

Geofysisk rådgivning og bistand – Etablering af stenrev ved Helnæs og Lyø

Isak R. Larsen, Mikkel S. Andersen, Lars Ø. Hansen,
Zyad Al-Hamdani & Verner B. Ernstsen

1. Indledning

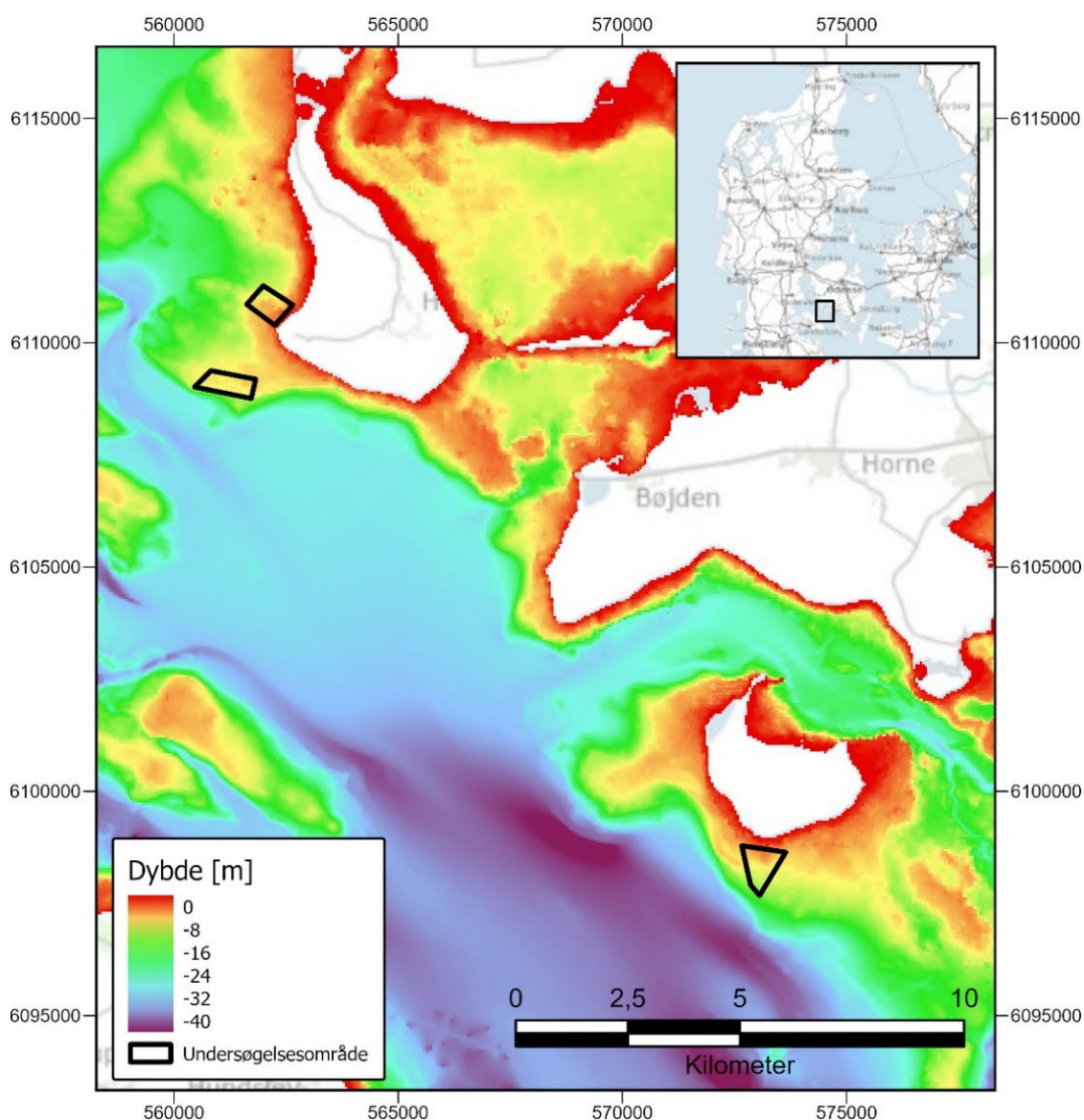
Projektets formål er at forbedre data, information og viden om havbunden i afgrænsede områder ved Helnæs og Lyø med henblik på etablering af stenrev.

Projektets mål er at kortlægge havbunden i undersøgelsesområder ved Helnæs og Lyø mht. havbundens morfologi, substrattyper (jf. Miljøstyrelsen), naturtyper (jf. Habitatdirektivet) og menneskelig påvirkning med henblik på at vurdere områdernes egnethed til etablering af stenrev, herunder en vurdering af havbundens bæreevne og stabilitet.

