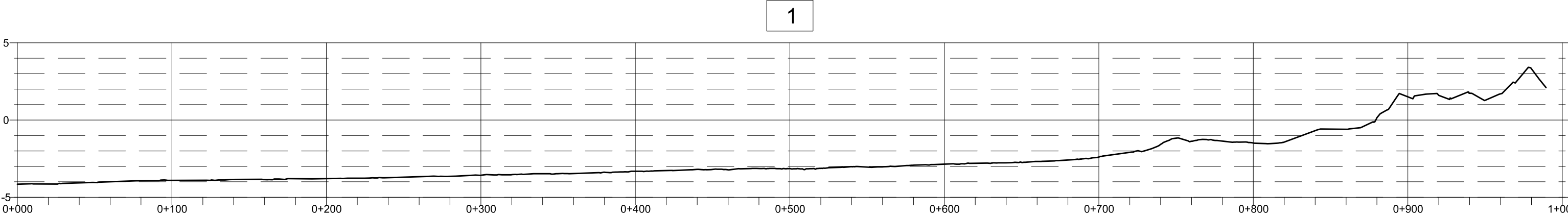
Proj.	A039861-002	Tegnet	ESBK	Kontrol	CEL	Godk.	CEL	Dato	18-10-2013
-------	-------------	--------	------	---------	-----	-------	-----	------	------------



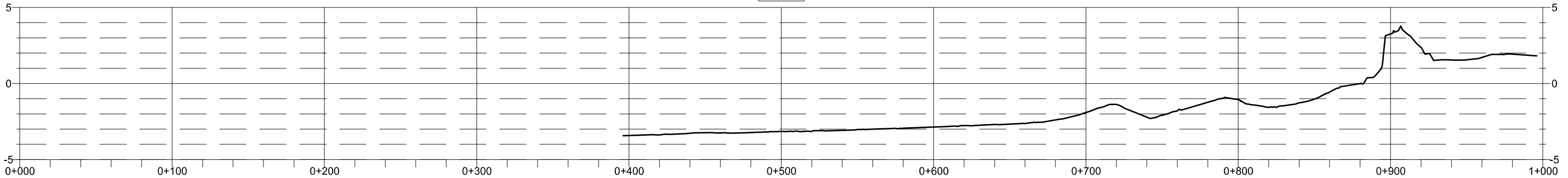
COWI A/S
Jens Chr. Skous Vej 9
8000 Århus C

