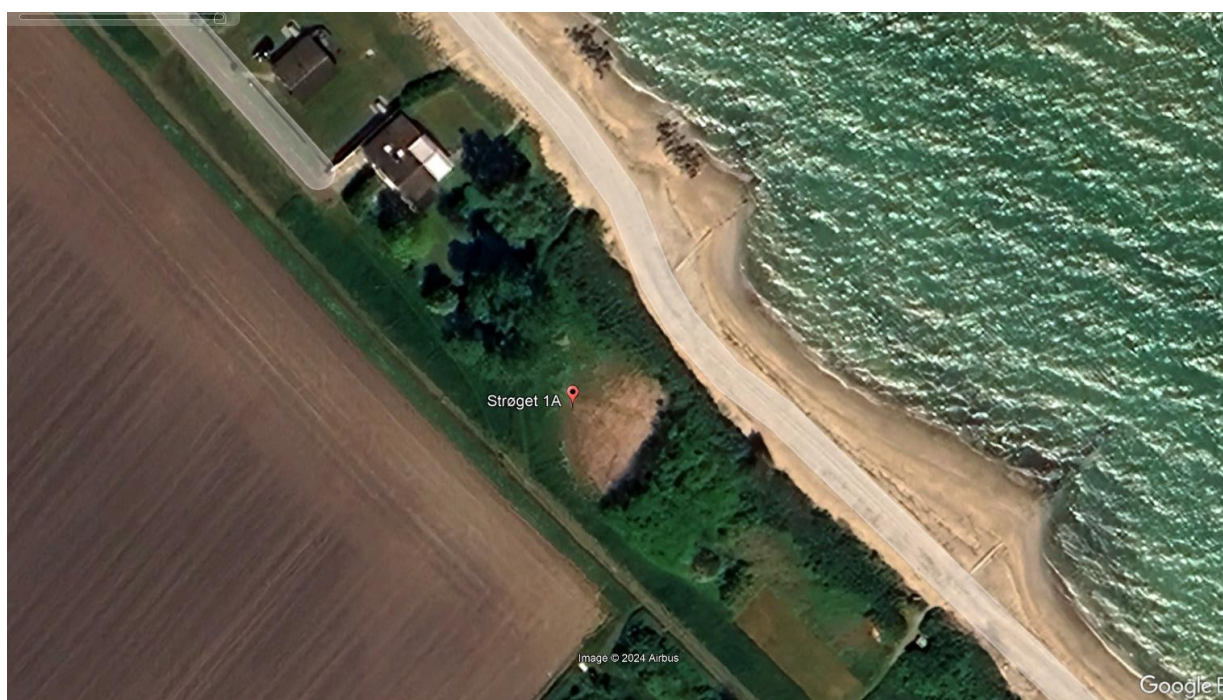


MAJ 2025

KYSTBESKYTTELSE PÅ MATRIKLEN, STRØGET 1A, MATRIKEL: 3 V, BÅRDESØ BY, KROGSBØLLE, 5450 OTTERUP

VURDERING OG UDVIKLING AF PROJEKT TIL KYSTBESKYTTELSE



KYSTTEKNISK RÅDGIVER:
OLE JUUL KYSTTEKNIK, OLE JUUL JENSEN

MAJ 2025

KYSTBESKYTTELSE PÅ MATRIKLEN,
STRØGET 1A, MATRIKEL: 3 V,
BÅRDESØ BY, KROGSBØLLE,
5450 OTTERUP

VURDERING OG UDVIKLING AF PROJEKT TIL KYSTBESKYTTELSE

:

Kystteknisk Rådgiver
Ole Juul Kystteknik
Ole juul jensen
Lillevangsvej 39
3520 Farum
Mail: olejuuljensen2022@gmail.com
mobil: 40181402

EJER AF MATRIKLEN
LIS KNUDSEN
STRØGET 1A
5450 OTTERUP
MAIL: SKARREGAARD_@HOTMAIL.COM
MOB: 27134813

INDHOLD

1	Indledning	7
2	Eksisterende situation og diverse data	8
2.1	Eksisterende situation	8
2.2	Detaljer og data vedr. geometri og koter	12
3	Hydrografiske forhold, vind, bølger og vandstand	14
3.1	Søkort	14
3.2	Bølge-og vandstandsforhold	14
3.3	Overordnet risiko for skade mm under stormflod	21
4	Vurdering af kystudvikling	23
5	Design af Kystsikringskonstruktioner	24
5.1	Koncept for kystsikringskonstruktion	24
5.2	Design/dimensionering af konstruktioner	26
5.3	Kystbeskyttelse, profiler og plantegning	29
6	Mængdeudtag	31

1 Indledning

Matriklen Strøget 1A er en ubebygget grund der er beliggende helt ud til havet med kun en relativ lav sand-strandvold ud mod stranden.

Ejeren Lis Knudsen har af arkitekt Askholm og Lein, Middelfart fået udarbejdet et projekt til opførelse af et sommerhus, og fået Nordfyns Kommunes godkendelse til projektet, dog med det forbehold, at der skal udarbejdes en plan for kystbeskyttelse af ejendommen inkl. hvorledes fløjdiget ind mod naboen, Strøget 1 kan indarbejdes i det færdige projekt. Endvidere ønskes belyst hvorledes der kan føres en adgangsvej frem til Strøget 1A henover fløjdiget uden at reducere dettes højde, og svække det generelt.

Ejeren Lis Knudsen har valgt Ole Juul Kystteknik som kystteknisk rådgiver.

Rådgiver har efter aftale med ejeren Lis Knudsen modtaget informationer fra byggefirmaet/entreprenør Benny Seneca Christensen, Projektleder benny@pallejohansen.dk, Mobil. 20 15 10 16 fra firmaet: Palle Johansen A/S, Gl. Torø Huse Vej 30 - 32

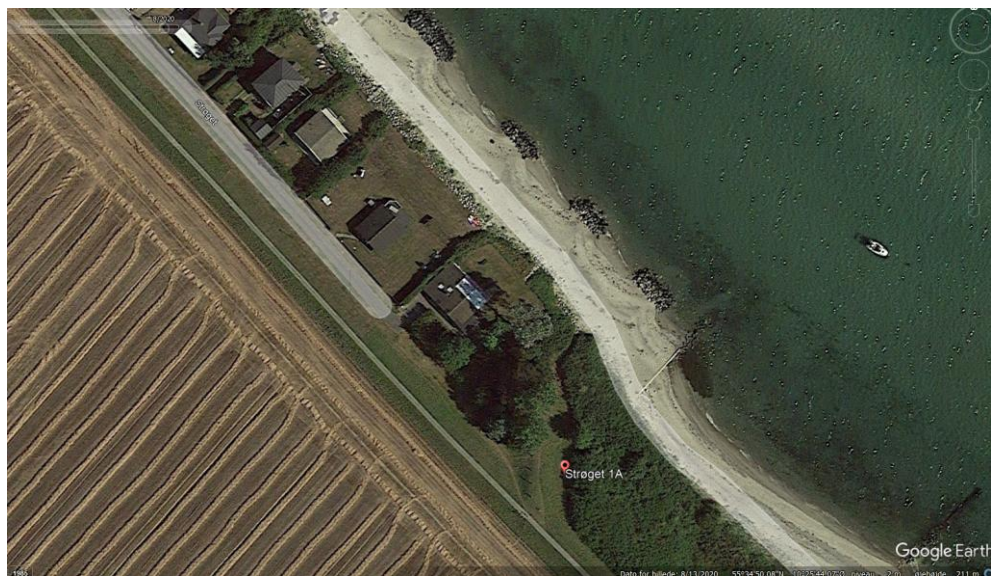
Rådgiver har endvidere været i dialog med Mogens Stougaard fra Det Nordfynske Kystsikrings-, dige og pumpelag om sagen, og især vedr. den historiske udvikling og udbygning af kystbeskyttelse på stedet.

Denne rapport omhandler dimensionsgivende data for denne kystbeskyttelse, vurdering af kystens stabilitet og udvikling samt vurdering og design af beskyttelsen. Endvidere er der foretaget mængdeudtag, som er benyttet til med vurderede enhedspriser at udarbejde et bygherreoverslag over anlægssummen for kystbeskyttelsesdelen af projektet.

2 Eksisterende situation og diverse data

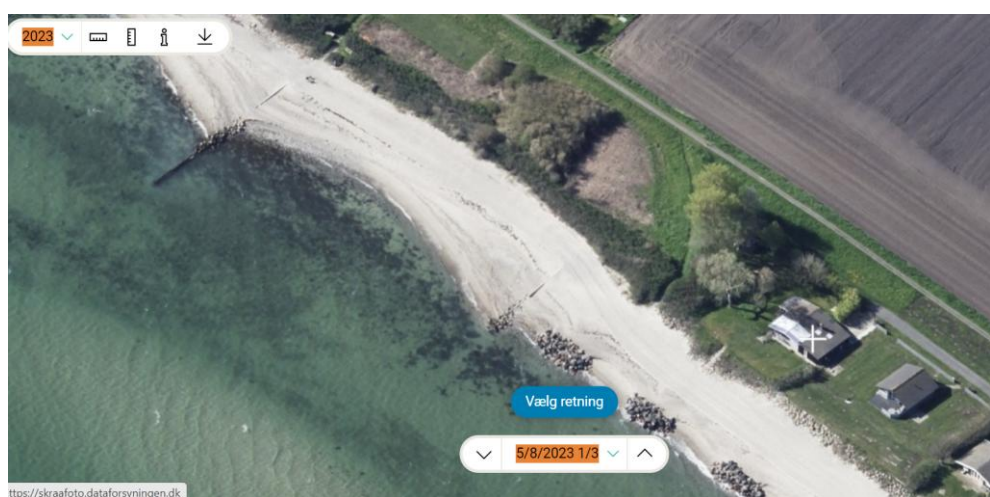
2.1 Eksisterende situation

Figur 2-1 viser et foto fra Google Earth Pro med ejendommen beliggende tæt på kysten. Der er på nabomatriklen mod nordvest en eksisterende høfde på stranden, samt lige nordvest herfor en række bølgebrydere, som kan ses at have forårsaget erosion og kysttilbagerykning lige ud for Strøget 1A.