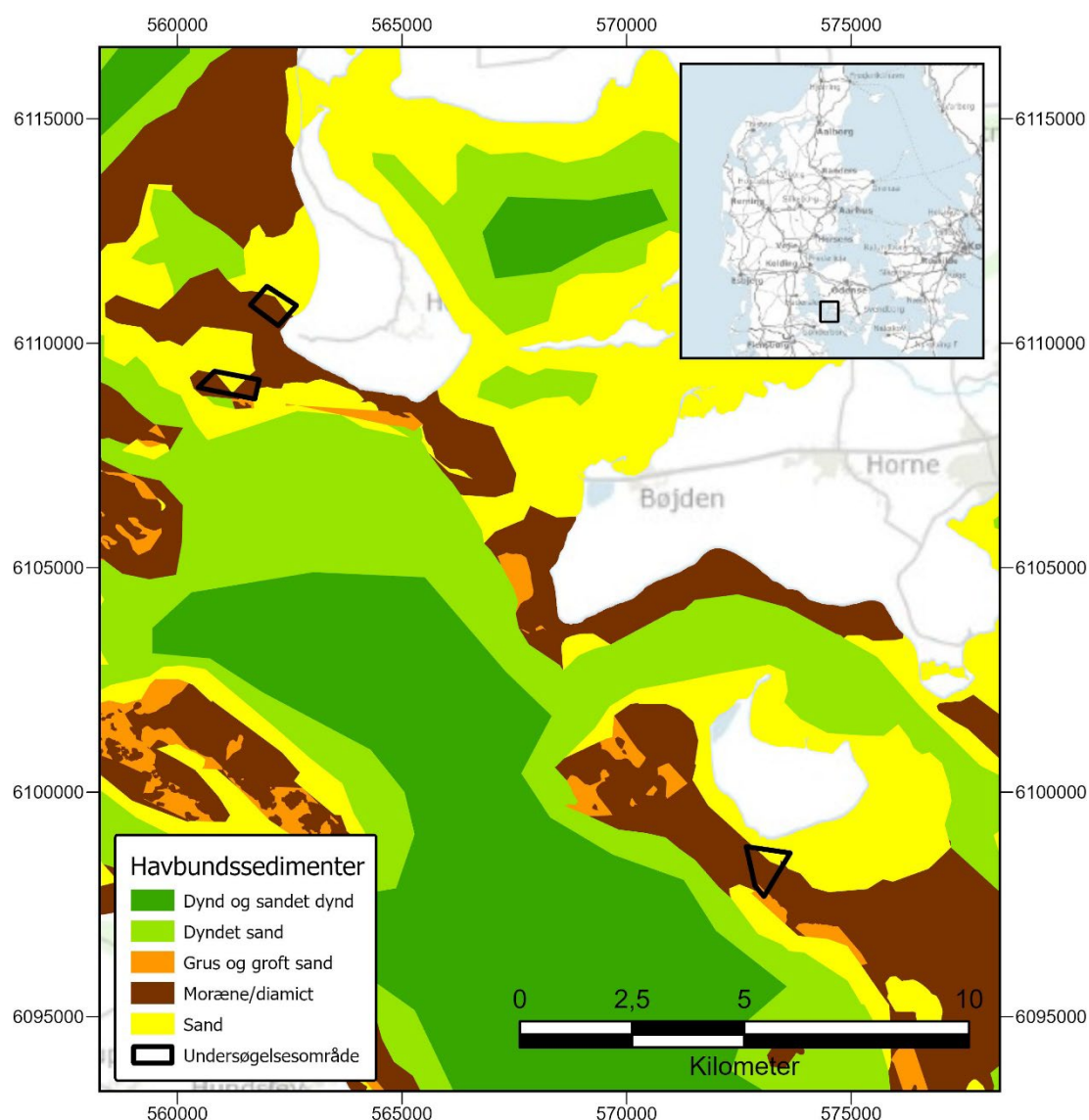
2. Data og metoder

Havbundskortlægningen i de afgrænsede områder ved Helnæs og Lyø er baseret på geofysiske data fra multibeam ekkolod (MBES, flerstråleekkolod), sidescan sonar (SSS) og sub-bottom profiler (SBP, sedimentekkolod) i kombination med groundtruth-data i form af videotransekter indsamlet med remotely operated vehicle (ROV, undervandsdrone). De geofysiske data er indsamlet og leveret af SensorSurvey, mens groundtruth-data er indsamlet og leveret af DCE-AU.

Undersøgelsesområderne ved Helnæs og Lyø er vist i Figur 2-1 og Figur 2-2 med tilhørende information om henholdsvis dybdeforhold og havbundssedimenter.