Telefon 56 40 00 00
Telefax 56 40 99 99
www.cowi.dk

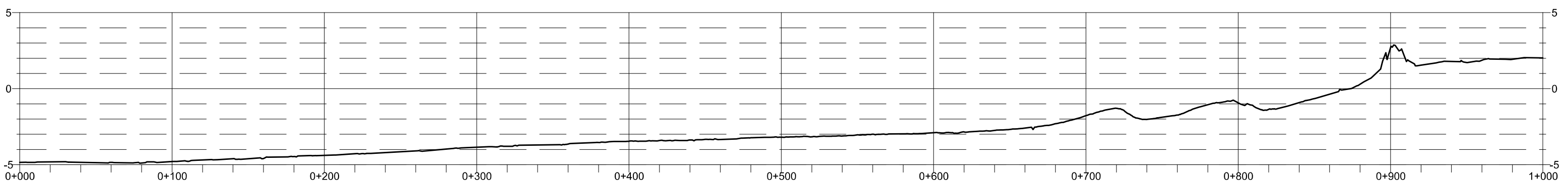
Tegn. nr. Anh_kon_025_0.dgn 1



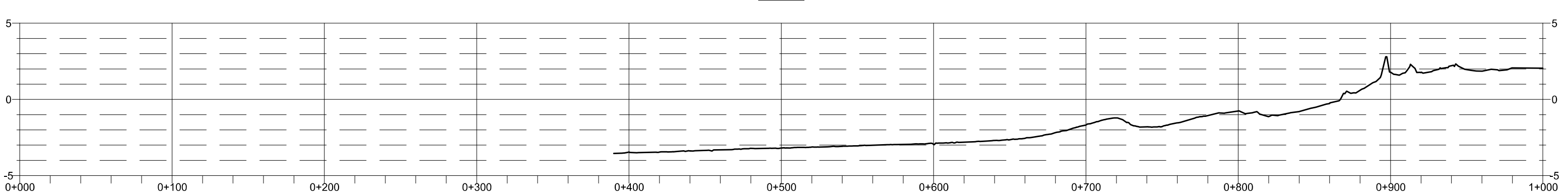
5



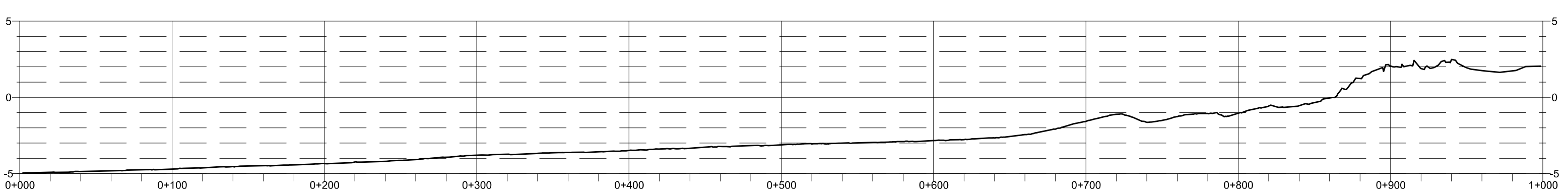
6



7

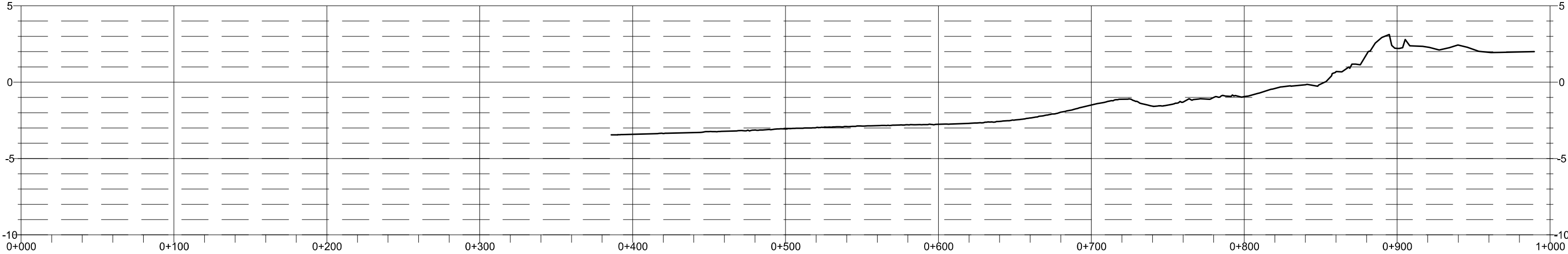


8

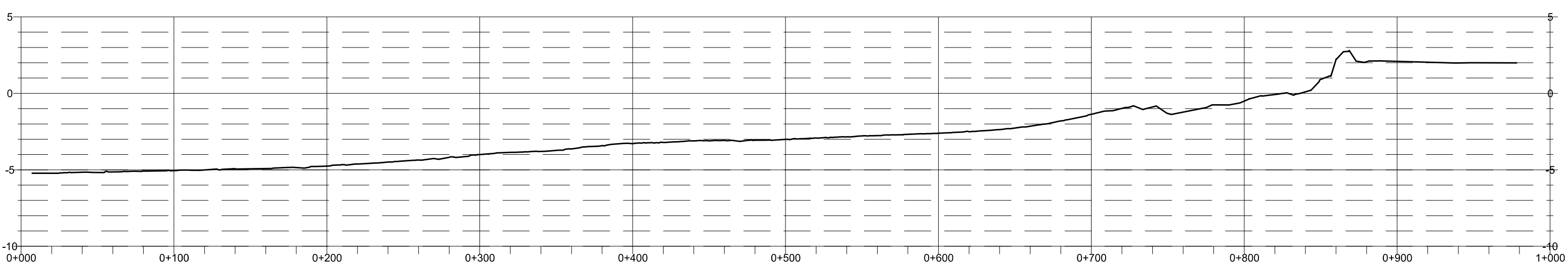


Kystbeskyttelse ved Nordstrand, Anholt								
Profiler 5-8 - 10 gange højde overdrivelse								
Opmålt den: 16/9-13		Opmålt af: DS		COWI-Projektnr: 39861				
Opmålingsmetode: Ekkolod og GNSS								
NE-koordinater: UTM32 euref89								
Z-koordinater: DVR90		Alle ubenævnte mål i m						
Proj. A039861-002	Tegnet	ESBK	Kontrol.	CEL	Godk.	CEL	Dato	18-10-2013
		COWI A/S Jens Chr. Skous Vej 9 8000 Århus C		Telefon 56 40 00 00 Telefax 56 40 99 99 www.cowi.dk		Tegn. nr.		Ver.
						Anh_profil_02.dgn 1		

