

Kystsikring af Havvejen 63

Myndighedsprojekt

Knud Laursen

Dato: 19. december 2024

Rev.nr.	Dato	Beskrivelse	Udarbejdet af	Kontrolleret af	Godkendt af
0	19-12-2024	Myndighedsprojekt	SABB	JQUN	KLBU

Indhold

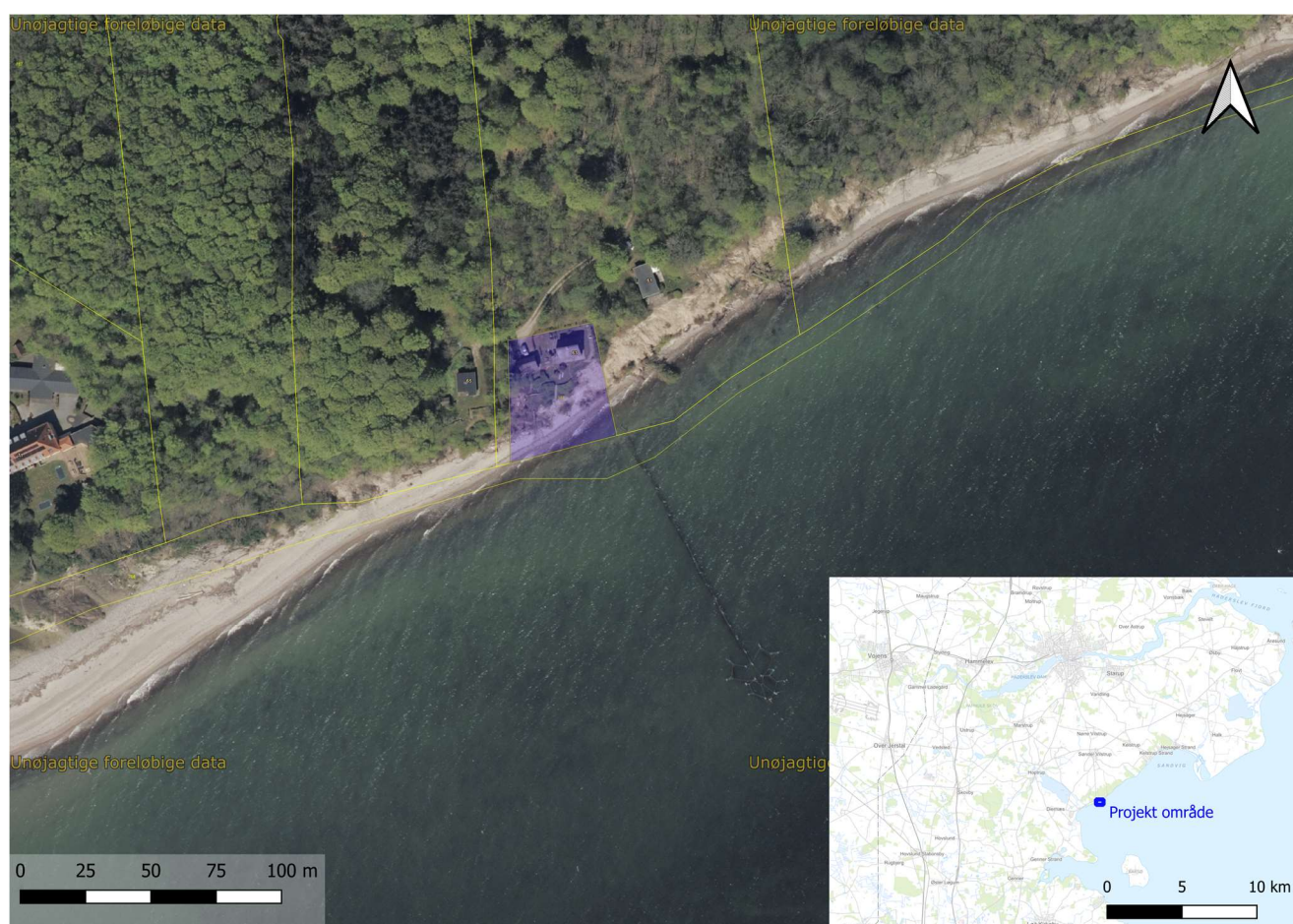
1.	Indledning.....	5
1.1.	Forudsætninger og antagelser	6
2.	Kystteknisk grundlag	7
2.1.	Eksisterende forhold.....	7
2.1.1.	Bathymetri.....	7
2.1.2.	Topografi	8
2.1.3.	Geoteknisk screening	8
2.2.	Kysterosion.....	10
2.2.1.	Kronisk erosion.....	10
2.2.2.	Historisk kystlinjeudvikling	11
2.2.3.	Akut erosion	13
2.3.	Behovet for kystbeskyttelse.....	13
3.	Dimensioneringsgrundlag	14
3.1.	Isostatisk landhævning.....	14
3.2.	Havspejlsstigning.....	15
3.3.	Vandstand	15
3.4.	Bølgepåvirkning	17
4.	Design af kystbeskyttelse	18
4.1.	Skåningsbeskyttelse	18
4.1.1.	Dimensionering af topniveau	18
4.1.2.	Dimensionering af Dæksten	18
4.1.3.	Filterstabilitet	19
4.1.4.	Dimensionering af bundniveau	20
5.	Skåningsbeskyttelse	21
5.1.	Anlæggets effekter	21
5.1.1.	Sandfodring	22
5.2.	Anlæggets opbygning og anvisninger baseret på skitseprojektering	23
5.3.	Natur og miljøforhold.....	25
5.4.	Anlægsbudget	27
6.	References.....	30

1. Indledning

NIRAS har fået til opgave af Knud Laursen at udarbejde et myndighedsprojekt med henblik på etablering af kystbeskyttelse for at sikre ejendommen på Havvejen 63, som ligger i Sønderjylland syd for Haderslev. Grundejeren ønsker at beskytte sit sommerhus, da området har været udsat for stormhændelser med forhøjet vandstand og kraftig bølgepåvirkning, der har medført erosion af skrænten. Figur 1 viser en oversigt over projektområdet med angivelse af relevante interessepunkter. Havvejen 63 ligger på matrikel nr. 188, ejerlav: Sdr. Vilstrup, Vilstrup og grænser op til nabo-grunde Havvejen 61 på matrikel nr. 3 og Havvejen 65 på matrikel nr. 279, begge under ejerlav: Sdr. Vilstrup, Vilstrup.

Grunden ligger i et område, der er særligt udsat for bølgepåvirkning fra øst og sydøst. Dette har resulteret i betydelig erosion af kystlinjen foran ejendommen. Erosionen blev forværret under stormen Babet i oktober 2023, hvor en kombination af højvande og kraftige bølger medførte den mest omfattende nedbrydning af skrænten. Dette fremgår tydeligt af Figur 2, der viser de skader, der opstod under stormen.

Formålet med denne opgave er at udarbejde et teknisk dokument (skitseprojekt), der kan danne grundlag for en ansøgning og godkendelse om etablering af kystbeskyttelse ved strækningen ud for Havvejen 63.



Figur 1 – Oversigt over projektområde. Quickfoto fra 2024.



Figur 2 – Billede taget (kigger mod nord) efter Babet stormen i oktober 2023, med placering af grundejerens hus nr. 63 på toppen af skrænten.

1.1. Forudsætninger og antagelser

I dette afsnit præsenteres de centrale forudsætninger og antagelser, der ligger til grund for løsning af kystbeskyttelse ved Havvejen 63. Disse danner rammerne for de tekniske vurderinger og analyser, som notatet bygger på, og sikrer en struktureret tilgang til udformningen af kystbeskyttelsesløsningen.

Denne rapport fokuserer udelukkende på design og opbygning af kystbeskyttelse i form af en skråningsbeskyttelse, som er tilpasset de lokale forhold og dimensioneret specifikt til området. Kystbeskyttelsens primære formål er at beskytte grunden ved Havvejen 63 mod yderligere erosion af skrænten. Eventuelle udbedringer eller ændringer af selve skrænten, er ikke omfattet af dette projekt og vil derfor ikke blive behandlet yderligere i denne rapport.

I det foreliggende projekt vil kun de geotekniske forhold, der påvirker stabiliteten af selve kystbeskyttelsen, blive screenet for at sikre, at løsningen er robust under de eksisterende forhold. De geotekniske forhold og stabilitet ved den bagvedliggende skrænt vil ikke blive taget i betragtning og uddybes ikke yderligere i denne rapport.

Til nærværende skitseprojekt er der ikke foretaget nogen form for opmåling af eksisterende terræn, Bathymetri eller foretaget nogen geotekniske borer for området. Til at vurdere terrænprofil vil Danmarks højdemodel blive taget i betragtning og søkort sammen med Danmarks dybdemodel blive anvendt for at vurdere strandprofilets Bathymetri.

Det antages, at der for anlægsområdet ikke forefindes kabler, rør eller arkæologiske objekter, som ville kunne forstyrre udgravningsarbejdet og anlæggelse af kystbeskyttelsen.

