

LEMVIG KOMMUNE

KYSTBESKYTTELSE - LEMVIG ROKLUB OG MARINA

UDDRAG AF PROJEKTFORSLAGSNOTAT

ADRESSE COWI A/S

Visionsvej 53
9000 Aalborg

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Indledning og baggrund	2
2	Besigtigelse	2
3	Projekteringsgrundlag	9
3.1	Vandstandsforhold	9
3.2	Bølgeforhold	10
3.3	Topografi og vanddybder	15
3.4	Jordbundsforhold	17
4	Kystbeskyttelse	19
4.1	Projektforslag	19
5	Referencer	24

PROJEKTNR.

A203501

DOKUMENTNR.

A203501-001-TN04

VERSION

1.0

UDGIVELSESDATO

22-04-2021

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

HGLN, RUAH

KONTROLLERET

THGI

GODKENDT

CQN

1 Indledning og baggrund

Lemvig Roklub oplever problemer med tilsanding ved deres platform og bådebro, samt at bølger fra nord kan give anledning til væsentlig bølgeuro med skader på platform og bådebro. Umiddelbart øst for roklubben, langs stranden mod marinaens indsejling, oplever Lemvig Kommune at kysten og diget er under erosion.

Formålet med projektet er dels at reducere tilsanding og bølgeuro ved Roklubbens platform og bådebro dels at beskytte kysten og diget umiddelbart øst for Roklubben mod erosion. Fortsat erosion af diget vil udgøre en risiko for, at diget gennembrydes og de bagvedliggende, lavtliggende områder oversvømmes i forbindelse med højvande.

Nærværende notat præsenterer projektforslag for den løsning, der planlægges udført for at tage hånd om de ovennævnte problemstillinger.

2 Besigtigelse

Der blev foretaget en besigtigelse af stranden mellem Roklubben og indsejlingen til marinaen d. 20. februar 2020.

Oversigtskort med de anvendte betegnelser fremgår af Figur 2-1 og Figur 2-2 og billeder fremgår af Foto 1 til Foto 8.



Figur 2-1 Oversigtskort, 2018



Figur 2-2 Oversigt med betegnelser, 2018

Besigtigelsen blev foretaget i forbindelse med ca. 0,5 m højvande. Følgende blev observeret:

- > Roklubben oplyser at deres platform er opbygget af betonblokke med trap-petrin mod vandet. Roklubben oplyser at platformen oprindeligt blev bygget med 1,6 m vanddybde men at der siden er sket betydelig tilsanding.
- > Der ligger to høfder øst for båderampen. Høfde 1 fremgår ikke af ortofotos fra 2018 og må være forholdsvist nyanlagt. Høfden er kort, og ser ikke ud til at have ret stor effekt.
- > Høfde 2 består af betonbrokker og fliser som strækker sig 5-6 m ud i vandet. Høfden har formået at holde på stranden vest for høfden (strand 1), men vanddybden ved spidsen af høfden er kun 20-30 cm. Der kan derfor antageligt passere en del sand omkring høfden i forbindelse med bølger fra Nord (Nisum bredning).

- > Stranden mellem hofde 2 og 3 (strand 1) var forholdsvist stenet i forbindelse med besigtigelsen. Der var tydelige tegn på erosion ved skræntfoden, specielt på den nordøstlige halvdel af stranden vest for hofde 3. Det fremgår af Figur 2-3, at skrænten beskytter det bagvedliggende lave område i tilfælde af højvande. Således vil fortsat erosion af skræntfoden på sigt kunne udgøre en risiko for oversvømmelse af de bagvedliggende områder.
- > Hofde 3 består af 10-50 kg sten udlagt omkring en række hofdeblokke (betonklokke). Hofden har en længde på ca. 25 m og er forholdsvist lav. Hofden har skabt en strand (strand 2) nord for hofden. Men det må formodes, at der passerer en del sand omkring hofden fra strand 2 til strand 1 i forbindelse med store bølger fra nord.
- > Stranden nord for hofde 3 (strand 2) var mindre stenet end strand 1 i forbindelse med besigtigelsen. Der var tydelige tegn på erosion af skræntfoden startende ved stenkastning og mole ved indsejlingen til Lemvig Marina.
- > Hofde 4 var ikke synlig i forbindelse med besigtigelsen.



Foto 1 Roklubbens platform samt hofde 1 og 2



Foto 2 Høfde 2 – bestående af betonbrokker



Foto 3 Strand 1 – Stenet strand



Foto 4 *Strand 1 – Skræntfodserosion*



Foto 5 *Høfde 3*



Foto 6 Høfde 3 – bestående af 10-50 kg sten og høfdeblokke



Foto 7 Strand 2 – billede taget fra høfde 3



Foto 8 Stenkastning og mole ved indsejlingen til Lemvig Marina



Figur 2-3 Oversigt - Danmarks Højdemodel DHM fra 2014-2015.

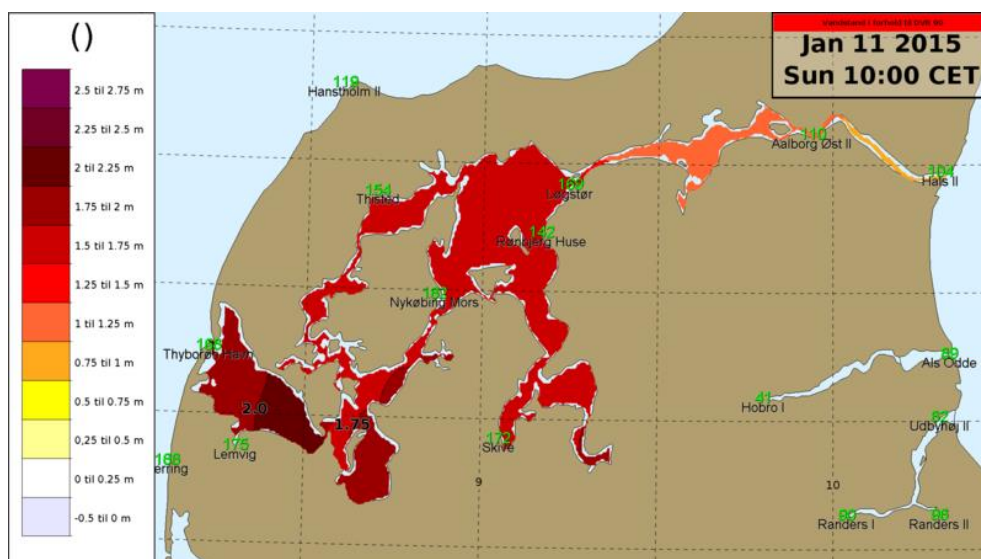
3 Projekteringsgrundlag

For projektering af de marine konstruktioner er der bestemt dimensionsgivende bølger og vandstand i det følgende.

3.1 Vandstandsforhold

De ekstreme vandstandsforhold i Limfjorden er styret af vandstanden i Vesterhavet, idet ekstreme vandstande langs kysten forplanter sig ind i Limfjorden og Nissum Bredning, gennem Thyborøn Kanal.

Der er regionale forskelle på vandstanden i Limfjorden og Nissum Bredning som følge af hvad man kan kalde geografisk förstærkning, dvs. at meteorologiske forhold förstærkes omkring Lemvig, herunder vindstuvning, hvorfor området omkring Lemvig ofte oplever større vandstande end i Limfjorden generelt. Det ses bl.a. i forbindelse med stormen Egon fra 9.-11. januar 2015 (se Figur 3-1) hvor vestenvinden stuver vandmasserne op i den østlige del af Nissum Bredning ved Oddesundbroen, som antageligt oplevede mere end 2 m højvande under stormen, mens Lemvig oplevede en vandstand på 1,95 m.



Figur 3-1 Vandstanden omkring Lemvig i forbindelse med stormen Egon, efter stormen var toppet med en vandstand på +1,95 m i Lemvig kl. 8:40 d. 11. januar 2015 [ref. (DMI, 2015)].

Kystdirektoratets højvandsstatistikker fra 2017. [ref. (Kystdirektoratet, 2017)] er gengivet i Tabel 3-1 og viser at en 50 års vandstand er ca. 1,9 m ved Lemvig og at stormen Egon næsten svarede til en 100-års hændelse.

Tabel 3-1 Ekstreme vandstande ved Lemvig baseret på Kystdirektoratets højvandsstatistikker fra 2017. [ref. (Kystdirektoratet, 2017)]

Returperiode [år]	Lemvig (53 år) KDI Vandstand [mDVR90]
1	1,29
20	1,85
50	1,92
100	1,97

Ekstrem vandstand forekommer i forbindelse med storm fra V og VNV, mens store bølger forekommer i forbindelse med vind fra N og NØ. Det vil derfor være for konservativt at antage at der er store bølger samtidig med ekstrem høj vandstand.

