



Nordkystens Fremtid

Fravigelse Kompenserende foranstaltninger Anlæggelse af kystnære stenrev

Bilag 11

Date: 16. december 2024

Indhold

1.	Indledning.....	3
2.	Udpegning af naturtyper indenfor Natura 2000-område nr. 195	3
3.	Tildækning af habitatnaturtyper ved strandfodring med sand og ral	5
4.	Surveyområde for nyt stenrev i Natura 2000-område nr. 195.....	5
4.1.	Undersøgelser i surveyområdet.....	5
4.2.	Udvælgelse af egnede områder	7
5.	Anlæg af kompenserende stenrev	12
5.1.	Stenstørrelse og skitsedesign.....	12
5.2.	Placering af kompenserende af stenrev	13
6.	Kort med angivelse af stenrevs placering	15
7.	Anlægsomkostninger.....	18
8.	References.....	19
Bilag 11A: Dimensionsgivende bølger og vandstand		21
Bilag 11B: Beregning af stenstørrelse		24
	Hudson formelen.....	24
	Stabilitetstal og konstruktioner med topkote omkring havoverfladen (low-crested structures).....	24
	Stenkonstruktioner nær bunden.....	25
	Anvendte stenstørrelse	25
Bilag 11C: Hjørnekoordinater af survey-område		28
Bilag 11D: Koordinater rundt om stenrene.....		31

1. Indledning

Nordkystens Fremtid er et fælleskommunalt projekt om kystbeskyttelse i Halsnæs, Helsingør og Gribskov Kommuner. Projektet omhandler kystbeskyttelse af nordkysten af Sjælland ved at strandfodre i alt 35,7 km kystlinje med sand og ral. Projektet har en projekteret levetid på 50 år.

Der er udarbejdet en miljøkonsekvensrapport for Nordkystens Fremtid (NKF) på baggrund af et afgrænsningsnotat fra Halsnæs, Gribskov og Helsingør Kommuner (Gribskov Kommune, 2019). Som del af miljøkonsekvensrapporten indgår en Natura 2000-konsekvensvurdering for projektet, som har afdækket, at projektet påvirker Natura 2000-område nr. 195 Gilleleje Flak og Tragten (Bilag 7 til kystbeskyttelsesansøgningen og miljøkonsekvensrapporten).

Det er vurderet, at projektet vil medføre et permanent arealtab af habitatnaturtypen rev, som følge af strandfodring med sand og ral i Natura 2000-område nr. 195 og dermed skade Natura 2000-områdets integritet (Bilag 14 til kystbeskyttelsesansøgningen og miljøkonsekvensrapporten). Dette betyder, at der kun kan meddeles tilladelse til projektet efter fravigelsesbestemmelserne jf. habitatdirektivets art. 6, stk. 4 og kysthabitatbekendtgørelsen § 6. Da en fravigelse er nødvendig, skal der iværksættes kompenserende foranstaltninger i form af anlæggelse af nye stenrev.

2. Udpegning af naturtyper indenfor Natura 2000-område nr. 195

Natura 2000-område nr. 195 Gilleleje Flak og Tragten består af habitatområde H171 med to naturtyper på udpegningsgrundlaget: rev (1170) og sandbanke (1110), som vist i Figur 2.1. Revet ligger parallelt med kysten vest for Gilleleje og fylder stort set hele den vestlige del af Natura 2000-området. Langs kysten samt på ydersiden af revets østlige side ligger området sandbanker.

Miljøstyrelsen har i 2012 og 2016 kortlagt de marine Natura 2000-områder "rev og sandbanker" i Habitatområde H171, og har fundet frem til følgende arealer:

- 2.827 ha sandbanke (1110)
- 3.513 ha rev (1170)

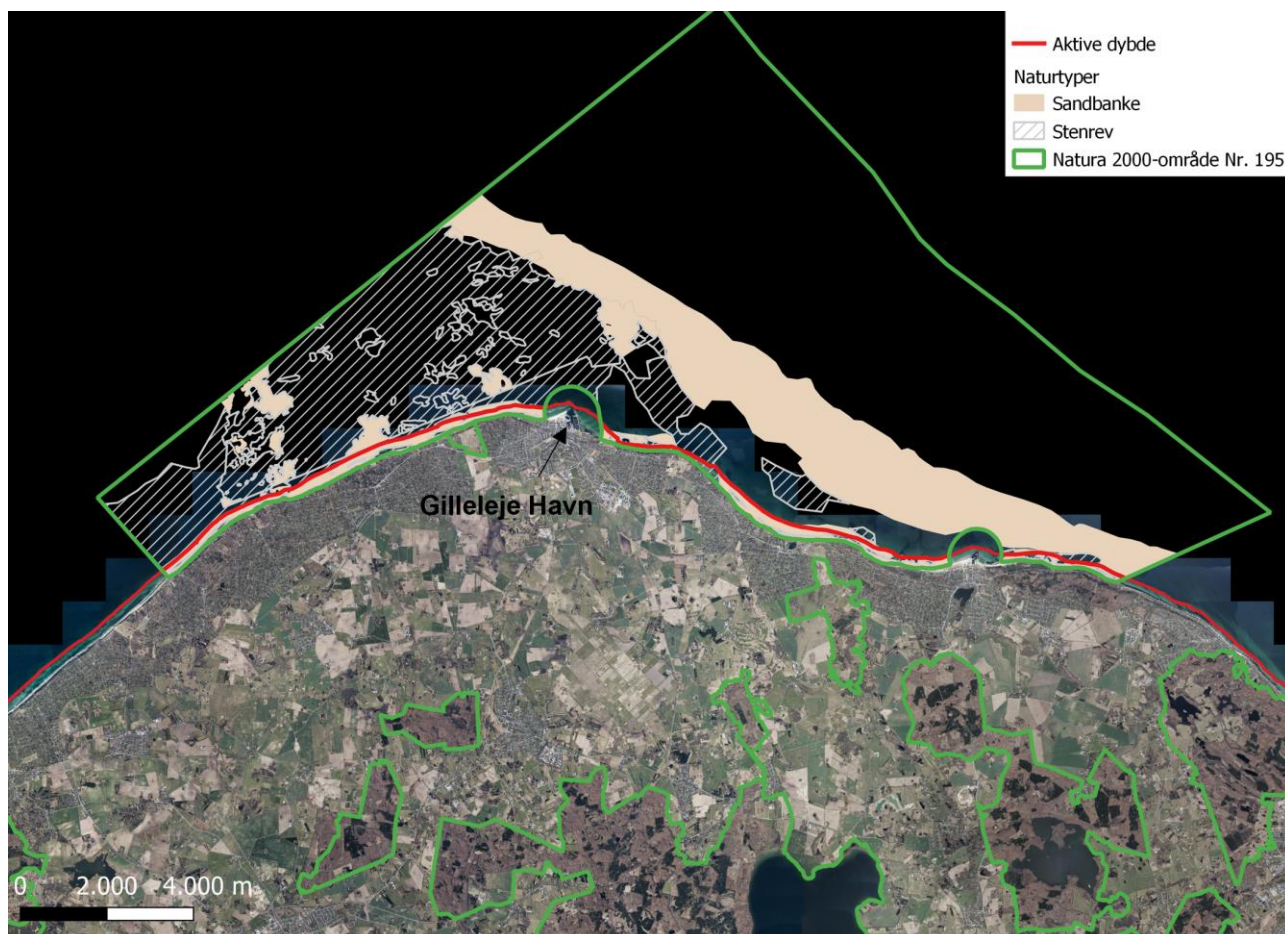
Natura 2000-område nr. 195 rummer ingen prioriterede arter eller naturtyper. Revet i Natura 2000-området nr. 195 indgår i en mosaik af hård bund og sandbund. Områdets rev består hovedsagelig af substrat type 4 med en stendækning på omkring 35 % større sten og resten består af mindre sten. Dog findes der også mindre lokale indslag af substrattypen 3, hvor bunden består af større sten, små sten mellem 2-10 cm, grus og sand. Der er ikke kendskab til huledannende revelementer (Orbicon, 2013). Størrelsen på stenene i områderne med substrattypen 4 og de større sten i områderne med substrattypen 3 er ikke oplyst af Orbicon, men for substrattypen 3 og 4 gælder generelt, at stenene skal være større end 10 cm jf. Råstofbekendtgørelsen (BEK nr. 1680 af 17/12/2018, Fase IB).

Tilstanden af de marine habitatnaturtyper er ikke vurderet i Natura 2000-basistilstandsrapporten 2016-2021 eller 2022-2027, men i forbindelse med de marine undersøgelser, der er foretaget i forbindelse med kortlægning af vegetation i indeværende projekt, herunder makroalger tilknyttet hårbundsområde, fremstår de kystnære stenrev som værende dækket med brune og røde makroalger på en stor del af revene i området både langt ind

på det lavvandede område, der kan betegnes som et flakområde, og som består af stenet bund (stenrev) og på dybere vand (DHI, 2019).

Generelt gælder det, at rev karakteriseret ved områder med spredte sten byder på en høj variation af habitater, som kan resultere i en høj artsdiversitet af både makroalger, bunddyr og fisk. I områderne mellem stenene lever fladfisk, som også lever af bundfaunaen på stenene eller de makroalger, der vokser på stenene (DTU Aqua, 2013).

I den kystnære del af Natura 2000-område nr. 195 er miljøet meget dynamisk. Ifølge Orbicon (2013) findes der langs med den dynamiske kystzone dynamiske kystrevler, som vandrer langs med kysten. GEUS beskriver også i Geoviden nr. 02 (Geocenter Danmark, 2016), hvordan bølger i kystnære områder er med til at omløje sediment langs kysten. Langs kyster med bølgepåvirkning og tilstrækkeligt sediment sker der derfor kontinuerligt ændringer i områder med aflejring og erosion (Leth & Larsen, 2014). Pga. den eksponerede kystlinje, revlevandring og den langsgående sedimenttransport sker der over tid ændringer i forholdet mellem rev og sandbanke inden for Natura 2000-område nr. 195. Dvs. områder med rev vil til tider være dækket med sand, og områder med sandbanke vil til tider være blotlagt med hård stenbund. De kystnære rev vurderes ud fra de marine undersøgelser og det dynamiske forhold, de er udsat for, ikke at være et "klimakssamfund", da et sådant miljø ofte vil tage 8-10 år at opbygge (DTU Aqua, 2013).



Figur 2.1: Kortlagte habitatnaturtyper i Natura 2000-område N195 (Miljøstyrelsen, 2020). I figuren er den aktive dybde også angivet.

3. Tildækning af habitatnaturtyper ved strandfodring med sand og ral

Strandfodring med sand og ral vil på kort og lang sigt påvirke de kystnære dele af de marine naturtyper indenfor Natura 2000-område Nr. 195. I Figur 2.1 er områderne med sandbanke og rev vist.

Det vurderes, at etablering af kystbeskyttelse med strandfodring med sand og ral vil medføre et tab af kystnære habitatnaturtype rev inden for den aktive dybe.

Arealtabet skyldes at strandfodring med sand og ral rykker strandlinjen havværts, og de helt kystnære rev bliver til strand og rev, som omdannes til sandbanker, som følge af tildækning med sand.