Figur 2-1 Google Earth Pro foto af matriklen

Figur 2-2 viser luftfoto af matriklen fra Danmarks Skråfotos.



Figur 2-2 Matriklen set fra luften

I det følgende vises en række fotos fra stedet til illustration af den eksisterende situation.



Figur 2-3 Diget bag sommerhusene i første række set mod sydøst



Figur 2-4 Diget bag sommerhusene i første række set mod nordvest. Foto er taget lige udfør grunden og fløjdiget med betonstolper ses foran træerne



Figur 2-5 Matriklen, lavtliggende og kraftigt bevokset set fra diget



Figur 2-6 Stranden udfor matriklen. Kystskrænten er lav med spredt stenbeskyttelse og meget kraftig buskbevoksning. Gelænderet der ses i baggrunden er ved enden af stien på fløjdiget mellem Strøget 1 og 1A. Meget bred sandstrand da der løbende gennem årene foretages sandfodring.



Figur 2-7 Stranden lige udfor matriklen med den sidste bølgebryder i forgrunden.



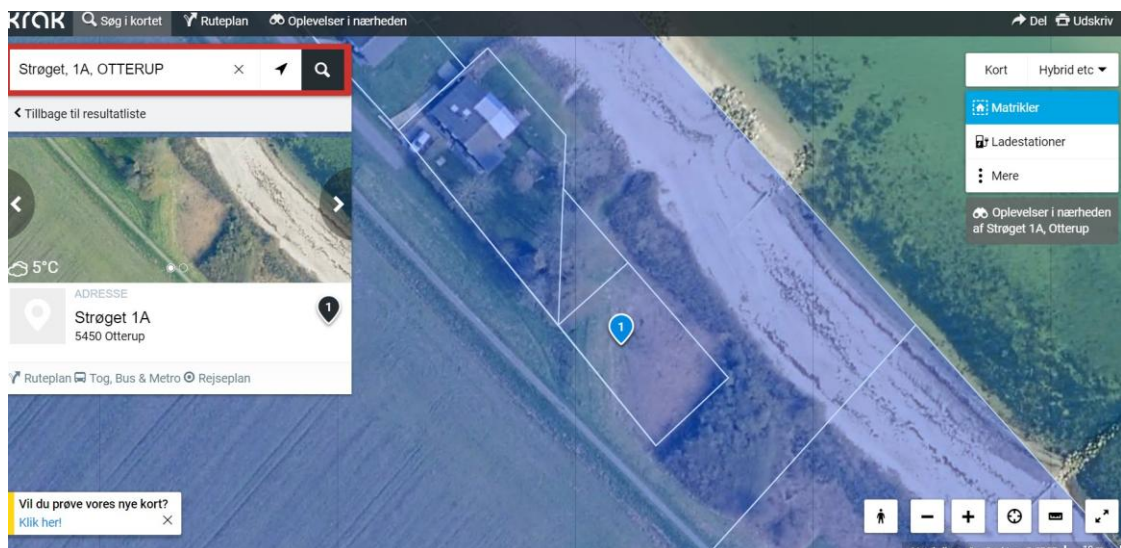
Figur 2-8 Den lave kystskrænt og kystvold i matriklens sydøstlige ende. Bemærk den meget kraftige bevoksning med buske, og at skrænten er eroderet så den næsten står lodret ud mod stranden. Den består af sand og kan kun stå så stejlt på grund af rødderne fra de mange buske.



Figur 2-9 Foto taget mod sydøst ved stien ind i land ca. 70 m fra matriklen.

2.2 Detaljer og data vedr. geometri og koter

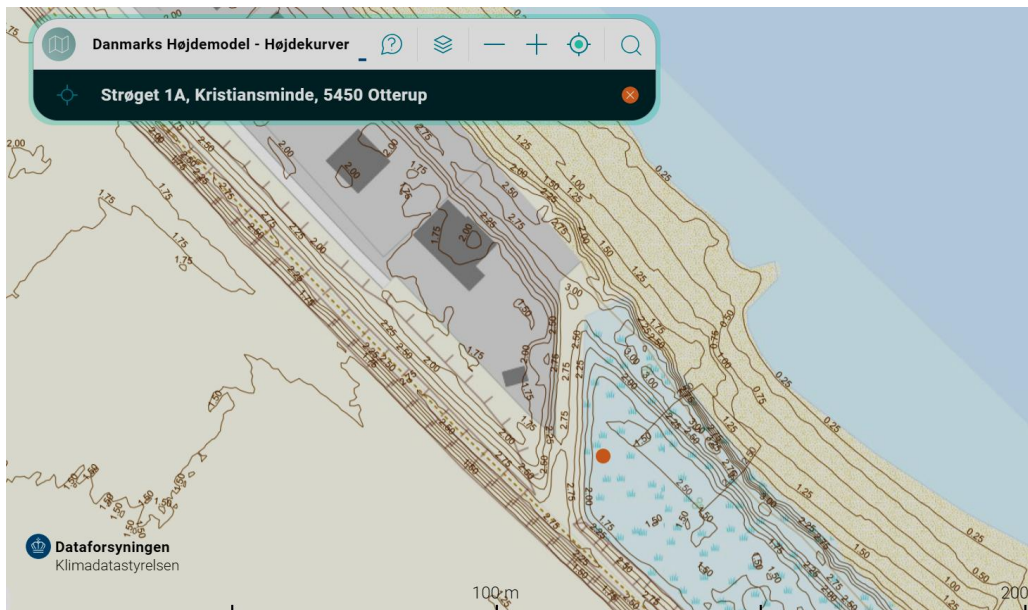
Matrikel 3v's udstrækning er vist på Figur 2-10.



Figur 2-10 Matrikel 3v's udstrækning ud mod stranden

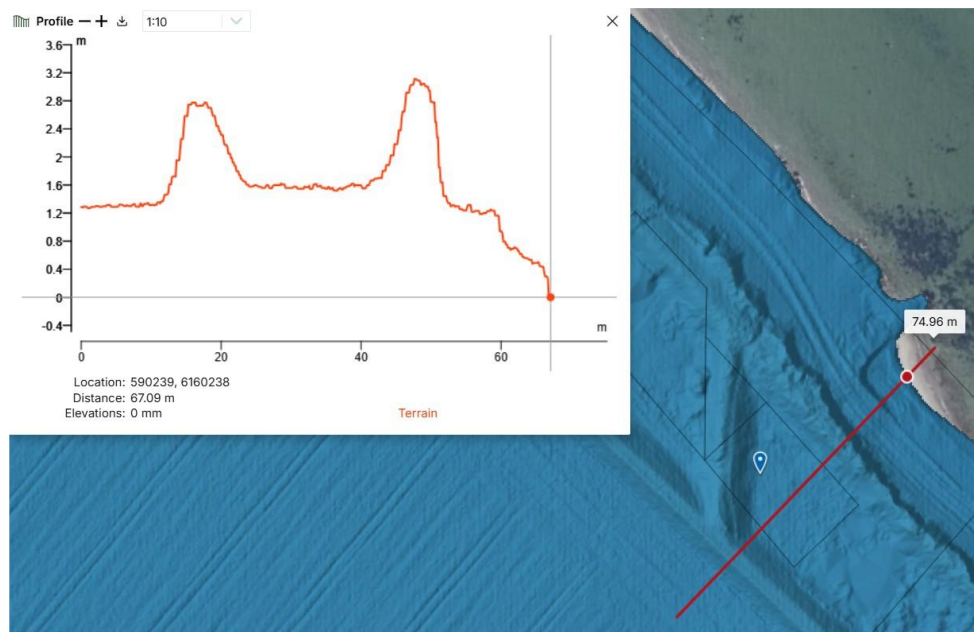
På Figur 2-11 vises detaljer af koter til terrænet i området. Matriklen er på midten af grunden beliggende i ca. kote +1,5 m med diget bagved og fløjdiget i kote ca. +2,75 m.

Kystvolden ud mod stranden er i kote ca. +2,75 til +3,0 m og er meget stejl på strandsiden på grund af kraftig bølgeerosion som vist på foto, Figur 2-8. Hoveddiget lige bagved matriklen har en topkote på ca. +2,50 m.



Figur 2-11 Detaljer af matriklen med diverse niveau/højde-koter/kurver. Koten til stranden vurderes til ca. +1,25 til maksimum +1,5 m.

På Figur 2-12 vises et profil taget på tværs af stranden og indover kystvolden (kote +3,0 m), matriklen (kote +1,5 m), diget bagved (kote +2,8 m) og marken bagved i kote +1,2 m. Bemærk at profilet er meget forvrænget (presset sammen horisontalt).



Figur 2-12 detalje af profil mellem strand og marken bagved. Bemærk Profilet er kraftigt forvrænget i længde og højdeskala

Det fremgår her, at afstanden fra vandlinjen (kote 0.0) til strandvolden i kote +1,5 m er ca. 15 m, hvilket svarer til en hældning af stranden på 1:10.

3 Hydrografiske forhold, vind, bølger og vandstand

3.1 Søkort

Søkortet for området er vist i Figur 3-1. Det fremgår, at kysten løber fra NV mod SØ. Havbundshældningen er på ca. 1:100.