Som grundlag for dimensioneringen af hofdere og stenkastninger antages, at der kan forekomme bølger fra nord og nordøst i forbindelse med vandstande på 0,0 til 1,5 mDVR90 og at der kan forekomme bølger fra syd og sydøst i forbindelse vandstande på -0,5 til +0,5 mDVR90.

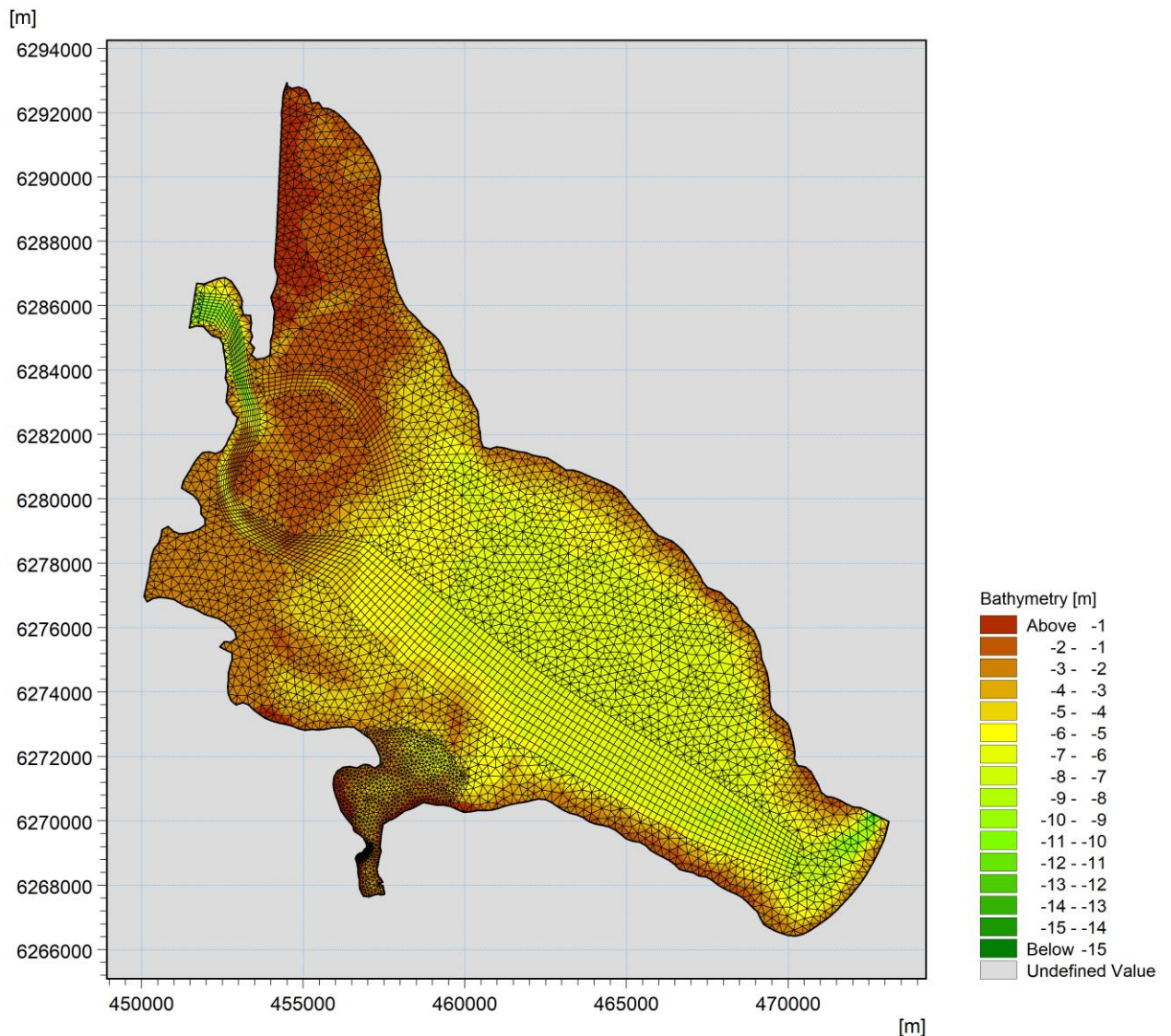
3.2 Bølgeforhold

Bølgeforholdene ved Vinkelhage afhænger primært af vindforholdene. Bølgenes størrelse (højde og periode) afhænger af vandstrækningen (det frie stræk) som bølgerne kan genereres over samt vindstyrken og vindens varighed.

Bølgeforholdene ved Vinkelhage er dog komplicerede af at kysten slår et knæk, og at der er et forholdsvis bredt lavvandet område foran området.

For at studere bølgeforholdene er der derfor foretaget bølgemodellering i MIKE 21 SW-modellen, som er udviklet af DHI. Modellen inkluderer alle de bølgefænomener, som har betydning for bølgerne ved Vinkelhage dvs. vindgenerering, bundfriktion, refraktion og brydning.

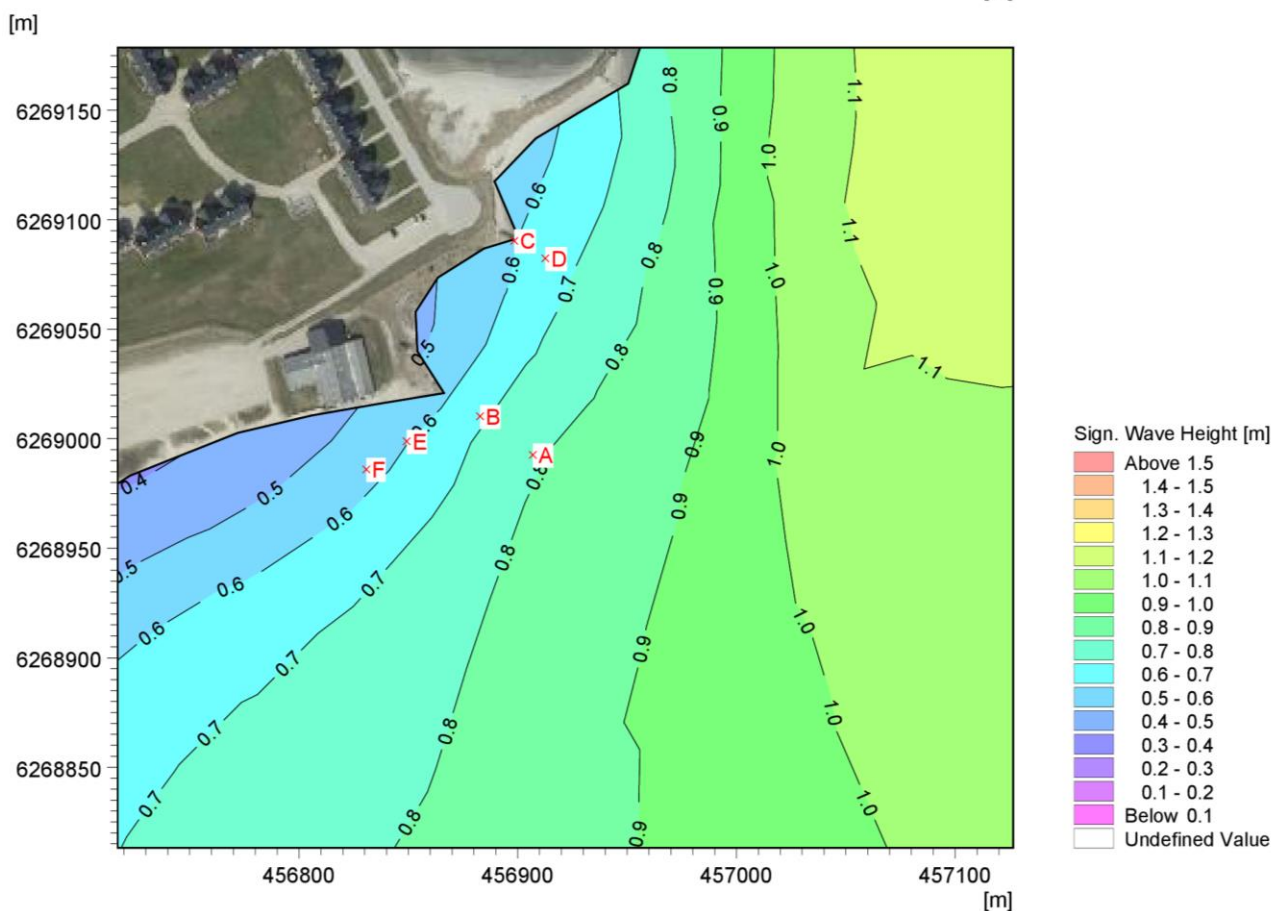
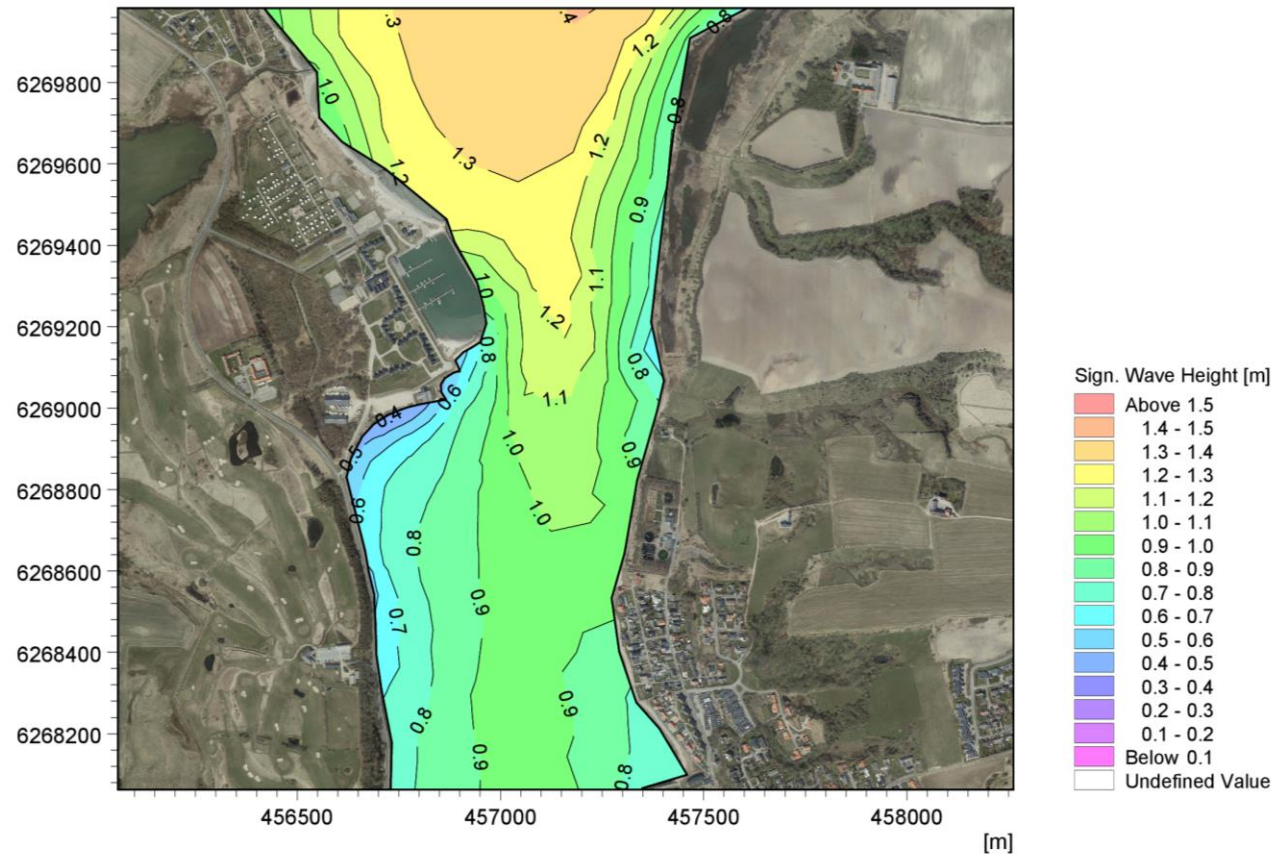
Anvendt topografi og vanddybder ved bølgemodellering er beskrevet i afsnit 4.3.