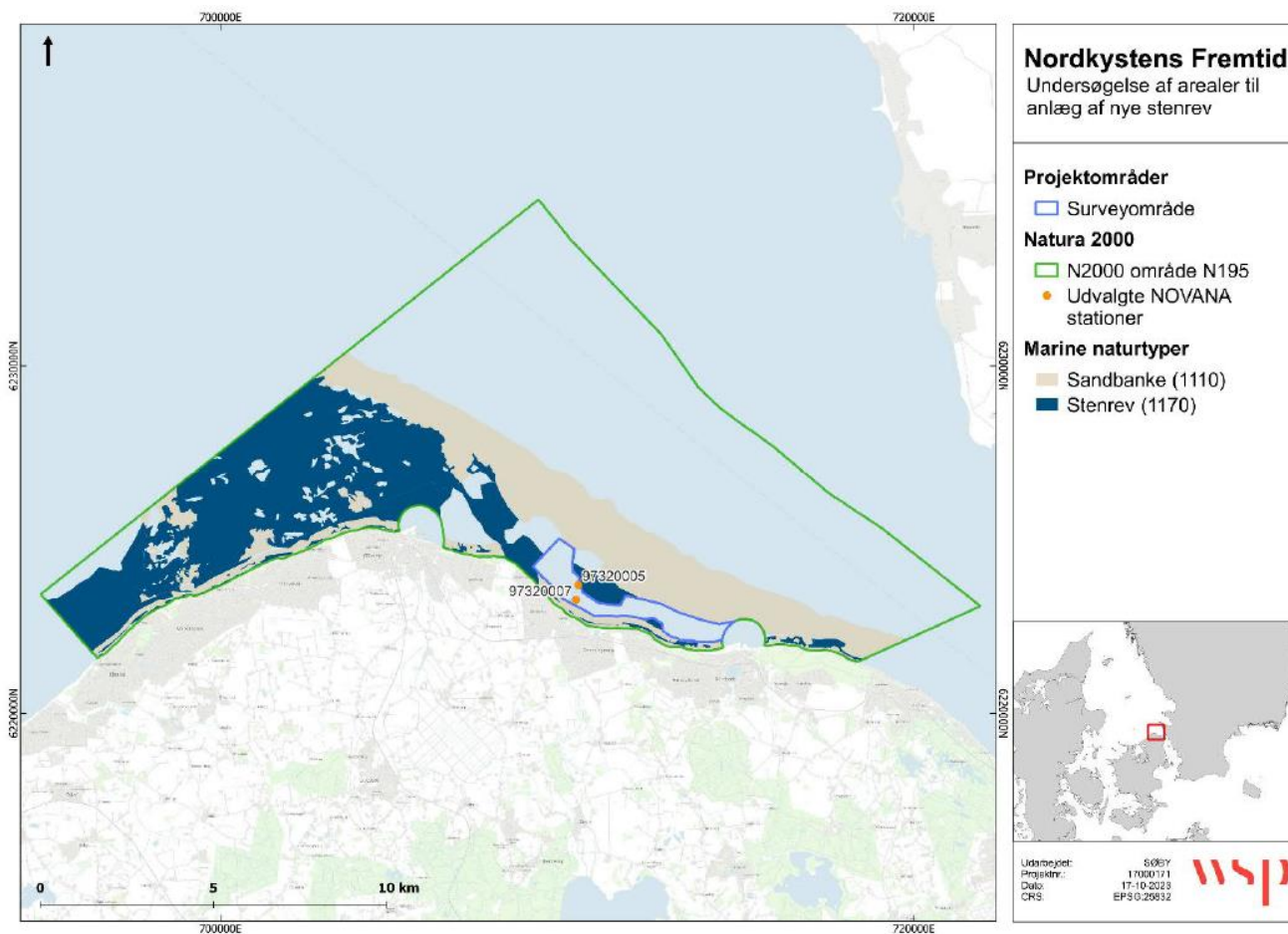
Det er beregnet, at det i projektets levetid forventes 46 ha stenrev vil blive tildækket af sand. Analysen er nærmere beskrevet i rapporten "Nordkystens Fremtid. Analyse af strandfodringens påvirkning af habitatnatur langs Nordkysten" som er Bilag 14 til kystbeskyttelsesansøgningen og miljøkonsekvensrapporten. Miljøministeriet har i foråret 2023 meddelt, at der skal kompenseres ved genopretning. På den baggrund skal der findes egnede lokaliteter til anlægning af kompenserende stenrev indenfor Natura 2000-område 195 Gilleleje Flak og Tragten (N195).

4. Surveyområde for nyt stenrev i Natura 2000-område nr. 195

4.1. Undersøgelser i surveyområdet

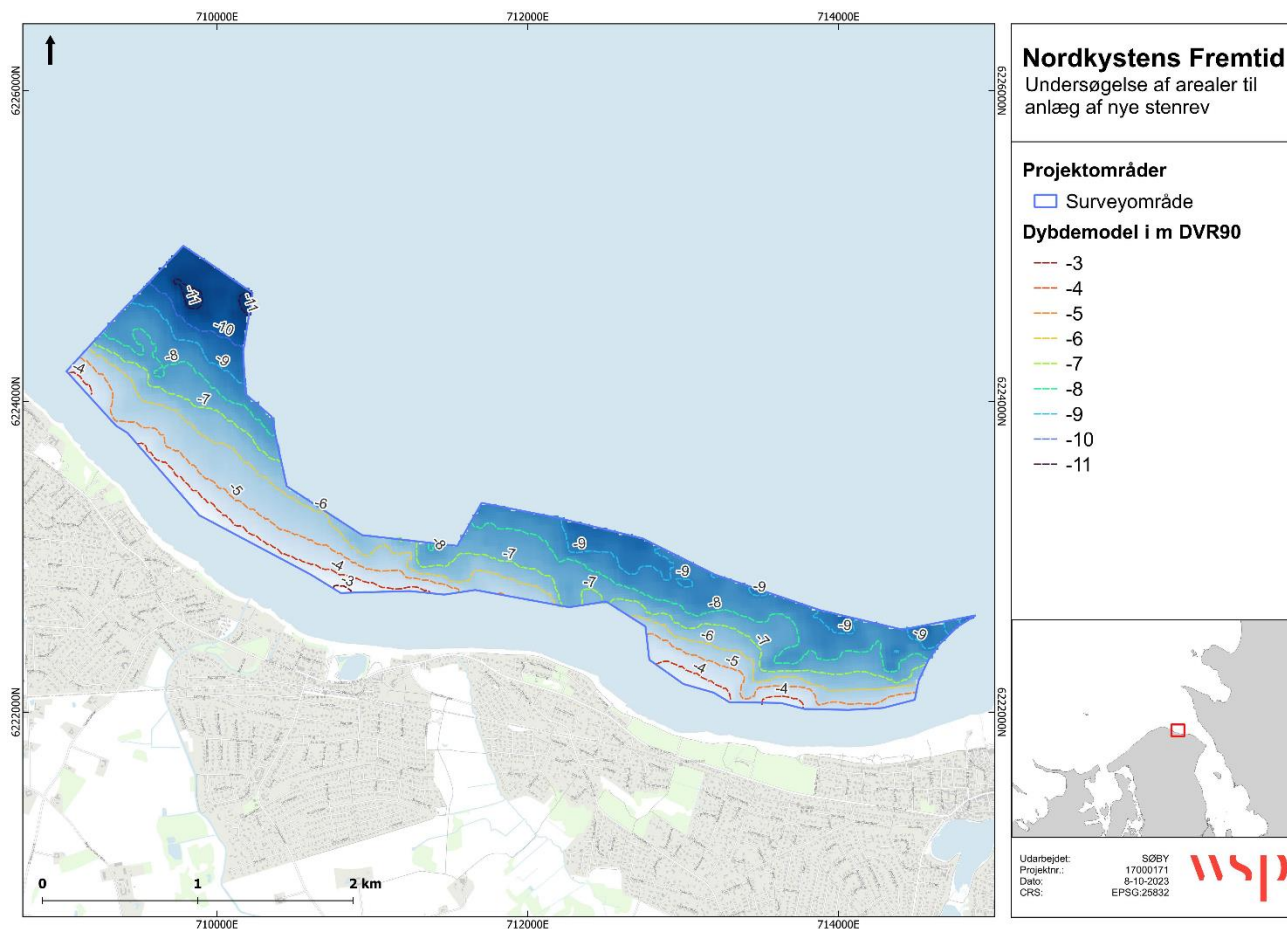
Der er i 2023 udført geologiske og biologiske undersøgelser i surveyområdet, beliggende indenfor Natura 2000-område nr. 195 (WSP, 2023a). På baggrund af undersøgelserne er der udpeget gunstige områder for udlægning af sten og etablering af rev. Figur 4.1 viser placeringen af surveyområdet i N195. Surveyområdet ligger ved nordkysten af Sjælland, cirka 3,2 km øst for Gilleleje Havn og 500 meter vest for Hornbæk Havn. Området dækker et areal på omkring 378 hektar og strækker sig op til 1 km i nord-sydlig retning og 6 km i øst-vestlig retning (WSP, 2023a). Se hjørnekoordinater i Bilag 11C.

Inden for surveyområdet er der indsamlet singlebeam dybde data (SBES), side scan sonar data (SSS) og sub bottom profiler (SBP).



Figur 4.1: Afgrænsning og placering af surveyområdet og Natura 2000-område N195 "Gilleleje Flak og Tragten" beliggende på nordkysten af Sjælland. De kortlagte marine naturtyper indenfor N195 og udvalgte NOVANA stationer er også vist. Kilde: (WSP, 2023a)

Dybden blev målt med single beam ekkolod (SBES) langs 42 surveylinjer inden for surveyområdet. Der blev opmålt en gennemsnitlig dybde på omkring 7 m med varierende dybder mellem 3-11 m DVR90. På baggrund af opmålingerne er der udarbejdet en dybdemodel, vist i Figur 4.2.



Figur 4.2: Dybdemodel baseret på singlebeam (SBES) opmåling med dybdekurver (1 m). Kilde: (WSP, 2023a)

4.2. Udvælgelse af egnede områder

Baseret på de indsamlede data er der udpeget områder, der vil være egnede til udlægning af sten og etablering af rev, ud fra følgende kriterier for nye stenrevslokaliteter:

- En havbund med høj stabilitet og bæreevne
- Dybder omkring 4-11 m
- Ingen udbredelse af flora og fauna

Analysen af SSS-data viste, at havbunden i surveyområdet består af sand med varierende dækning af større sten. Analysen af de seismiske data (SSS, SBP, og SBES-data) viste, at havbunden består af hårdt substrat og at overflader af morænelerafleveringer flere steder er blotlagte eller dækket af et relativt tyndt sandlag. I vurderinger af havbunden blev der anvendt fire substrattyper:

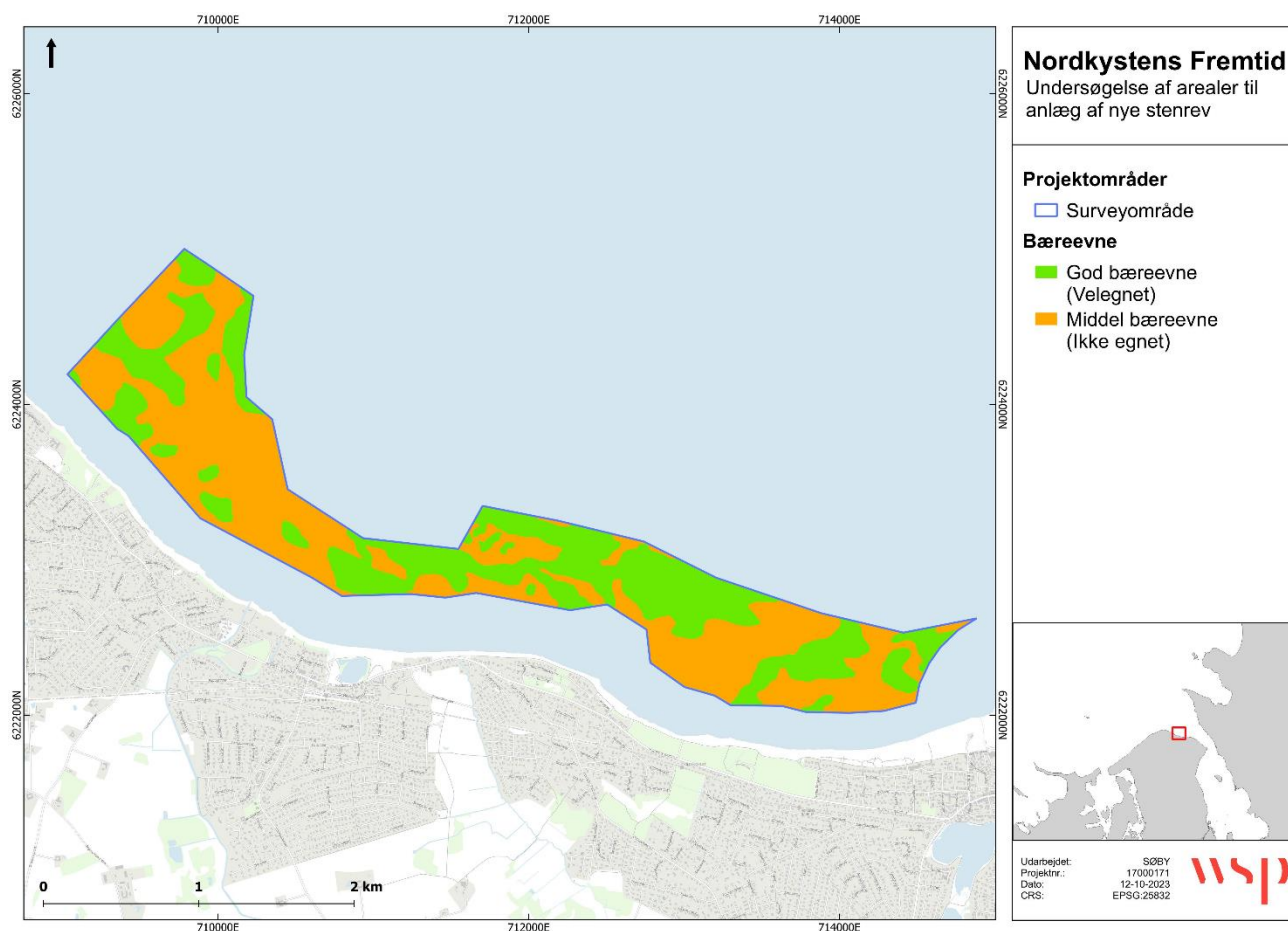
- Substrattype 1b (fast sandbund af fint groft sand, med lavt indhold af skaller, grus og småsten),
- Substrattype 2 (primært sand med varierende mængder grus og småsten, samt enkelte spredte større sten),
- Substrattype 3 (bestrøningsbund med dækningsgrad på 10-25% af større sten i matrix af grus eller sand),
- Substrattype 4 (tæt bestrøningsbund med et-lags eller to-lags stenrev med huledannelse, samt en dækningsgrad > 25% af større sten).

Undersøgelserne viser, at der på det blottede moræneler er observeret en varierende grad af store sten spredt ud på havbunden, hvilket tyder på, at havbundens stabilitet og bæreevne er egnet til etablering af nye stenrev.

I områder med meter tykke sandaflejringer er sandet kompakt, og det er vurderet, at udlagte sten ikke vil synke ned i denne bundtype. Dog er risikoen for, at et nyetableret stenrev vil blive begravet pga. sandvandring relativt høj. Derfor er bæreevnen her kun vurderet til at være middel.

Der er ikke fundet større kanalstrukturer eller områder med bløde sedimente (såsom dynd, silt og gytje), der kan påvirke havbundens bæreevne negativt.

Figur 4.3 viser den overordnet tolkning og vurdering af havbundens stabilitet og bæreevne inden for efterforskningsområdet.



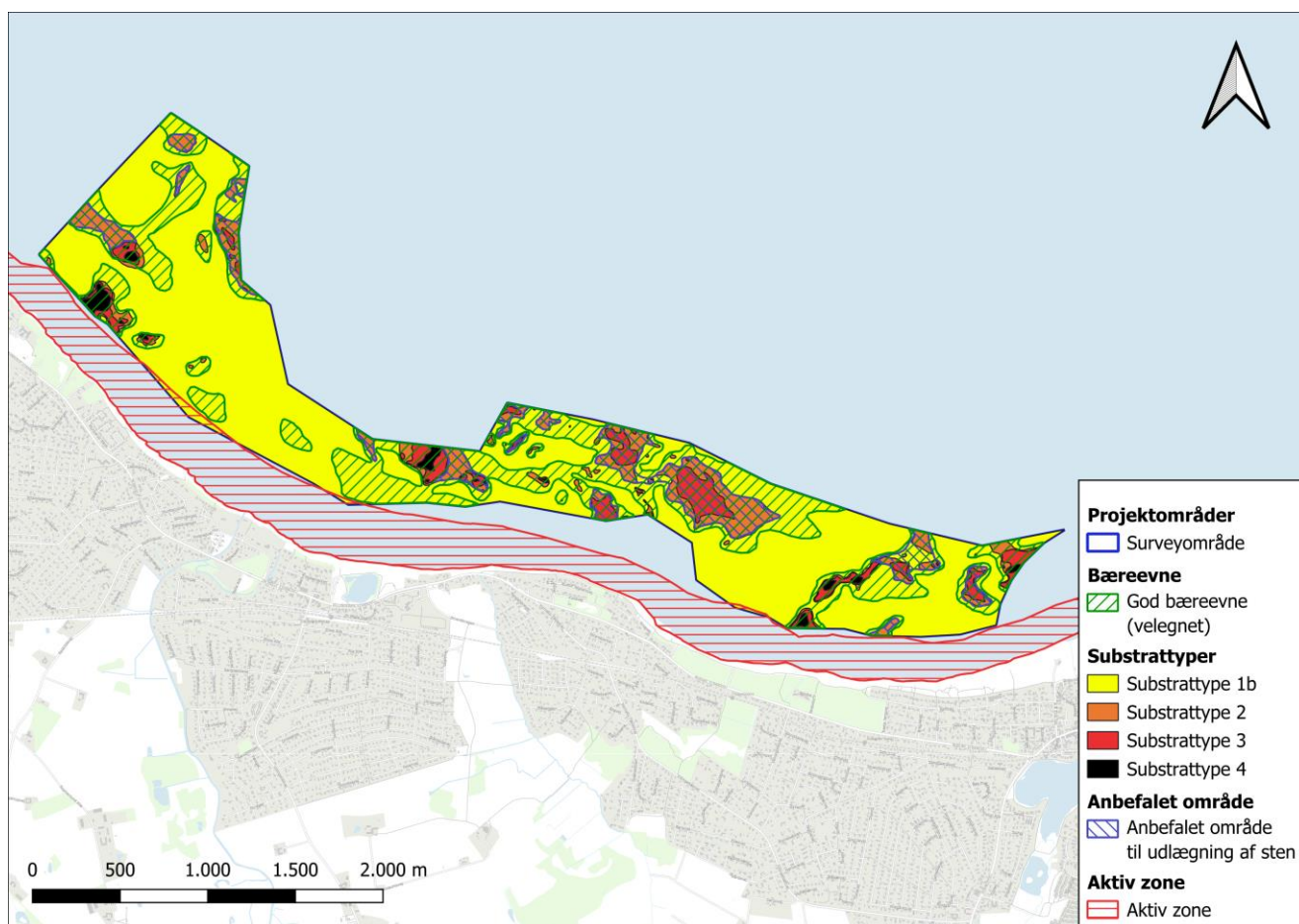
Figur 4.3: Kort over bæreevnen af havbunden, baseret på substrattypenkortlægningen og den seismiske analyse. Kilde: (WSP, 2023a)

Områderne med god bæreevne er vurderet egnede til udlægning af sten og etablering af rev, hvis de er placeret med god afstand til områder med tykke sandaflejringer. Derudover skal de ikke være sammenfaldende med eksisterende stenrev eller sandbanker, men primært være domineret af områder med overfladegeologi af substrattype 2 eller substrattype 3, hvor det vil være muligt at øge stendækningen betydeligt. Områder med substrattype 4 eller med substrattype 3, som ligger i forlængelse af områder med substrattype 4, er vurderet ikke

egnet, da de områder med sådanne substrattyper i forvejen er klassificeret som rev. Derfor fokuseres udpegnin-gen på områder med substrattype 2 eller 3, hvor havbunden er både stabil og bærende.

Disse områder giver mulighed for en betydelig forøgelse af stendækningen. Substrattype 1b er kun egnet i de områder, hvor havbunden har en god bæreevne (områder med et tyndt lag af mobilt sand, der ligger oven på stabil moræne) og kan binde flere mindre stenrev sammen til et større sammenhængende stenrev. Vanddybden for de udpegede områder er mellem 4-11 m, hvilket betyder at de nye stenrev vil ligge uden for den kystnære aktive zone, hvor der sker sedimenttransport, men på lavt nok vand til at tilstrækkeligt lys trænger igennem vandsøjlen.

Figur 4.4 viser de udpegede områder, som er velegnede til udlægning af nye stenrev, hvor den aktive zone også er angivet. Områderne udgør i alt 50,3 ha.



Figur 4.4: Afgrænsning af de anbefalede områder til placering af stenrev angivet i forhold til udbredelsen af de tolkede substrattyper og bæreevne. Kilde: (WSP, 2023a). På figuren er den aktive zone også angivet.

Havbunden i de anbefalede områder er fast og bærende med varierende stendækning. Stenene er dækket af fastsiddende makroalger, og det forventes, at de sten, der placeres i de anbefalede områder, også vil blive dækket af makroalger i fremtiden. Studier af tilførsel af nyt materiale til etablering af stenrev viser, at arter af epifauna først vil kolonisere det nye habitat (Møhlenberg et al. 2008), hvorefter makroalger (grønalger, rødalger og brunalger) samt fastsiddende dyr, der lever i tilknytning til rev, vil etablere sig (DTU Aqua, 2013). Overvågning af det nyetablerede Hunderev ved Hundested samt Als stenrev og Poseidon stenrev ved Middelgrund har

vist, at der allerede ca. 6 måneder efter etableringen ses god etablering af makrolager og et rigt dyreliv (Hunderevet, 2021) og (Als Stenrev, 2022) svarerende til de stenrev, som der skal kompenseres for. Hermed, er der evidens for, at makroalger og dyreliv hurtigt etablerer sig på nyetablerede stenrev.

På de nye kompenserende stenrev vil dyr og planter fra de nærliggende stenrevssamfund, hvor rekrutteringsgrundlaget for makroalge- og epifauna er til stede, hurtigt kunne etablere sig. De kompenserende stenrev etableres udenfor den aktive zone, og de vil derfor i løbet af de følgende år udvikle sig mod et klimakssamfund.