2. Kystteknisk grundlag

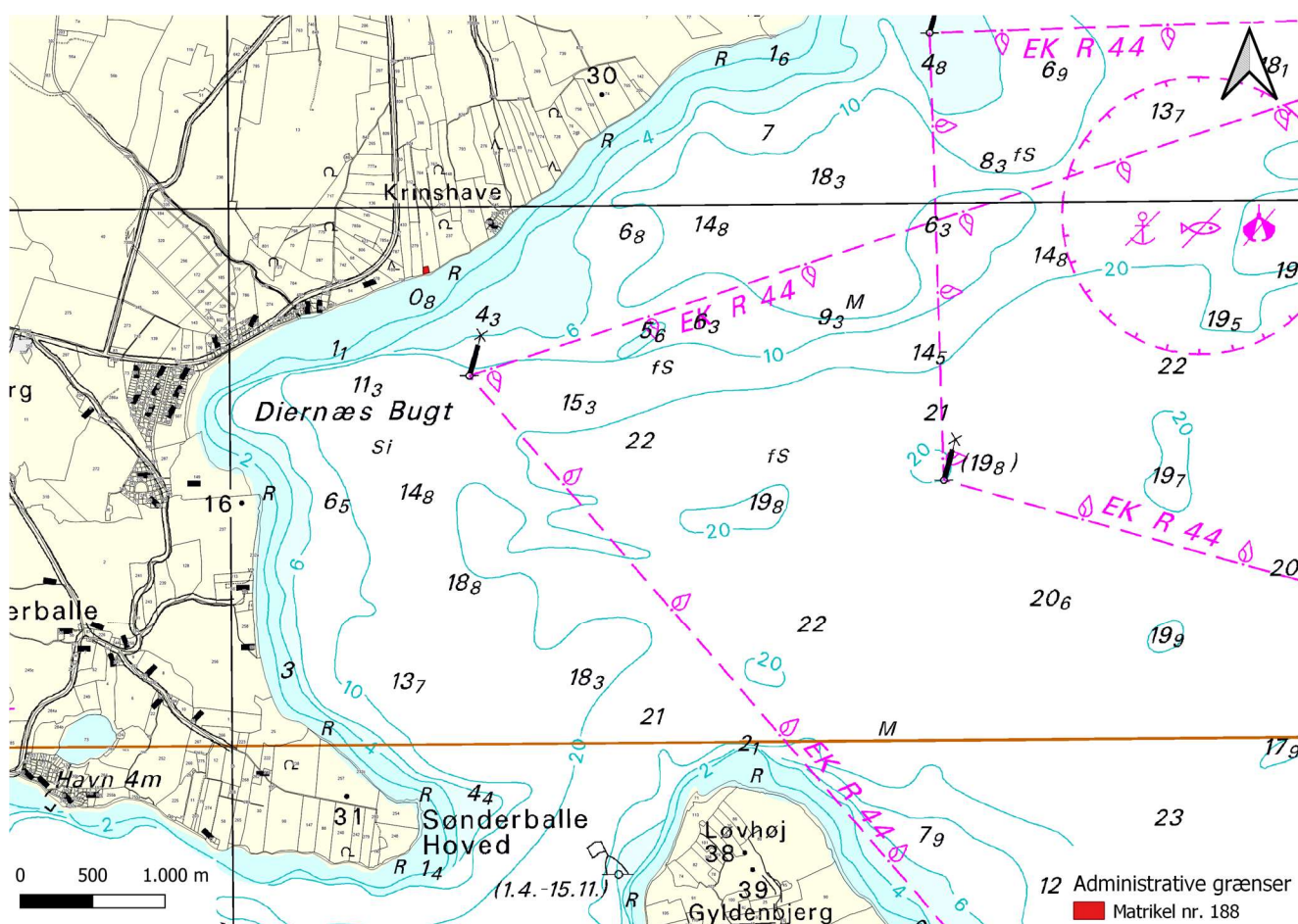
Dette afsnit præsenterer de tekniske forhold, der danner grundlag for skitsedesignet af kystbeskyttelsen ved Havvejen 63. Der redegøres først for de eksisterende forhold, herunder områdets Bathymetri, topografi, geoteknisk screening og til sidst natur- og miljøforhold. Herefter gennemgås kysterosionens karakter, både i form af kronisk erosion, historisk udvikling af kystlinjen samt akut erosion. Til slut beskrives behovet for kystbeskyttelse, som danner baggrund for projektets udformning.

2.1. Eksisterende forhold

Til beskrivelse af de eksisterende forhold er der anvendt søkort til at kortlægge de bathymetriske forhold og Den Danske Højdemodel til at beskrive de topografiske forhold. Disse datakilder repræsenterer det tilgængelige grundlag for området. Det bemærkes, at terrænet foran sommerhuset, herunder skrænten, kan have ændret sig, hvilket også bekræftes af nyere billeder, jf. Figur 2, dog findes der ikke et opmålt profil af dette.

2.1.1. Bathymetri

Kystprofilen (bathymetri) spiller en afgørende rolle i, hvordan bølger udvikler sig fra dybt vand og ind mod kysten. En mild kystprofilhældning medfører, at bølgerne mister en større del af deres energi, hvilket resulterer i en reduktion af bølgehøjden, sammenlignet med et stejlt kystprofil, hvor bølgerne bevarer en større mængde energi og bryder tættere på kysten. Figur 3 viser et søkort over området ved Havvejen 63. Vinkelret på kysten foran ejendommen er kystprofilen relativt fladt frem til en vanddybde på -6 m DRV90, med en hældning på cirka 1:80.



2.1.2. Topografi

Sommerhuset på Havvejen er placeret i niveau kote +13 m DVR90. Foran sommerhuset observeres et jævnt fald i terrænet, hvor skrænten går fra kote +12 m DVR90 til kote +2 m DVR90, som illustreret i Figur 4. På grund af sommerhusets høje beliggenhed vurderes der ikke at være nogen risiko for oversvømmelse af ejendommen. Det observeres at stranden er smallere nord for sommerhuset, hvormed et terrænprofil her vil blive taget i betragtning, da dette vil være kritisk for anlæggets udbredelse på stranden. Medvidere vil derfor udelukkende forudsættes ét kysttværsnit for til brug for kystbeskyttelsens design, altså at tværsnittet ikke varieres.



Figur 4: Oversigt over projektområde Havvejen 63 med højdekurve markeret med ækvidistance på 0,25 m.

2.1.3. Geoteknisk screening

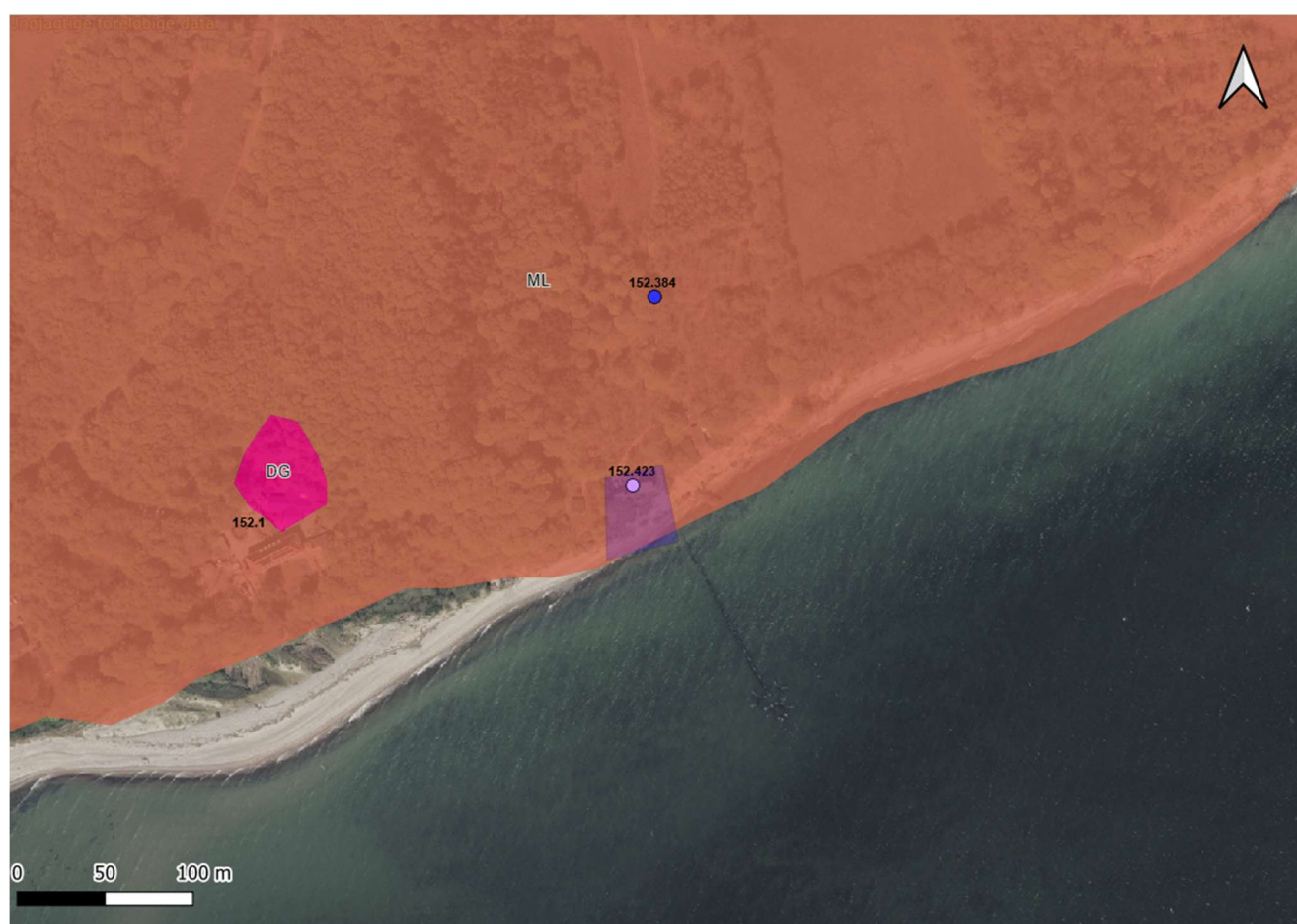
På Havvejen 63 og det omkringliggende område, er der ifølge Jordartskortet forekomst af moræneler i 1 m dybde, som illustreret på Figur 5. Dette kan muligvis genkendes på billedet i Figur 2, hvor det ses at skrænten antydes at bestå af ler. Medvidere viser Figur 5 placeringer af eksisterende borer i området.

Boring nr. 152.423 indeholder ikke brugbar information om områdets geologi. Boring nr. 152.384 fra 2005 befinder sig ca. 110 m fra Havvejen 63. Der foreligger ikke et geoteknisk boreprofil, men GEUS optegnelser viser, at jorden fra kote +15 m DVR90 og nedad består af vekslende aflejringer af glacialt smeltevandsler, -sand og -grus, samt glacialt moræneler.

Ca. 220 m mod vest er udført yderligere en boring nr. 152.1, der stammer fra 1924. Her er det dokumenteret, at der mellem kote +10 m og +5 m findes brunt og gult glimmerler, og herunder vekslende lag af sten, grus, sand og fedt brunt ler, samt blåler.

Glimmerler henviser normalt til miocæne (præglaciale) aflejringer, som her forventes at ligge i kote 0 til -25 jf. GEUS kort over prækvartæroverfladen. Det er muligt at der er tale om vekslende glaciale aflejringer lig de trufne aflejringer i boring 152.384, men det præcise geologiske aflejningsmiljø kan ikke tolkes ud fra de tilgængelige oplysninger.