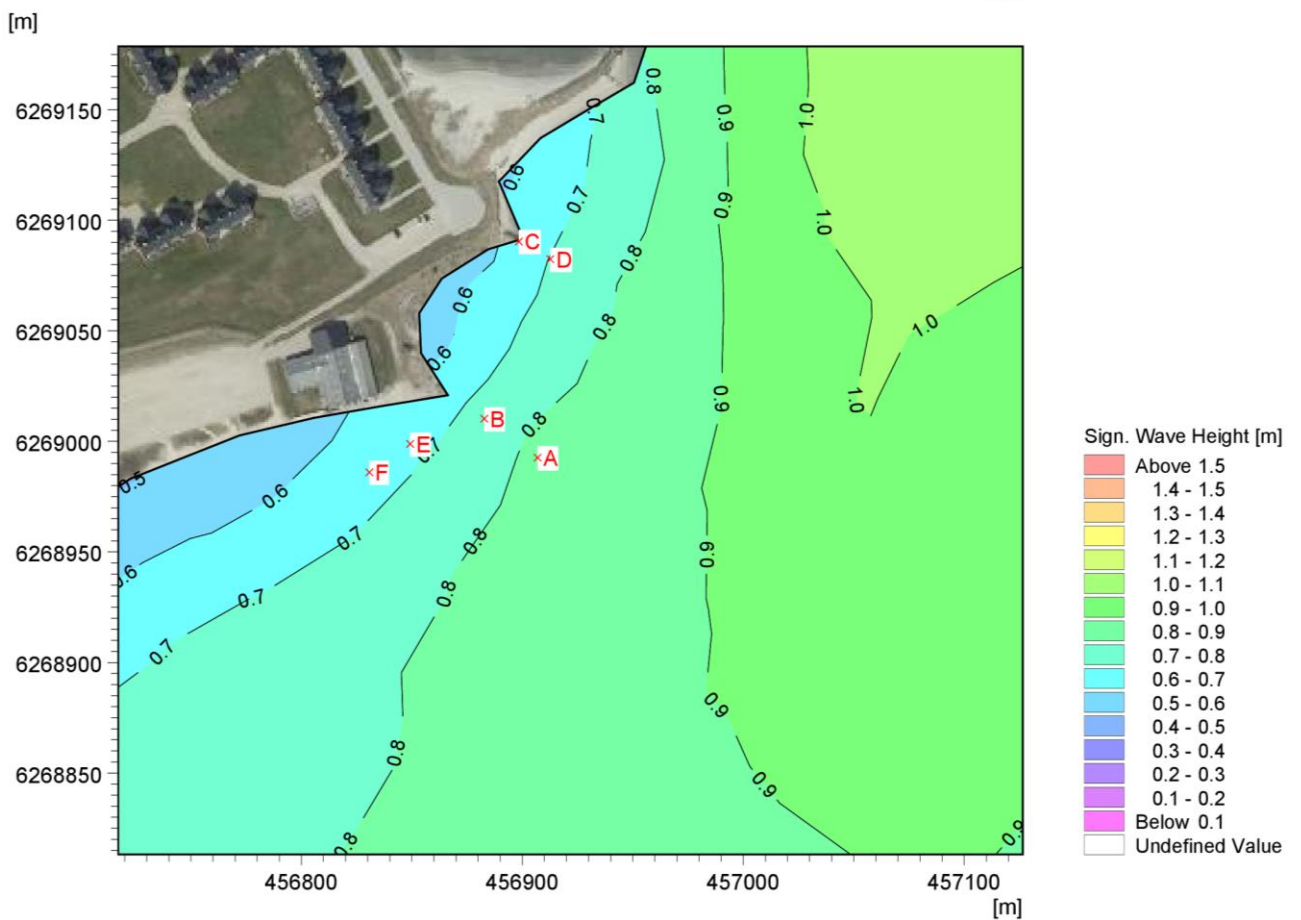
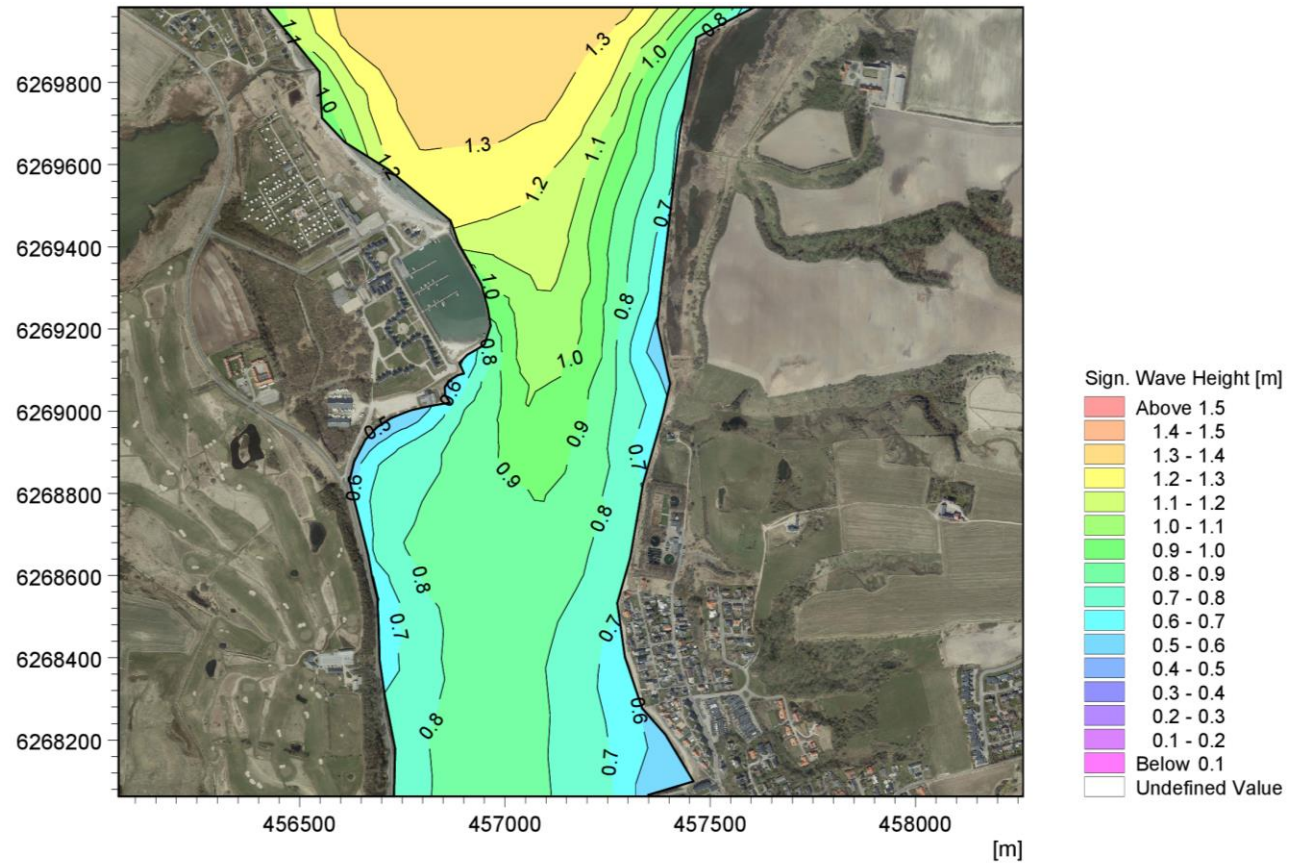
Figur 3-2 Beregningsnet og modeludstrækning – MIKE 21 SW bølgemodel af Lemvig Vig.