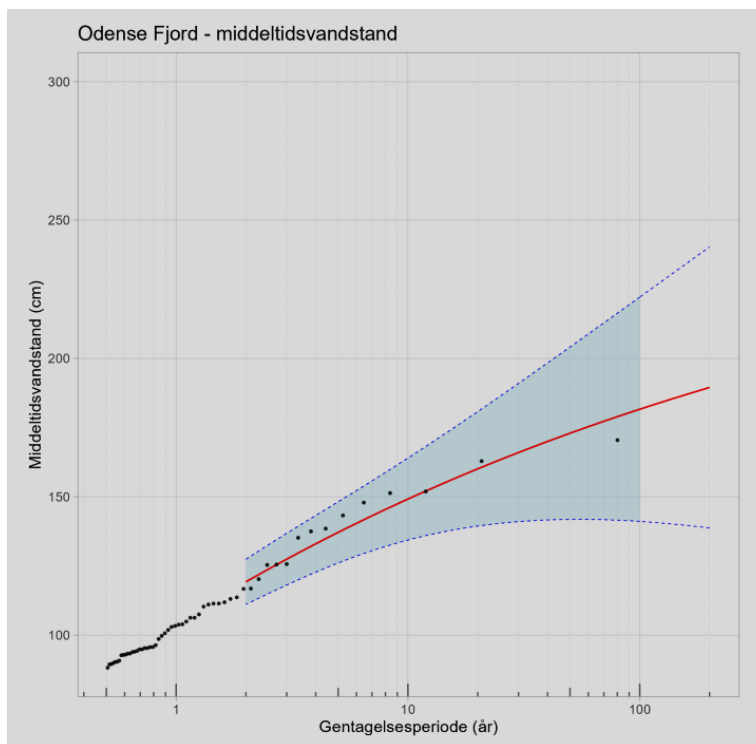


Figur 3-1 Søkort over området, havbundshældning ca. 1: 100. Matrikel er beliggende ca. ved krydset

3.2 Bølge-og vandstandsforhold

Stranden ved Strøget 1A er udsat for bølger fra ca. nord til øst. Bølgerne kan under meget kraftige storme opnå en størrelse på ca. $H_s=3,3$ m på dybere vand udfor kysten, og størst når vinden er NNØ, hvor der kommer bølgeenergi ind øst om Samsø, som ellers ligger i vejen for det frie stræk på denne kyst. Her er der et frit stræk på ca. 30 km. En beregning med en vind på 30 m/s, en varighed på 6 timer, en vanddybde på 10 m og frit stræk på 30 km giver en signifikant bølgehøjde på, $H_s=3,3$ m og en peak-bølgeperiode på. $T_p=6,8$ s. Inden bølgerne når ind til stranden bliver de reduceret på grund af refraktion, hvis de ikke har en retning vinkelret på kysten og især på grund af bølgebrydning, da bølgerne er dydbegrænsede.

Med hensyn til vandstanden viser Kyst Direktoratets statistik 2024 for Odense Fjord, en 100 års vandstand på +1,89 m. Den højeste vandstand der er målt af KDI var i 2006, under en kraftig storm fra retning nord. Der skete under denne storm en del skade på kysten, men så vidt det er informeret ikke alvorlig skade eller oversvømmelse af husene på Strøget.



Statistiske middeltidsvandstande				Målte ekstremer		
Gentagelsesperiode	Middeltidsvandstand	90	Fremskrevet 24	Dato	Trendfri	Målt
20		160	167	2006-11-01	170	174
50		173	180	2023-12-22	163	170
100		182	189	2019-01-02	152	158
Datagrundlag Dataseriens længde: 28,05 år Målestationens levetid: 1978-07-10 til 2024-01-01. Stationsnr.: 28068 Bemærkninger • Stort hul i data fra 2013-2018 Modelparametre Fordelingsfunktion: Generaliseret Pareto Tærskelværdi: 87 Lokation (μ): 87,412 Skala (σ): 25,348 Form (ξ): -0,143 Fremskrivningstillæg 2024: 7,14 cm Isostatisk opløft: 0,09 cm/år Relativ havniveaustigning efter 1990: 0,21 cm/år Relativ havniveaustigning (DNN-DVR90): 0,08 cm/år Antal Ekstremer over afskæringsniveau: 56 svarende til 2 ekstremer/år.				1985-11-07	151	151
				2019-01-08	148	154
				2007-11-09	143	147
				1984-01-04	138	138
				1983-11-28	137	137
				2008-03-02	135	139
				2020-02-10	126	132
				2020-11-20	126	132
				2012-01-06	125	130
				1984-01-01	120	120
				2007-11-26	120	124
				2005-02-13	117	120
				2019-11-29	117	123
				1981-11-25	114	113
				2003-12-06	113	116
				2004-11-23	112	115
				2007-01-12	111	115
				2011-12-10	111	116
				2003-12-22	111	114
				2021-12-02	110	117
				1981-11-21	110	109
				2021-01-13	107	114
				2021-12-24	106	113
				2022-01-06	106	113
				2019-01-14	105	111
				2011-11-28	104	109
				2018-12-04	104	110
				1980-04-20	104	103
				2021-10-22	103	110
				2018-10-24	103	109
				2023-11-24	102	109
				2020-01-04	101	107
				1980-11-19	100	99
				1985-10-12	99	99
				2003-12-15	99	102
				2010-12-12	99	103
				2012-01-13	96	101

Figur 3-2 KDI 2024 statistik for Odense Fjord. Bemærk at Bogense viser meget tæt på de samme data. Derfor regnes denne statistik for retvisende for Strøget 1A.

Denne vandstand optræder ifølge diverse data og erfaringer, kun for storm fra omkring nord. Senest der blev meldt stormflod på Nordfyns kyst var d. 22-23 dec. 2023, og vandstanden nåede +1,63 m, se Figur 3-3.



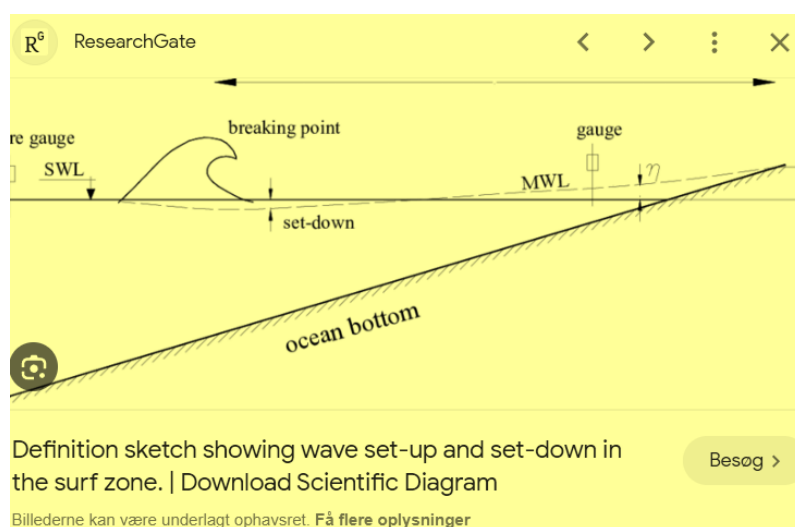
Figur 3-3 Stormflod d. 22-23 dec. 2023, ifølge Stormflodsrådet.

For visualisering af bølgerne der rammer ind på en kyst under så ekstremt et højvande, se foto i Figur 3-4, der stammer fra Møns sydkyst under den kraftige stormflod d. 21-21. okt. 2023.



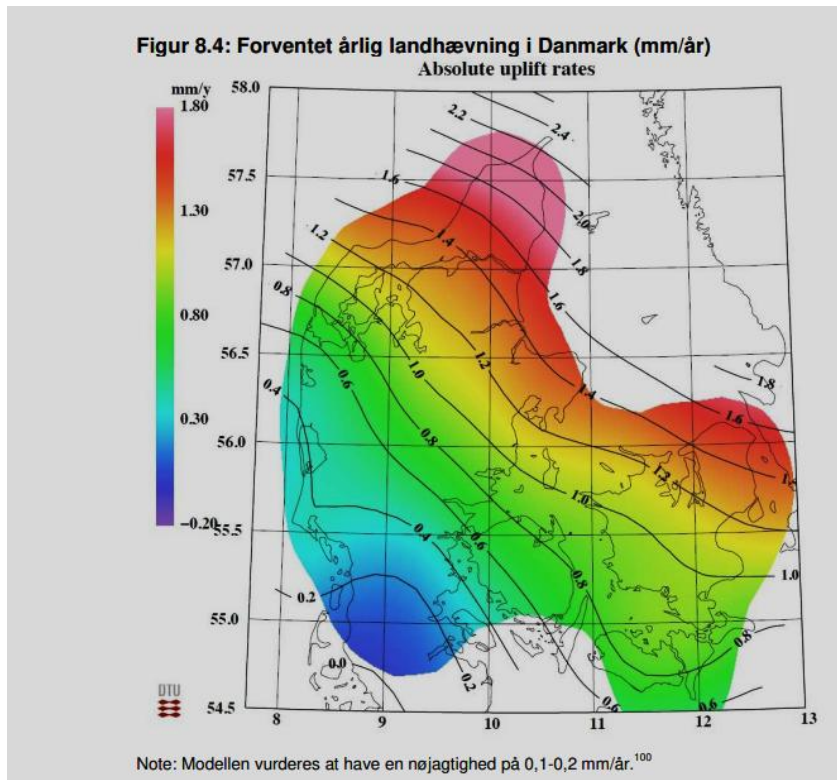
Figur 3-4 Foto fra stormfloden i oktober 2023, sommerhus Rytsebækvej vest for Råbylille Strand. ([Fascinerende billeder fra Møn - Vordingborg In .](#))

Udover vinden er der to andre fysiske fænomener der påvirker vandstanden under en stormflod. Det barometriske lufttryk virker på den måde, at vandstanden under et lavtryk hæver sig, og tilsvarende under et højtryk er der lavvande. Normaltrykket på 1013 MB svarer til 10 m vandsøjle, så under et lavtryk på f.eks. 963 MB vil vandstanden stige 0,5 m (50 cm). Denne effekt er medregnet i KDIs målinger, som danner grundlag for deres højvandsstatistikker. En anden effekt er bølgestuvning, se Figur 3-5. Denne udgør ca. 10% af den indkommende bølgehøjde, H_s ; så på Fyns Nordkyst med en signifikant bølge på ca. 3 m er der tale om et ekstra bidrag til højvandet helt inde ved kysten på ca. 0,3 m (30cm).