Da det ikke kan afvises at der kan forekomme ustabile jordlag i form af sandlag eller fedt ler, anbefales det inden anlægsarbejdet påbegyndes, at der foretages en egentlig geoteknisk undersøgelse og projektering i hht. normkrav DS EN 1997-2. Herunder vil der formentlig skulle udføres en eller flere geotekniske borer, for at endelig vurdere de geotekniske forhold og sikre at disse ikke giver anledning til sætningsskader.



Figur 5: Oversigt over jordarter fra Jordartskortet, borer for området rundt matrikel 188, som er markeret med blå.

2.2. Kysterosion

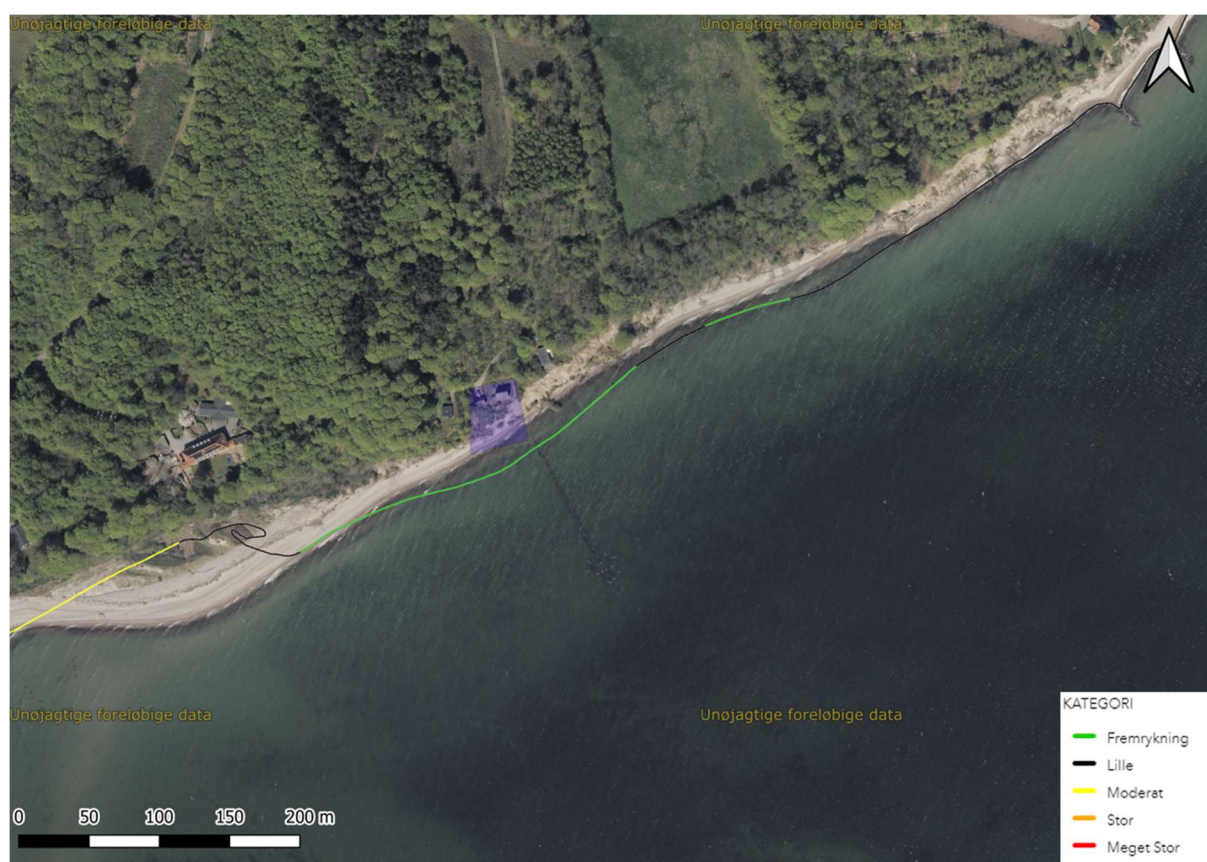
Dette afsnit omhandler de processer, der påvirker erosionen af kystlinjen ved Havvejen 63. Erosionen vurderes både i forhold til kroniske langsigtede ændringer, samt pludselige akutte hændelser, der kan have betydelig indvirkning på kystens stabilitet. Der gives en gennemgang af den historiske udvikling af kystlinjen, som bidrager til at forstå de langsigtede tendenser, mens akutte erosionshændelser, såsom stormbegivenheder, beskrives med fokus på deres umiddelbare påvirkning af kystprofilen.

2.2.1. Kronisk erosion

Stiger den langsgående transport henover en strækning betyder det, at der fjernes mere sediment fra området end der tilføres, hvilket resulterer i kronisk erosion. Omvendt vil en faldende langsgående transport resultere i aflejring af sand og kystfremrykning. Størrelsen på langsgående transport afhænger af det generelle bølgeklima (bølgetype, størrelse, indfaldsvinkel) samt tilgængelighed af sand.

Den potentielle langsgående transport er et udtryk for, hvor meget sand bølgerne kan transportere, såfremt der er ubegrænsede mængder sand til rådighed. Den aktuelle transport afhænger af, om der er kystkonstruktioner i den aktive del af profilet og tilstedeværelsen af sten og ler, der vil reducere transporten. Ved Havvejen 63 er der tale om en sandstrand med ral, hvor den bagvedliggende skrænts materiale har karakter af lermateriale. For området er det vurderet af Kystdirektoratet, at der er en sediment transport i en sydvestlig retning, som resulterer i materialevandring fra Sandvig mod Diernæs bugt. Dette kan også observeres på ortofotos.

Den kroniske erosion er vurderet af Kystdirektoratet til at have en fremrykning langs strækningen for Havvejen 63 og på nabostrækningerne er den kroniske erosion vurderet lille, hvilket kan observeres på Figur 6. I det efterfølgende afsnit vil der blive foretaget en analyse af den historiske kystudvikling for at undersøge den kroniske erosion nærmere.



Figur 6: Kronisk erosionskort med markering af matrikel for Havvejen 63, Kystatlas, Quickfoto fra 2024.

2.2.2. Historisk kystlinjeudvikling

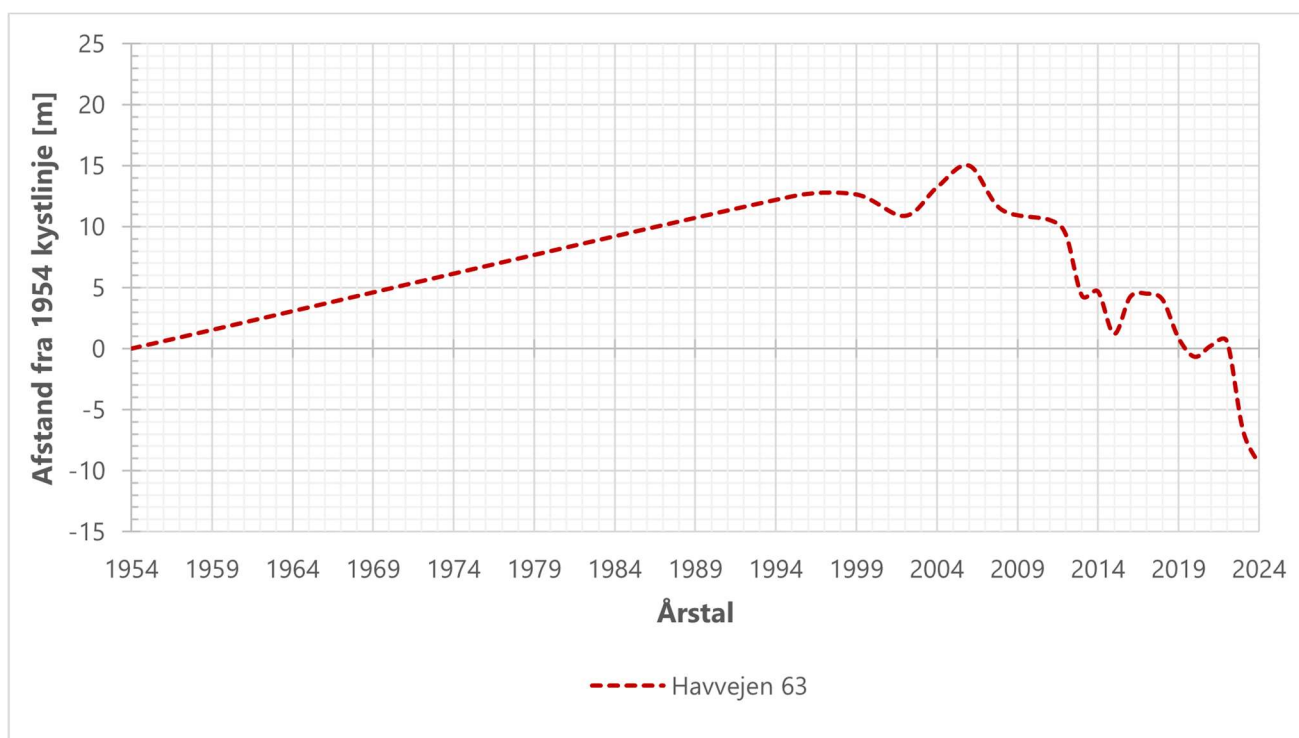
Ved området omkring Havvejen 63 består strækningen primært af sandstrand med en bagvedliggende skrænt af lerholdigt materiale. Der er ingen kystbeskyttelseskonstruktioner langs strækningen. Bølgeklimate fra østlige retninger skaber en netto-sedimenttransport langs kysten. Kystlinjens udvikling ved stranden foran Havvejen 63 er blevet analyseret ved hjælp af ortofotos og digitalisering af vandlinjen, der strækker sig tilbage til 1954. Der er anvendt ortofotos fra 1954 samt efterfølgende år som 1995, 1999, 2002, 2004, 2006, 2008 og årligt fra 2011 til 2024.

Digitaliseringen af vandlinjen er afhængig af vandstanden på tidspunktet for fotograferingen, og resultaterne påvirkes af fotoopløsningen, som er blevet forbedret gennem årene. Desuden kan store mængder tang i vandlinjen til tider vanskeliggøre nøjagtigheden af grænsen mellem strand og vand.