For at bestemme de dimensionsgivende bølgeforhold er modelleringen udført ved at antage en storm-vindhastighed på 25m/s fra forskellige retninger.

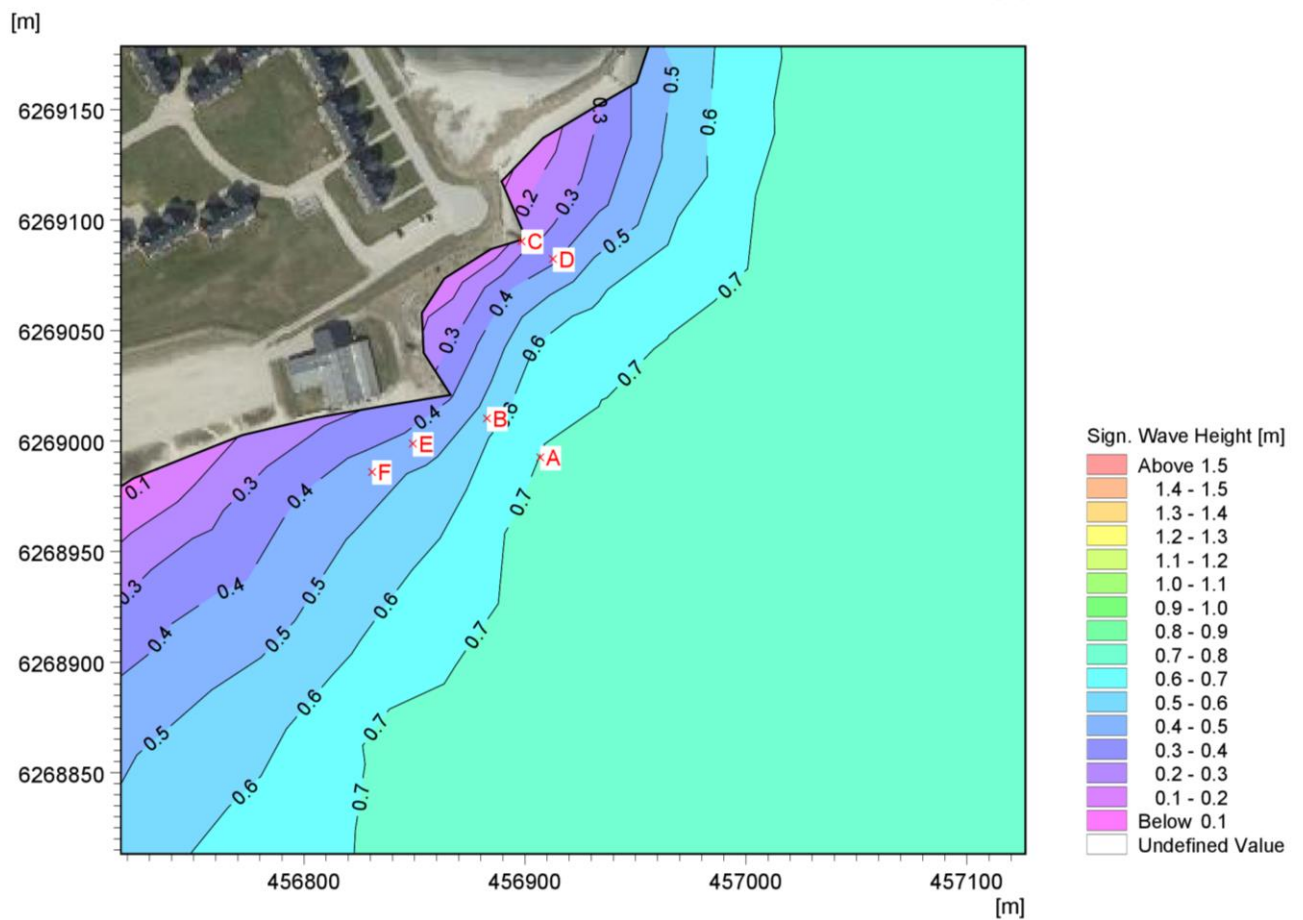
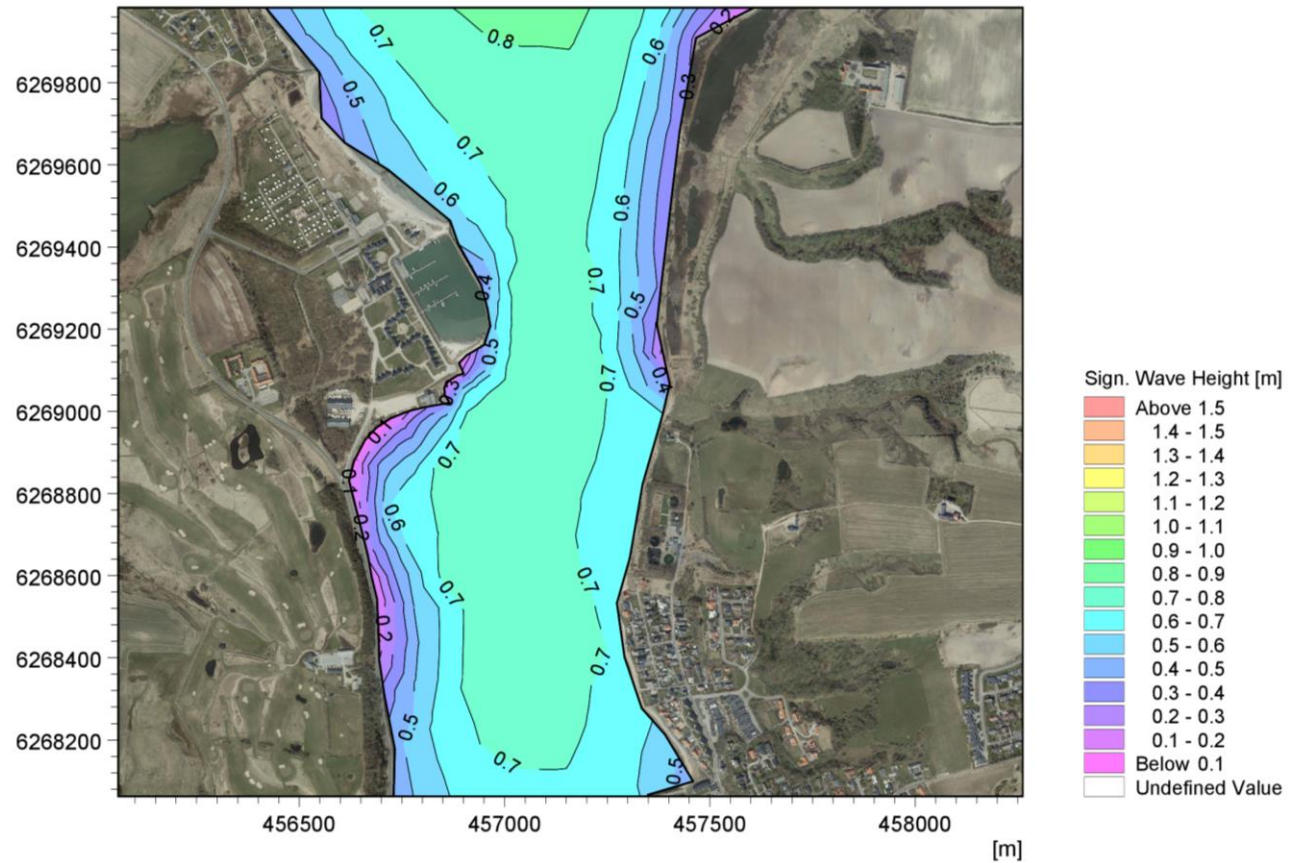
Eksempler på beregninger fremgår af Figur 3-3 til Figur 3-5 og resultater er endvidere trukket ud af modellen i 6 punkter (A-F) foran kysten mellem roklubben og indsejlingen til marinaen. Som det fremgår, kan den signifikante bølgehøjde blive i størrelsesorden $H_{m0} = 0,5-0,9$ m og peak bølgeperioderne varierer i størrelsesordenen $T_p = 2,5-4$ s.