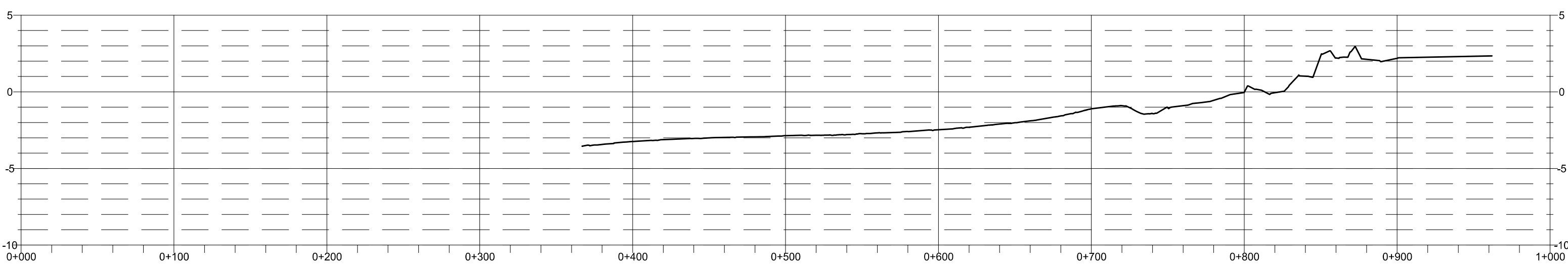
9



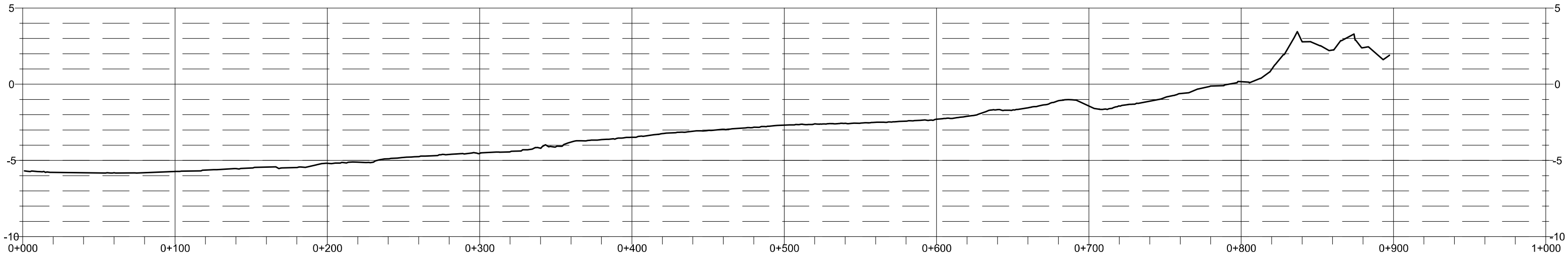
10



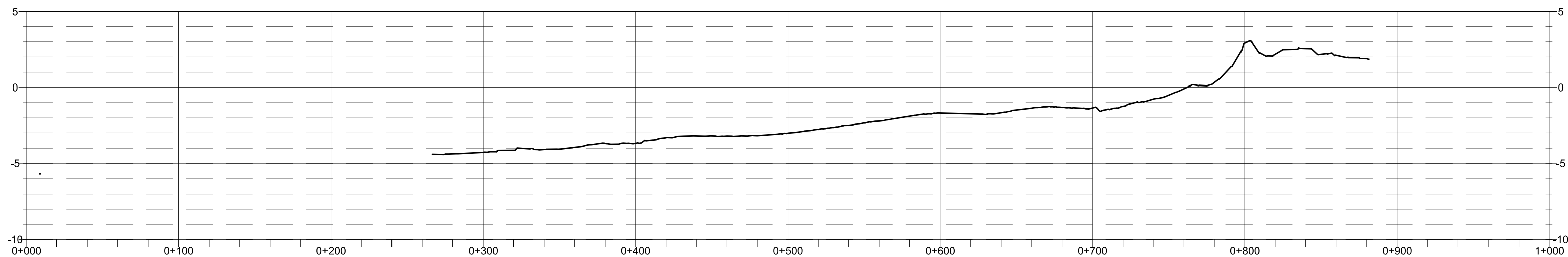
11



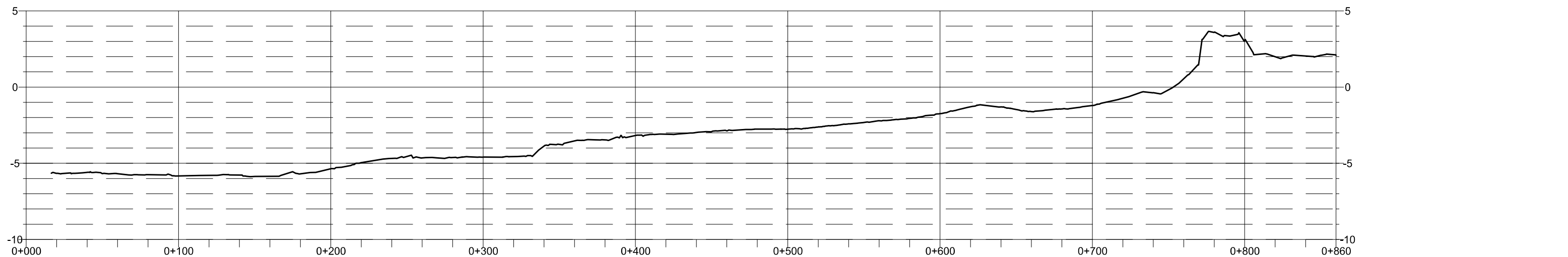
12



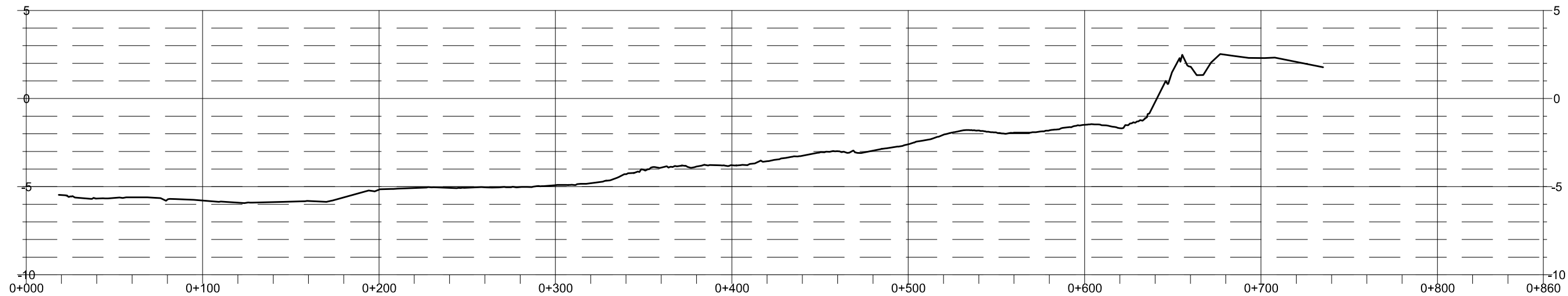
13



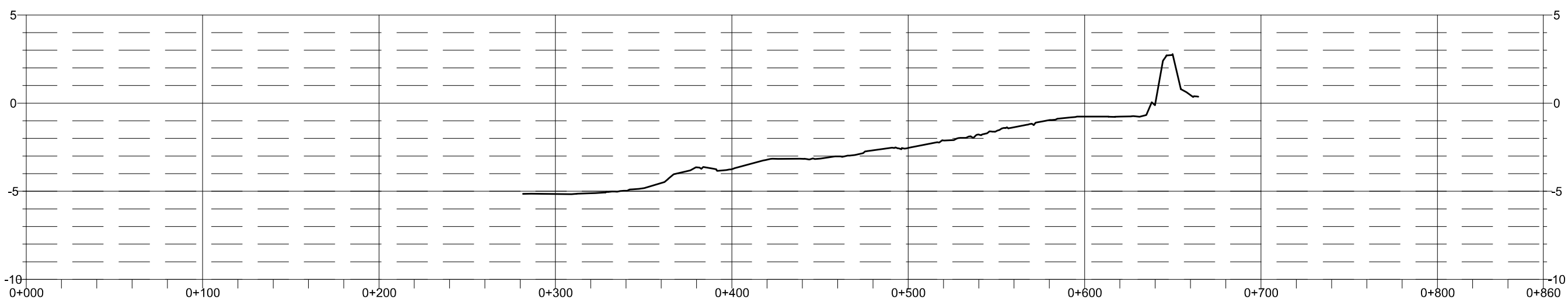
14



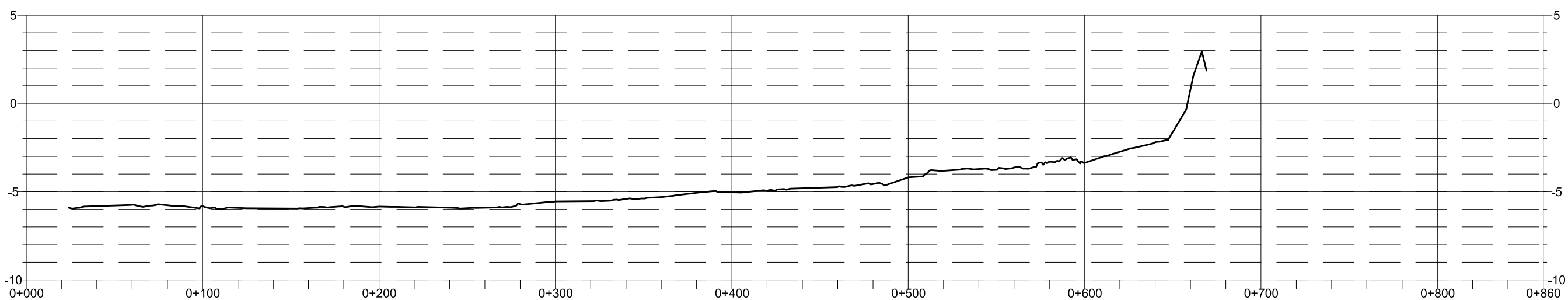
15



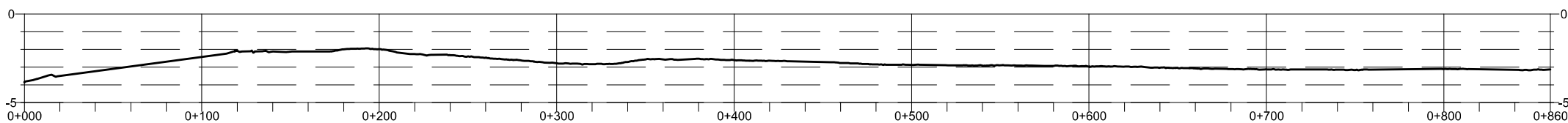
16



17

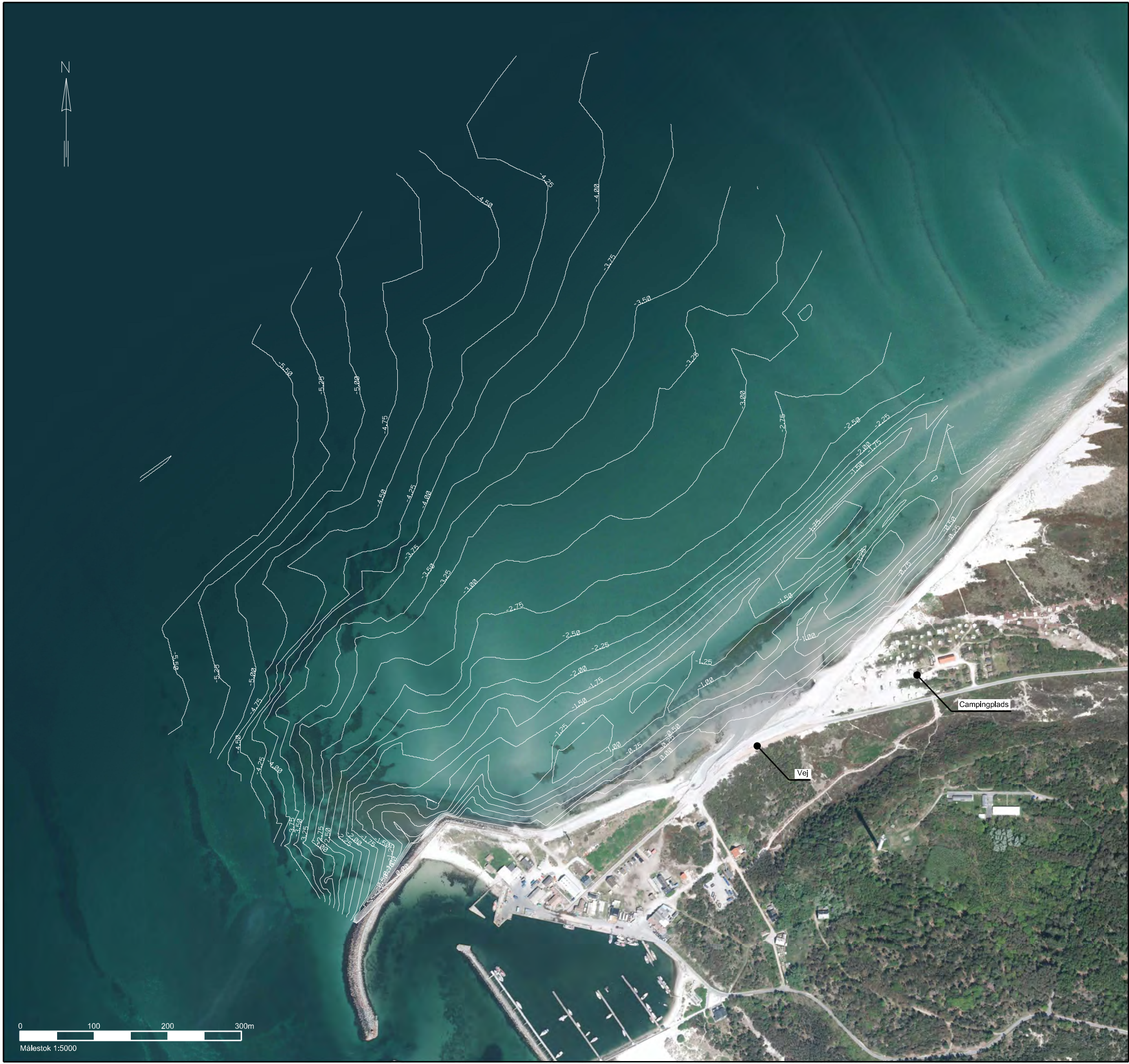


18 - NOT TO SCALE



Kystbeskyttelse ved Nordstrand, Anholt						
Profiler 15 - 18 - 10 gange højde overdrivelse						
Opmålt den: 16/9-13		Opmålt af: DS		COWI-Projektnr: 39861		
Opmålingsmetode: Ekkolod og GNSS						
NE-koordinater: UTM32 euref89						
Z-koordinater: DVR90		Alle ubenævnte mål i m				
Proj:	A039861-002	Tegnet	ESBK	Kontrol	CEL	Dato 18-10-2013
		COWI A/S Jens Chr. Skous Vej 9 8000 Århus C		Telefon 56 40 00 00 Telefax 56 40 99 99 www.cowi.dk		Tegn. nr. Anh_profil_05.dgn 1 Ver.