Figur 7 viser kystlinjens udvikling fra 1954 til i dag. Analysen viser, at der i perioden fra 1954 frem til midten af 00'erne har været en fremrykning af kystlinjen foran Havvejen 63, hvor sediment blev aflejret i projektområdet. Siden 2006 er der dog observeret en tilbagerykning af kystlinjen, som fortsætter frem til i dag. Mod syd for Havvejen 63 ses derimod en tydelig fremrykning af kystlinjen med markant sedimentaflejring gennem årene. I Figur 8 er kystlinjens position ved Havvejen 63 vist i forhold til kystlinjen år 1954. Grafen viser en tydelig tilbagerykning af kystlinjen de seneste ca. 20 år, med en samlet tilbagerykning på omkring 24 m siden midten af 00'erne, hvilket viser at der ikke helt er overensstemmelse med Kystdirektoratets vurdering og den historiske udvikling ift. kronisk erosion.



Figur 7: Kystlinje udvikling fra 1954 til 2024, med matrikel markeret i blå, Quickfoto fra 2024.



Figur 8 - Kystlinjeudvikling, ændring i kystlinjens position i forhold til kystlinjen år 1954.

2.2.3. Akut erosion

Under situationer med forhøjet vandstand og bølger kan erosion af strandprofil og skrænten forekomme. Sediment transporteres i stormflodssituationer udad i profilet og betegnes akut erosion. Den akutte erosion er vurderet af Kystdirektoratet til at være moderat langs strækningen ved Havvejen 63 og nabostrækningen. Dette er en middel klassificering, der gives for akut erosion, se Figur 9.



Figur 9: Akut erosionskort med marking af matrikel for Havvejen 63, Kystatlas, Quickfoto fra 2024.

Årsagen er kombinationen af kystprofil og relativt store frie stræk mod øst og sydøst, som kan give en større bølgepåvirkning. Der kan dog også forekomme akut erosion i tilfælde af moderat forhøjet vandstand og moderate bølger. Det bemærkes ved stormen Babet i oktober 2023, hvor der blev observeret akut erosion i området, hvilket understreger de potentielle risici ved forhøjet vandstand og større bølgepåvirkning.

2.3. Behovet for kystbeskyttelse

Området foran Havvejen 63 er udsat for akut erosion og er udsat med det lange åbne stræk og hvor bølgepåvirkning i kombinationen af høj vandstand har en betydelig effekt. Dette blev særligt tydeligt under stormen Babet i oktober 2023, som resulterede i kraftig erosion af skrænten. I modsætning til Kystdirektoratets vurdering af en fremrykning af kystlinjen, viser analysen af den historiske kystlinjeudvikling ved Havvejen 63 en tilbagerykning af kystlinjen de seneste 20 år, hvilket indikerer kronisk erosion.

Med både truslen fra fortsat kronisk erosion og de akutte erosionseffekter fra ekstreme vejrhændelser, som stormen Babet, er der en øget sandsynlighed for, at lignende fremtidige hændelser vil kunne bringe sommerhuset i fare over

tid. Erosion af den foranliggende skrænt, som ligger mellem ejendommen og stranden, kan yderligere forværres, hvilket potentielt vil true både skrænten og sommerhuset.

For at forhindre yderligere erosion af skrænten og for at sikre sommerhuset og grunden som helhed, anbefales det at etablere kystbeskyttelse. Hertil vil en skråningsbeskyttelse være effektiv. Skråningsbeskyttelsen skal dimensioneres til de lokale forhold samt til at kunne modstå fremtidig bølgepåvirkning, højvandstand og reducere risikoen for yderligere erosion af skrænten.

3. Dimensioneringsgrundlag

Dimensioneringen af konstruktionerne foretages på baggrund af et dimensioneringsgrundlag, der er fastlagt efter en valgt middeltidshændelse og levetid for konstruktionen. En middeltidshændelse angives ved en periode, som svarer til det gennemsnitlige interval for at hændelsen forekommer eller overskrides. Risikoen for at en given middeltidshændelse optræder inden for en fastlagt periode, for eksempel konstruktionens levetid, beregnes som:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{MT}\right)^L$$

, hvor R er risikoen, MT er middeltidshændelse og L er levetiden. Risikoen for en række kombinationer af middeltidshændelse og levetid ses i Tabel 5.1.

Tabel 1: Sandsynlighed for overskridelse af dimensioneringsgrundlaget i %, med en given middeltidshændelse (Returperiode) inden for konstruktionens levetid.

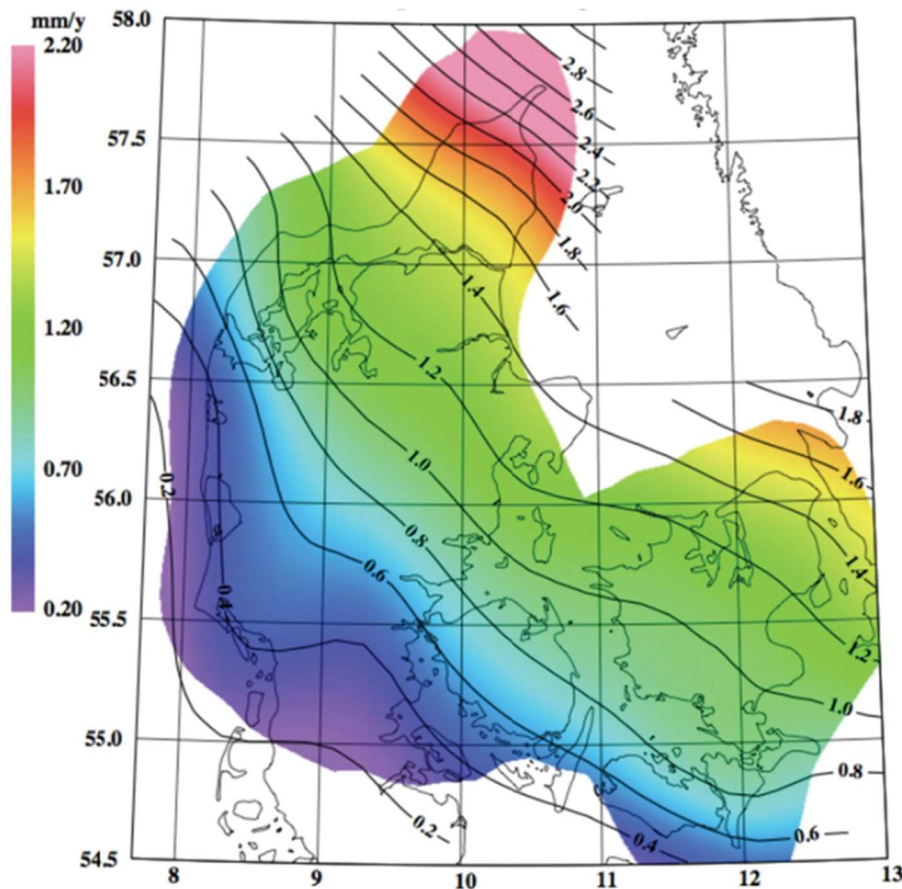
Levetid [år]	Middeltidshændelse [RP]					
	5	10	25	50	100	200
5	67	41	18	10	5	2
10	89	65	34	18	10	5
25	100	93	64	40	22	12
50	100	99	87	64	39	22
100	100	100	98	87	63	39
200	100	100	100	98	87	63

Kystbeskyttelse i form af en skråningsbeskyttelse er relativt let at etablere, renovere og evt. udbygge. Valget af levetid for et kystsikringsanlæg skal vælges ved en afvejning af anlægsomkostninger, udbygningsomkostninger og hvor længe det beskyttede område forventes at være i brug. Valget af den dimensionsgivende middeltidshændelse vælges derefter på baggrund af konstruktionens levetid og valg af acceptabel risiko. For nærværende projekt anbefales en levetid for kystbeskyttelsen på 50 år. Dette betyder ikke, at konstruktionen ikke kan stå i længere tid – men at der evt. bør gennemføres en opdatering af designet, eller at der må påregnes øget vedligehold efter 50 år. Anbefaling til valg af middeltidshændelse beskrives i kommende afsnit.

3.1. Isostatisk landhævning

Ved seneste istid blev landmasserne trykket ned grundet tyngden fra ismasserne. Efter isens afsmeltning begyndte en landhævning af landmasserne, hvilket stadig pågår. Raten af landhævning er størst i de nordøstlige områder af Danmark og lavest i Sønderjylland, se Figur 10. For Havvejen 63 vil der blive taget en landhævning på 0.02 cm/år i

betragtning, som det er anvist ifølge Kystdirektoratets højvandstatistik, [2]. For perioden fra år 2024 og frem til år 2075 forventes der således en landhævning på 17 mm, hvor denne landhævning medtages ved beregning af dimensioneringsgrundlaget.



Figur 10: Isostatisk opløft i danmark DTU space 2015, [2].

3.2. Havspejlsstigning

Gennem de seneste 100 år er middelvandstanden i farvandene omkring Danmark steget og grundet effekten af klimaforandringerne forventes denne tendens at tiltage i fremtiden. Det bedste bud fra DMI forudsiger for klimascenariet SSP5-8.5 en stigning af middelvandstanden i Danmark på ca. 65 cm frem mod slut århundrede 2100 (usikkerhedsinterval på 36-125 cm), [3]. For perioden fra år 2024 og 50 år frem til år 2075 for klimascenariet SSP8.5 forventes en havspejlsstigning på ca. 48 cm, se også Tabel 2, det behæftet med en vis usikkerhed som overstående også afspejler. Stigningen i middelvandstanden betyder, at dimensioneringsgrundlaget ændres gennem konstruktionens levetid og indflydelse fra klimaændringer skal derfor medtages og tillægges den dimensionerende højvandstand.