Figur 3-3 Bølgeforhold (signifikant bølgehøjde, H_{m0}) ved storm fra N (0°)



Figur 3-4 Bølgeforhold (signifikant bølgehøjde, H_{m0}) ved storm fra NØ (50°)



Figur 3-5 Bølgeforhold (signifikant bølgehøjde, H_{m0}) ved storm fra SSØ (170°)

Tabel 3-2 Bølgeparametre ved Vinkelhage i forbindelse med storm fra nordlige og nordøstlige retninger (0-70°). Punkterne A – F fremgår af Figur 3-3 til Figur 3-5

Vind		Vandstand WL, mDVR90	Signifikant bølgehøjde, H_{m0} (m)						Bølgeperiode, T_p (peak) og $T_{m-1,0}$ (middel) i parents (s)					
U_{10} (m/s)	W_{dir} (°)		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
25	0	1,5	0,75	0,65	0,57	0,62	0,56	0,53	2,7 (-)	2,9 (-)	3,8 (-)	3,6 (-)	3,3 (-)	2,9 (-)
25	10	1,5	0,78	0,68	0,60	0,65	0,60	0,56	2,7 (2,6)	2,9 (2,6)	4,0 (3,0)	3,7 (2,9)	3,3 (2,6)	2,8 (2,4)
25	20	1,5	0,81	0,71	0,62	0,67	0,63	0,59	2,7 (2,7)	2,6 (2,6)	4,0 (3,0)	3,8 (2,9)	2,9 (2,6)	2,8 (2,5)
25	30	1,5	0,82	0,73	0,63	0,69	0,65	0,62	2,6 (2,7)	2,6 (2,6)	4,0 (2,9)	3,8 (2,9)	2,6 (2,6)	2,5 (2,5)
25	40	1,5	0,83	0,74	0,64	0,70	0,67	0,64	2,6 (2,6)	2,6 (2,6)	2,7 (2,9)	2,7 (2,8)	2,6 (2,6)	2,5 (2,4)
25	50	1,5	0,82	0,74	0,65	0,70	0,68	0,65	2,6 (2,6)	2,5 (2,5)	2,6 (2,7)	2,6 (2,7)	2,5 (2,5)	2,5 (2,4)
25	60	1,5	0,81	0,74	0,65	0,70	0,68	0,66	2,5 (2,5)	2,5 (2,4)	2,6 (2,6)	2,6 (2,6)	2,5 (2,4)	2,5 (2,3)
25	70	1,5	0,79	0,74	0,65	0,70	0,69	0,67	2,5 (2,4)	2,5 (2,4)	2,5 (2,5)	2,5 (2,5)	2,5 (2,4)	2,5 (2,3)

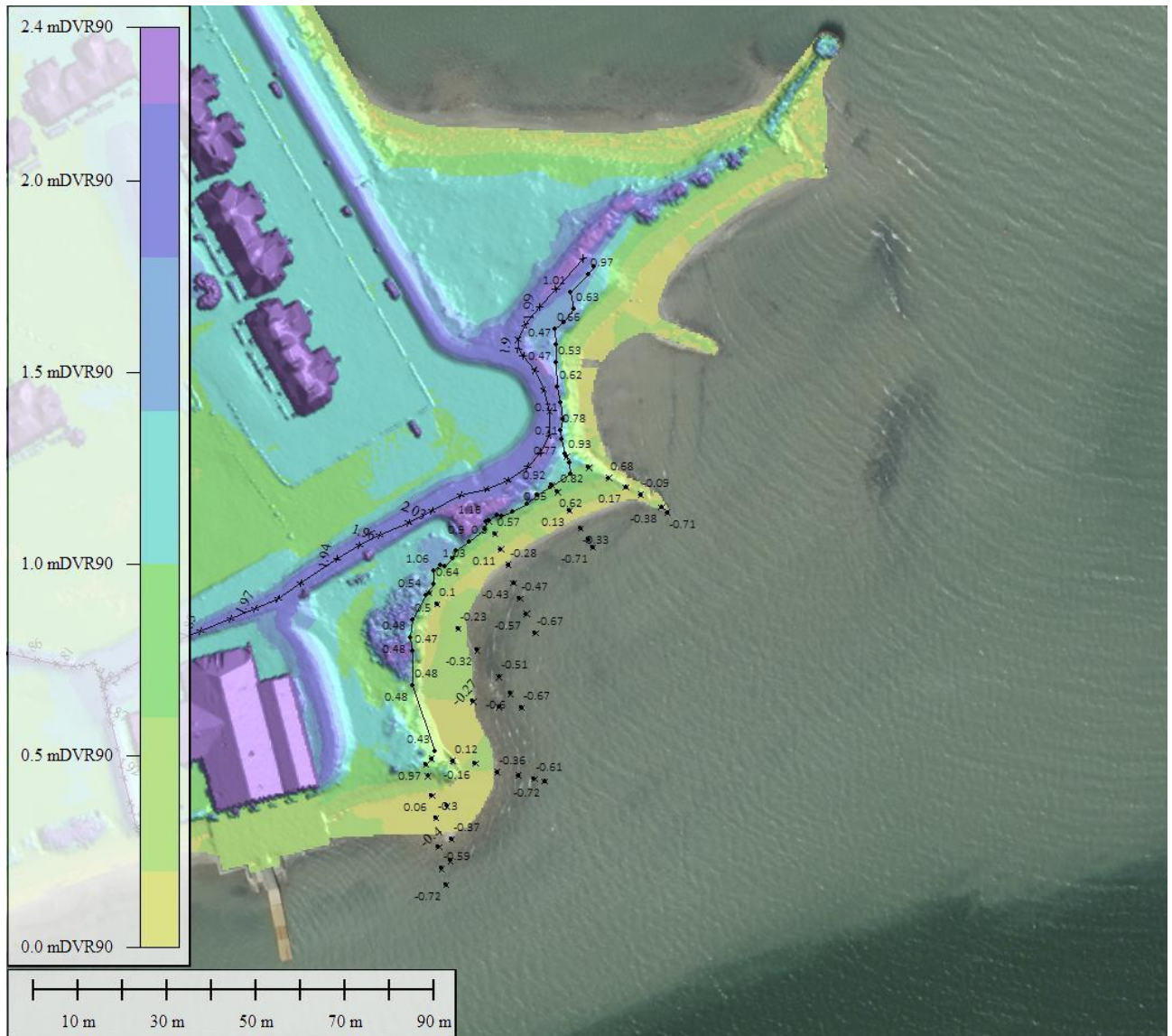
Som grundlag for projektforslaget anvendes en dimensionsgivende signifikant bølgehøjde på $H_{m0} = 1,0$ m og en middel bølgeperiode på $T_{m-1,0} = 3,0$ s ($T_p = 3,3$ s).