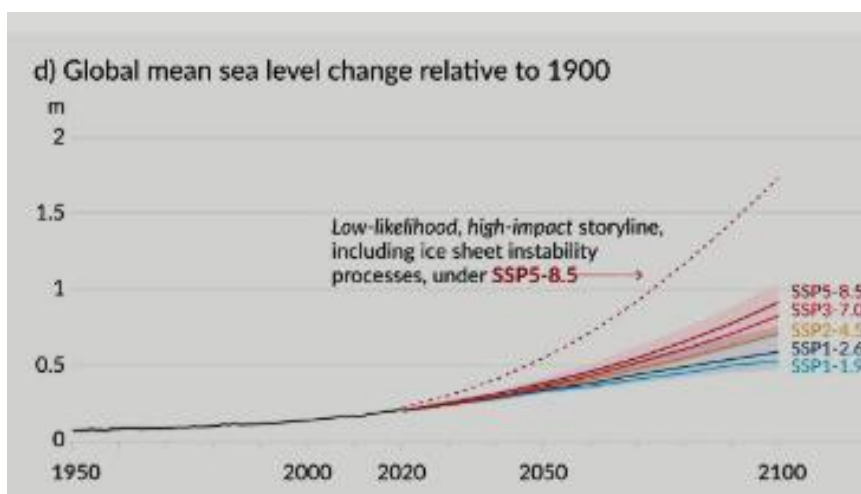
Figur 3-5 Princippet med bølgestuvning.

Derudover skal der tages hensyn til at landet hæver sig efter nedtrykningen under den sidste istid. På Nordfyn er der tale om $+0,85 \text{ mm/år}$. Hvis vi ser på en ca. 30-40 års horisont for kystbeskyttelsen på Strøget 1A er der således tale om ca. 3 cm landhævning.



Figur 3-6 Forventet årlig landhævning i Danmark (i mm), ifølge DTU.

Derudover skal der tages hensyn til, at vandstanden i havet er stigende (sea Level Rise, SLR), og denne stigningstakt er voksende. IPCC laver løbende estimater af SLR, og de seneste fra 2023 er vist i Figur 3-7. Der er forskellige estimater afhængig af CO₂ udledningen. på 30-40 års sigt er der tale om ca. +35 cm.



Figur 3-7 IPCC 2023 estimat af vandstandsstigning (SLR).

Det er nu muligt at udregne en designvandstand for kystbeskyttelsen. Traditionelt har man ofte benyttet en 50 års hændelse til dimensionering af f. eks moler i en havn og tilsvarende. Men, for en ny bygning som er meget yderligt og udsat beliggende ud til havet, og udsat under en stormflod, anbefales særlig forsigtighed til sikring af matriklen og bygningen. I det følgende ses på dels en 50 års og dels en 100-årshændelse både i dag og i år 2060, hvor der skal tillægges stigningen af vandstanden i havet (SLR) på ca. +0,35 m. Der benyttes her henholdsvis en 50 og 100 års vandstand ifølge DMI på +1,8 m og +1,89 m.

For en 50 års situation i dag uden ekstra SLR:

Designvandstand:	+1,80 m
Bølgestuvning:	+0,30 m

Designvandstand år 2025: **~+2,1 m**

For en 100 års situation i dag uden ekstra SLR:

Designvandstand:	+1,89 m
Bølgestuvning:	+0,30 m

Designvandstand år 2025: **~+2,2 m**

For en 50 års situationen i år ca. 2060:

Designvandstand:	+1,80 m
Bølgestuvning:	+0,30 m
Stigning af vandstand, SLR:	+0,35 m
landhævning:	-0,03 m

Designvandstand år 2060: **~+2,4 m**

For en 100 års situationen i år ca. 2060:

Designvandstand:	+1,89 m
Bølgestuvning:	+0,30 m
Stigning af vandstand, SLR:	+0,35 m
landhævning:	-0,03 m

Designvandstand år 2060: **~+2,5 m**

Der er i det følgende valgt en designvandstand på + 2,4 m

3.2.1 Lokale designbølger

Havbunden skråner mod NV med en hældning estimeret til ca. 1:100 udenfor vandlinjen og ca. 1:10 oppe på stranden. Bølgerne helt inde ved land er brydende bølger, og de er begrænsede ved den aktuelle vanddybde under storm, dvs. inklusive højvande. De lokale bølger kan opnå en størrelse på ca. $H_s = 0,5 \cdot D$, hvor D er dybden på en 1:100 skrånende havbund, men estimeret i størrelsesordenen, $H_s = 0,5$ til $0,65$, i.e. $0,57 \cdot D$, når bølgerne bryder på den udad skrånende men under en kraftig stormflod kraftigt eroderet og oversvømmede sandstrand. For vurderingen er det nødvendigt, at se på den sandsynlige fremtidige situation når en stormflod rammer. Der har i ca. 25 år været foretaget sandfodring på den 13 km lange kyst i området, og man må forvente, at dette vil fortsætte fremover. Men, under en stormflod vil kystprofilet hurtigt ændre sig, og der vil

midlertidigt blive trækkes en masse sand ud fra stranden, så vanddybden her bliver større end den normale situation. Samtidig bør den bestemmende dybde til beregning af bølgehøjden tages ca. en halv bølgelængde uden for konstruktionen. En halv bølgelængde på ca. 2 m vand er udregnet til 25 m, hvorfor en halv bølgelængde er ca. 12m.

Det antages derfor at der inden stormflodens erosion i stranden er en kote på +1,25 m lige foran strandvolden, og at der sker en erosion på 0,5 m til +0,75 m. Ude ved den normale vandlinje antages der også at være sket en erosion på det halve til kote $\sim -0,25$ m.

Her beregnes den indkommende brydende bølge for de to vandstandssituationer ovenfor:

Beregning af lokale designbølger for en 50 års designvandstand i dag: +2,1m

Hvorfor dybden ved den normale vandlinje er $2,1+0,25= 2,35$ m

Designbølgehøjde: $H_s = 0,57 \cdot 2,35 \text{ m} = \sim \mathbf{1,35 \text{ m}}$.

Beregning af lokale designbølger for en 100 års designvandstand i dag: +2,2 m

Hvorfor dybden ved den normale vandlinje er $2,2+0,25= 2,45$ m

Designbølgehøjde: $H_s = 0,57 \cdot 2,45 \text{ m} = \sim \mathbf{1,40 \text{ m}}$.

Beregning af lokale designbølger for en 50 års designvandstand år 2060: +2,4m

Hvorfor dybden ved den normale vandlinje er $2,4+0,25= 2,65$ m

Designbølgehøjde: $H_s = 0,57 \cdot 2,65 \text{ m} = 1,52 \sim \mathbf{1,50 \text{ m}}$.

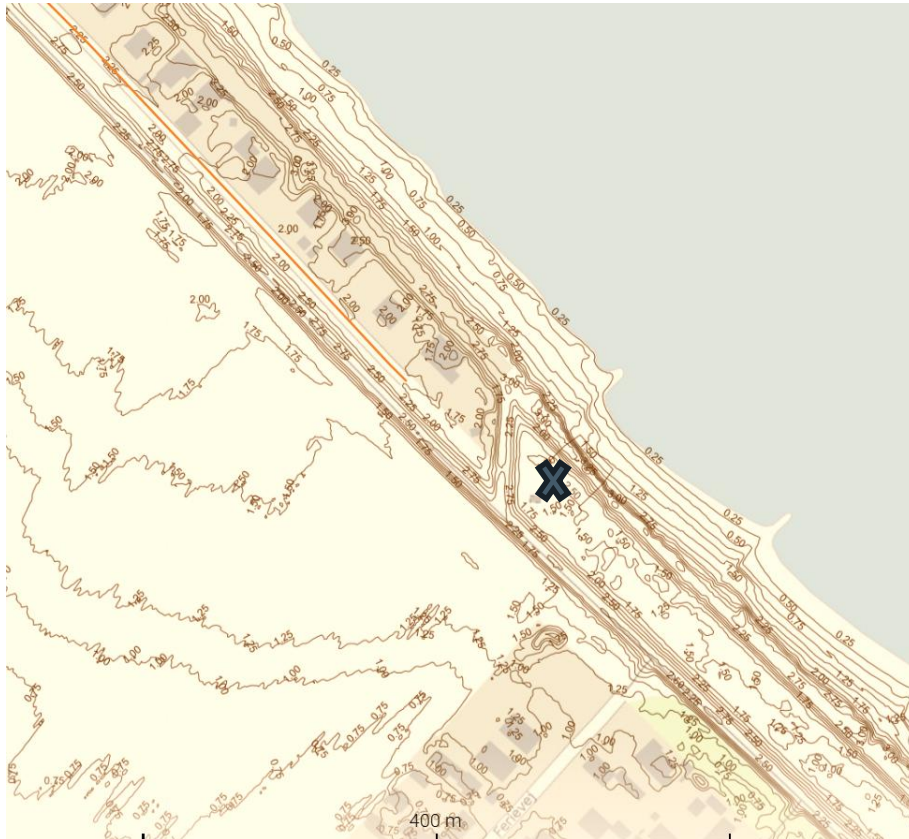
Beregning af lokale designbølger for en 100 års designvandstand år 2060: +2,5m

Hvorfor dybden ved den normale vandlinje er $2,5+0,25= 2,75$ m

Designbølgehøjde: $H_s = 0,57 \cdot 2,75 \text{ m} = 1,57 \sim \mathbf{1,55 \text{ m}}$.

Vandstande som udregnet på +2,1 til +2,5 m, sammen med bølgestuvningen samt de lokale brydende bølger på $H_s = 1,35$ m til +1,55 m afhængig af hvilket scenario der vælges, betyder i alle tilfælde, at det vurderes at den eksisterende kystvold mod sydøst vil blive overskyllet. Dette vurderes at resultere i at volden vil blive eroderet ned til en kote/niveau af størrelsesordenen ca. +2,0 m, og der vil ske en oversvømmelse på Strøget 1A, hvor terrænkoten i dag er ca. +1,5 m. Det konkluderes derfor, at der er behov for kystbeskyttelse af matriklen, selv hvis man vælger at designe for en 50 års situation i dag.