3.3. Vandstand

Ved storme vil vinden presse vand op mod kysterne, hvorved der sker en markant stigning af vandstanden. Der er foretaget målinger af vandstanden siden år 1980 i Aabenraa Havn beliggende på østkysten i Sønderjylland. På baggrund af målte vandstande har Kystdirektoratet udarbejdet en højvandsstatistik, se Figur 11. 50-års vandstanden er estimeret til +1,85 m DVR90 og 100-års vandstanden er estimeret til +1,97 m DVR90, [2]. Taget i betragtning at erosion især var omfattende under stormen Babet i oktober 2023 ved Havvejen 63 (se Figur 2), vil der for nærværende

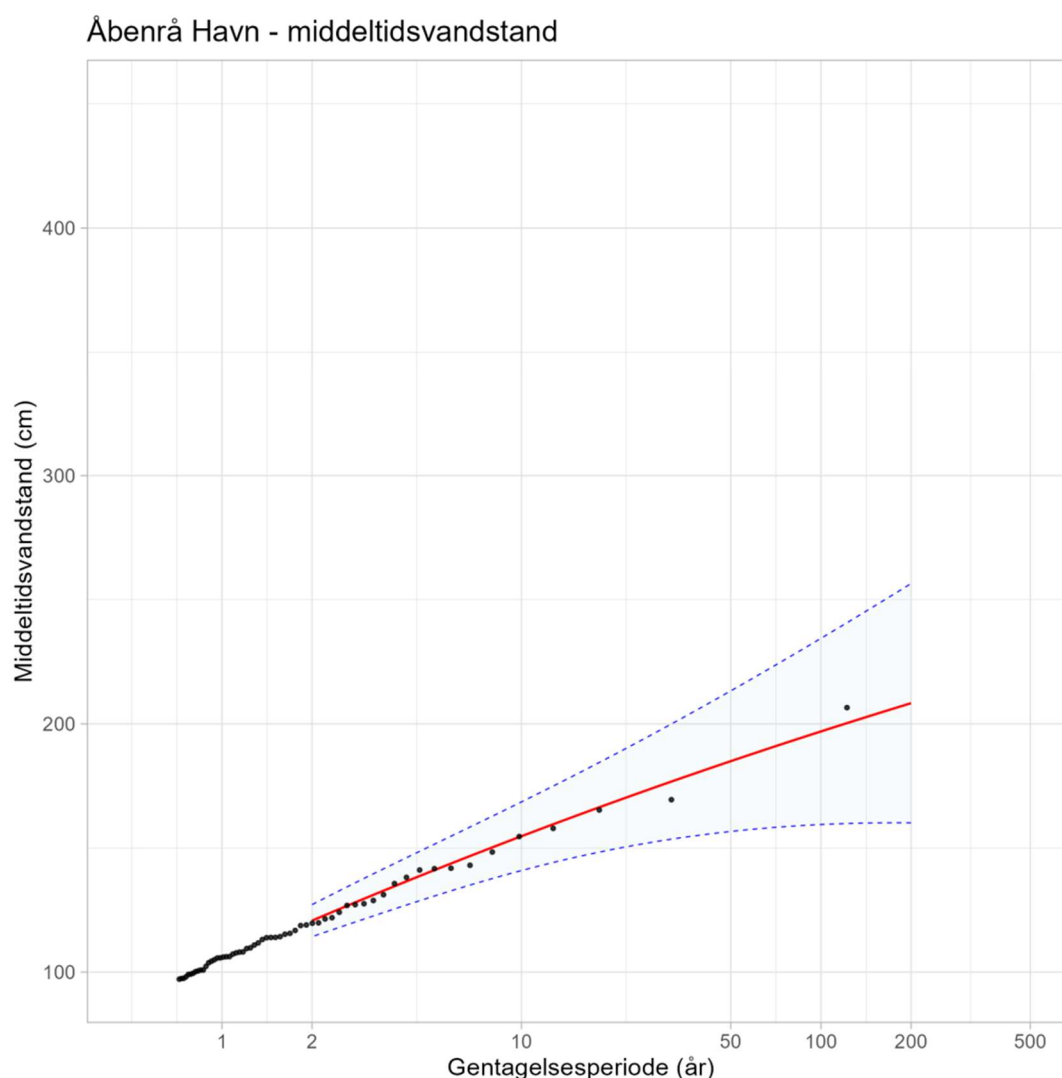
projekt designes kystbeskyttelse for en hændelse af lignende karakter og der er derfor valgt en 100-års vandstand. Designvandstanden for en 100 års middeltidshændelse med havspejlsstigning mod år 2075 er vist i Tabel 2.

For designvandstanden er der yderligere tilføjet et bidrag for bølge setup, som er beregnet til 0,14 m. Denne værdi er bestemt ved hjælp af designbølgen specificeret i afsnit 3.4 og beregnet med metode beskrevet i Shore Protection Manual, [4].

Tabel 2: Design middeltidshændelse for højvande relative til DVR90 i år 2075.

100 års middeltidshændelse	Havspejlsstigning frem mod år 2075	Design vandstand
[m DVR90]	[m DVR90]	[m DVR90]
+1,97	+0,48	+2,59*

* Inkl. bølge setup.



Figur 11: Middeltidshændelser for vandstanden baseret på målte vandstande i Aabenaa havn i Sønderjylland. Måledata fra 1980 til 2024, [2].

3.4. Bølgepåvirkning

Eftersom der er valgt en 100-års designvandstand, fastsættes en tilsvarende designbølge baseret på vindhastigheden med en 100-års returperiode, da det var en kombination af højvande og kraftige bølger der forårsagede den mest omfattende erosion af skrænten.

For at bestemme vindhastigheden med en 100-års returperiode er der udført en Extreme Value Analysis (EVA) i MIKE Zero. Analysen anvender vinddata målt ved DMI's målestation i Assens/Torø, hvor datasættet består af 1-times værdier, der strækker sig fra 2001 til 2023, [5]. På grund af projektets placering og erfaringerne fra stormen Babet i 2023 er det særligt vindpåvirkning fra øst og sydøst, der vurderes at være afgørende. Derfor fokuserer analysen på vindretninger mellem 55° og 135°. Beregningerne viser en vindhastighed på 14,7 m/s for en 100-års returperiode, som anvendes til at bestemme designbølgen på dybt vand.

Til beregning af den signifikante bølgehøjde på dybt vand er der gennemført en fri stræk-beregning med vindhastigheden fra den 100-års returperiode. Den signifikante bølgehøjde på dybt vand antages ikke at være dybdebegrænset til en vanddybde på 10 m, som cirka svarer til en afstand på 1 km fra kysten. Ud over vindstyrken afhænger bølgehøjden af den frie strækning, bølgerne kan opbygges over. Denne strækning, kaldet bølgens frie stræk, varierer afhængigt af bølgeretningen. For Havvejen 63 er den længste frie strækning mod sydøst, hvor bølgerne kan opbygges over en afstand på 65 km. Under disse forhold og uden dybdebegrænsning resulterer beregningen i en signifikant bølgehøjde på 2,2 m på dybt vand, se Tabel 3.

Tabel 3: Den signifikante bølgehøjde på dybt vand.

Signifikante bølgehøjde	Peak periode
H_{so}	T_p
[m]	[s]
2,21	5,70

For at bestemme designbølgehøjden ved kystbeskyttelsen på lavt vand transformeres bølgen fra dybt vand ind mod kysten. Denne beregning forudsætter, at bølgerne er dybdebegrænsede, hvor den maksimale bølgehøjde er en funktion af vanddybden. Brydningskriteriet, der beskriver forholdet mellem lokal vanddybde og den dybdebegrænsede bølgehøjde, er beregnet ved hjælp af Van der Meer's metode, som er beskrevet i Rock Manual, [6]

Parametre som bølgestejlhed og forstrandens hældning har indflydelse for beregningen. Det antages, at havbunden foran konstruktionen ligger i +0,0 m DVR90, hvilket anvendes som grundlag for dimensionering af skråningsbeskyttelsen. Dette resulterer i et brydningsforhold på 0,56. Tabel 4 viser den designbølgehøjde og peak-periode, der anvendes som grundlag for dimensioneringsberegningerne.

Tabel 4: Designbølge, som anvendes til dimensioneringsgrundlaget på lavt vand.

Signifikante bølgehøjde	Peak periode
H_s	T_p
[m]	[s]
1,37	5,70

4. Design af kystbeskyttelse

4.1. Skåningsbeskyttelse

4.1.1. Dimensionering af topniveau

Skråningsbeskyttelsen skal være tilstrækkelig høj for at minimere erosionen af skrænten ved storm. Kronekoten af skråningsbeskyttelsen bestemmes ud fra en betragtning af bølgeoverskyllet efter de principper beskrevet i EurOtop, [7]. Kriteriet for maksimalt tilladeligt bølgeoverskyl for at forhindre yderligere skrænterosion fastsættes konservativt til et lavt niveau på ca. 0,1 l/s/m.

Bølgeoverskyllet beregnes som:

$$\frac{q}{\sqrt{g H_s^3}} = \frac{0,026}{\sqrt{\tan \alpha}} \xi_{m-1,0} \exp \left(- \left(2,5 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} H_s \gamma_f} \right)^{1,3} \right)$$

hvor $\alpha = 1,5$ er hældningen af skråningsbeskyttelsen, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ er tyngdeaccelerationen, $\gamma_f = 0,55$ er friktionsfaktoren for dæksten, R_c er frihøjden (forskellen mellem konstruktionens topniveau og vandstanden) og $\xi_{m-1,0}$ er en bølgeparameter, der beskriver typen af bølgebrydning. For følgende konstruktion vil indflydelse af kronebredden $C_r = 3,06 \exp(-1,5 G_c/H_s)$ blive taget i betragtning, hvor G_c er kronebredden, [7]. Konstruktionens frihøjde justeres indtil bølgeoverskyllet er mindre end det ovenfor beskrevet tilladelige. Bølgeoverskyllet kan ikke antage værdier større end beskrevet i formel 5.13 i [7].

Ved beregning af bølgeoverskyl er eventuelt bølge set-up implicit medtaget i de empiriske formler, der anvendes, hvilket er grunden til at det er højvandstanden der anvendes til beregning af konstruktionens topniveau. For at opretholde en tilstrækkeligt sikring ved en 100-års middeltidshændelse om 50 år og designbølge, skal topniveauet af skråningsbeskyttelsen være i +4.9 m DVR90 med en kronebredde på 3,0 m, se Tabel 5. Det kan ikke udelukkes, at der kan forekomme en vis erosion af skrænten over kronen af skråningsbeskyttelsen. Dette vurderes dog ikke at have en kritisk betydning for skræntens stabilitet.

Tabel 5: Nødvendigt topniveau af skråningsbeskyttelsen ved Havvejen 63.

Middeltidshændelse	Tilladt bølgeoverskyld	Topniveau	Krone bredde
[År]	[l/s/m]	[m DVR90]	[m]
100	0,1	+4,9	3,0

4.1.2. Dimensionering af Dæksten

Dimensionsgivende dæksten beregnes med van der Meer's formeludtryk beskrevet i The Rock Manual, [6]. I disse beregninger medtages effekten af konstruktionens hældning, bølgehøjde og -periode, stormvarigheden, konstruktionens permeabilitet samt accepteret skadesniveau. Generelle parametre, der anvendes, ses i Tabel 6. Bølge- og vandsandsforhold ses i Tabel 7.