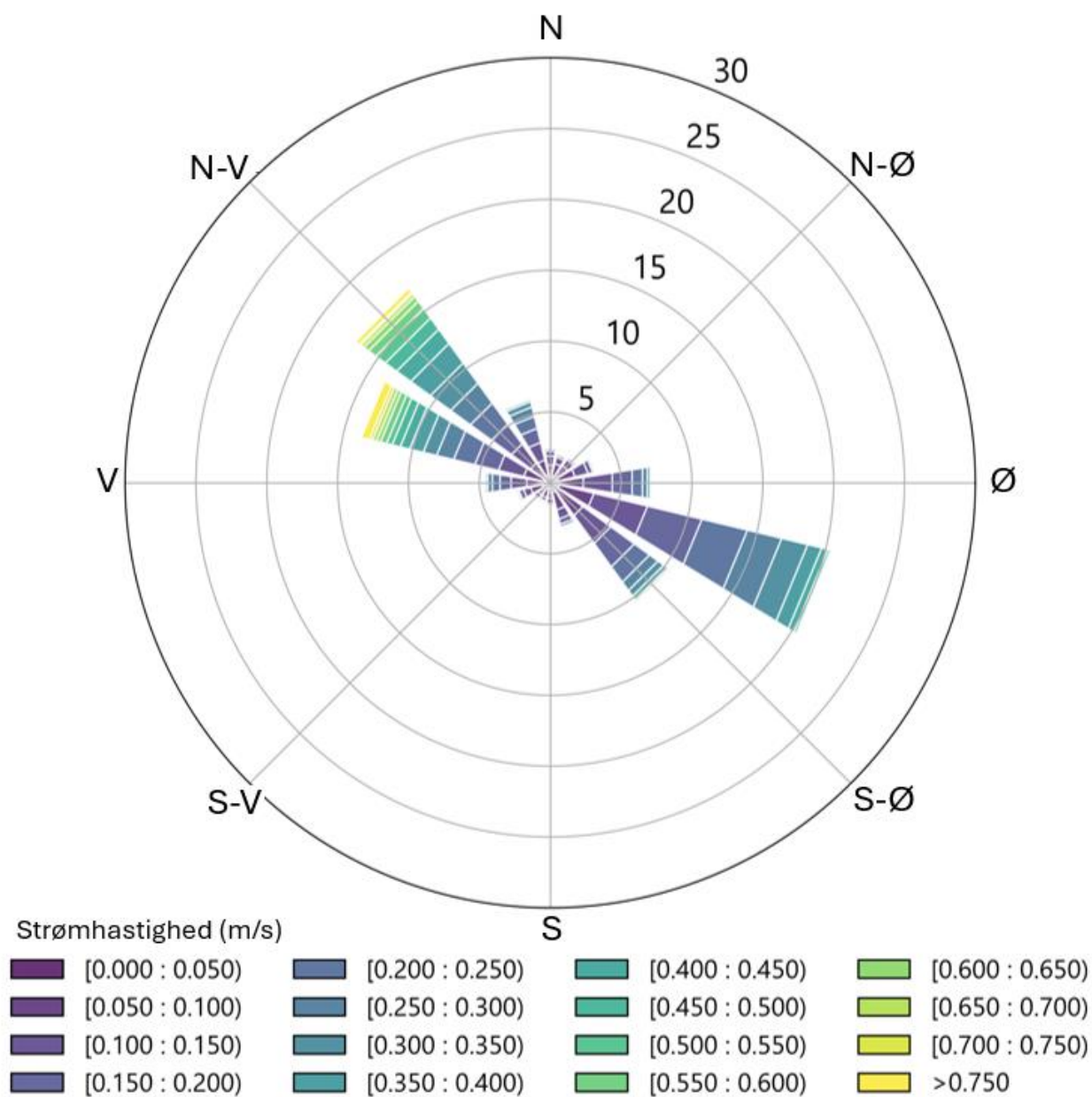
Området er allerede udpeget til Natura 2000-område, hvor rev er en del af udpegningsgrundlaget. Derfor vurderes området overordnet set velegnet til at anlægge stenrev, da der er tilstrækkeligt lys igennem vandsøjlen også på 11 m dybde (WSP, 2023a).

En strømrose fra området (Figur 4.5) viser, at der er tilstrækkelig strøm i området til at sikre omskiftning i vandet. Derved sikres det, at der tilføres frisk vand til området og at der ikke sker iltvind ved bunden.

I Kattegat mødes Østersøens brakvand og Nordsøens saltvand, hvilket skaber et overgangsområde med skiftende salinitet og temperatur. Disse forhold påvirker både dyre- og plantelivet, da artsdiversiteten falder i brakvandsmiljøet i Østersøen (Orbicon, 2013).

Målinger fra målestationen Hesselø Bugt øst nr. 9310005, som ligger 5-10 km nordøst for Gilleleje, for de sidste 10 år viser, at saliniteten varierer mellem 11- 35 promille, og der er en tydelig lagdeling, som opstår i dybder varierende fra 5 m til 15 m alt efter årstid og årstal (Aarhus Universitet. DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi., 2024). I projektområdet, hvor vanddybden maksimalt er 11 m, overstiger saliniteten derfor ikke 25 promille.

Udlægning af sten vil ikke medføre udledning af næringsstoffer til vandområdet og dermed forventes iltforholdene i området ikke at blive forringet pga. stenrevne.



Figur 4.5: Strømrøse i projektområdet, som viser retningen og styrken af strømmen. Data er fra november 2021 til oktober 2024. Strømhastighederne er udtrukket fra SMHI's Baltic Sea Physics Analysis and Forecast 3D model¹, med en rumlig opløsning på 2x2km. Rosen er baseret på data fra november 2021 til oktober 2024. Kilde: (Copernicus, 2024), hentet d. 11. november 2024.

¹ https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/BALTICSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_003_006/INFORMATION

5. Anlæg af kompenserende stenrev

5.1. Stenstørrelse og skitsedesign

De eksisterende kystnære rev, som der skal kompenseres for, er ikke nødvendigvis stabile, og består af forskellige stenstørrelser fra ralbund til ansamlinger af større sten.

Stenrev kan opbygges som større sammenhængende områder med stendække, men behøver ikke være sammenhængende jf. kriterierne for udpegning af stenrev indenfor Natura 2000-områder (Miljøstyrelsen, 2016). Revene skal dog rage op fra den omkringliggende havbund. Stenrevene placeres uden for, men så tæt på den aktive dybde som muligt, dvs. på 4-11 m vanddybde, da lysgennemtrængningen og andre fysiske forhold dermed svarer bedst mulig til forholdene ved de rev, der tildækkes, men samtidig vil de ikke blive påvirket af strandfodringen. Stenene spredes ud på havbunden i et lag med en samlet dækningsgrad på 35 % svarende til de rev, der skal kompenseres for. Dermed sikres det også, at bunddyr og fladfisk kan leve mellem stenene på samme måde som ved de rev, der kompenseres for. Stenrevene vil ikke blive udsat for samme dynamiske påvirkning, som de rev der dækkes til, da sedimenttransporten er meget mindre på vanddybder af 4-11 m, og revet vil derfor blive mere permanent end revene inden for den aktive dybde.

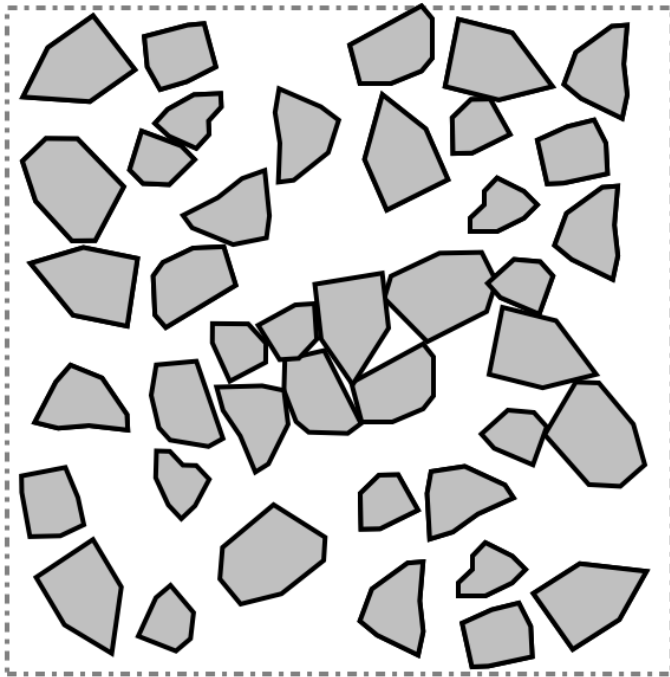
I anlægget af nye stenrev skal stenene være større end 7-10 cm, for at modvirke, at de bliver ført væk med strømmen pga. bladbærende brunalger. For at sikre, at stenene ligger nogenlunde stabilt på havbunden, er stenstørrelsen på stenrevene skitseprojekteret for storm svarende til en 50-årshændelse for to hældninger af strandprofilet på henholdsvis 1:10 og 1:20. For beskrivelse af de tekniske beregninger henvises til Bilag 11A og 11B.

Beregningerne viser at dækstene skal have en middelstørrelse på $d_{50} = 0,35$ m svarende til en masse på $M_{50} = 114$ kg, hvor "50" angiver den procentdel af stenene, som har en tilsvarende eller mindre masse. Graderingen på stenene er ikke afgørende for stenrevene, men et udgangspunkt kan være at følge anbefalingen i (Jensen, 1984) hvor

$$M_{15} = M_{50}/1,5 = 76 \text{ kg}$$

$$M_{85} = 1,5M_{50} = 171 \text{ kg}$$

Hvor "15" og "85" angiver den procentdel af stenene, som har en tilsvarende eller mindre masse. Stenene vil højst sandsynlig være brudsten, da det ikke vurderes, at der vil være tilstrækkelig med søsten til rådighed. En dækningsgrad på 35 % svarer til, at der for hver ha ligger 3.500 m² stendække. Et eksempel på dette ses i Figur 5.1.



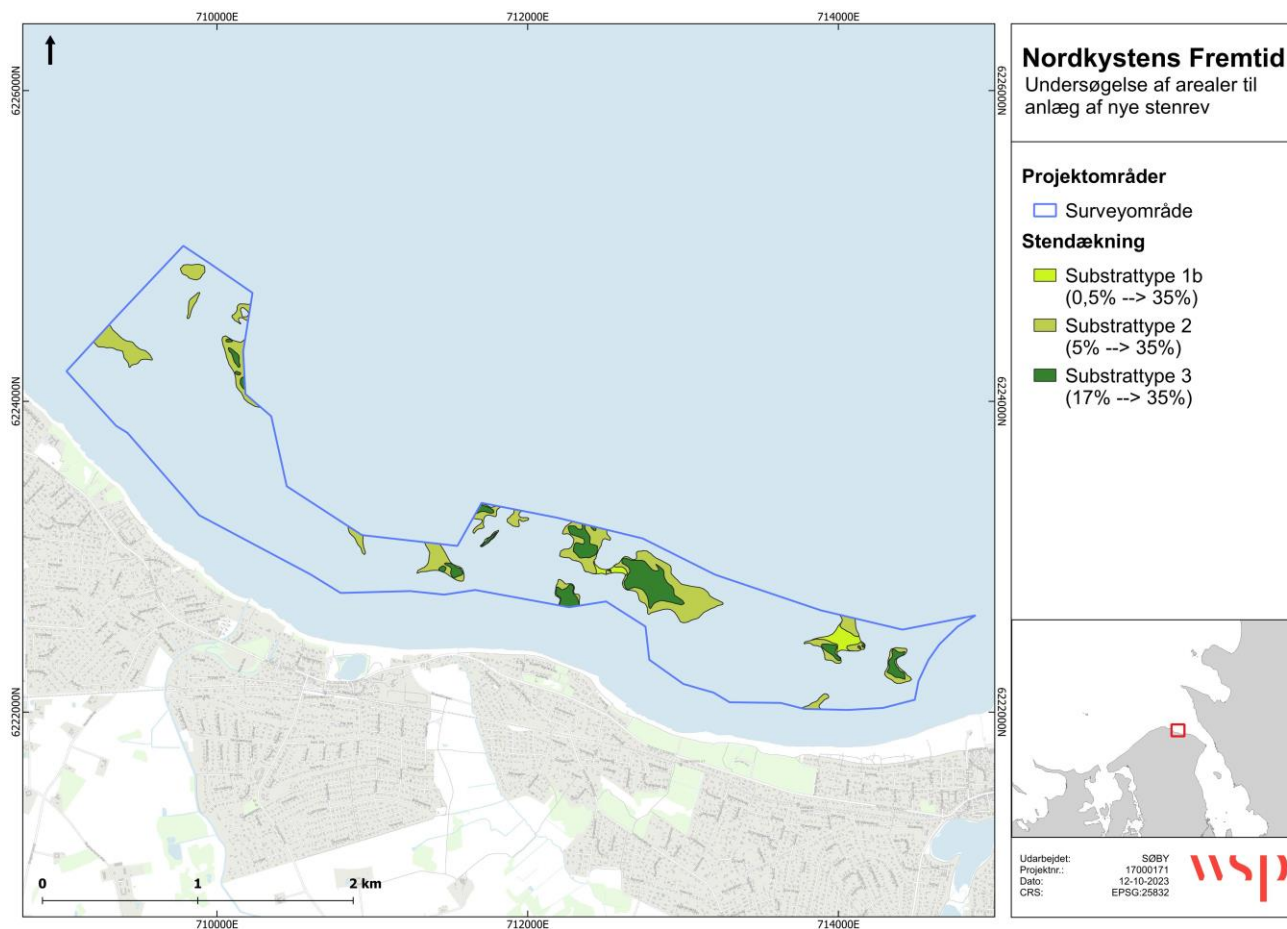
Figur 5.1: Figuren viser et areal på 1 ha med eksempel på et spredt stendække med en samlet dækningsgrad på 35 %. Figuren skal illustrere omfanget af tildækning, når tildækningsgraden er 35 %.