Figur 2-1. Oversigtskort over undersøgelsesområderne. Baggrundskort er data fra Geodatastyrelsens Danmarks Dybdemodell med 50 m opløsning (Geodatastyrelsen, 2024).



Figur 2-2. Oversigtskort over undersøgelsesområderne. Baggrundskort er GEUS' havbundssedimentkort (GEUS, 2020).

De geofysiske data blev indsamlet i separate surveys med ét instrument ad gangen (Tabel 2-1). Ved Helnæs UNO1 og Helnæs UNO2 blev der indsamlet SSS-data d. 25-06-2024. Her blev der sejlet med en linjeafstand på 35 m med sejlreretning NØ-SV for Helnæs UNO1 og Ø-V for Helnæs UNO2. SBP-data blev indsamlet d. 12-07-2024 for Helnæs UNO1 og Helnæs UNO2 med en sejllinjeafstand på 50 m. For Helnæs UNO1 var sejlreretningen SØ-NV, mens den for Helnæs UNO2 var N-S. MBES-data blev for de pågældende to områder indsamlet d. 24-05-2024 med en sejllinjeafstand på 20 m. For Helnæs UNO1 var sejlreretningen SØ-NV, mens den for Helnæs UNO2 var Ø-V.

Ved Lyø blev SSS-data indsamlet d. 21-06-2024 med en linjeafstand på 35 m med sejlreretning Ø-V. SBP-data blev indsamlet d. 16-07-2024 med en linjeafstand på 50 m med sejlreretning NØ-SV. MBES-data blev indsamlet d. 04-06-2024 med en linjeafstand på 25 m. Dog gælder det, at afstanden mellem sejllinjer var 12,5 m for områder med vanddybde under 5 m. MBES-data for Lyø blev indsamlet med sejlreretning Ø-V.

Tabel 2-1. Oversigt over den geofysiske dataindsamling med multibeam ekkolod (MBES, flerstråleekkolod), sidescan sonar (SSS) og sub-bottom profiler (SBP, sedimentekkolod). *Linjeafstand på 12,5 m ved Lyø ved vanddybde < 5 m.

Område	Instrument	Indsamlingsdato	Linjeafstand	Sejlretning
Helnæs UNO1	SSS	25-06-2024	35 m	41° / 221°
Helnæs UNO1	SBP	12-07-2024	50 m	122° / 302°
Helnæs UNO1	MBES	24-05-2024	20 m	122° / 302°
Helnæs UNO2	SSS	25-06-2024	35 m	101° / 281°
Helnæs UNO2	SBP	12-07-2024	50 m	11° / 191°
Helnæs UNO2	MBES	24-05-2024	20 m	101° / 281°
Lyø	SSS	21-06-2024	35 m	98° / 278°
Lyø	SBP	16-07-2024	50 m	31° / 211°
Lyø	MBES	04-06-2024	25 m (*12,5 m)	98° / 278°

2.1 Bestemmelse af havbundens morfologi

Til den morfologiske analyse blev der udarbejdet morfometriske kort, der sammen med batymetrien blev brugt som input til identifikation af morfologiske elementer og som grundlag for afgrænsningen af de enkelte morfologiske elementer. De morfometriske analyser blev baseret på den processerede batymetri med 50 cm opløsning. De morfometriske analyser bestod af overfladens hældning, kurvet-hed, ruhed og landskabsformer.

En digital batymetrisk model (DBM) for hvert af de tre områder ved Helnæs og Lyø blev produceret på baggrund af de, af SensorSurvey, processerede og rensede punktskyer (ascii xyz) indsamlet med MBES-systemet. DBM'erne blev genereret med værktøjet "LAS Dataset To Raster" i ArcGIS Pro v3.2: **Input:** Punktskyer i ascii xyz format konverteret til LAS datasæt-filer vha. "txt2las" i LAStools tilføjelsen.

Beregning: For hver celle i elevationsmodellen (præ-defineret 50 x 50 cm celledørrelse) beregnes middelværdien af de datapunkter, som falder inden for pågældende grid-celle. NoData angives for celler uden datapunkter.

Output: En digital batymetrisk model (DBM) med vertikal reference til DVR90.

Hældningsgraden for hver celle i DBM blev beregnet med værktøjet "Slope" i ArcGIS Pro, og et nyt hældnings-grid blev produceret. Hver celleværdi i det nye grid repræsenterer overfladens hældning på det pågældende sted. Beregning af hældning:

1. **Input:** DBM (50 cm celledørrelse).
2. **Beregning:** For hver celle i DBM findes den maksimale ændring i højden til de omgivende 8 celler (3x3 celleområde). Derefter beregnes hældningen i grader fra cellen til den omgivende celle med maksimal ændring i højden.
3. **Output:** Resultatet er et nyt hældnings-grid, hvor hver celledes værdi repræsenterer hældningen i grader (0 til 90).