12 Appendiks C Tegninger - Detailprojektering



Noter:
Koter er i meter DVR90.

VER.	DATO	BEM/ERKNINGER	TEGN./UDARB.	KONTROL	GODKENDT

Norddjurs Kommune
Kystbeskyttelse ved Nordstrand

Eksisterende forhold
Plan

BEM/ERKNINGER

PROJEKTNR.	A039861
TEGN./UDARB.	NAGE / ESBK / VKJ
KONTROLLERET	CEL
GODKENDT	CEL
MÅL	1:5000
DATO	2013-11-15

COWI

COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby
Danmark

Tlf +45 56 40 00 00
Fax +45 56 40 99 99
www.cowi.dk

DOKUMENTNR.	VERSION
39861-PD-01	0.1

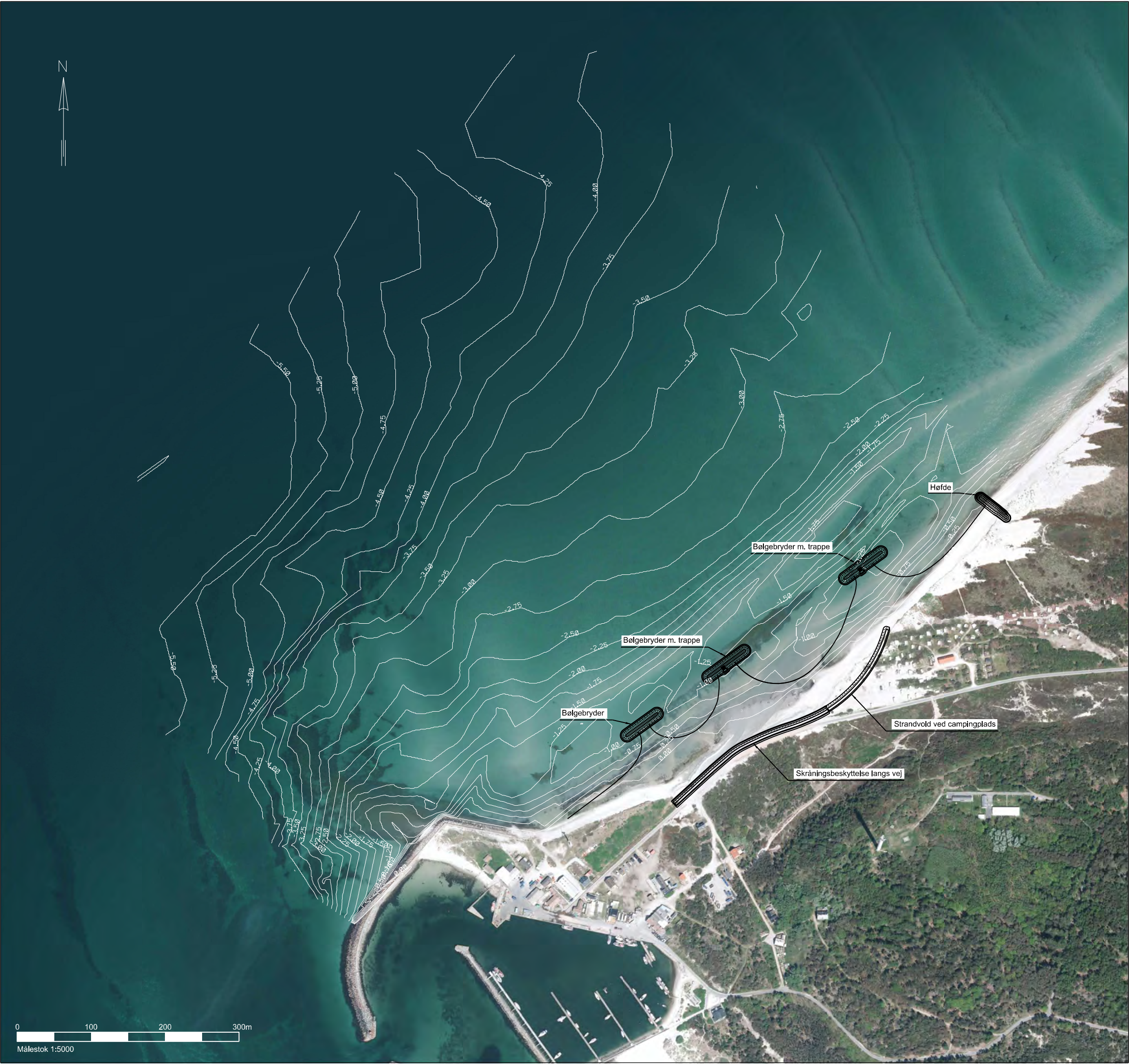


Noter:
Koter er i meter DVR90.

VER.	DATE	BEVÆKNINGER	TEGN/UDRAB.	KONTROL	GODKENDT

Norddjurs Kommune
Kystbeskyttelse ved Nordstrand

ADGANGSVEJE OG ARBEJDSPLADS Plan	PROJEKTNR. A039861 TEGN/UDRAB. CEL / VKJ KONTROLLERET NAGE GODKENDT CEL
BEVÆKNINGER	MÅL 1:5000 DATE 2013-11-15



Noter:
Koter er i meter DVR90.