5.2. Placering af kompenserende af stenrev

Det er besluttet, at der i Nordkystens Fremtid skal anlægges kompenserende stenrev, som tager udgangspunkt i opnåelse af stendækningsgrad på 35 % indenfor et areal på 46 ha, hvilket svarer til arealet af de stenrev, der forventes tildækket af strandfodringen i projektets levetid, som er 50 år. Der er udvalgt 46 ha, der er egnede til udlægning af stenrev (Figur 5.2). Koordinater for placeringen af revene er angivet i Bilag 11D.

For at konstruere de kompenserende stenrev skal der tilføres omkring 43.000 m³ sten med et gennemsnitligt volumen pr. sten på 0,043 m³. Stenene udlægges som et fladt stenrev med ét lag sten. Inden for de 46 ha består den eksisterende substrattype af 2,7 ha af type 1b, 30,4 ha af type 2 og 12,9 ha af type 3. De enkelte sten til revet forventes at variere betydeligt i størrelse fra omkring 20 cm til 100 cm. En gennemsnitlig sten antages at have et volumen på ca. 0,043 m³ (0,35 m x 0,35 m x 0,35 m). Da stenrevet etableres som et fladt stenrev med et enkelt lag sten på havbunden, vil højden svare til størrelsen af de største sten. Baseret på den gennemsnitlige størrelse af stenene vil højden af det flade stenrev være 35-50 cm over havbunden, men enkelte sten kan lokalt rage højere op.

Da vanddybden varierer mellem 4-11 m og der allerede ligger sten i området vil udlægning af stenrevene ikke påvirke sejladserne.



Figur 5.2: Fordelingen af eksisterende substrattyper indenfor de anbefalede 46 ha, samt eksisterende gennemsnitlig dækningsgrad og dækningsgraden efter etablering af kompenserende stenrev. Kilde: (WSP, 2023a).

Stenene transporteres ind på flåde til arbejdsområdet. Flåden bugseres på plads og fastgøres til ankre i kombination med et konstant træk fra slæbebåden. Når gravemaskinerne er i stilling, begynder de at dumpe sten ud over siden af flåden (Figur 5.3) inden for det afmærkede område. En separat kran med greb kan også bruges til placering af stenene, hvorved udlægningen af stenene udføres med højere præcision.

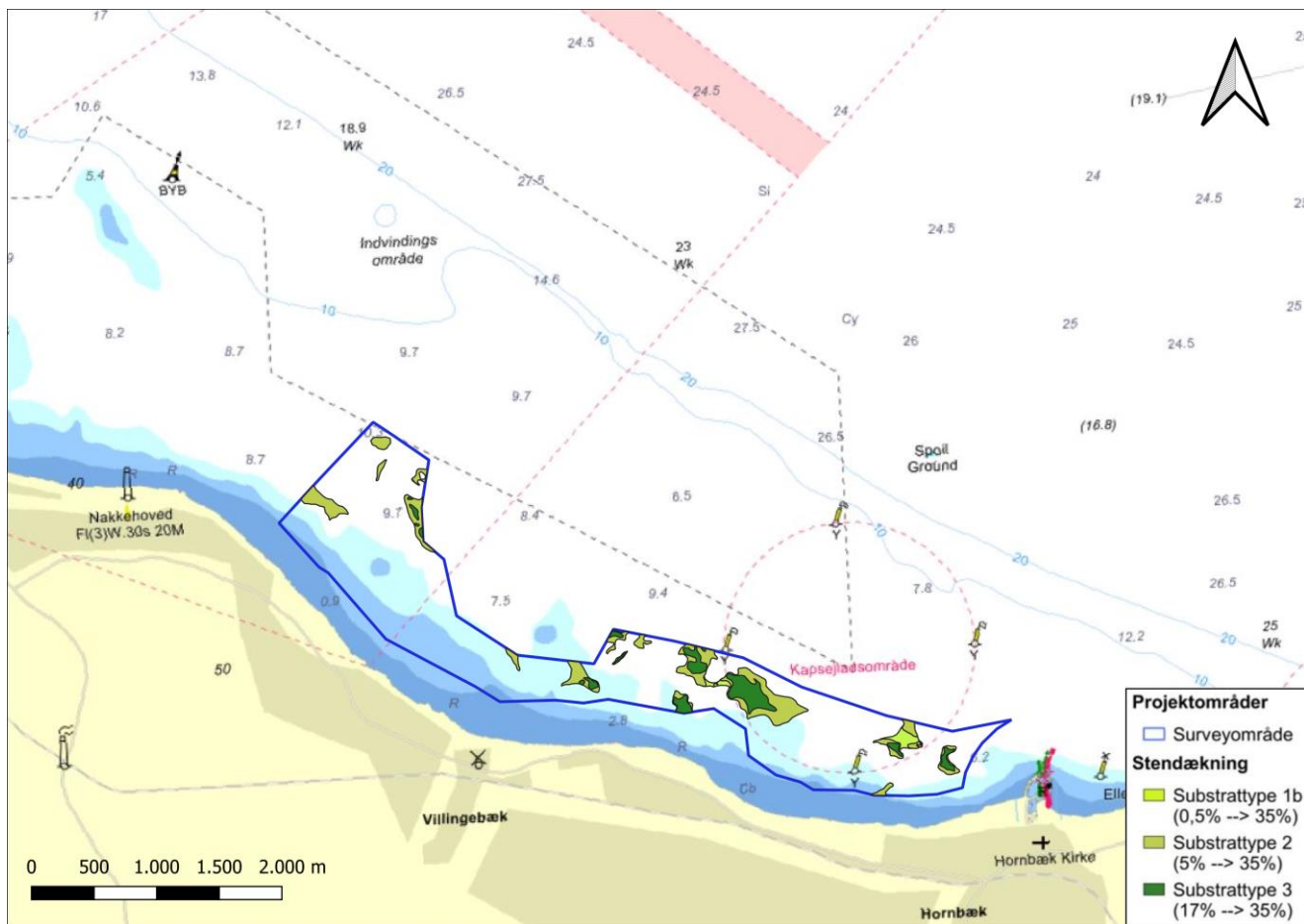
De kompenserende stenrev etableres mindst 6 måneder før anlægsstart for strandfodring



Figur 5.3: Gravemaskiner på flåden placerer sten til stenrev.

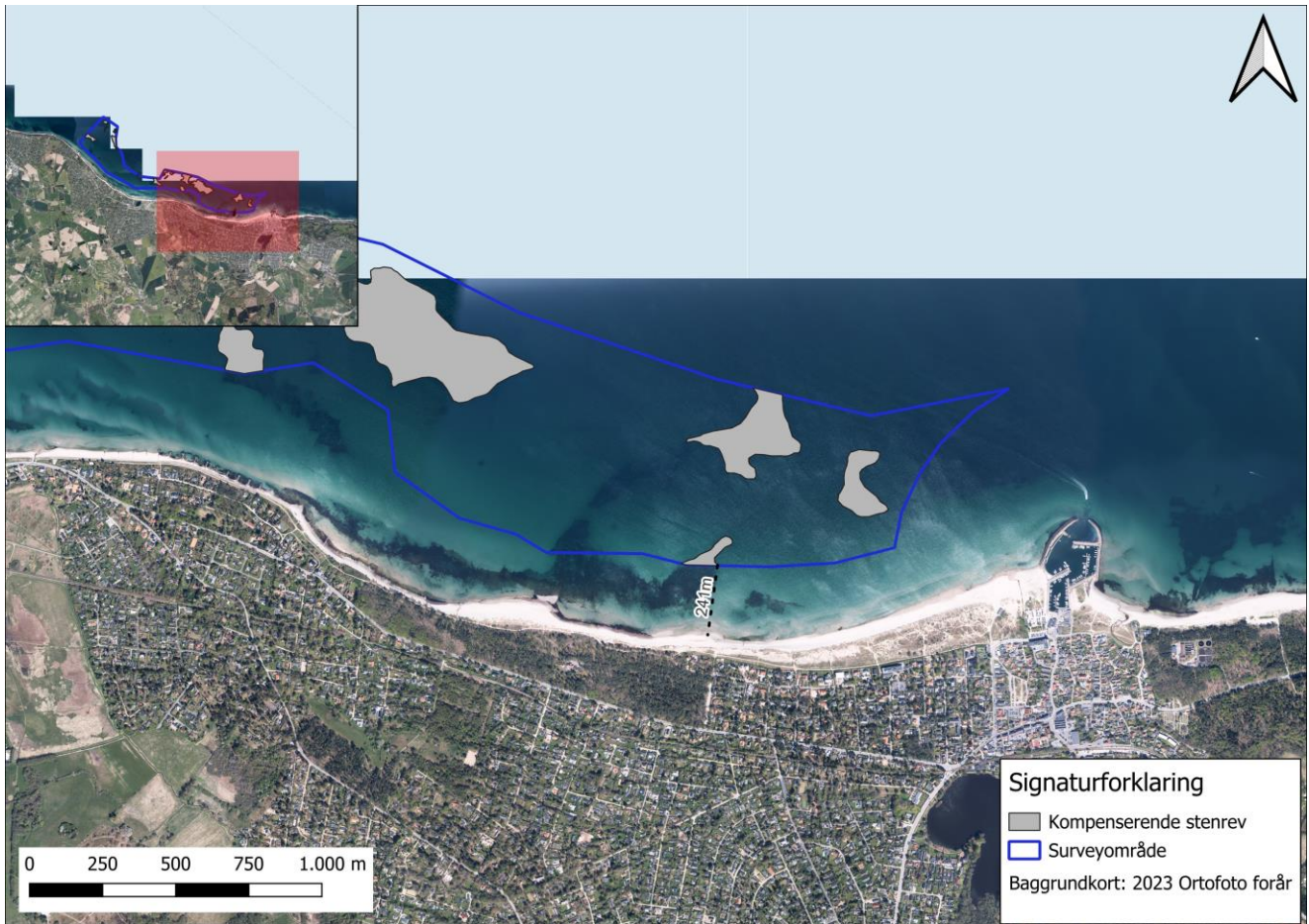
6. Kort med angivelse af stenrevs placering

Placeringen af det kompenserende stenrev er præsenteret på nyeste opdaterede søkort fra skipo.dk (Figur 6.1).