3.3 Topografi og vanddybder

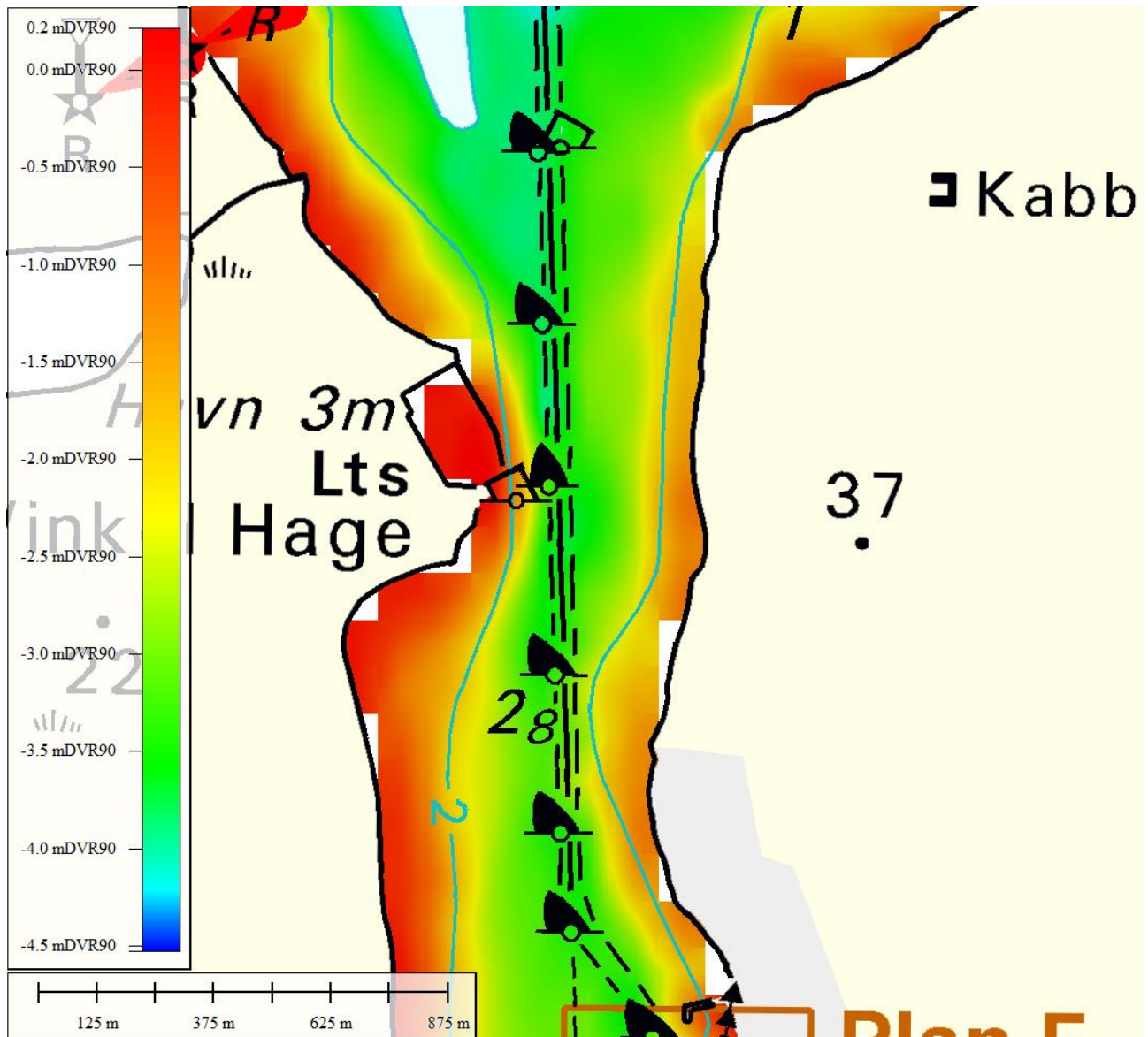
Der er foretaget en opmåling af terrænet i marts 2020 udført af Geopartner. Opmålingen er sammenholdt med den danske terrænmodel fra 2014-2015 i Figur 3-6.

Som det fremgår, er der foretaget opmåling til en vanddybde på ca. 0,7m. På større dybder er der begrænset med data. Jf. Figur 3-7 er der ca. 100 m fra stranden og ud til 2 m vanddybde, svarende til en gennemsnitlig bundhældning på 1:50.

I forhold til anlægsøkonomi og bølgeforholdene ved kysten hersker der en vis usikkerhed i forhold til vanddybderne fra 0,7 m vanddybde og ud til 2 m konturen. I forhold til anlægsoverslag og bølgemodellering anvendes vanddybder fra Geodatastyrelsens 50 m bathymetri på vanddybder større end 0,7 m vanddybde jf. Figur 3-7.



Figur 3-6 Opmåling foretaget i marts 2020 (punkter) og Danmarks Terrænmodel (DTM) fra 2014-2015 (farver).



Figur 3-7 Søkort 108 overlagt på Geodatastyrelsens (GST) 50 m bathymetri (farveskala)

3.4 Jordbundsforhold

I forbindelse med udførelsen af marinaen er der i 1970'erne udført geotekniske undersøgelser (se Figur 3-8). De geotekniske undersøgelser for Østlig ydermole i marinaen viser meget varierende jordbundsforhold. Østlig ydermole ligger generelt på ca. 8 m sand som underlejres af gytje. Bundforholdene bliver generelt dårligere syd for indsejlingen til marinaen. Ved boring nr. 5 (se Figur 3-8) som er placeret på vestsiden af indsejlingen til marinaen er der således ikke truffet sand men udelukkende dynd ned til boringens afslutning i kote -11 m.

Vi har ikke kendskab til funderingsforholdene for roklubbens klubhus. Man kunne antage at sandlaget som er fundet under østlig ydermole i marinaen ligeledes går ind i området ved klubhuset. Kommunen oplyser at klubhuset igennem tiden har undergået sætninger på ca. 0,3 m.

I forbindelse med udarbejdelse af projektforslag for kystbeskyttelse var der oprindelig planlagt udført geotekniske undersøgelser i projektområdet. Disse undersøgelser viste sig af praktiske årsager ikke gennemførlige. I stedet er der udført 4 lette rammesonderinger, benævnt B1 til B4. Placering af undersøgelsespunkter fremgår af Figur 3-8. I punkterne for sondering B1 og B4 er der ligeledes udført geotekniske håndboringer. Håndboringerne er udført så dybt som muligt (0,65 m á 1,5 m), mens de lette rammesonderinger er udført til 3,2 m á 4,2 m dybde.



Figur 3-8 Oversigtskort – Geotekniske undersøgelser.

- ▼ ⊗ Boring/sondering udført af COWI 2020
- ▼ ⊗ Boring/sondering udført af GEO 1970
- ❄ Boring udført af A/H 1975

I håndboringerne (B1 og B4) er der truffet fint sand af postglacial alder til boringernes bund i 0,65 m á 1,5 m u. t. I mindre omfang indeholder sandaflejringerne stedvis mindre andele af grus og enkelte steder indslag af ler.

Rammesonderinger indikerer at der minimum er 3,2 til 4 m sandlag i undersøgelsespunkterne.

B2 var planlagt udført ved spidsen af den forlængede hofde 2 men forhold afstedkom at den måtte udføres ca. 25 m længere inde. De geotekniske forhold er således ikke belyst for den fulde længde af hofde 2 hvilket indebærer en risiko for at man træffer dynd eller gytje under et tyndt lag sand på de yderste 25 m af hofde 2. I givet fald vil der være risiko for bundbrud (geoteknisk stabilitet) og sætninger.

De foreliggende undersøgelser indikerer at der træffes dynd og gytje under et sandlag af varierende tykkelse, og at bundforholdene bliver ringere når man bevæger sig væk fra kysten. Dette kan få sætnings og stabilitetsmæssige konsekvenser specielt hvor hofderne forlænges.