VER.	DATO	BEM/ERKNINGER	TEGN./UDARB.	KONTROL	GODKENDT

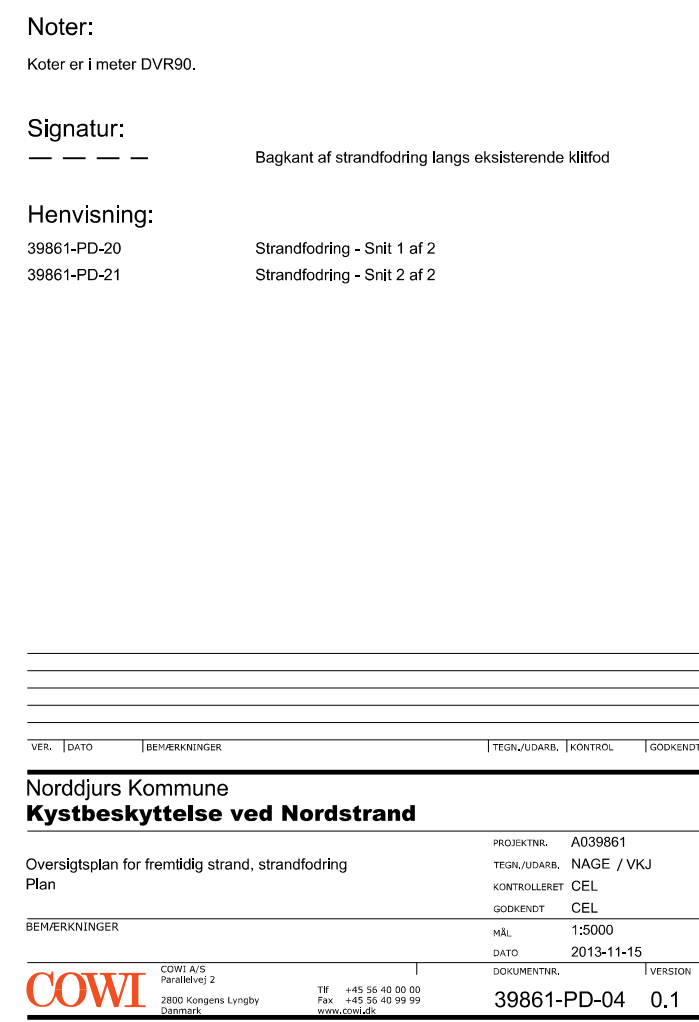
Norddjurs Kommune
Kystbeskyttelse ved Nordstrand

Oversigtsplan for kystbeskyttelse
Plan

BEM/ERKNINGER

PROJEKTNR.	A039861
TEGN./UDARB.	NAGE / VKJ
KONTROLLERET	CEL
GODKENDT	CEL
MÅL	1:5000
DATO	2013-11-15

DOKUMENTNR.	VERSION
39861-PD-03	0.1





Noter:
Koter er i meter DVR90.
Mål er i meter.

Signatur:

 Afsætningslinie skråningsbeskyttelse og strandvold

Henvisning:

39861-PD-10	Bølgebrydere - Tværsnit
39861-PD-11	Høfde - Tværsnit
39861-PD-15	Skråningsbeskyttelse langs vej og strandvold ved campingplads - Tværsnit



Noter:

Koter er i meter DVR90.
Mål er i meter.

Signatur:

— — — — — Afsætningslinje skråningsbeskyttelse og strandvold

Henvisning:

39861-PD-10	Bølgebrydere - Tværsnit
39861-PD-15	Skråningsbeskyttelse langs vej og strandvold
	ved campingplads - Tværsnit
39861-PD-20	Strandfodring - Snit 1 af 2
39861-PD-21	Strandfodring - Snit 2 af 2

VER.	DATO	BEMÆRKNINGER	TEGN./UDARB.	KONTROL	GODKENDT

Norddjurs Kommune		PROJEKTNR. A039861	
Kystbeskyttelse ved Nordstrand		TEGN./UDARB. NAGE / VKJ	
Fremtidig strand		KONTROLLERET CEL	
Plan 1 af 2		GODKENDT CEL	
BEMÆRKNINGER		MÅL 1:1000	
		DATO 2013-11-15	
		DOKUMENTNR. VERSION	
		39861-PD-07 0.1	

COWI

COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby
Danmark

Tlf +45 56 40 00 00
Fax +45 56 40 99 99
www.cowi.dk



Noter:

Koter er i meter DVR90.
Mål er i meter.

Signatur:

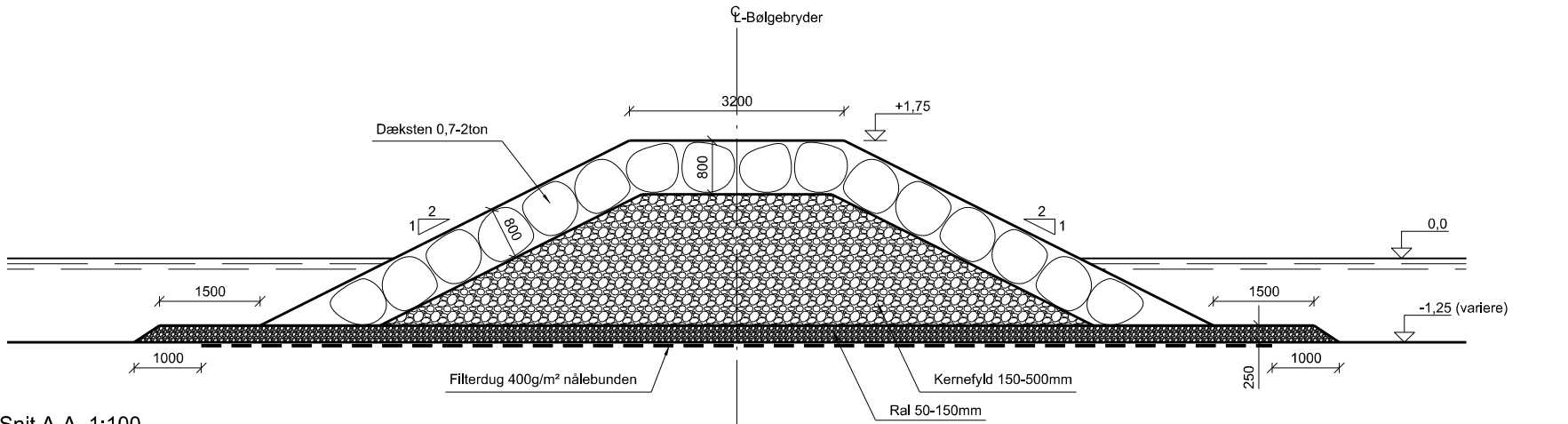
— — — — — Afsætningslinje skråningsbeskyttelse og strandvold

— — — — — Bagkant af strandfodring langs eksisterende klitfod

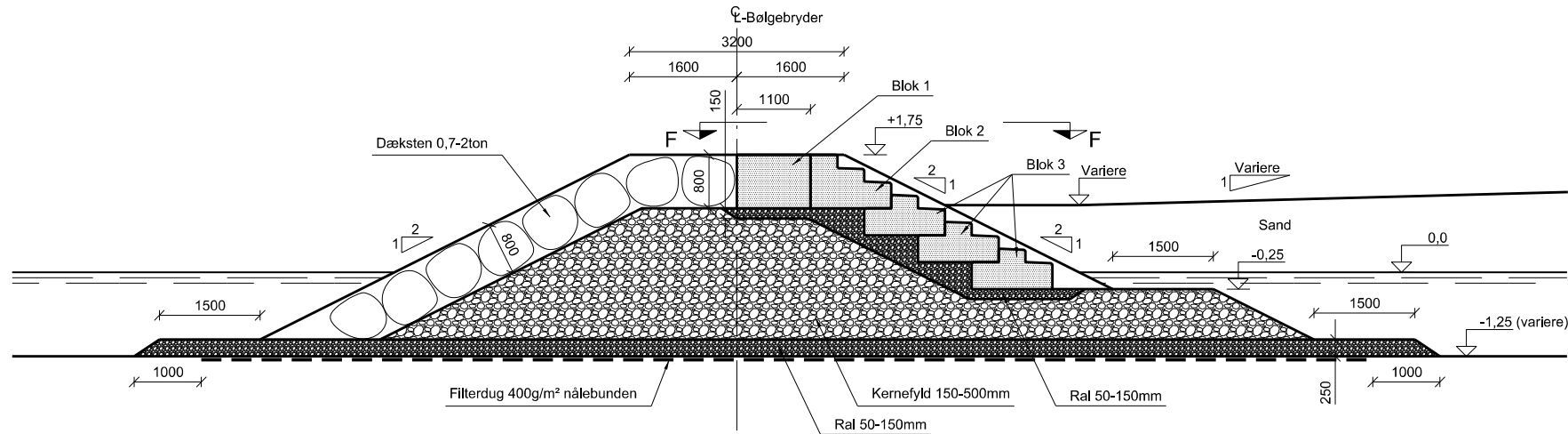
Henvisning:

39861-PD-10 Bølgebrydere - Tværsnit
39861-PD-11 Høfde - Tværsnit
39861-PD-15 Skråningsbeskyttelse langs vej og strandvold ved campingplads - Tværsnit

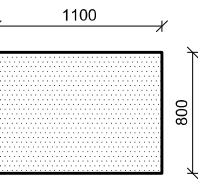
39861-PD-20 Strandfodring - Snit 1 af 2
39861-PD-21 Strandfodring - Snit 2 af 2



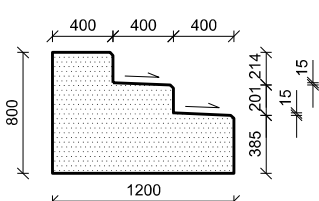
Snit A-A, 1:100
For snit se tegn. nr. 39861-PD-05



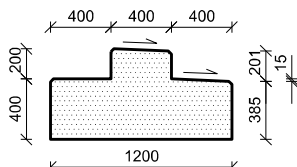
Snit B-B, 1:100
For snit se tegn. nr. 39861-PD-05



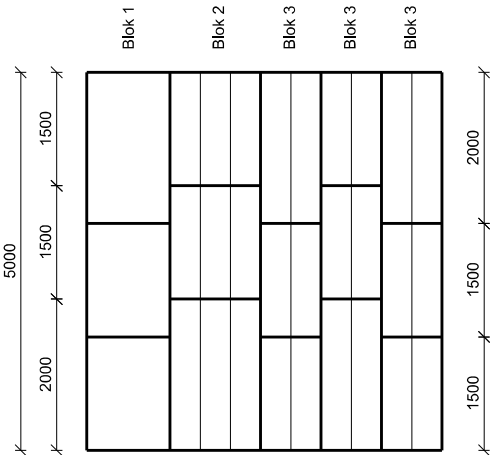
Betonblok 1, 1:50



Betonblok 2, 1:50



Betonblok 3, 1:50



Snit F-F, 1:100

Noter:

Mål er i millimeter.
Koter er i meter DVR90.
Dæksten i et lag skal pakkes tæt.

Henvisning:

39861-PD-05 Bølgebrydere og skråningsbeskyttelse langs vej - Plan

Sten specifikationer:

Stenklasse	NLL (< 10%kg)	NUL (> 70%kg)	M _{em} (kg)	Densitet (kg/m³)
Dæksten 0,7-2ton	700	2000	1150 - 1430	2650
Dæksten 0,3-1ton	300	1000	540 - 690	2650
Dæksten 60-300kg	60	300	130 - 190	2650

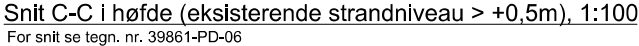
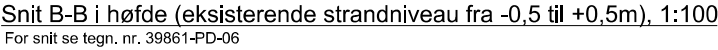
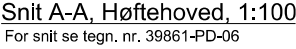
Andet	D ₁₅ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₈₅ (mm)	Densitet (kg/m³)
Ral underlag* 50-150mm	40-60	80-120	120-180	2500
Filterlag* 50-300mm	40-60	140-210	240-360	2500
Kerneyld* 150-500mm	120-180	260-390	400-600	2500
Natursten* 100-400mm	80-120	200-300	320-480	2500

* Skal være velgraderet. Maksimalt 5% flint.
NLL: Nedre nominal vægt: Højest 10% af graderingen i vægtprocent for stenstørrelse under NLL.
NUL: Øvre nominal vægt: Højest 70% af graderingen i vægtprocent for stenstørrelse under NUL.
M_{em}: Gennemsnitsvægt.

0,1	2013-11-15	NAGE / VKJ	CEL	CEL
VER.	DATO	BEM/ERKNINGER	TEGN./UDARB.	GODKENDT

**Norddjurs Kommune
Kystbeskyttelse ved Nordstrand**

Bølgebrydere Tværnsnit	PROJEKTNR. A039861
	TEGN./UDARB. NAGE / VKJ
	KONTROLLERET CEL
	GODKENDT CEL
BEM/ERKNINGER	MÅL 1:50; 1:250
Sten specifikationer D50 og D85 byttet. NLL og NUL tekst revideret.	DATO 2013-11-19
COWI A/S Parallevej 2 2800 Kongens Lyngby Danmark	DOKUMENTNR. 39861-PD-10
Tlf +45 56 40 00 00 Fax +45 56 40 99 99 www.cowi.dk	VERSION 0.2



Mål er i millimeter.
Koter er i meter DVR90.
Dæksten i ét lag skal pakkes tæt.

39861-PD-06 Bølgebryder, strandvold og hofde - Plan

Stenklasse	NLL (< 10%kg)	NUL (> 70%kg)	M _{em} (kg)	Densitet (kg/m ³)
Dæksten 0,7-2ton	700	2000	1150 - 1430	2650
Dæksten 0,3-1ton	300	1000	540 - 690	2650
Dæksten 60-300kg	60	300	130 - 190	2650

* Skal være velgraderet. Maksimalt 5% flint.

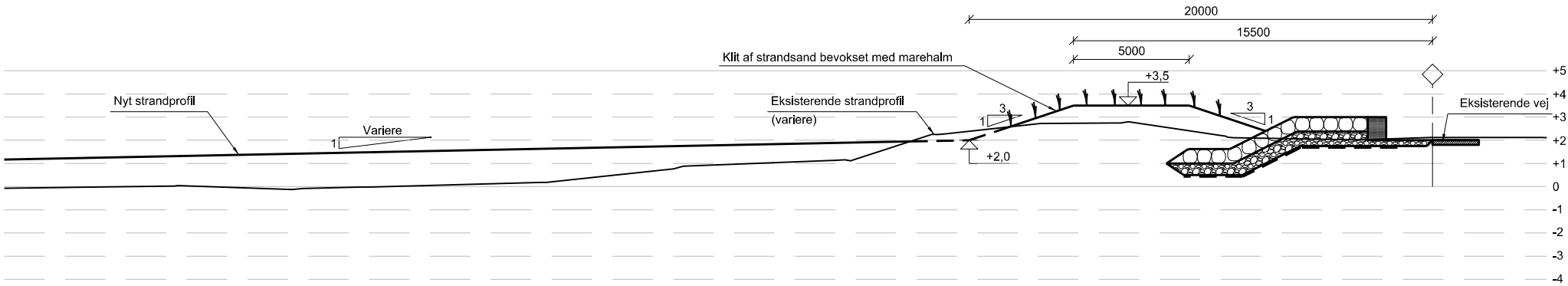
NLL: Nedre nominal vægt: Højest 10% af graderingen i vægtprocent for stenstørrelse under NLL.