Tabel 6: Parametre anvendt til beregning af dimensionsgivende dæksten.

Parameter	Symbol	Værdi	Note
Stormvarighed	-	6 timer	
Skadesniveau	S_d	2	Svarende til begyndende skade.
Permeabilitet	P	0,1	Permeabilitet
Hældning	α	1.5	Hældning af anlæg
Relativ densitet	Δ	1,62	Forholdet mellem densiteten af sten (2650 kg/m^3) og vand (1010 kg/m^3) minus 1.

Det antages, at der udlægges to lag dæksten og et lag filtersten med underliggende geotekstil, hvorfor permeabiliteten af konstruktionen sættes til 0,1. I beregningen anvendes for dæksten en densitet på 2.650 kg/m^3 . Densiteten for saltvand er konservativt blevet antaget til 1.010 kg/m^3 , hvor saltindholdet anslås at være omkring 8-10‰. Ud fra parametre angivet i Tabel 6, samt bølgehøjde og -periode i Tabel 7, fås dimensionsgivende dæksten på 1.426 kg for 100-års middeltidshændelse fremskrevet med terrænændringer og ændringer i middelvandstanden til år 2075, svarende til 50 års levetid af skråningsbeskyttelsen. Ud fra den dimensionsgivende dækstens medianmasse M_{50} , vil standard graderingen 1.000-3.000 kg blive valgt, som har et interval for M_{50} på $1.870 - 2.310 \text{ kg}$.

Tabel 7: Signifikant bølgehøjde, peak bølgeperiode og vandstand anvendt til beregning af dimensionsgivende dækstensstørrelse angivet som medianmassen, M_{50} .

Middeltidshændelse (Vandstand)	Vandstand i år 2075	Signifikante bølgehøjde	Peak periode	Dimensionsgivende dæksten
RP	-	H_s	T_p	M_{50}
[år]	[DVR90 m]	[m]	[s]	[kg]
100	+2,59	1,37	5,70	1426

Med valgt standard gradering omregnes dæksten fra en masse til en diameter (sidelængden på det kvadrat som stenene lige akkurat kan passere igennem) som:

$$D_{50} = \sqrt[3]{\frac{M_{50}}{\rho_s} \frac{1}{0,84}}$$

, hvor D_{50} er median stendiameteren, M_{50} er median stenmassen og $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ er stendensiteten. Herved fås en stenstørrelse på $D_{50} = 91 \text{ cm}$.

4.1.3. Filterstabilitet

Til bestemmelse af gradering for filterlaget, undersøges filterstabiliteten mellem dæksten og filtersten, hvor hvert filterkriterium lyder som følgende: $D_{15}/d_{15} \leq 20$, $D_{15}/d_{85} \leq 4$ og $D_{50}/d_{50} \leq 7$, [8].

D_{xx} repræsenterer dækstens gradering og d_{xx} repræsenterer filterstens gradering, og hvert kriterie har en maks. tilladelig sigteprocent i forhold til valgte graderinger. I Tabel 8 er præsenteret overholdelse af hvert filterkriterium mellem

dæksten og filterstens gradering. Eftersom der under filterlaget er udlagt en geotekstil, vil filterstabilitet ikke blive verificeret mellem filterlag og kernemateriale

Tabel 8: Overholdelse af filter kriterium med mest kritiske kombinationer.

Dæksten gradering	Filtersten gradering	Kriterium	
1000 – 3000 kg	5 – 40 kg		
[m]	[m]		
$D_{15,max}=0,825$	$d_{15,min}=0,132$	D_{15}/d_{15}	$6 \leq 20$
$D_{50,max}=0,955$	$d_{50,min}=0,174$	D_{50}/d_{50}	$5 \leq 7$
$D_{15,max}=0,825$	$d_{85,min}=0,211$	D_{15}/d_{85}	$4 \leq 4$

4.1.4. Dimensionering af bundniveau

Det vurderes at de lokale variationer i strandprofilet er små, da stranden består af materialer som sand og ral, se Figur 2. Skråningsbeskyttelsen føres ned til en topkote -0,5m DVR90, for at sikre at konstruktionens fod er nedgravet.

5. Skåningsbeskyttelse

På Figur 12 fremgår anlæggets udbredelse, som strækker sig over ca. 50 m. Det bemærkes, at skåningsbeskyttelsen strækker sig ind på matrikel nr. 3 (øst). Dette skyldes at anlægget skal kunne have den ønskede effekt til at beskytte mod yderligere erosion af skrænten på matrikel 188 med placeret sommerhus.



Figur 12: Udbreddelse af skåningsbeskyttelse ca. 50 m bredt, tegning HAV_A5_K24_0002.

5.1. Anlæggets effekter

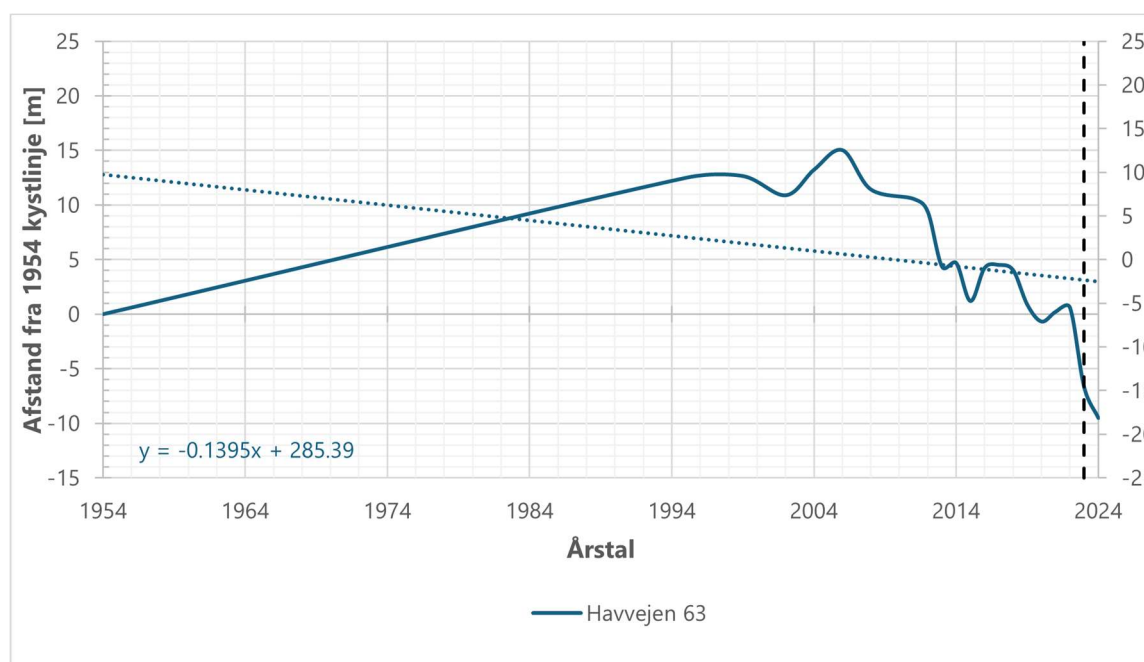
Placeringen af et nyt anlæg på kyststrækningen, i form af en skåningsbeskyttelse, forventes at tilbageholde sediment i skrænten under stormhændelser. Uden anlægget ville der i sådanne situationer opstå akut erosion, hvor forhøjet vandstand og bølger ville transportere sediment væk fra skrænten og søværts. Dette manglende sediment vil derfor mangle i sedimentbudgettet nedstrøms for anlægget, i dette tilfælde vest for matrikel 188 på nabostrækningen, se Figur 12, og dermed forventes anlægget at kunne skabe læsideerosion. For at imødegå dette og sikre at anlægget ikke har en negativ effekt, vil det derfor være nødvendigt at lave kompenserende strandfodring foran anlægget, hvor dette vil blive redegjort herunder. Sandfodring vil desuden sikre at der fortsat vil være fri passage for offentligheden langs kyststrækningen foran anlægget, jævnfør naturbeskyttelsesloven § 22. Med videre vil der også for at sikre fri passage, i videst muligt omfang blive udformet trappetrin i dækstenslaget ved begge ender af skåningsbeskyttelsen, så det bliver muligt at færdes op og ned over beskyttelsen. Anlægget forventes ikke at påvirke sediment transporten på normale hændelser da det her vil ligge på land.

5.1.1. Sandfodring

For at beregne fodringsmængden som skal anvendes til kompensation for akut erosion og vedligeholde fri passage foran skråningsbeskyttelsen, anvendes formel for sandfodring, fremlagt af Kystdirektoratet, [9] [9]:

$$F = l (h + d) t$$

l repræsenterer længden af strækningen (50 m), h er koten til terræn for skrænten, hvilket her er +12.2 m DVR90, d er den aktive dybde (+0.0 m DVR90). Her hvor akut erosion bliver taget i betragtning og anlægget er på land, vil området, der bliver taget i betragtning, strække sig fra strandens bagerste afgrænsning, i dette tilfælde skræntens top og ud til kystlinjen. t er erosionsraten, der sker om året. Ud fra kystlinjeanalysen beskrevet i afsnit 2.2.2, er det vist i Figur 13 ifølge trendlinjen, at der er en erosionsrate på 0,14 m per år.



Figur 13: Kystlinjeudvikling, ændring i kystlinjens position i forhold til kystlinjen år 1954 vist med tendenslinje.

Beregningerne i dette notat tager udgangspunkt i at der kompenseres med strandfodring hvert 5. år. Tabel 9 viser en oversigt over de estimerede strandfodringsmængder, der udlægges som kompensation for akut erosion, og samtidig sikrer fri passage for offentligheden langs kyststrækningen. Det anbefales at anvende sand med kornstørrelse på 0,25-0,3 mm og at det vil blive undersøgt inden sandfodringen etableres, at det er af samme beskaffenhed. Det er vigtigt at understrege, at sandfodring ikke udlægges som kompensation for hvad der har været eroderet de sidste 5 år. Sandfodringen udlægges som kompensation for hvad der forventes at blive eroderet de kommende 5 år.

For Havvejen 63 anbefales det, at der hvert forår efter vintersæsonen og efter større stormhændelser udføres inspektion af stranden foran anlægget og nedstrøms anlægget. Hvis der er forekommet akut erosion og ikke længere er fri adgang langs stranden og/eller har forekommet læside erosion, vil kommunen pålægge at der skal kompensations sandfodres efter omstændighederne. Sandfodringsmængder i Tabel 9 er således vejledende, og bør justeres efter behov.