4 Kystbeskyttelse

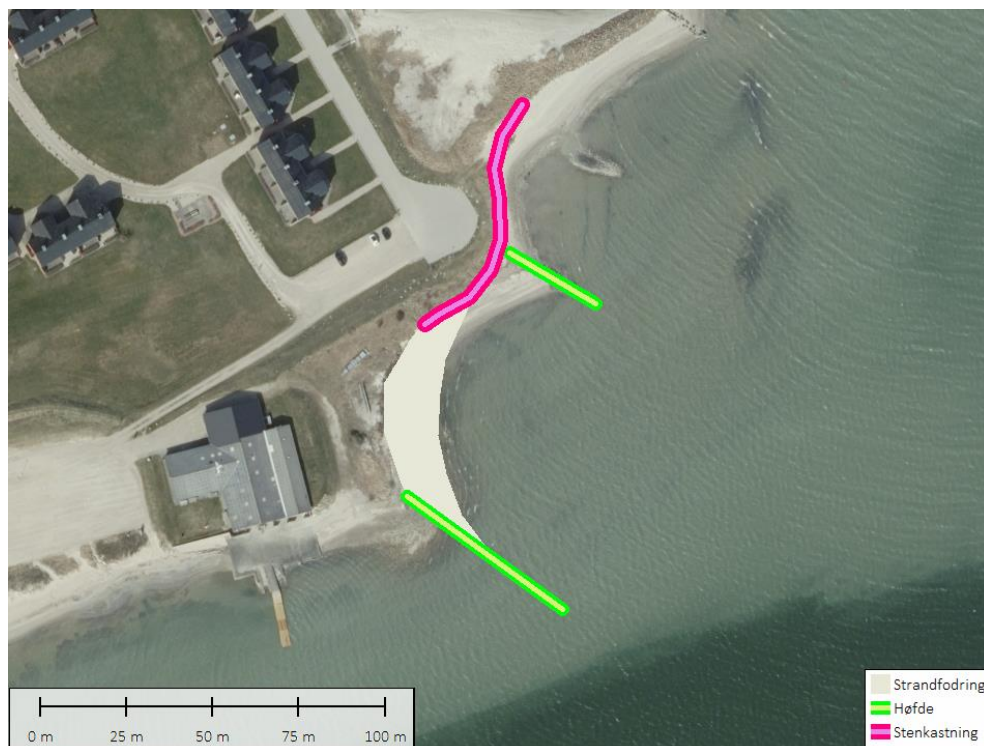
4.1 Projektforslag

Projektforslaget består af følgende elementer:

- > Ca. 75 m stenkastning i forlængelse af Lemvig Marinas ydermole og stenkastning
- > Ca. 700-800 m³ strandfodring med sand
- > Forstærkning og forlængelse af hofde 2 til 40-50 m længde og retablering af hofde 3
- > Fjernelse af uvirksom kystbeskyttelse (herunder hofde 1 og 4).

Det vurderes, at hofde 2 er så tilpas lang, at den vil være i stand til at holde på en stabil sandstrand, som i lighed med en ralfodring vil bremse erosionen af skræntfoden. Da der ikke er tilstrækkeligt med sand i omsætning på kysten, foreslås det at tilkøre sandet og udlægge det på stranden. Sandet forventes at fordele sig og danne en strand nogenlunde som vist på Figur 4-1.

Projektforslaget fremgår af Figur 4-1 og de enkelte elementer beskrives i det følgende.



Figur 4-1 Projektforslag

4.1.1 Høfder

Den nye høfde 2 og forstærkede høfde 3 dimensioneres for en bølgehøjde på $H_{m0} = 1,0$ m og bølgeperioder på $T_{m-1,0} = 3$ s i forbindelse med 1,5 m højvande.

Stenstørrelsen er fundet med Hudsons formel med et stabilitetstal på $K_d = 1,5$ og verificeret med Van der Meers formel ved en porøsitet på $P=0,1$. De to beregninger viser, at der skal anvendes sten med en medianvægt på ca. $M_{50}=350$ kg.

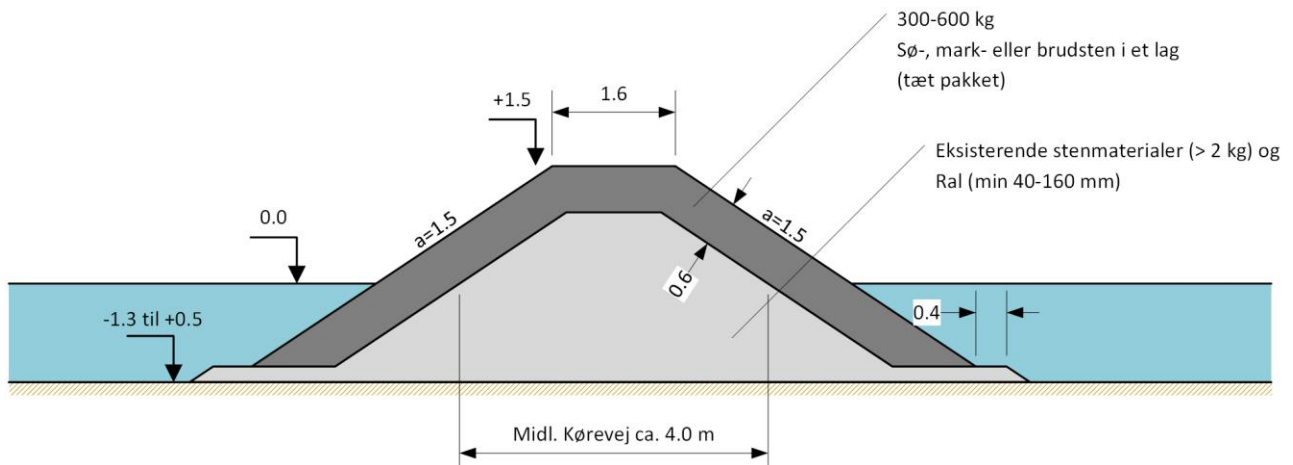
Normalt udføres moler og stenkastninger med dæksten i to lag, hvilket giver en sikkerhed for at de underliggende filtersten af mindre dimensioner ikke bliver blottede og trukket ud af konstruktionen, samt at konstruktionen forbliver dynamisk stabil selv hvis der sker skade på dæklaget under storm.

Grundet den begrænsede vanddybde vurderes det, at en erfaren vandbygningsentreprenør med god sigtbarhed vil kunne udlægge dæksten i ét tæt lag på både høfder og stenkastning. Som ekstra sikkerhed imod skade (grundet ét lag) anvendes sten på 300-600 kg, med en medianvægt på 450 kg. Stenene er derfor noget større end de ca. 350 kg som findes med designformlerne.

I kernen af høfderne anvendes ral på 40-160 mm ($d_{15}-d_{85}$) suppleret med indbygningsegnete stenmaterialer fra de eksisterende høfder, som er uden begroning og som er tungere end 2 kg.

Højderne udføres med krone i kote +1.5 m og med en bredde svarende til 2½-3 sten. Ved ekstremt højvande kan konstruktionen således være neddykket, men i sådan en situation formodes bølgehøjden at være begrænset. Konstruktionens bredde tillader desuden en hydraulisk gravemaskine at køre på konstruktionen og udlægge stenmaterialerne.

Principtværsnit fremgår af Figur 4-2.



Figur 4-2 Principtværsnit for højder. Koter er i DVR90.

På baggrund af de udførte geotekniske undersøgelser kan det vise sig nødvendigt at foretage en lagvis opbygning af kernen med indbygning af geonet i flere niveauer, samt at udføre konstruktionerne med overhøjde. Dette gælder særligt ved de yderste 25 m af højde 2 – hvor der er risiko for bundbrud (geoteknik stabilitet) og sætninger ved højdehovedet.

Det forventes, at de yderste 25 m af højde 2 skal udføres med 0,5 m overhøjde, og at der skal indbygges geonet i flere niveauer. For at afdække om disse tiltag er nødvendige, anbefales det, at der under udførelsen udføres prøvegravninger ved højdehovedet for højde 2 under geoteknik tilsyn.

4.1.2 Stenkastning

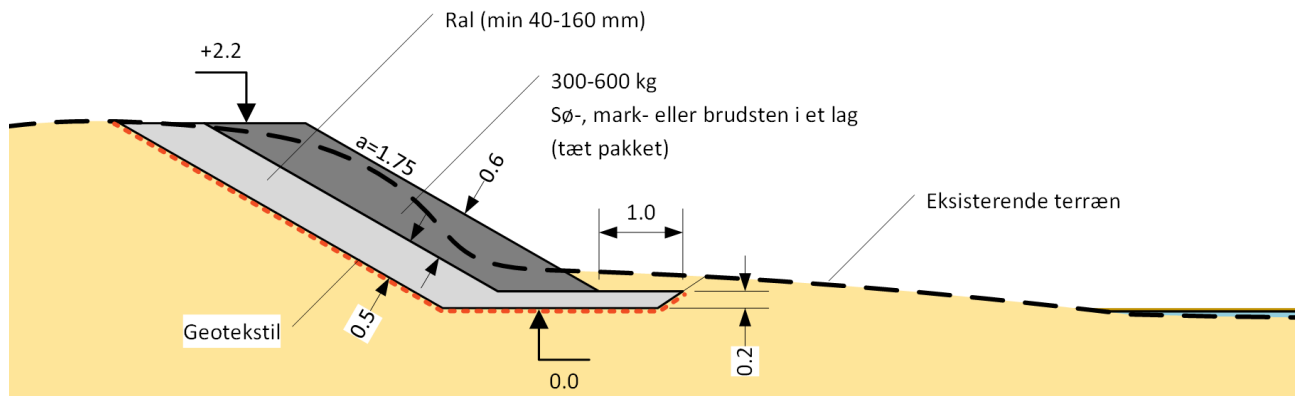
Der etableres en stenkastning på det eksisterende diges forside med henblik på at stoppe erosionen af diget, som ellers på sigt kan udgøre en risiko for oversvømmelse af det bagvedliggende område, såfremt diget gennembrydes.