NUL: Øvre nominal vægt: Højest 70% af graderingen i vægtprocent for stenstørrelse under NUL.

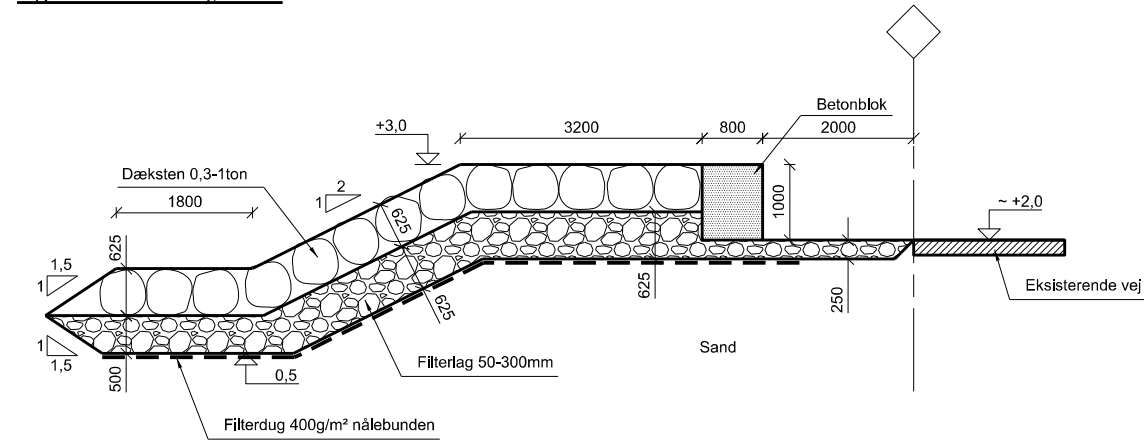
M_{em}: Gennemsnitsvægt.

Norddjurs Kommune
Kystbeskyttelse ved Nordstrand

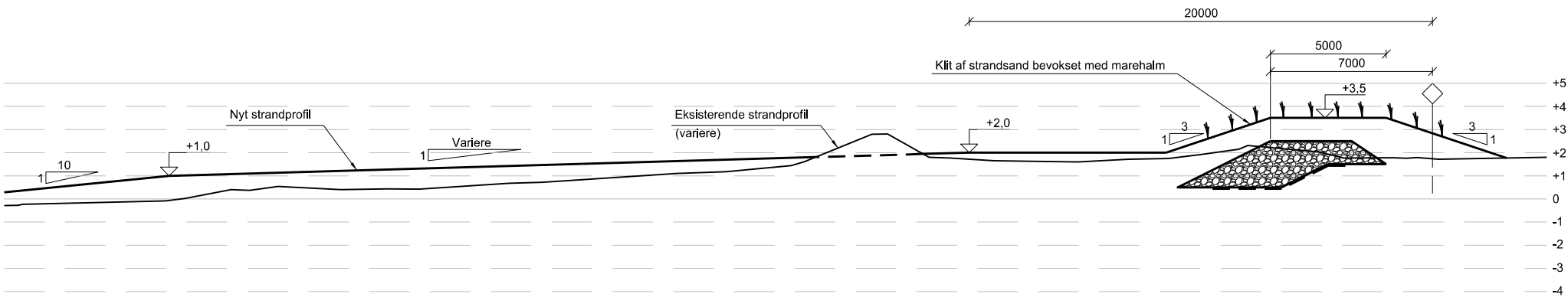
	COWI A/S Parallevej 2		DOKUMENTNR.	VERSION
	2800 Kongens Lyngby Danmark	Tlf +45 56 40 00 00 Fax +45 56 40 99 99 www.cowi.dk	39861-PD-11	0.2



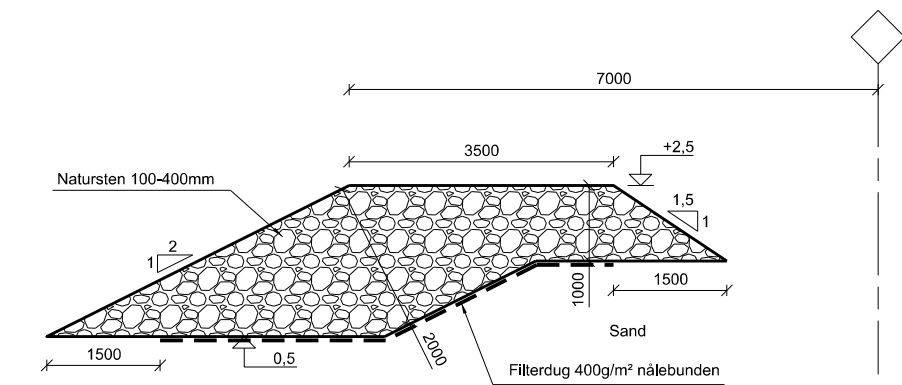
Typisk snit ved vej, 1:250



Snit A-A, Skråningsbeskyttelse, 1:100



Typisk snit ved campingplads, 1:250

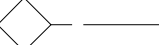


Snit B-B, Strandvold, 1:100

Noter:

Mål er i millimeter.
Koter er i meter DVR90.
Dæksten i et lag skal pakkes tæt.
Beton-blokke maksimalt 2m lange og støbes med fer og not.

Signatur:

 Afsætningslinie skråningsbeskyttelse og strandvold

Sten specifikationer:

Stenklasse	NLL (< 10%kg)	NUL (> 70%kg)	M _{em} (kg)	Densitet (kg/m³)
Dæksten 0,7-2ton	700	2000	1150 - 1430	2650
Dæksten 0,3-1ton	300	1000	540 - 690	2650
Dæksten 60-300kg	60	300	130 - 190	2650

Andet	D ₁₅ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₈₅ (mm)	Densitet (kg/m³)
Ral underlag* 50-150mm	40-60	80-120	120-180	2500
Filterlag* 50-300mm	40-60	140-210	240-360	2500
Kemefyld* 150-500mm	120-180	260-390	400-600	2500
Natursten* 100-400mm	80-120	200-300	320-480	2500

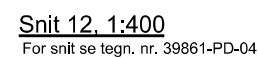
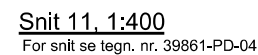
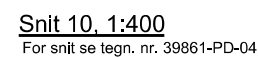
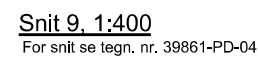
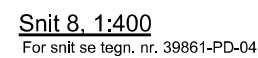
* Skal være velgraderet. Maksimalt 5% flint.
NLL: Nedre nominal vægt: Højest 10% af graderingen i vægtprocent for stenstørrelse under NLL.
NUL: Øvre nominal vægt: Højest 70% af graderingen i vægtprocent for stenstørrelse under NUL.
M_{em}: Gennemsnitsvægt.