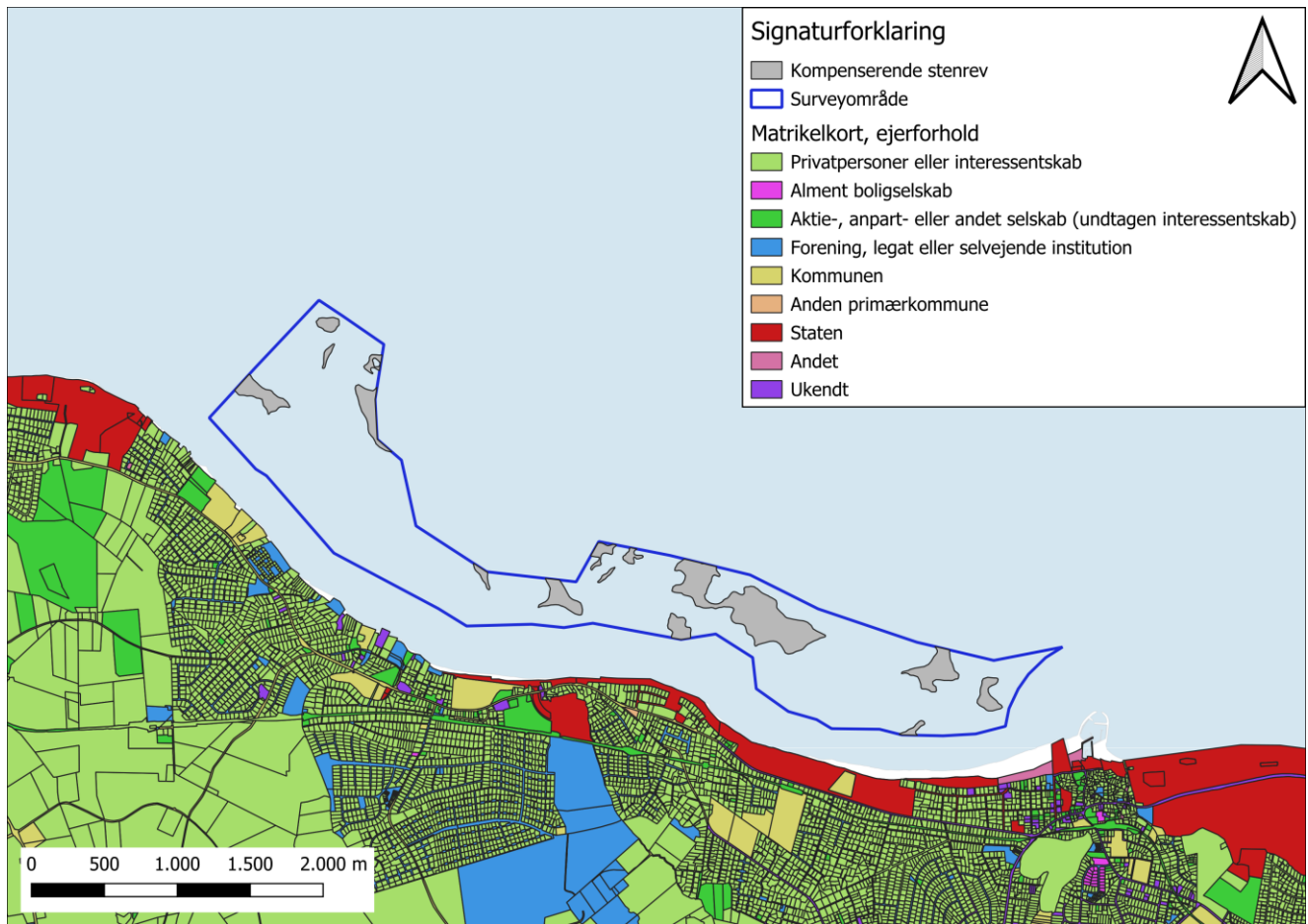


Figur 6.1: Placering af kompenserende stenrev set ift. søkort. Kilde: [Skipko - oplev mere af livet på havet - Skipko.dk](https://www.skipko.dk), hentet d. 6 november 2024.

De kompenserende stenrev placeres som minimum 241 m fra strandlinjen (Figur 6.2), yderligere anlægges stenrevene fra pram, dvs. at ingen matrikler berøres af anlæg af nye stenrev (Figur 6.3).



Figur 6.2: Korteste afstand fra planlagt placering af kompenserende stenrev til strandlinjen.



Figur 6.3: Placering af kompenserende stenrev set ift. matrikelkort.

7. Anlægsomkostninger

Anlægsomkostningerne til de kompenserende stenrev med en dækningsgrad på 35 % løber op i 37,2 mio. kr. inklusiv 10 % i usikkerhed. Prisen er en middelpriis +/- 25 procent.

Materialepriserne er baseret på erfaringstal fra udbudsprojekter fra 2022-2024. Udgifterne dækker sortering og transport og indbygning af stenene. Det er ikke endeligt afklaret, hvorfra stenene hentes. Den endelige pris kendes først, når projektet har været i udbud.

Da der er tale om etablering af stenrev som kompensation for skade på Natura 2000-område nr. 195, er der ikke redegjort for omkostninger til at fjerne stenrevet.

8. References

- Als Stenrev. (2022). <http://alsstenrev.dk/>. Alsstenrev Forening / Sønderborg Kommune.
- Bilag 07. (u.d.). *Nordkystens Fremtid. Natura 2000-konsekvensvurdering*.
- Bilag 14. (u.d.). *Nordkystens Fremtid. Analyse af strandfodringens påvirkning af habitatnatur langs Nordkysten*.
- CIRIA, CUR, & CETMEF. (2007). *The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering*. C683, CIRIA, London.
- Copernicus. (11. 11 2024). *Baltic Sea Physics Analysis and Forecast*.
BALTICSEA_ANALYSISFORECAST_WAV_003_010. doi:<https://doi.org/10.48670/moi-00010>
- DHI. (2018c). *Nordkystens fremtid - Myndighedsprojekt. Numerisk modellering. Fase 2: Kystteknisk grundlag*.
- DHI. (2019). *Nordkystens fremtid - Marin flora og fauna*. Dansk Hydraulisk Institut (DHI).
- DTU Aqua. (2013). Stenrev: Gennemgang af den biologiske og økologiske viden, der findes om stenrev og deres funktion i tempererede områder. *DTU Aqua-rapport 266-2013*. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.
- DTU Aqua. (2013). Stenrev: Gennemgang af den biologiske og økologiske viden, der findes om stenrev og deres funktion i tempererede områder. *DTU Aqua-rapport 266-2013*. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.
- Geocenter Danmark. (2016). *Geoviden nr. 02. Geologi på tværs af kysten*.
- Gribskov Kommune. (2019). *Nordkystens Fremtid. Afgrænsningsnotat for Miljøvurdering. Revision efter foroffentlighed*.
- Hunderevet. (2021). *Youtube video: "Livet på Hunderevets første del sep 2021"*. Hentet fra <https://www.youtube.com/watch?v=NXXCedVBuQs>
- Jensen, O. (1984). *A monograph on Rubble Mound Breakwaters*. Danish Hydraulic Institute.
- Leth, J. O., & Larsen, B. (2014). *Geoviden. Geologi og geografi nr. 02. Den danske havbund*. GEUS.
- Miljøstyrelsen. (2016). *Habitatbeskrivelser version 1.05. Habitatbeskrivelser, årgang 2016. Beskrivelse af danske naturtyper omfattet af habitatdirektivet (NATURA 2000 typer)*.
<https://mst.dk/media/128611/habitatbeskrivelser-2016-ver-105.pdf>.
- Orbicon. (2013). *Marin kortlægning. Kortlægning af sandbanker og rev i 38 kystnære marine Natura 2000-områder 2012*. Naturstyrelsen, Miljøstyrelsen.
- WSP. (2023a). *Geofysisk og biologisk kortlægning af havbunden ved nordkysten med henblik på placering af stenrev*.
- Aarhus Universitet. DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. (11. 11 2024). *Overfladevandsdatabasen*. Hentet 11. 11 2024 fra Hav -> Præsentation: <https://odaforalle.au.dk/>

Bilag 11A

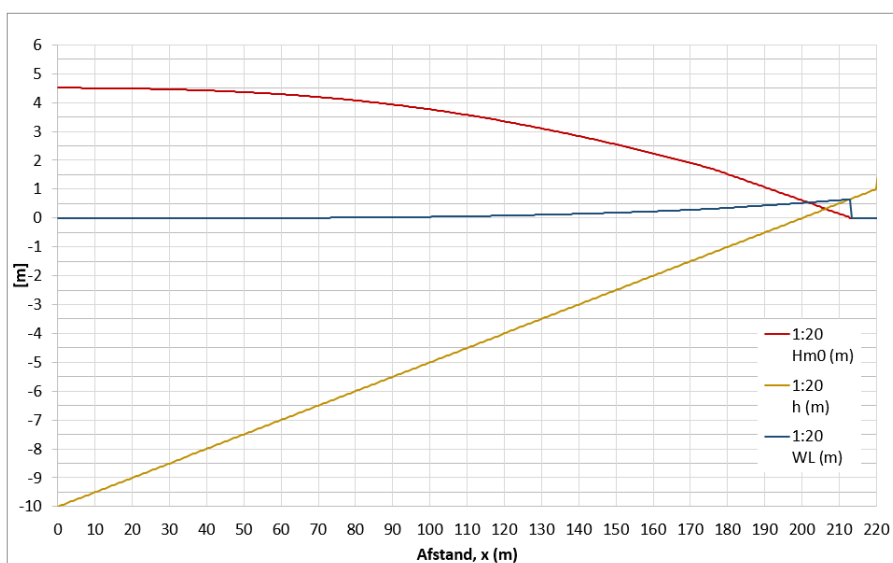
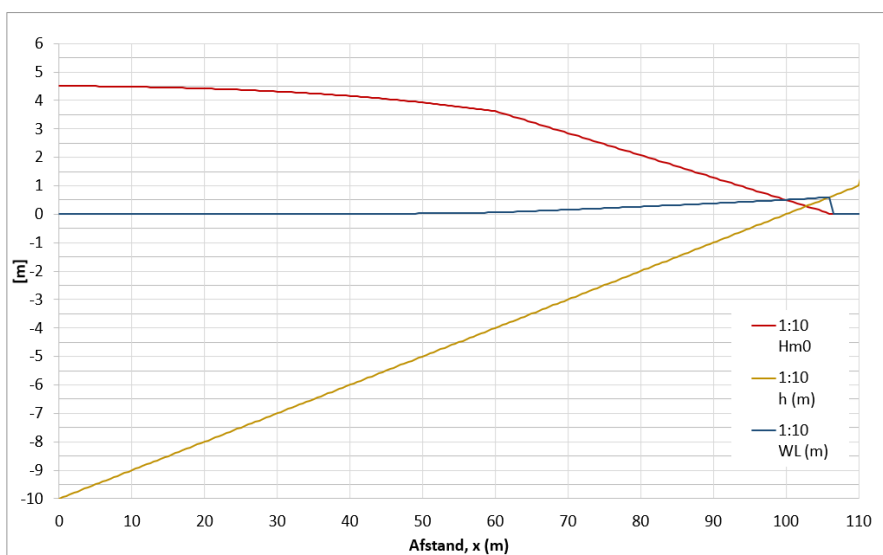
Dimensionsgivende bølger og vandstand

Bilag 11A: Dimensionsgivende bølger og vandstand

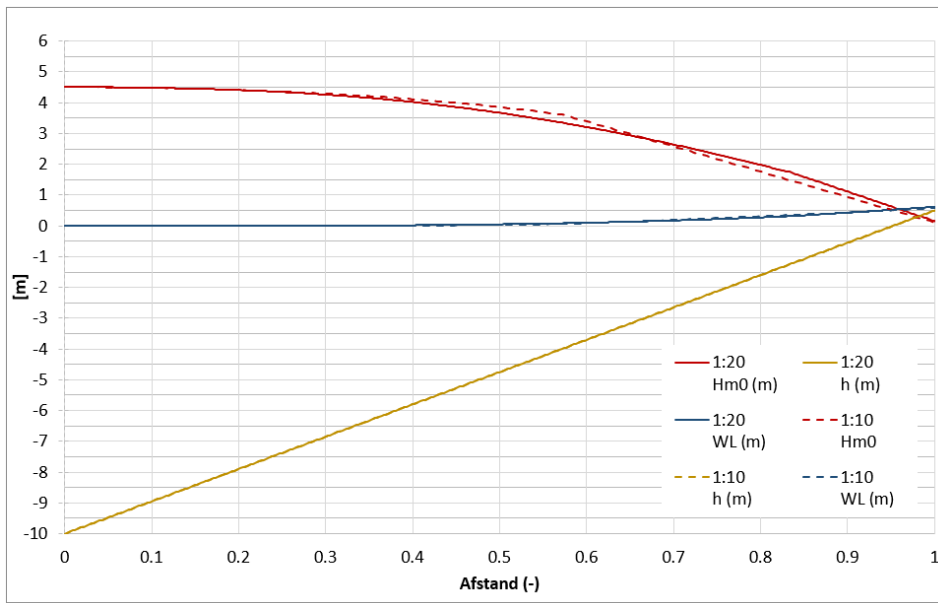
De største bølger langs projektstrækningen forekommer ud for Udsholt Strand, hvor en 50 års bølge har en højde på $H_{m0} = 4,5$ m på dybt vand (DHI, 2018c). DHI angiver i samme rapport korrelationen mellem bølgehøjden og bølgeperioden. Ud for Udsholt Strand er den tilsvarende bølgeperiode $T_p = 8,8$ s.