3.3 Overordnet risiko for skade mm under stormflod

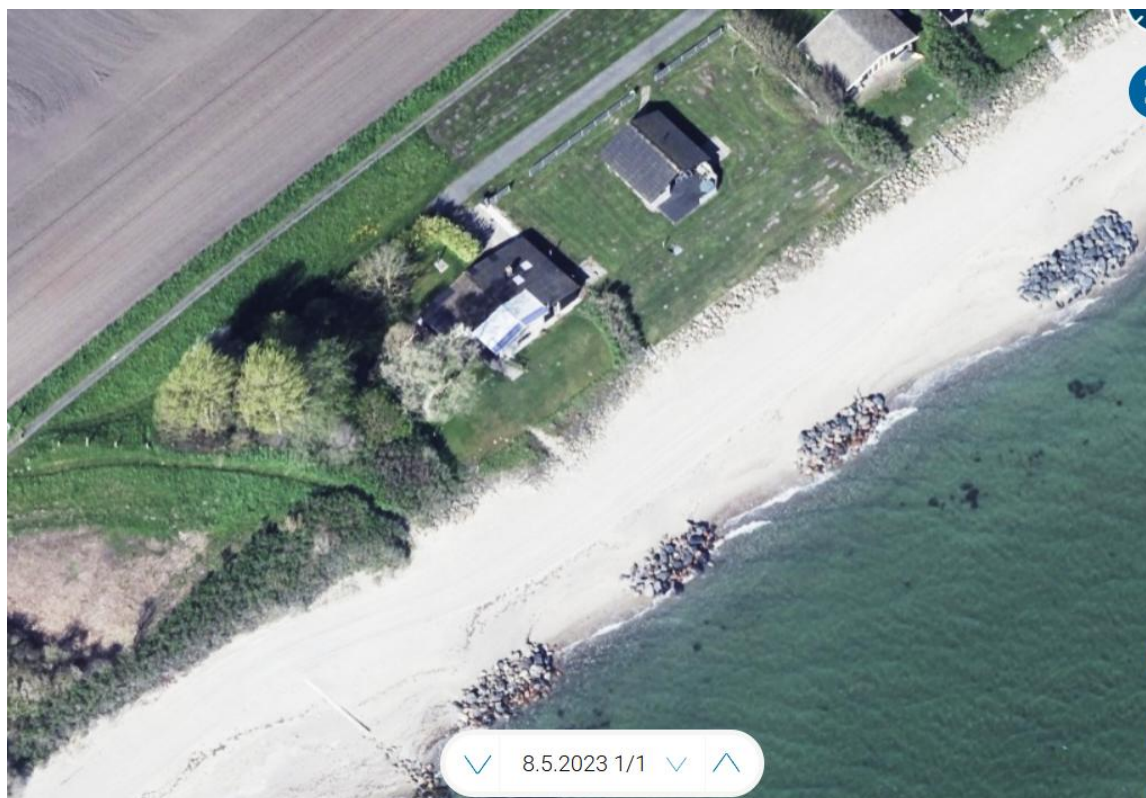


Figur 3-8 Højdekort over området med Strøget 1A (krydset9, og på begge sider af matriklen.

Det er endvidere nødvendigt at se på situationen både mod nordvest, hvor der er sommerhuse og mod sydøst. Sommerhusene ses at være beliggende ca. i kote 1,75 til +2,0 m bag en lav kystvold/dige i kote +2,75 m. Denne er beskyttet af en lav stenkastning, og af små bølgebrydere beliggende tæt på vandlinjen ved normal vandstand, se Figur 3-9.

Endvidere ses det, at selve hoveddiget på landsiden af sommerhusene også er i kote +2,75 m. Strandvolden er selv med den lave stenkastning ikke tilstrækkelig til at forhindre skade, erosion og mulighed for oversvømmelse ind over grundene under en stormflod. Dette er en "skæbne" som mange af sommerhusene, som ligger foran hoveddiget, på hele kyststrækningen på Nordfyn deler. Der er derfor som på Strøget 1A her behov for en meget kraftig opgradering af kystbeskyttelsen hvis man vil langtidssikre disse ejendomme mod stormflod, når vandstanden i havet stiger meget.

Sydøst for Strøget 1A fortsætter strandvolden ved 1A, og det lavtliggende område mellem strandvolden og diget ligger lavere og lavere længere mod sydøst fra ca. +1,5 m ned til ca. +1,0m. Hvis eller snarere når en ekstrem stormflod sker, og især når vandstanden i havet er steget yderligere, er der stor sandsynlighed for at havet bryder igennem her og totalt nederoder strandvolden til formentlig kote $\sim +1,5$ m.



Figur 3-9 Kysten ved Strøget 1A, 1 og 2

På grund af ovennævnte forhold på kysten på begge sider af Strøget 1A vil det være nødvendigt, hvis der ønskes en fremtidssikring af matriklen og et nyopført sommerhus, at der laves en plan for kystbeskyttelse inklusive regulering af terrænkoten, så selve denne matrikel kan "overleve" hvis/når engang en sådan stormflod forekommer, og der sker stor erosion på begge sider af matriklen, og formentlig kraftigst mod sydøst. Projektet herfor er analyseret og præsenteret senere i Afsnit 5.

4 Vurdering af kystudvikling

Figur 4-1 viser KRAKS kort fra 1954, og her ses stranden dengang var meget bred.



Figur 4-1 Luftfoto 1954 af området (KRAKS kort 1954)

På Google Earth Pro kan man indlægge vandlinjer til forskellige tidspunkter hvor der er indlæst data fra målebordsblade. I dette tilfælde 1863 og 2002. Resultatet er vist i Figur 4-2. Nordvest for matriklen ligger den gamle kystlinje lidt udenfor 2002, mens den mod sydøst ligger indenfor, og lige udfor Strøget 1A er de to kystlinjer stort set den samme. Dette viser, at kystbeskyttelsen på denne ca. 13 km lange kyststrækning stort set er stabil over tid. Dette sikres ved den løbende overvågning og regelmæssige sandfordringer.



Figur 4-2 Kystlinjen år 1863 og 2002

5 Design af Kystsikringskonstruktioner

5.1 Koncept for kystsikringskonstruktion

Kystbeskyttelsen anbefales udført som en skræntfodsbeskyttelse af strandvolden på forsiden og med stenkastning henover toppen og ned af bagsiden. Hvis man laver stenkastningen med en normal hældning på forsiden bliver bølgeopløbet relativt stort, og dermed bølgeoverskyllet. Men, kronekoten vil derved blive så høj, at det vil medføre blokering af oversigtsforholdene fra ejendommen og en fremtidig terrasse foran denne. Rådgivers erfaringstal tilsiger, at kronekoten, KK, ca. bør være:

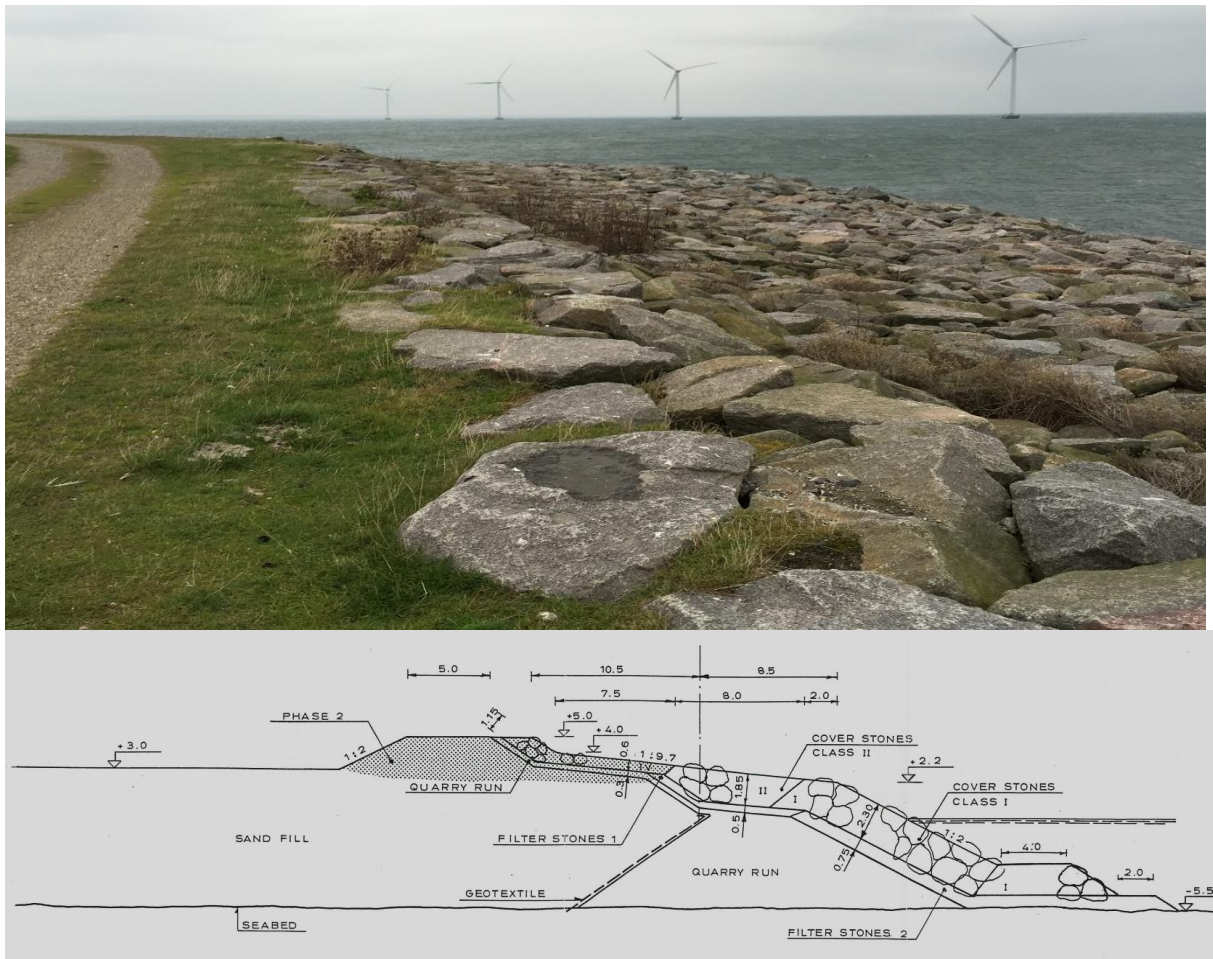
$KK = 1,35 \cdot H_s + VS$, hvor H_s er den signifikante bølgehøjde og VS er designvandstanden.