Ovenpå geotekstil placeres filtersten med standard gradering 5-40 kg, som danner filterlaget og foden, begge med en tykkelse på 0,5 m. Tåen fortsætter 1 m horisontalt ud under dækstenslaget og er nedgravet for at beskytte konstruktionen mod at blive undermineret ved erosion i tilfælde af storm. På filterlaget placeres to lag dæksten i form af brusten med gradering 1.000-3.000 kg og anlægges op til kronekote +4,9 m DVR90. Kronens bredde skal mindst være 3 m, svarende til 3 dæksten.

Langs foden af skråningsbeskyttelsen medvidere rundt afslutningerne, for at præventivt beskytte med lokal erosion af konstruktionen, opfyldes med sandfodring op til kote +1,2 m og anlægges med en hældning på omkring 1:5. Opgravet materiale genbruges, så vidt det egner sig formålet, og tilbagefyldes langs tåen af skråningsbeskyttelsen og på toppen af kronen ved skrænten til at dække geotekstil og giver derved konstruktionen en øget robusthed. Skråningsbeskyttelsens ender, mod øst og vest, afsluttes med en afrunding ind mod eksisterende skræntteræn og afsluttes så de fremstår naturlige og sikre, se Figur 12.

Sidst skal eksisterende trappe på skrænten i træ genetableres til top af skråningsbeskyttelse, hvor dæksten ud for trappen, så i vidt mulige omfang udformes, så man videre kan bevæge sig ned fra skråningsbeskyttelsen.

Arbejdet gennemføres i en periode hvor der ikke er udsigt til større storme under opstarten og hvor arbejdet ikke er til større gene for offentligheden. April og maj er gode måneder, da der forventes rimeligt vejr og få eller ingen badende gæster. Arbejdet forventes at tage omkring 2 måneder.



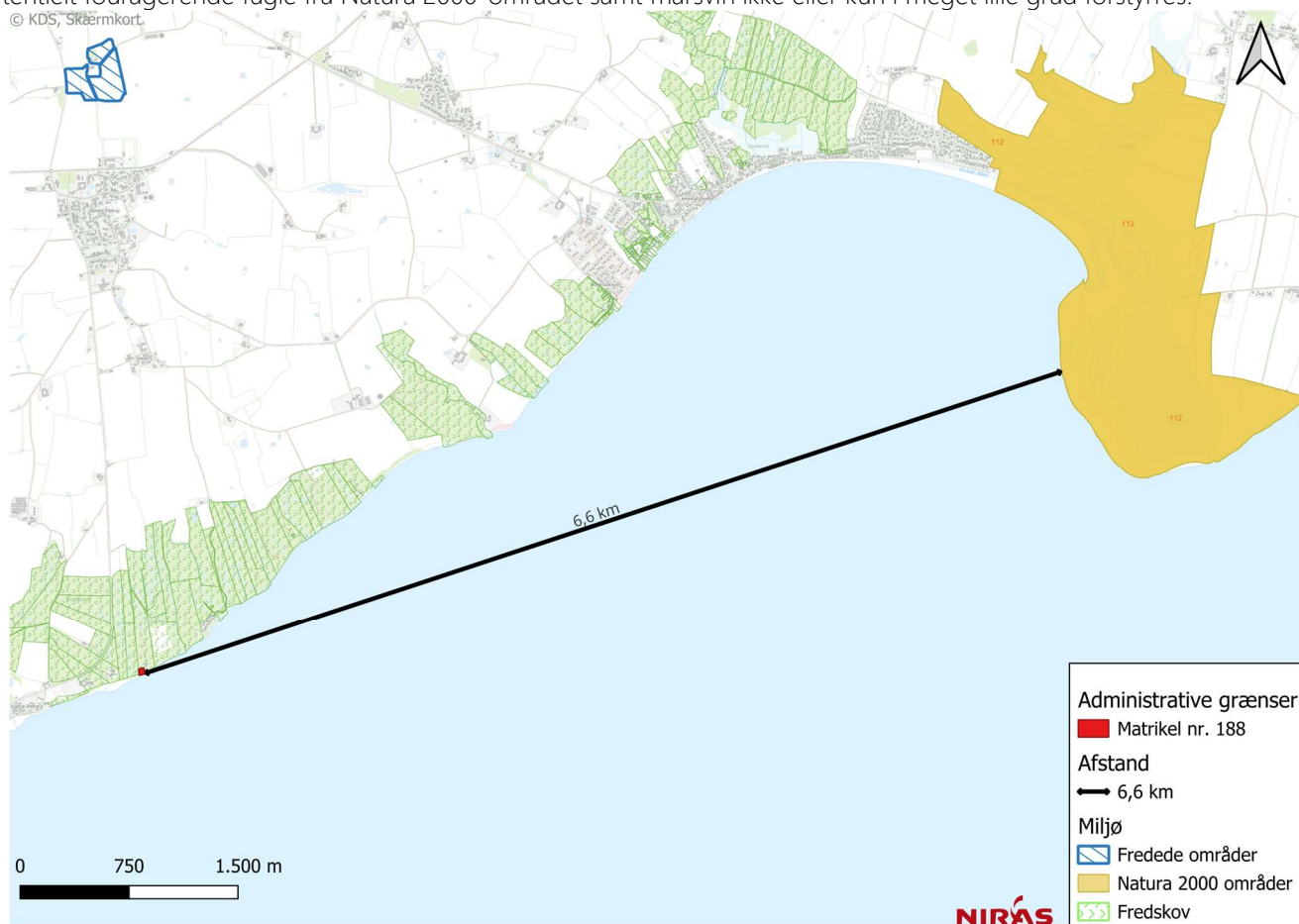
Figur 15: Forslag til adgangsvej til kyststrækning via offentlig vej (rød) eller alternativ adgangsvej (blå) til transport af materialer og maskiner.

Anlægsarbejdet forventes at kunne udføres på land (stranden) og i Figur 15 er vist foreslået adgangsvej til anlægsområdet via offentlig vej. Maskiner og transport af materialer kan føres fra Havvejen, Vilstrup Strand og videre via stranden, som er markeret med rød linje på Figur 15, som strækker sig ca. 900 m. Yderligere foreslås også en alternativ rute markeret med blå på Figur 15, med forbehold for at man får tilladelse af grundejer til transport via mark og vej ned til stranden. Den alternativ rute strækker sig ca. 600 m. Det er bygherres ansvar inden udbud at have undersøgt og finde arealer til anstilling af byggeplads og plads til opbevaring af materialer og maskiner, da dette på nuværende tidspunkt ikke er fastlagt. For Havvejen 63 anbefales det, at der hvert forår efter vintersæsonen og efter større stormhændelser udføres inspektion af anlægget og eventuelle skader udbedres efter omstændighederne.

5.3. Natur og miljøforhold

Nærmeste Natura 2000-område nr. 112 Lillebælt¹ omfatter habitatområde H96 og fuglebeskyttelsesområde F47, og er beliggende 6,6 km fra projektområdet, hvilket fremgår af Figur 16. På udpegningsgrundlaget er en lang række både terrestriske og marine habitatnaturtyper samt flere arter og fugle.

Projektet vil ikke påvirke tilstanden af hverken marine- eller terrestriske naturtyper og arter, da området ligger uden for en afstand, hvor støv og støj fra anlæg af projektet kan påvirke disse og da skråningsanlægget et en passiv konstruktion vil der heller ikke være en påvirkning efter anlæg. Grundet projektets lille omfang og anlægsperiode vil potentielt fouragerende fugle fra Natura 2000-området samt marsvin ikke eller kun i meget lille grad forstyrres.



Figur 16: Viser projektområdets afstand til Natura 2000-område nr. 112, nærmeste fredede område og placering af fredskov.

¹ Natura 2000-plan 2022-2027 Lillebælt, Natura 2000-område nr. 112. Habitatområde H96. Fuglebeskyttelsesområde F47.

Der er ikke beskyttet natur registreret inden for projektområdet. Nærmeste beskyttede naturtype er en § 3-beskyttet eng (se Figur 17) beliggende 156 meter nordvest for projektområdet og et § 3-beskyttet vandløb 98 meter vest for projektområdet og som ikke vil blive påvirket af projektet, der alene har en lokal karakter. Andre beskyttede naturtyper ligger i en større afstand fra projektområdet og vil heller ikke påvirkes af projektet.