De beskrevne bølgeforhold anvendes til skitseprojektering af stenrevne. Bølgerne transformeres fra dybt vand til lavt vand vha. beregningsværktøjet LITDRIFT udviklet af DHI. I Figur A.1 er vist, hvordan bølgehøjden og vandstanden varierer som funktion af vanddybden, h , for strandprofiler med hældning på 1:10 og 1:20. I Figur A.2 er afstanden gjort dimensionsløs, så ændringen i bølgehøjden og vandstanden kan sammenlignes direkte for de to bundhældninger. Bølgehøjden reduceres ind over strandprofilet, når bølgerne bryder. Samtidig sker der en bølgestuvning, hvilket medfører, at vandstanden stiger lidt ind mod stranden.

Bølgeforholdene hen over de to analyserede kystprofiler i en designstorm benyttes til at beregne nødvendige stabile stenstørrelser, som stenrevne skal opbygges af på forskellige dybder, se afsnit Bilag B.



Figur A1: Ændring i bølgehøjde H_{m0} , m og vandstand WL, m som funktion af vanddybden h , m. Øverst: Hældning 1:10. Nederst: Hældning 1:20



Figur A.2: Ændring i bølgehøjde H_{m0} , (m) og vandstand WL, (m) som funktion af vanddybden h , (m). Afstanden er gjort dimensionsløs så de to bundhældninger kan sammenlignes direkte

Bilag 11B

Beregning af stenstørrelse

Bilag 11B: Beregning af stenstørrelse

Der findes ingen standardberegning til dimensionering af stenrev. I stedet er der med beregningsværktøjet BREAKWAT fra Deltares undersøgt forskellige måder at beregne nødvendige stenstørrelser som funktion af vanddybden (CIRIA, CUR, & CETMEF, 2007).

Hudson formlen

Hudson formlen benyttes ofte som udgangspunkt for dimensionering af stenkonstruktioner til kystbeskyttelse. Hudson formlen er baseret på modelforsøg med regulære bølger på konstruktioner med permeabel kerne, som ikke overskylles betydeligt. Dette er ikke situationen med stenrev, hvor stenrevene ligger på bunden. Hudson formlen er medtaget som reference. Middelstenstørrelsen kan findes med Hudson formlen ud fra:

$$D_{n50} = \left(\frac{H_s^3}{K_D \Delta^3 \cot(\alpha)} \right)^{1/3}$$

Her er $\rho_r = 2650 \text{ kg/m}^3$ densiteten af stenen, den relative opdrift er angivet som $\Delta = \rho_r / \rho_v - 1$, hvor $\rho_v = 1010 \text{ kg/m}^3$ er vandets densitet og $\cot(\alpha)$ er hældningen på revet. K_D er en konstant, som er 3,5 for brydende bølger og 4,0 for ikke brydende bølger.

Hudson formlen forudsætter, at hældningen af konstruktionen er stejlere end 1:7. I beregningerne med Hudson formlen er den fladeste gældende hældning derfor anvendt. En stejlere hældning vil resultere i større stenstørrelser. Hudson formlen forventes derfor at overestimere de nødvendige stenstørrelser på stenrevene, som har en fladere hældning.

Stabilitetstal og konstruktioner med topkote omkring havoverfladen (low-crested structures)

Stabilitetstallet, N_s , er en af de vigtigste parametre, når man designer stenkonstruktioner påvirket af bølger. Stabilitetstallet angiver forholdet mellem konstruktionen selv og bølgeforholdene:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}}$$

Jo større N_s er, jo mere dynamisk tillader man stenkonstruktionen at være, dvs. jo flere sten vil blive flyttet rundt som følge af bølgepåvirkning.

For konstruktioner nær bunden, som stenrev, tillades ofte lidt højere stabilitetstal end for en bølgebryder eller skråningsbeskyttelse. I nærværende analyser er stabilitetstallet $N_s = 4$ anvendt, da det svarer til grænsen for, hvornår stenene i en bølgebryder vil begynde at blive flyttet rundt. Derudover beregnes stenstørrelsen også med $N_s = 2,5$ for at undersøge følsomheden af formelen.

Stabilitetstallet anvendes også til bestemmelse af stenstørrelse for konstruktioner med topkote omkring havoverfladen. Stenstørrelsen på den mindst stabile del af konstruktionen kan findes ud fra forholdet mellem fribordshøjden (dybden over revet), R_c , og stenstørrelsen D_{n50} :

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.36 - 0.23 \frac{R_c}{D_{n50}} + 0.06 \left(\frac{R_c}{D_{n50}} \right)^2$$

Med formelen varierer stabilitetstallet mellem 1,2 og 4,8.

Stenkonstruktioner nær bunden

For stenkonstruktioner nær bunden (near bed structures) findes skadesniveauet, S , under påvirkning af bølger ud fra et mobilitetstal, θ

$$S = 0,2\theta^3 N^{0,5}, \quad \theta = \left(\frac{\pi H_s}{T_m} \frac{1}{\sinh\left(\frac{2\pi}{L_m} h_c\right)} \right)^2 \frac{1}{g\Delta D_{n50}}$$

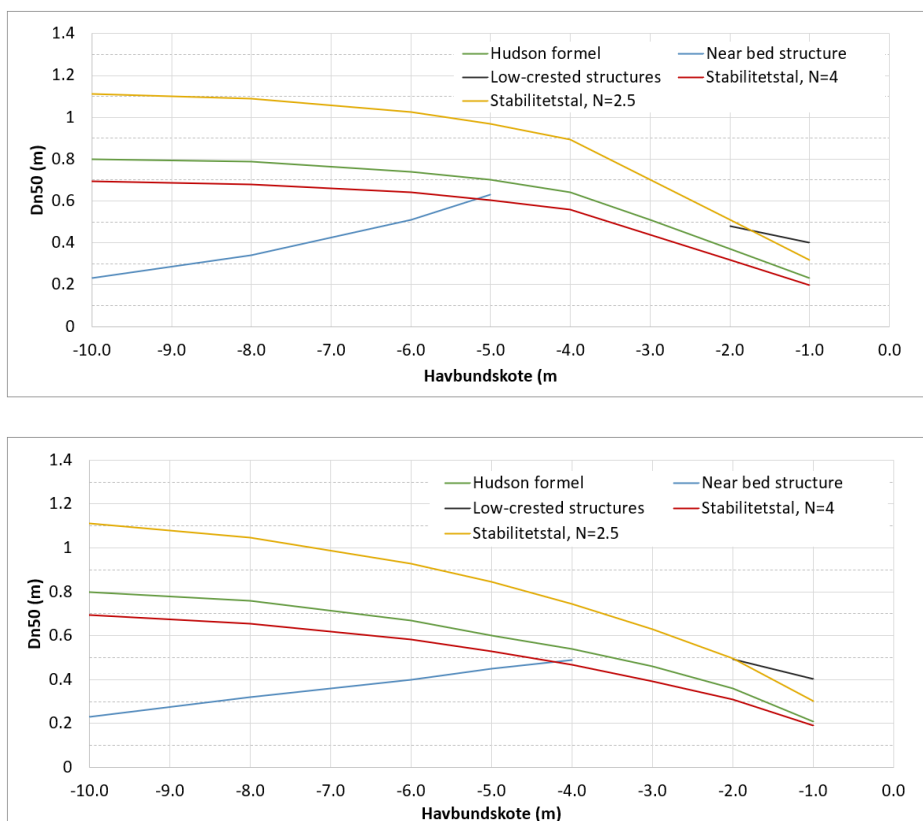
Her er $N = 3000$ antallet af bølger, der forekommer i løbet af designstormen, $T_m = 0,83 \cdot T_p$ er middelbølgeperioden og L_m den tilsvarende bølgelængde på dybt vand.

Den tilladelige skade afhænger af antallet af dækstenslag, og hvor meget stenene må flyttes rundt på grund af bølgerne bølgepåvirkningen. I nærværende analyser er anvendt et skadesniveau på $S=5$ og 1 lag dæksten.

Anvendte stenstørrelse

Ud fra de beregnede bølgehøjder på forskellige dybde er den nødvendige stenstørrelse beregnet med de fire formler beskrevet herover.

I Figur B.1 ses variationen i stenstørrelse som funktion af vanddybde og hældning af strandprofilen.



Figur B.1 Nødvendig stenstørrelse som funktion af vanddybde. Gældende for den dimensionsgivende bølgehøjde $H_{m0}=4,5$ m på dybt vand. Øverst 1:10 og nederst 1:20

Hudson formelen og stabilitetstallet har samme trend, hvor stenstørrelsen stiger med dybden.

Det modsatte gør sig gældende for formlen for stenkonstruktioner nær bunden, hvor stenstørrelsen bliver mindre, når dybden stiger.

Formlen for stenkonstruktioner nær havbunden er ikke gældende for havbundskoter over -5 m og -4 m for bundhældning på henholdsvis 1:10 og 1:20. Forholdet mellem bølgehøjden og vanddybden bliver for stor over revet. Formlen for konstruktioner med topkote omkring havoverfladen (low-crested structures) er kun gældende for havbundskoter over end -2 m.

Stenstørrelsen på stenrevne skitseprojekteres ud fra formlen for konstruktioner nær bunden på dybere vand uden for den aktive dybde.