Dvs. at for design til en 50-års-situation i dag fås: $KK = 1,35 \cdot 1,35 + 2,1 = +3,9$ m.

For en 50-års-situaiion i 2060 fås tilsvarende: $KK = 1,35 \cdot 1,55 + 2,4 = +4,5$ m.

Terrænet er i dag ca. +1,5 m, så kronekoter af denne størrelse vil helt forhindre udsyn over havet fra matriklen.

I stedet anbefales det, man laver et "brækket" profil, hvorved man kan reducere kronekoten. Figur 5-1 viser et eksempel på en sådan konstruktion, kystbeskyttelse på nordkysten af Sprogø, som den blev udført i starten af 1990'erne efter idé af denne rådgiver som ansat i DHI; og undersøgt med modelforsøg ved DHI. Kronekoten var oprindeligt +5,0 m og er senere i 2018 hævet til +6,5 m i forbindelse med klimasikringstiltag efter revideret design af COWI.



Figur 5-1 Kystbeskyttelse nordkysten af Sprogø oprindeligt profil ca. 1992-2018.

For dette projekt er det ikke muligt at benytte så flad en skråning som 1:9,7 på det øverste stykke, men i stedet er 1:5 valgt. Den hydrauliske effekt heraf er et væsentligt mindre bølgeopskyl, hvor for hældning 1: 2 opskylshøjden er ca. $0,9 \cdot H_{\max}$. Denne falder til ca. $0,65 \cdot H_{\max}$ for en gennemsnitlig hældning på 1:4, eller til ca. 70 % af kravet for hældning 1:2. Det betyder at Kronekoten KK kan være mindre. For 50 års design-situation i 2060m med en vandstand på +2,4 fås:

$$KK = 0,7 \cdot 1,4 + 2,4 = +3,4 \sim \mathbf{3,5 \text{ m.}}$$

I det følgende er der valgt en kronekote på +3,5 m og en totaludbygning i første fase. Dette skyldes, at det vurderes som vanskeligt for en entreprenør at komme til inde på den relativt smalle grund efter at sommerhus med terrasse er anlagt.

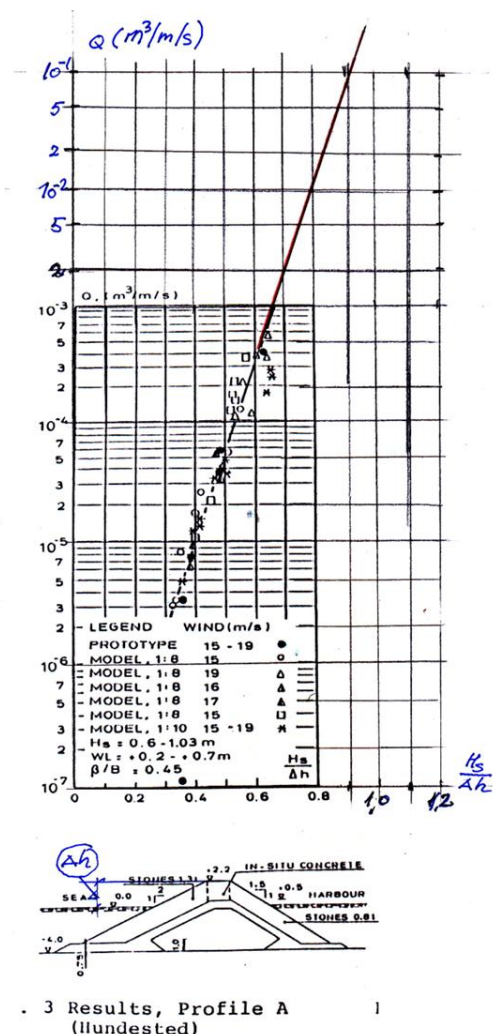
Bølge-overskyls-vandmængden kan vurderes ud fra resultater fra feltnmålinger (Hundested) og modelforsøg præsenteret i Figur 5-2. Parameteren, H_s/DH er bølgehøjden divideret med fribordet, som er den vertikale afstand fra vandspejlet til kronekoten. I dette tilfælde fås: $H_s/DH = 0,7$. Ud fra Figur 5-2 fås et middel bølge-overskyls-tal på $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m/s} = 2 \text{ liter}/\text{m/s}$. Dette svarer til $7,2 \text{ m}^3/\text{m/time}$ eller da der er ca. 45 m kystbeskyttelseskonstruktion ud mod havet på $324 \text{ m}^3/\text{time}$ eller per sekund, eller 90 liter/s.

Dette vand falder ned på et areal på ca. $25 \cdot 35 = 875 \text{ m}^2$, så efter en time ville der være en vanddybde på $324/875 = 0,37 \text{ m}$ hvis ikke vandet kan afledes eller drænes.

Dette kan ske gennem et eller flere plastrør fra matriklen og enten bagud gennem diget til marken bagved eller til det lavtliggende område mod sydøst. Et sådant plastrør vil kunne få et fald på ca. 0,6 m hvorved hastigheden i røret kan overslagsmæssigt vurderes som;

$V = (2 \cdot 0,6 \cdot 9,81)^{0,5} \cdot 0,85 = 2,9 \text{ m/s}$, hvor 0,85 er et estimat på reduktion på grund af enkelttab mm. Hvis der er tale om en rørdiameter på 20 cm (0,2 m) fås en vandføring på: $Q = 2,9 \cdot (\pi/4) \cdot 0,2^2 \cdot 0,85 = 0,077 \text{ m}^3/\text{s}$. Så der skal mindst to rør til.

I praksis kan man i stedet sikre bedre vandføring med et stk. 25 cm rør, og den totale vandføring bliver ca. $Q = (0,25/0,20)^2 \cdot 0,077 = 120 \text{ liter/sekund}$. Det har ikke været muligt, at få tilladelse til at føre røret bagud gennem hoveddiget, så dette føres i stedet gennem et lavt nyt fløjdiage som anlægges mod sydøst.



Figur 5-2 bølge-overskyls-resultater fra både model-og naturmålinger fra DHI, (1976)

5.2 Design/dimensionering af konstruktioner

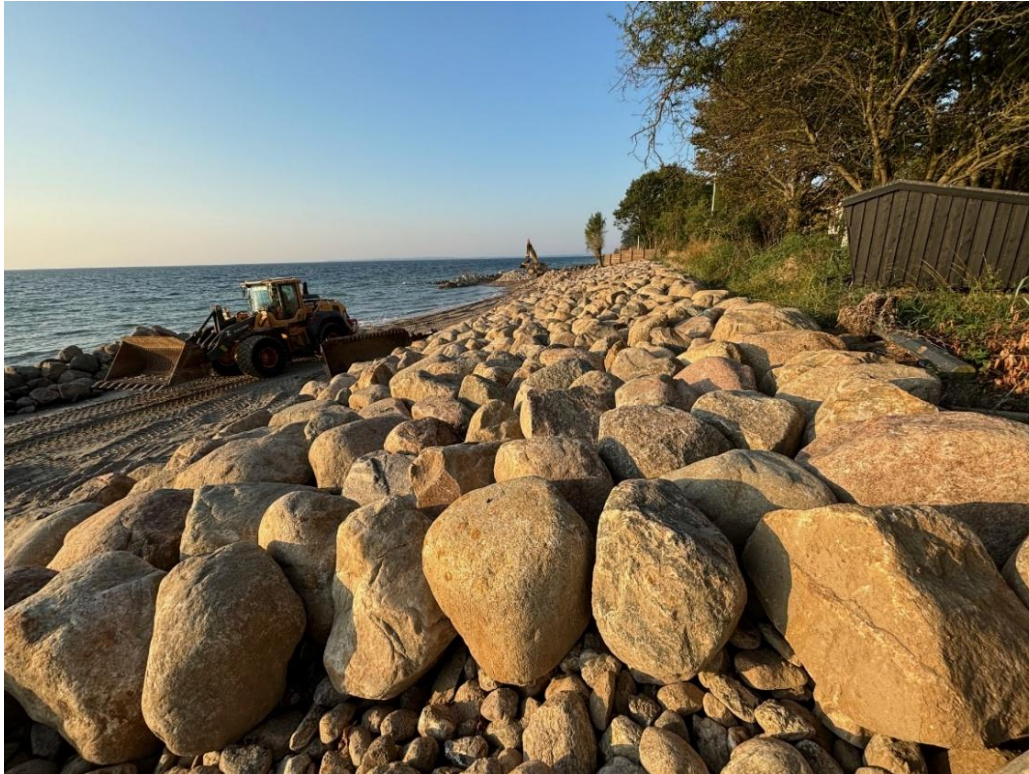
Et projekt for kystbeskyttelse med en stenskråning for Strøget 1A efter ovennævnte princip er udarbejdet, se **Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.** til Figur 5-7. Med kraftig blå streg vises det eksisterende profil. Det vurderes som vigtigt, at konstruktionen ikke optager for meget af stranden, så der ikke blokeres mere end højst nødvendigt. Dette er sikret ved at forsiden af skræntfodssikringen kun føres ca. 1 m ud foran den eksisterende kystvold. Dette vil også gøre det muligt engang i fremtiden når matriklerne mod nordvest vælger at foretage den nødvendige opgradering og forhøjelse af deres kystbeskyttelse, at der kan skabes en relativ jævn overgang mellem stenkastningerne på nabo-matrikler.