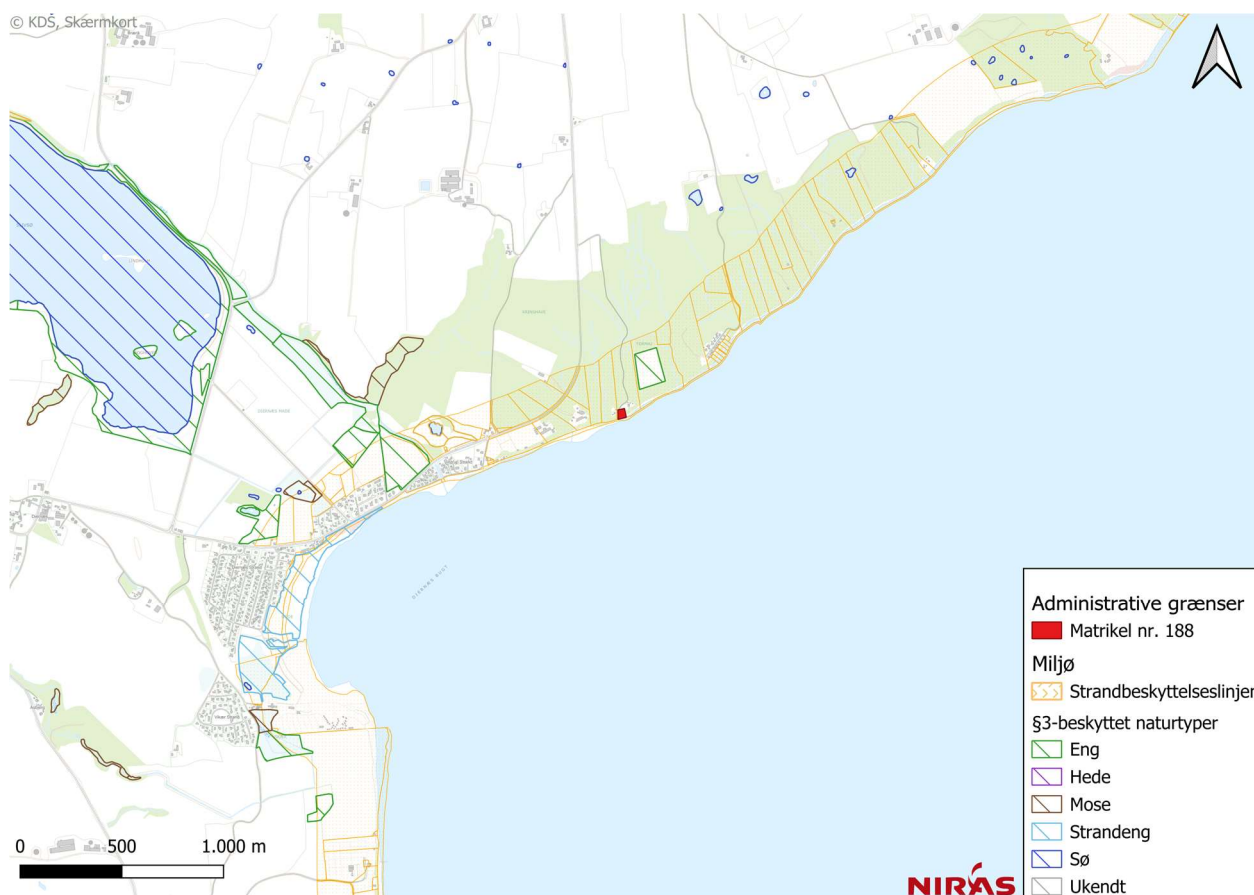
Der er ikke bilag IV-arter registreret inden for projektområdet, men i havet omkring projektområdet findes den beskyttede bilag IV-art marsvin. Da den ansøgte kystbeskyttelse er en passiv konstruktion, vurderes det, at anlægget hverken vil påvirke den havlevende bilag IV-art.

Nærmeste fredede område er Vilstrup Kirke, der er beliggende ca. 4 km fra projektområdet og som ikke vil blive påvirket af projektet.

Af byggelinjer er der alene strandbeskyttelseslinje som fremgår af Figur 17. Det vurderes ikke at skråningsbeskyttelsen vil påvirke landskabet væsentlig og det vurderes derfor ikke at påvirker hensynene i naturbeskyttelsesloven i en grad, hvor det taler imod etablering af anlægget jf. naturbeskyttelsesloven § 15.

Dertil ligger projektet inden for kystbeskyttelseszonen, hvorfor der søges om tilladelse til kystbeskyttelse (se "Ansøgningsskema – kystbeskyttelse").

Projektområdet er omfattet af fredskovspligt, men der er ingen beplantning på skrænten (se Figur 2). Desuden ligger projektet i et område, hvor skovrejsning er uønsket.



Figur 17: Projektområdet beliggenhed i forhold til strandbeskyttelseslinjen og § 3-beskyttet natur.

Der er i dag fri adgang langs kysten ved almindeligt højvande og det vil der også være efter projektets afslutning, da der tages hensyn til muligheden for passage forbi anlægget.

Der er foretaget en screening efter miljøvurderingsloven, idet kystbeskyttelsesprojekter er omfattet af lovens bilag 2, punkt 10, litra k. Projektet vurderes ikke at have en væsentlig indvirkning på miljøet.

Samlet set vurderes det, at projektet ikke vil have påvirkninger på § 3-beskyttet natur, Natura 2000-områder, bilag VI-arter, fredede områder eller fredskov.

5.4. Anlægsbudget

I følgende afsnit vil der blive præsenteret et anlægsbudget for konstruktionen af en skråningsbeskyttelse på kyststrækningen ved Havvejen 63. For anlægsoverslaget gælder følgende antagelser:

1. Materialeomkostninger er baseret på erfaring fra tidligere projekter og er blevet tilpasset til nærværende projekt.
2. Det antages at der er arealer tilstrækkelige for anstilling af arbejdsplads og opbevaring af materialer og maskiner.
3. Mængder er groft anslået og er baseret bedst muligt ud fra anlæggets tværsnit med tilhørende terræn profil, som er baseret på Danmarks højdemodel. Med mangel på nyere målinger af området, som afspejler nuværende forhold, vil der derfor blive medtaget en usikkerhed på 10% for materialemængder.
4. Det antages at jorden for anlægsområdet ikke er forurennet eller der forekommer anden form for skrald, som måtte være nødvendigt at deponere.
5. Omkostninger for genetablering af eksisterende trappe på skrænten til top af skråningsbeskyttelse, er ikke medtaget i anlægsbudget.
6. Det antages at der ikke skal gennemføres ekstra foranstaltninger til opnåelse af totalstabilitet. Herudover er der ikke indregnet ekstra mængder ift. potentielle sætninger.
7. Det angivne anlægsbudget omfatter alene anlægsomkostninger og inkluderer ikke udgifter til vedligeholdelse, herunder eventuelle omkostninger til reparation eller vedligeholdelse af skråningsbeskyttelsen samt løbende strandfodring.

I Tabel 10 er vist anlægsbudget for skråningsbeskyttelse ved Havvejen 63, hvor beskrivelse af hvert punkt er angivet herefter.

Tabel 10: Anlægsbudget for skråningsbeskyttelse ved Havvejen 63.

Beskrivelse	Enhed	Mængde	Pris DKK
1. Skråningsbeskyttelse			
1.a Dæksten, 1000-3000 kg	m ³	950	950.000
1.b Filtersten, 5-40 kg	m ³	310	225.000
1.c Kernemateriale	m ³	130	33.000
1.d Sand	m ³	90	34.000
1.e Geotekstil	m ²	760	38.000
1.f Rydning af bevoksning (buske og træer)	m ²	50	3.000
1.g Udgravning af tå og tilbagefyldning af udgravet materiale	m ³	400	20.000
1.h Usikkerhed på mængder	-	-	131.000
2. Entreprenørbudget			
2.a Anstilling	-	-	144.000
2.b Entreprenørbudget	-	-	1.578.000
3. Forundersøgelser og udbud			
3.a Forundersøgelser	-	-	79.000
3.b Projektudbud/byggetilladelse	-	-	158.000
3.c Samlet budget	-	-	1.815.000
4. Uforudsete udgifter			
4.a Uforudsete udgifter	-	-	182.000
5. Anlægsbudget			
5.a Anlægsbudget ekskl. Moms	-	-	1.997.000

1. Skråningsbeskyttelse
 - 1.a - 1.e: Omkostninger til nye materialer består af indkøb, transport og oplagring samt indbygning. 1.d Sand repræsenterer den mængde som skal anvendes som vedligeholdelsesfodring for 1 år.
 - 1.f: Rydning og bortskaffelse af bevoksning bestående af træer, buske eller lign. Her er antaget en groft mængde, da denne er ukendt.
 - 1.g: Omkostning for udgravning/justering af eksisterende terræn til foden af skråningsbeskyttelsen med placering af udgravet materiale på strand og tilbagefyldning af opgravet materiale ved foden af konstruktionen, så frem materialet egner sig formålet.
 - 1.h: Da mængder er groft anslået og der ikke findes nogen nyere profil opmålinger, vil der i denne fase af projektet blive medregnet en usikkerhed sat til 10% af punkterne 1.a - 1.g.
2. Entreprenørbudget
 - 2.a: Anstilling, afrigning og drift af byggeplads. Dette er sat til 10% af summen af punkterne 1.a - 1.h.
 - 2.b: Det samlede entreprenørbudget, der er summen af materialer og arbejder for skråningsbeskyttelsen 1.a - 1.g og anstilling 2.a.
3. Forundersøgelser og udbud

- 3.a: Omkostninger for udførelse af indledende arbejder og forundersøgelser/verifikationer, så som op- og indmålinger, boringer, prøvegravning i eksisterende terræn m.m. Dette er sat til 5% af punkt 2.b Entreprenørbudget.
 - 3.b: Omkostninger for udbud fase og indhentning af tilladelser fra relevante myndigheder, hvor denne er sat til 10% af det samlede entreprenørbudget 2.b.
 - 3.c: Det samlede budget for Entreprenørarbejder, forundersøgelser og projektudbud/byggetilladelse.
4. Uforudsete udgifter
- 4.a: I denne fase af projektet er uforudsete udgifter sat til 10% af punkt 3.c.
5. Anlægsbudget
- 5.a: Det totale anlægsbudget med medtaget punkt 4.a for uforudsete udgifter.

6. References

- [1] Klimadatastyrelsen, »Danske søkort,« [Online]. Available: <https://www.danskehavnelods.dk/indexkort/danskesoekort.html>. [Senest hentet eller vist den 4 December 2024].
- [2] Højvandsstatistikker 2024, Kystdirektoratet, Juli 2024.
- [3] DMI, »Klimaatlas,« DMI, december 2024. [Online]. Available: <https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klimaatlas?paramtype=sea&maptype=kyst>. [Senest hentet eller vist den 6 december 2024].
- [4] Shore Protection Manual, Vicksburg, Mississippi: Coastal Engineering Research Center, US Army Corps of Engineers, 1984.
- [5] DMI, »Meteorological Observation Data Stations Historical Availability,« DMI, 29 November 2024. [Online]. Available: https://opendatadocs.dmi.govcloud.dk/Data/Meteorological_Observation_Data_Stations_Historical_Availability. [Senest hentet eller vist den 9 December 2024].
- [6] CIRIA, CUR, CETMEF, »The Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition),« C683, CIRIA, London, 2007 (reprinted 2012).
- [7] EurOtop, »Manual on wave overtopping of sea defences and related structures,« 2016.
- [8] O. J. Jensen, A Monograph on Rubble Mound Breakwaters, Hørsholm: DHI, 1984.
- [9] Kystdirektoratet, Vejledning om kystbeskyttelsesmetoder, Lemvig: Kystdirektoratet, 2018.
- [10] DMI, »Fremtidens vandstand,« 5 Juli 2018. [Online]. Available: <https://www.dmi.dk/hav-og-is/temaforside-fremtidens-vandstand>. [Senest hentet eller vist den 17 Oktober 2024].
- [11] N. K. D. K. H. H. a. S. E. K. Karsten Mangor, Shoreline Managment Guidelines, Hørsholm, Denmark: DHI, 2017.