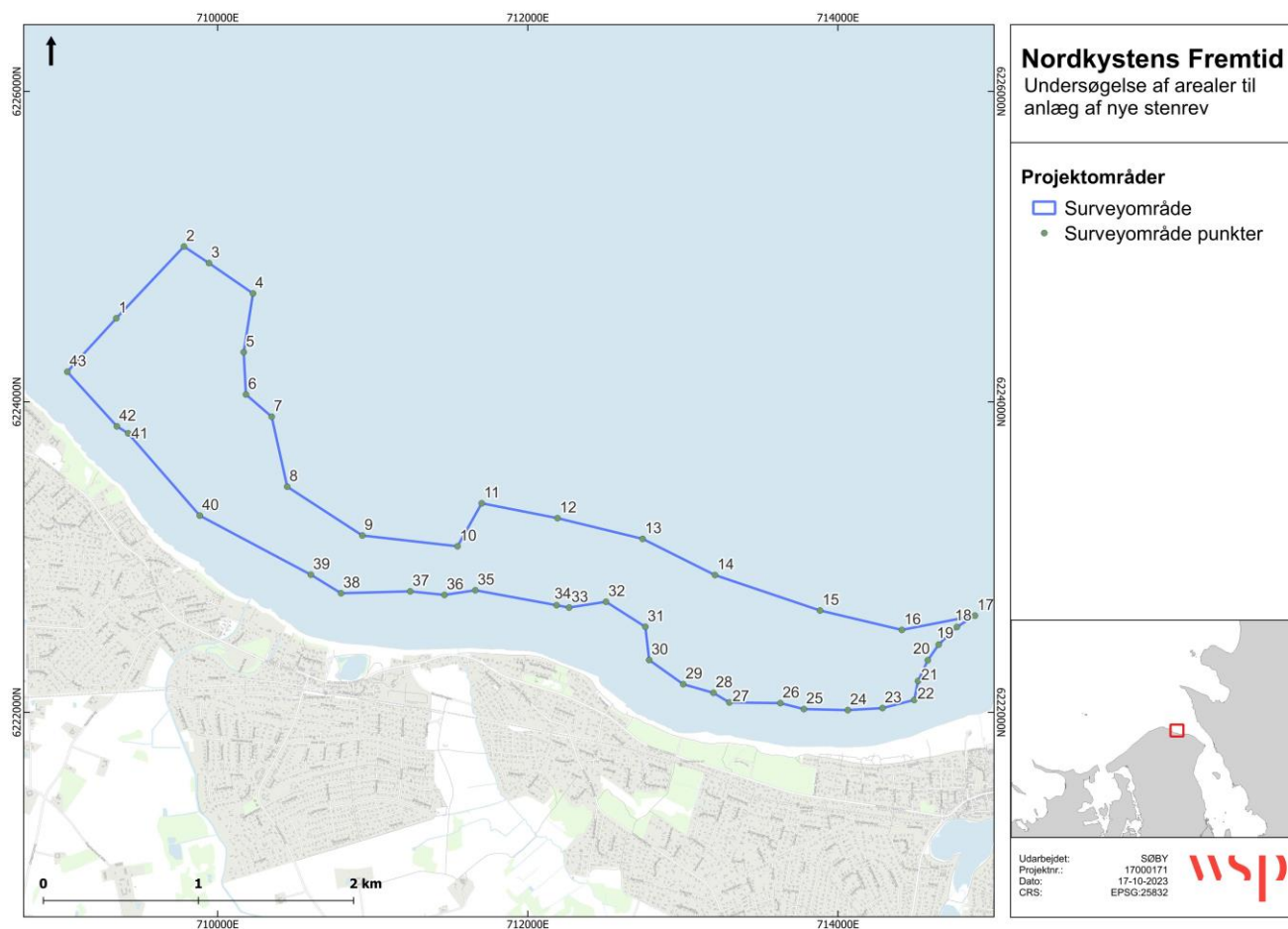
På en vanddybde på 6 m bør dækstene være $d_{50} = 0,40$ m for stenrev med en hældning på henholdsvis 1:20 og 1:10, se Figur B.1. Stiger vanddybden til 8 m behøver dækstenene ikke være højere større end 0,30m. Da en samlet højde på stenrevet anbefales at være 1 m, er omkostningerne til stenrevne det samme uanset, om der anvendes dæksten med en størrelse på 0,3 m eller 0,4 m.

Bilag 11C

Hjørnekoordinater af surveyområdet

Bilag 11C: Hjørnekoordinater af survey-område

Figur og tabel er udarbejdet af (WSP, 2023a).



Figur C.1 Hjørnekoordinater af survey-område (WSP, 2023a).

Tabel C.1: Hjørnekoordinater for surveyområdet

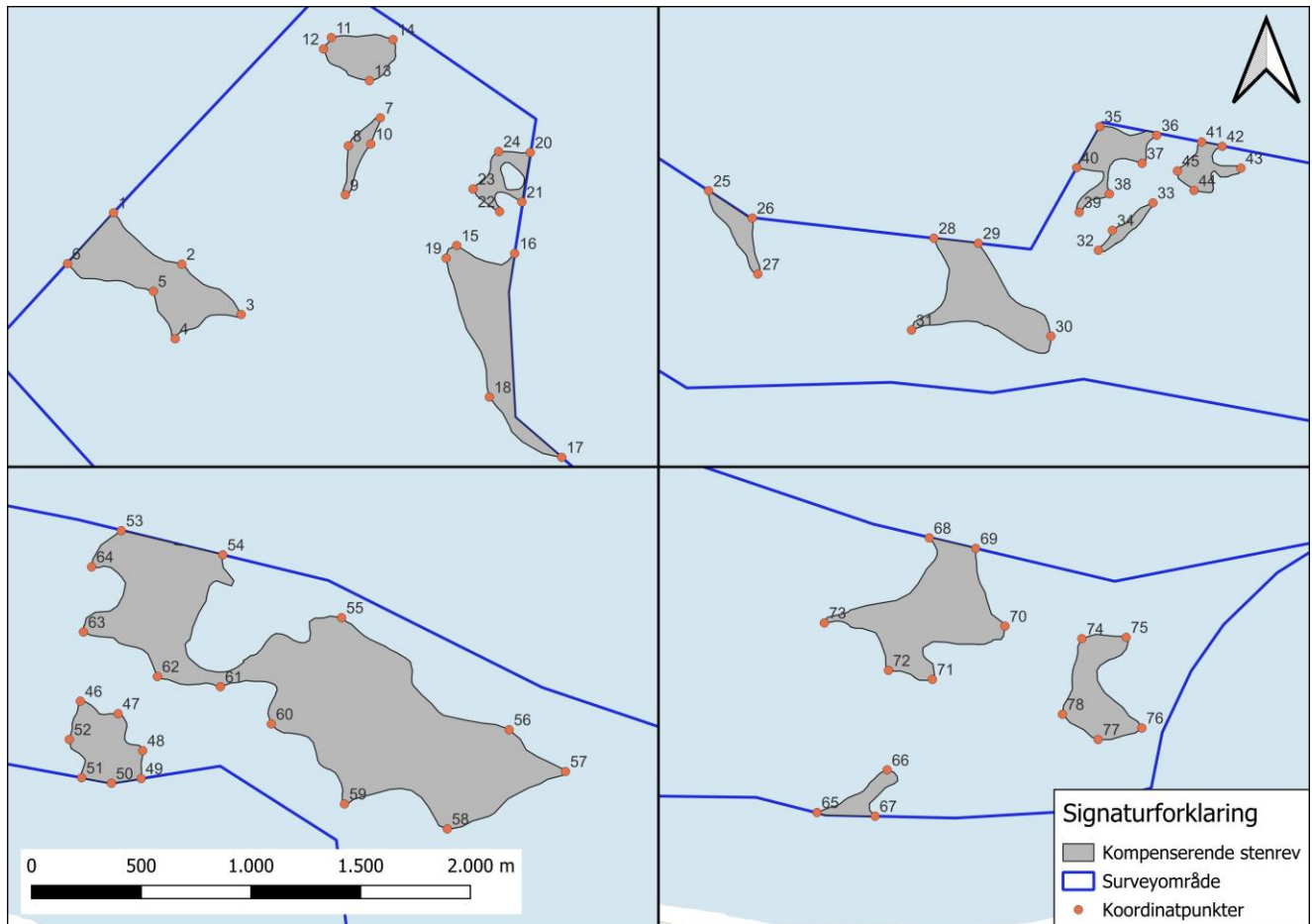
1	6224538,29	709346,77
2	6225000,71	709783,10
3	6224893,86	709944,21
4	6224698,09	710228,53
5	6224320,19	710168,46
6	6224047,18	710182,97
7	6223903,92	710349,09
8	6223453,37	710448,95
9	6223139,02	710933,29

10	6223069,49	711547,44
11	6223346,34	711703,30
12	6223250,64	712191,89
13	6223117,34	712740,86
14	6222883,96	713207,64
15	6222655,62	713884,87
16	6222530,71	714412,44
17	6222622,56	714883,97
18	6222549,50	714767,43
19	6222436,18	714650,32
20	6222334,98	714579,50
21	6222200,90	714516,34
22	6222079,38	714492,19
23	6222026,80	714287,82
24	6222013,82	714064,18
25	6222020,36	713781,06
26	6222058,95	713629,24
27	6222063,19	713299,95
28	6222125,20	713197,28
29	6222180,76	713002,75
30	6222336,88	712783,04
31	6222550,52	712758,48
32	6222711,99	712504,70
33	6222674,68	712267,14
34	6222689,73	712185,88
35	6222785,93	711662,07
36	6222755,94	711463,22
37	6222778,93	711242,09
38	6222766,67	710796,08
39	6222886,45	710601,46
40	6223266,96	709885,18
41	6223797,11	709423,48
42	6223842,21	709350,63
43	6224193,82	709030,74

Bilag 11D

Koordinater rundt om stenrevne

Bilag 11D: Koordinater rundt om stenrevne



Figur D.1 Koordinater rundt om stenrevne.

Tabel D.2: Koordinater rundt om stenrevne °

1	56° 7.173' N	12° 22.027' E
2	56° 7.109' N	12° 22.165' E
3	56° 7.046' N	12° 22.285' E
4	56° 7.021' N	12° 22.144' E
5	56° 7.078' N	12° 22.103' E
6	56° 7.116' N	12° 21.925' E
7	56° 7.269' N	12° 22.598' E
8	56° 7.238' N	12° 22.528' E
9	56° 7.181' N	12° 22.517' E
10	56° 7.239' N	12° 22.576' E
11	56° 7.366' N	12° 22.503' E

12	56° 7.353' N	12° 22.486' E
13	56° 7.313' N	12° 22.579' E
14	56° 7.360' N	12° 22.633' E
15	56° 7.115' N	12° 22.746' E
16	56° 7.102' N	12° 22.867' E
17	56° 6.860' N	12° 22.945' E
18	56° 6.935' N	12° 22.799' E
19	56° 7.100' N	12° 22.722' E
20	56° 7.220' N	12° 22.910' E
21	56° 7.162' N	12° 22.888' E
22	56° 7.152' N	12° 22.840' E
23	56° 7.180' N	12° 22.786' E
24	56° 7.223' N	12° 22.844' E
25	56° 6.435' N	12° 23.447' E
26	56° 6.400' N	12° 23.536' E
27	56° 6.334' N	12° 23.542' E
28	56° 6.366' N	12° 23.916' E
29	56° 6.357' N	12° 24.009' E
30	56° 6.244' N	12° 24.152' E
31	56° 6.259' N	12° 23.860' E
32	56° 6.342' N	12° 24.261' E
33	56° 6.395' N	12° 24.381' E
34	56° 6.365' N	12° 24.293' E
35	56° 6.488' N	12° 24.277' E
36	56° 6.474' N	12° 24.396' E
37	56° 6.442' N	12° 24.362' E
38	56° 6.408' N	12° 24.290' E
39	56° 6.388' N	12° 24.225' E
40	56° 6.441' N	12° 24.224' E
41	56° 6.464' N	12° 24.489' E
42	56° 6.457' N	12° 24.532' E
43	56° 6.430' N	12° 24.569' E
44	56° 6.407' N	12° 24.468' E
45	56° 6.431' N	12° 24.436' E
46	56° 6.214' N	12° 24.736' E
47	56° 6.197' N	12° 24.815' E

48	56° 6.152' N	12° 24.862' E
49	56° 6.120' N	12° 24.856' E
50	56° 6.116' N	12° 24.793' E
51	56° 6.124' N	12° 24.731' E
52	56° 6.170' N	12° 24.709' E
53	56° 6.412' N	12° 24.840' E
54	56° 6.378' N	12° 25.051' E
55	56° 6.297' N	12° 25.295' E
56	56° 6.156' N	12° 25.635' E
57	56° 6.103' N	12° 25.749' E
58	56° 6.043' N	12° 25.495' E
59	56° 6.078' N	12° 25.281' E
60	56° 6.176' N	12° 25.136' E
61	56° 6.223' N	12° 25.032' E
62	56° 6.238' N	12° 24.901' E
63	56° 6.295' N	12° 24.750' E
64	56° 6.371' N	12° 24.774' E
65	56° 5.727' N	12° 26.202' E
66	56° 5.773' N	12° 26.354' E
67	56° 5.719' N	12° 26.323' E
68	56° 6.043' N	12° 26.466' E
69	56° 6.028' N	12° 26.563' E
70	56° 5.935' N	12° 26.616' E
71	56° 5.876' N	12° 26.458' E
72	56° 5.890' N	12° 26.367' E
73	56° 5.949' N	12° 26.237' E
74	56° 5.915' N	12° 26.777' E
75	56° 5.914' N	12° 26.870' E
76	56° 5.807' N	12° 26.894' E
77	56° 5.796' N	12° 26.800' E
78	56° 5.828' N	12° 26.728' E