- Tåen af konstruktionen nedgraves og har et lag af ral som bundsikring ovenpå en geotekstil. Ovenpå denne udføres en vandret banket af sten, i størrelse ca. 50 cm (0,2-0,5 tons).
- Forsiden af strandvolden afrettes til hældning 1:1,5 og afdækkes med en geotekstil, filterlag af ral og en stenkastning i et lag i tæt lejring. Stenene er EU standard-gradering 0,3-1,0 tons, middel ca. 0,6 tons).
- Stenkastningen knækkes ca. i kote +2,55 m til hældning 1:5 med samme geotekstil, ral-filterlag og dæksten op til kote +2,8m, hvor der kan skiftes til en mindre stenstørrelse på 0,2-0,5 tons op til kote +3,5 m, som vist.
- Stenkastningens top i kote +3,5 m fortsætter med en forstærkning ned af bagsiden (hældning 1:1,5 med sten 0,1-0,35 tons som minimum). Herved fremtidssikres konstruktionen til for de givne designforhold til ca. år 2060. Profilets højde og relativt store bredde sikrer et bølgeoverskyl som vil kunne accepteres bagved, hvis der sikres at vandet kan løbe ned af grunden som anlægges med en svag hældning mod sydvest og der sikres dræning af vandet gennem et rør igennem fløj-diget mod sydøst.
- De valgte stenstørrelser er beregnet med Hudsons Formel. Hvis denne udføres for $H_s=1,35$ m og en stabilitetsfaktor på $K_D=1,5$ og densitet af vand og sten på 1,02 og 2,7 t/m³ og hældning 1,5 fås en stenstørrelse på, $W=0,5$ tons. Tilsvarende fås for $H_s=1,5$ m en stenstørrelse på, $W=0,68$ tons. Der kan accepteres lidt beskadigelse på stenkastningen for en sådan meget sjælden storm, så de største dæksten bør vælges som minimum: 0.3-1,0 tons, og gerne lidt til den høje side. Der er valgt tre forskellige stenklasser. Stenene i de mindre graderinger er ikke en standard-gradering, og vil skulle udvælges og sorteres i en grusgrav. Det er meget vigtigt, at der føres kontrol med, at de benyttede sten opfylder kravet til gradering (målt på vægten af stenene) så de bedst muligt overholder kravene til sten-vægte, som angivet på Figur 5-5.
- Under stenkastningen er filterlag af ral, med kornstørrelse ca. 7 til 18 cm, og velgraderet.
- Det er vigtigt at fremføre, at man oftest i Danmark som standard anlægger stenkastninger med to lag dæksten, og dette giver en større sikkerhed og på grund af den større porøsitet også et lidt reduceret bølgeopskyl, og større rubusthed mod skade. Men, hvis stenene udvælges så de er store nok, og udlægges omhyggeligt i tæt pakning får man også en god konstruktion med et lag dæksten. Der er også det forhold at tage i regning, at der er meget stor økonomi for bygherren i at benytte et-stens-dæklag. Et eksempel fra Faxe Ladeplads som er designet af undertegnede, Ole Juul Kystteknik, og anlagt i 2024 efter der var sket store skader under stormfloden d. 21 okt. 2023 er vist på Figur 5-3. Alle projektets dokumenter udarbejdet af <https://olejuulkystteknik.dk/> kan ses på firmaets hjemmeside: <https://olejuulkystteknik.dk/>
Og på kommunens hjemmeside: <https://www.faxekommune.dk/da/nyheder/kystbeskyttelse-kaj-oerums-vej>

Endvidere kan det fremføres at der i dag er meget begrænsede ressourcer af grusgravsten til rådighed, så udover den økonomiske besparelse er der tale om en stor besparelse af ressourcer.

- Fløjdiget mod nordvest bør bibeholdes helt, og den fremtidige adgangsvej fra Strøget kan føres henover diget i det vestlige hjørne af matriklen uden at der sker skade på diget eller dettes topkote ændres.

- Da skræntfodskonstruktionen ligger langt oppe på stranden og i læ bag høfden sikres det, at der ikke sker nogen ændring på den langsgående sedimenttransport, og at der ikke sker nogen morfologiske ændringer i forhold til den eksisterende situation, eller påvirkninger på nabostrækningen.



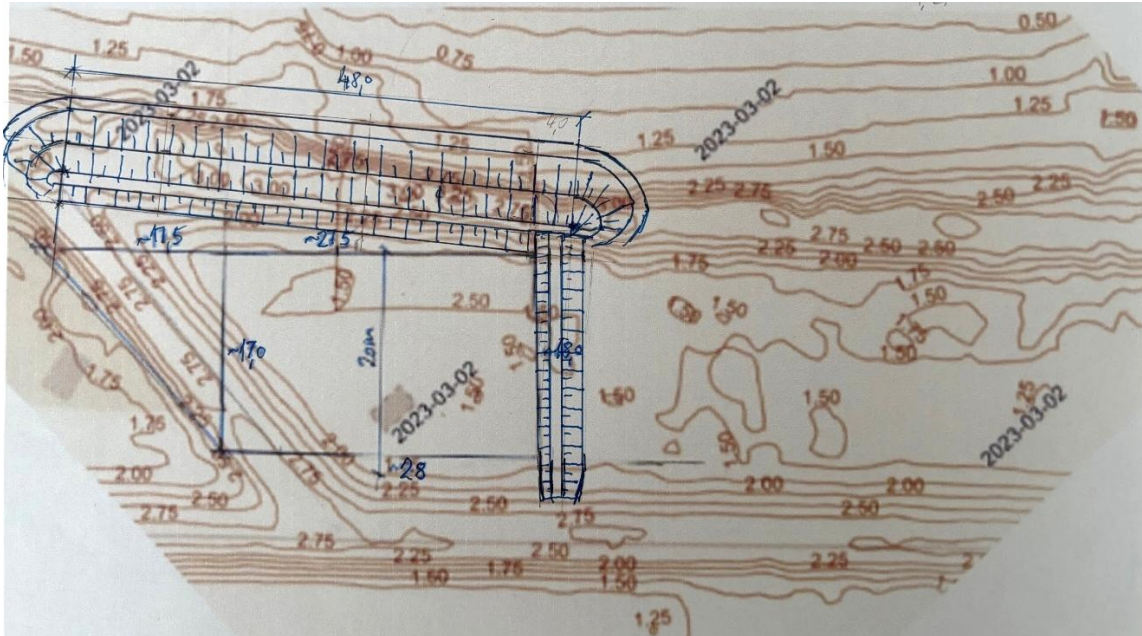
*Figur 5-3 Eksempel på tilsvarende «knækket» stenkastning, Kaj Ørums Vej
Faxø Ladeplads under anlæg (stadig synligt filterlag). Design og tilsyn ved Ole Juul Kystteknik.*

- For at afslutte kystbeskyttelsen er denne i begge ender drejet/vinklet ind mod land ved at dreje hovedprofilet i en keglestub.
- Mod sydøst er der på plantegningen Figur 5-7 vist et nyt fløj-dige mod sydøst med kronekote i +2,9 m til +2,4 m. Denne topkote er i niveau med opfyldningen på selve matriklen. Dette sikrer mod oversvømmelse af matriklen hvis en ekstrem stormflod sker, og der sker fuld erosion af strandvolden ud mod havet. Men, med dette dige ligger matriklen nu i en lavning, og det er nødvendigt at sikre mod oversvømmelse både for et meget ekstremt regnskyl, men også mod bølgeoverskyl. Der er på de nordligste 8 m af diget inkluderet en stenkastning for at forbedre dets stabilitet mod bølger hvis hele strandvolden bliver eroderet ned, og bølgerne kan skylle ind i området.
- På Figur 5-6 er vist et profil af terrænet på tværs af matriklen. Da dennes centrale område kun er i kote +1,5 m vil det være problematisk med et sommerhusbyggeri direkte på terræn, og det foreslås at dette hæves. En mulig plan er vist med et svagt hældende terræn mod sydvest, og med kote +2,9 m ud mod havet og kote +2,4 m op mod diget bagved.
Med denne løsning vil man kunne bygge et sommerhus med en relativ høj sokkel f.eks. til kote +3,0 m, og med en terrasse i samme niveau foran huset. Herved vil man kunne sikre god havudsigt med kystbeskyttelsen i kote +3,5 m. Det anbefales, at bygningen planlægges således at vand fra bølgeoverskyl og regnvand nemt kan løbe rundt om bygningen og ned til drænrøret mod sydøst, så selv en ekstrem stormflod i 2060 ikke vil forårsage oversvømmelse af huset. Man kan også vælge en løsning med huset på pæle og hvor vandet uhindret kan løbe ind under huset og ned til drænet. Husets udformning og placering på denne udsatte grund må således planlægges nøje, så

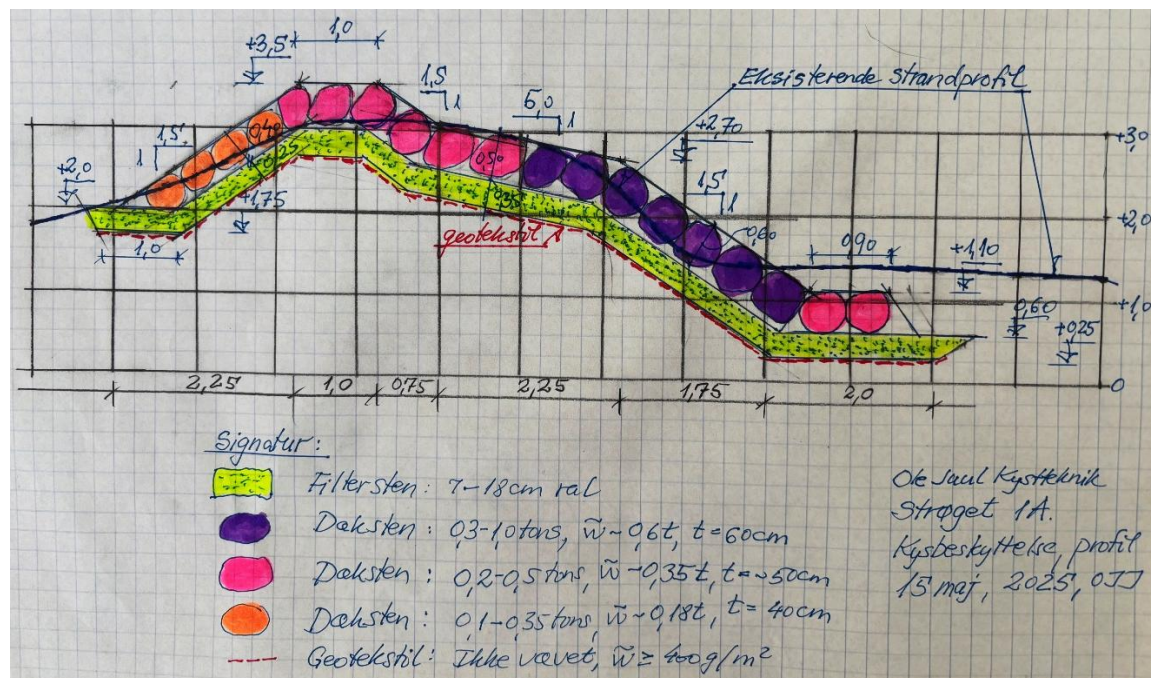
der opnå en høj sikkerhed mod stormfloder.