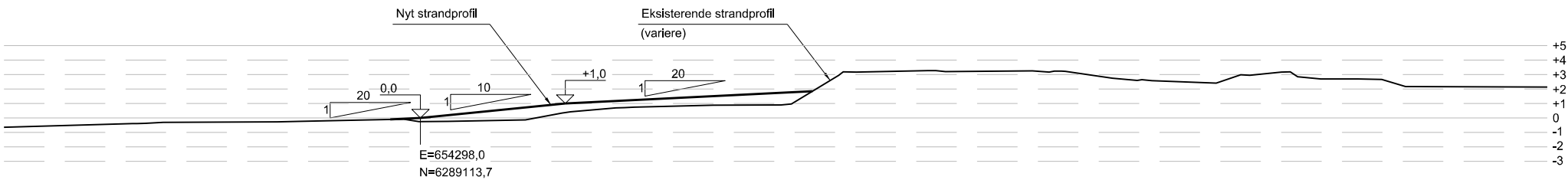
0,1	2013-11-15	NAGE / VKJ	CEL
VER.	DATO	TEGN./UDARB.	KONTROL

Norddjurs Kommune Kystbeskyttelse ved Nordstrand

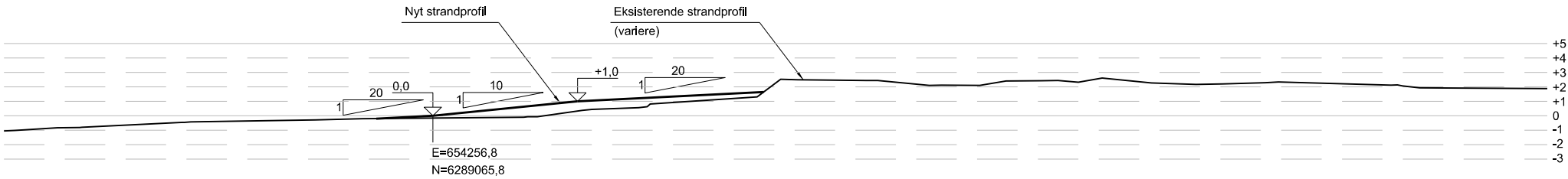
Skråningsbeskyttelse langs vej og strandvold ved campingplads
Tværsnit

BEM/ERKNINGER	MÅL	1:100; 1:250
Sten specifikationer D50 og D85 byttet. NLL og NUL tekst revideret.	DATO	2013-11-19

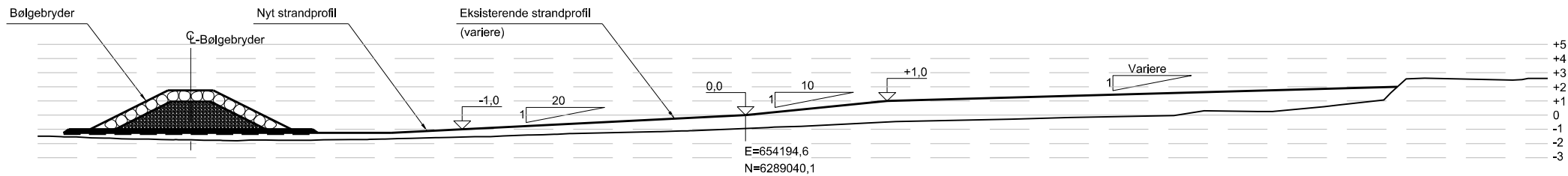




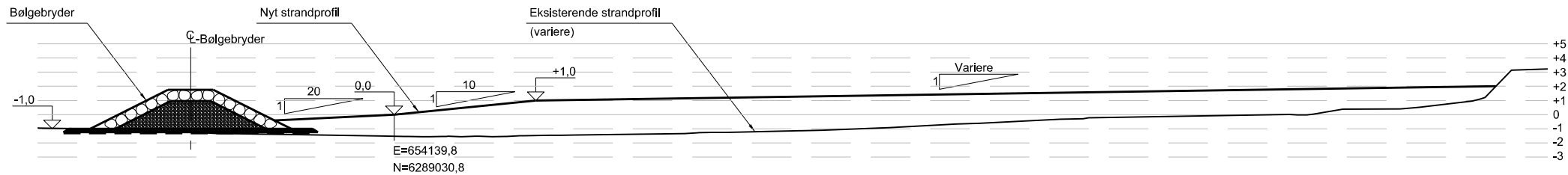
Snit 2, 1:400
For snit se tegn. nr. 39861-PD-04



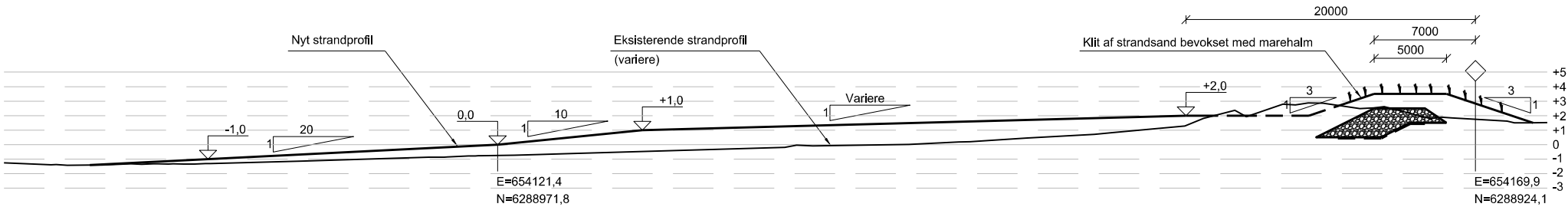
Snit 3, 1:400
For snit se tegn. nr. 39861-PD-04



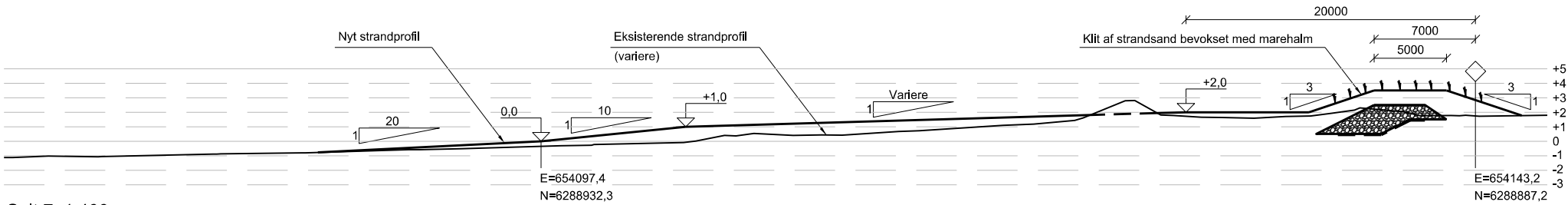
Snit 4, 1:400
For snit se tegn. nr. 39861-PD-04



Snit 5, 1:400
For snit se tegn. nr. 39861-PD-04



Snit 6, 1:400
For snit se tegn. nr. 39861-PD-04



Snit 7, 1:400
For snit se tegn. nr. 39861-PD-04

Noter:
Mål er i millimeter.
Koter er i meter DVR90.
Orienteringen af profilerne af eksisterende strand er 314,5 grader nord.
Hældningen af nye profiler er vinkelret på afsætningslinie for konstruktioner / strand.

Henvisning:
39861-PD-04 Fremtidig strand, strandfodring - Plan
39861-PD-15 Skråningsbeskyttelse langs vej og strandvold ved campingplads - Tværsnit

Signatur:
Afsætningslinie skråningsbeskyttelse og strandvold

Norddjurs Kommune
Kystbeskyttelse ved Nordstrand

Strandfodring
Tværsnit 2 af 2

BEM/ERKNINGER

PROJEKTNR. A039861
TEGN./UDARB. NAGE / VKJ
KONTROLLERET CEL
GODKENDT CEL
MÅL 1:400
DATO 2013-11-15

DOKUMENTNR. 39861-PD-21
VERSION 0.1

COWI

COWI A/S
Parallelsvej 2
2800 Kongens Lyngby
Danmark

Tlf. +45 56 40 00 00
Fax +45 56 40 99 99
www.cowi.dk