Der anvendes samme stenstørrelse på stenkastningen som på højderne (300-600 kg). Stenkastningen udføres ligeledes med dæksten i et lag.

Forud for etablering af stenkastningen fjernes eksisterende muldrag og skråningen/diget afrettes med anlæg ($a=1,75$) ned til kote 0,0. Skråningen/diget beklædes med geotekstil hvorpå der udlægges 40-160 mm ral ($d_{15}-d_{85}$).

Stenkastningen udføres med krone i niveau med eksisterende terræn. Dvs. kote +2,2 m.

Principtværsnit fremgår af Figur 4-3 og et eksempel på en tilsvarende stenkastning fremgår af Figur 4-4.



Figur 4-3 Principtværsnit for stenkastning. Koter er i DVR90.



Figur 4-4 Eksempel fra COWI-projekt udført med 300-1000 kg marksten i et lag (anlæg $a=1.75$) udlagt på ral.

4.1.3 Sandfodring

I forbindelse med sandfordringen udlægges sand over en strækning på ca. 50 m nord for hofde 2, som over tid forventes at danne en strand som ligger ca. 10 m foran den eksisterende strandlinje, se Figur 4-1.

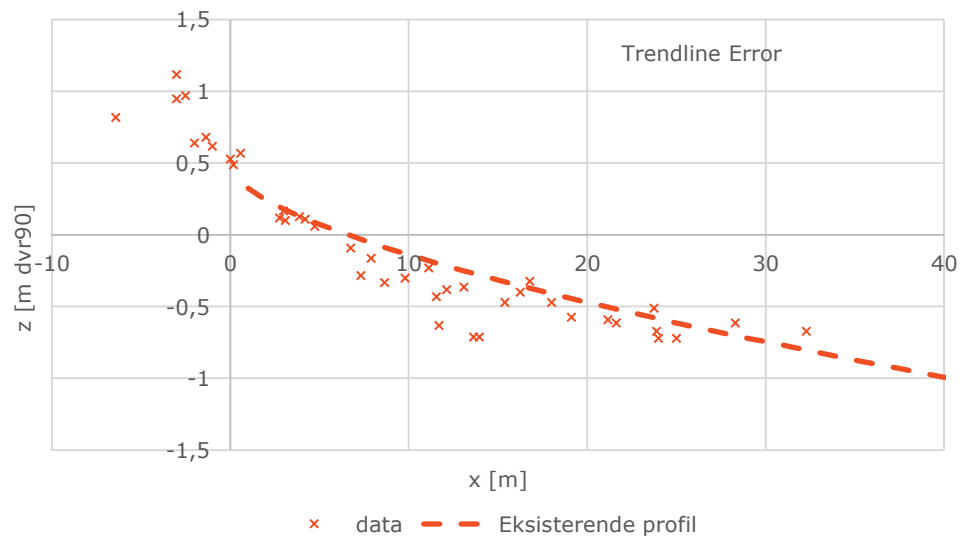
Opmålinger viser, at kystprofilen tilnærmelsesvist kan beskrives med et teoretisk kystprofil på formen (Dean's formel):

$$y = 0.5 - A * x^{2/3}$$

hvor A afhænger af kornstørrelsen af sandet på stranden. På Figur 4-5 er der anvendt $A=0,12$, hvilket svarer til fint strandsand med en middeldiameter på $d_{50} = 0,2$ mm.

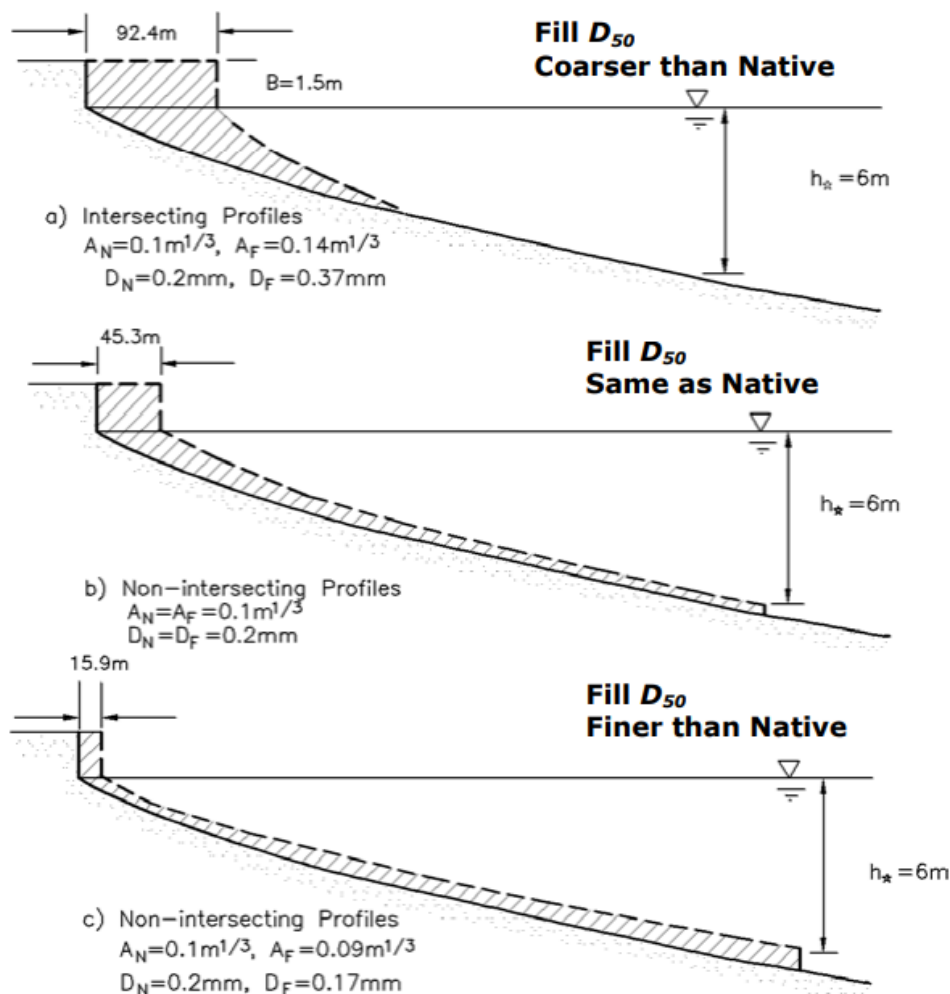
Bølgerne langs kysten er i stand til at flytte sand ud til en vanddybde som betegnes "closure depth". Closure depth er beregnet til ca. -1,0 m. Dvs. at det

sand som lægges på stranden over tid, vil danne et nyt profil fra kote +0.5 og til -1,0, som afhænger af hvad det er for et materiale, som anvendes til strandfodringen.



Figur 4-5 Profilopmåling foretaget af Lemvig Kommune i marts 2020 og tilpasset til et teoretisk kystprofil (Dean-profil).

Hvis der anvendes grovere sand end i det eksisterende profil, vil der skulle anvendes en mindre sandmængde, end hvis der anvendes sand, som er finere end det eksisterende (se Figur 4-6). En grov beregning viser, at der vil skulle anvendes ca. 700-800 m³ sand med samme korndiameter som i det eksisterende profil ($d_{50} \sim 0,2$ mm) for at opnå en kystfremrykning på ca. 10 m. Til sammenligning skal der anvendes 1200-1300 m³ sand, hvis der anvendes sand med en middeldiameter $d_{50} = 0,1$ mm ($A=0,10$) og 400-500 m³ hvis der anvendes sand med en middeldiameter $d_{50} = \text{ca. } 0,5$ mm ($A=0,16$).



Figur 4-6 Indflydelse af kornstørrelsen af fyldmaterialet på kystfremrykningen.
 Ref. (Stauble)

5 Referencer

- COWI. (2020). *Skitseprojekt - Kystbeskyttelse ved Lemvig Roklub*.
- DMI. (11. 1 2015). *DM - vejr, klima og Hav*. Hentet fra Rekordhøj vandstand efter Dagmar og Egon: <http://www.dmi.dk/nyheder/arkiv/nyheder-2015/01/rekordhoej-vandstand-i-efter-dagmar-og-egon/>
- Kystdirektoratet. (2017). *Højvandsstatistikker 2017*.
- Stauble, D. K. (u.d.). *A REVIEW OF THE ROLE OF GRAIN SIZE IN BEACH NOURISHMENT PROJECTS*.