Estimerede mængder for anlæg af konstruktionen er beregnet og vist i Afsnit 6.

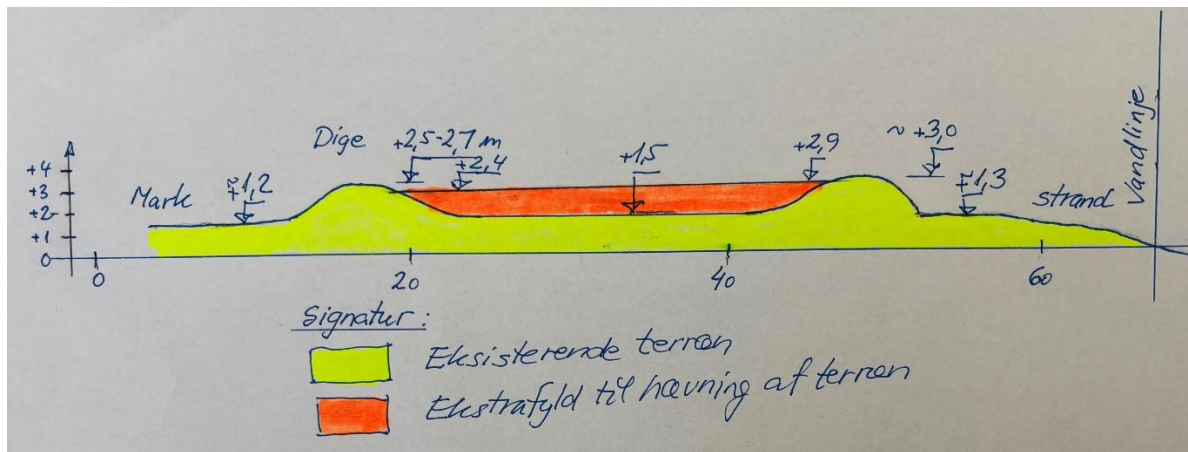
5.3 Kystbeskyttelse, profiler og plantegning



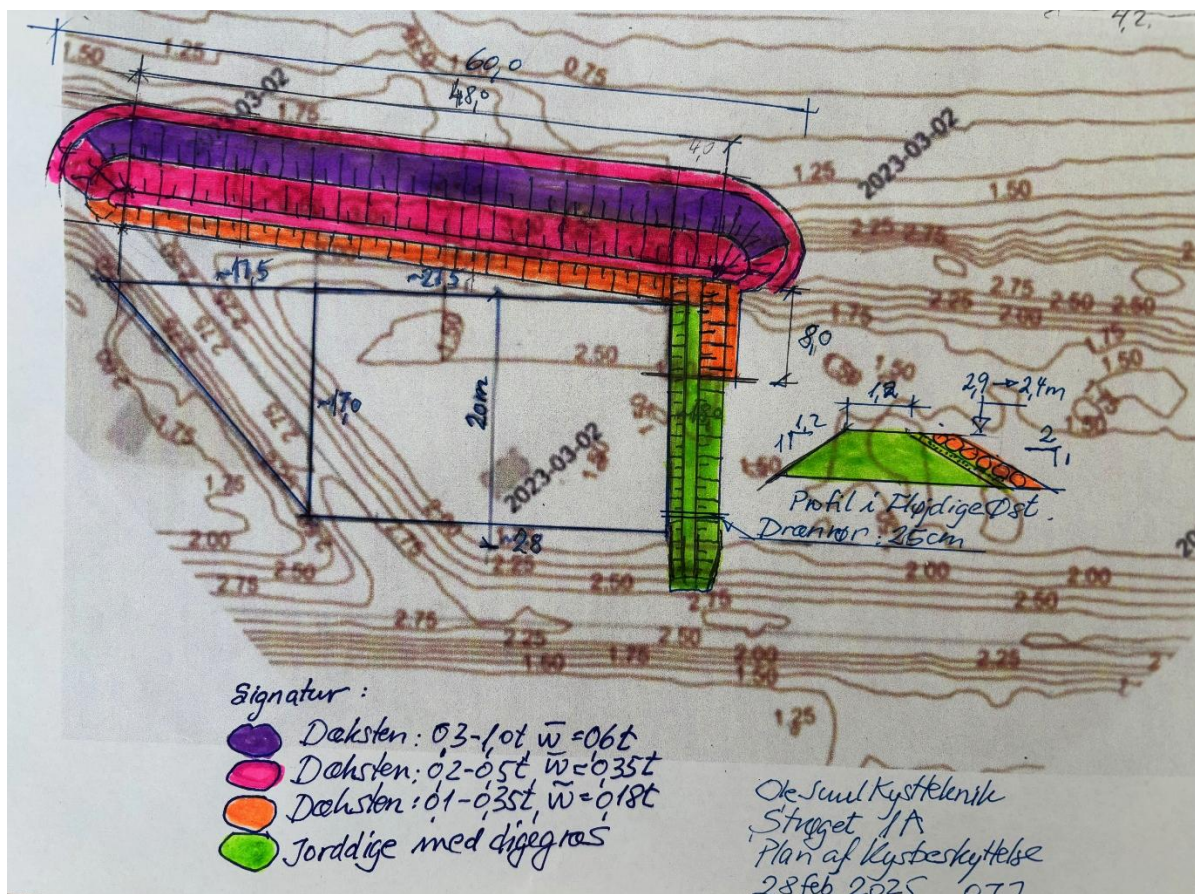
Figur 5-4 Konturerne af kystbeskyttelse ovenpå højdekort/ matrikelkort (OJJ estimat af placering). Der bør ved landmåler laves en nøjagtigt tilsvarende plan.



Figur 5-5 Profil af kystbeskyttelse



Figur 5-6 Profil på tværs af matrikel



Figur 5-7 Plantegning af Kystbeskyttelse

6 Mængdeudtag

I den følgende tabel vises mængdeudtag. Der er endvidere i denne fase vist et prisoverslag over den totale anlægssum. Denne er baseret på rådgivers erfaring med enhedspriser i 2024 på projekter på Sjælland og Møn. Hvilke projekter der er tale om kan ses under referencer på hjemmeside:

<https://olejuulkystteknik.dk/>. Der er tale om priser for anlæg ved Danmarks bedste og mest erfarne vandbygnings-entreprenører, som er kendt for at udføre arbejde af god kvalitet. Posten hævnning af terræn er her en meget stor post, da der er tale om ca. 1000 m³ lerfyld, og inden det kan udlægges må man påregne at skulle afgrave mulden. Der er her benyttet en estimeret enhedspris på 196 DKK/m³ eks. MOMS. Det er muligt, at der lokalt vil kunne skaffes egnet fyld til en lavere pris?

Mængdeopgørelse Fase 1+2		Kystbeskyttelse Strøget 1 A, Otterup					OJJ 15.05.25	
Hus nummer		Matrikel 3V						
Længde af konstruktion			48	(m)				
Total længde			60	(m)				
Regningsmæssig Længde			57	(m)				
Længde Østre fløjdlige			23	(m)				
Omregningsfaktor m ³ til tons~			1,8	filtersten	1,8	dæksten		
Fase 1 Kystsikring		noter areal	Areal (m ²)	Middelvægt (t/m)	Volumen (m ³)	Vægt (tons)	Enhedspris (DKK/t)	Totalpris (DKK)
Materiale								
Filtersten		10*0,32	3,2	5,76	182,4	328	380	124762
Dæksten	Type I	3,8*0,6	2,3	4,14	131,1	236	480	113270
Dæksten	Type II	4,1*0,5	2,05	3,69	116,9	210	480	100958
Dæksten	Type III	1,8*0,4	0,72	1,30	41,0	74	450	33242
	Geotekstil		10		570,0		65	37050
afgrav og flyt jord		1*7	7,0		399,0	718	125	89775
Fløjdlige Øst								
Jordfyld	lerjord	ca. 100 m ³			100,0	180	195	35100
filtersten		2,5*0,15 L=8 m	0,4		3,2	5,8	380	2189
Dæksten	Type III	2,5*0,4, L=8 m	1,0		8,0	14,4	480	6912
Jordfyld terræn		tykkelse middel 1,1 m	800		880	1584	195	308880
Rør og kontraventiler								15000
Totalpris materialer								867139
Uforudsete materialer		8 %						69371
Entreprenør mob og demob plu		12 %						104057
Total sum ex. MOMS								1040566
MOMS		25 %						260142
Total Fase 1 +2		inkl. MOMS					DKK	1300708

Figur 6-1 Estimat af mængder og totalpris