Kurvetheden blev beregnet med værktøjet "Curvature" i ArcGIS Pro. Kurvetheden er den beregnede profilkurvethed, som blev beregnet på baggrund af overfladens hældning. Profilkurvetheden indikerer om overfladen har en konveks eller konkav form. Positive værdier viser områder med konveks terrænprofil, som fx ses på toppen af mindre forhøjninger, så som store sten. Negative værdier viser områder med konkav terrænprofil, hvilket fx ses ved foden af forhøjninger, så som ved overgangen imellem store sten og den omgivende havbund. Beregning af kurvethed:

1. **Input:** Hældning af DBM (50 cm cellediameter).
2. **Beregning:** For hver celle i hældnings-griddet findes den maksimale ændring i hældning til de omgivende 8 celler (3x3 celleområde). Derefter beregnes hældningen fra cellen til den omgivende celle med maksimal ændring i hældning. Der beregnes dermed "hældningen af hældningen", hvilket indikerer om den stejleste hældning er accelererende eller decelererende:
 - Positive værdier indikerer en decelererende hældning og dermed konveks overflade, fx på toppen af forhøjninger i terrænet.
 - Negative værdier indikerer en accelererende hældning og dermed konkav overflade, fx i bunden af lavninger i terrænet.
 - Værdien 0 indikerer en jævn overflade med konstant hældning.
3. **Output:** Resultatet er et nyt kurvetheds-grid, hvor hver celled værdi repræsenterer profilkurvetheden langs den stejleste hældning.

Ruheden blev beregnet med værktøjet "Terrain Ruggedness Index (TRI)" i QGIS. Ruheden blev beregnet på baggrund af højdemodellen som den gennemsnitlige forskel i højden mellem en celle og dens naboceller. Ruheden giver en værdi for den lokale geometriske variation på overfladen. Beregning af ruhed:

1. **Input:** DBM (50 cm cellediameter).
2. **Beregning:** For hver celle i højdemodellen beregnes ruheden ved at:
 - Analysere højdeforskellene mellem den centrale celle og dens omkringliggende celler indenfor nabocellerne i et 3x3 celleområde.
 - Summere de absolutte forskelle i højde mellem den centrale celle og hver af de omkringliggende celler.
 - Beregne gennemsnittet af disse forskelle.
3. **Output:** Resultatet er et nyt ruheds-grid, hvor hver celled værdi repræsenterer overfladens ruhed på det pågældende sted.

Landskabsformer blev kortlagt med værktøjet "Geomorphon Landforms" i ArcGIS Pro v3.2. Se Jasiewicz & Stepinski (2013) for klassifikationsbeskrivelse. Landskabsformerne blev identificeret og klassificeret baseret på en analyse af DBMerne:

1. **Input:** DBM (50 cm cellediameter).
2. **Beregning:** For hver celle i modellen analyseres de omgivende cellers elevationsværdier inden for et bestemt søgeområde. Input parametre i analysen er 1) Tærskelværdi for fladt terræn, 2) Maksimum søgeradius, og 3) Minimum søgeafstand. Landskabsformer identificeres ved at analysere mønstre indenfor søgeområdet og derefter klassificere mønstrene i 10 forskellige klasser.

3. **Output:** Resultatet er et nyt grid med op til 10 landskabsformer, hvor hver celled værdi repræsenterer en bestemt landskabsform: Flat, Peak, Ridge, Shoulder, Spur, Slope, Hollow, Footslope, Valley og Pit.

Forskellige input parametre blev testet, og efter evaluering af de resulterende landskabsformer blev de optimale inputparametre til fremhævning af landskabsformer bestemt, således at tærskelværdien for fladt terræn = 1° , maksimum søgeradius = 50 m og minimum søgeradius = 0,5 m.

Til den morfologiske analyse blev de morfometriske kort og DBMerne brugt som input til identifikation af morfologiske elementer og som grundlag for afgrænsningen. Baseret på definitionerne fremlagt af Dove et al. (2020) blev de følgende morfologiske elementer kortlagt:

- Flade og Platform: Områder med hældning $< 1^\circ$, som er klassificeret som landskabsformen Flat. Platform adskiller sig ved at være eleveret fra det omkringliggende.
- Hummock: Små positive opragende morfologiske elementer. Identificeres på baggrund af landskabsformen Shoulder og afgrænses ved hældningskortet som flade områder med en hældning $< 1^\circ$ helt afgrænset af en smal stribe med hældning $> 1^\circ$.
- Højderyg: Positiv, opragende, aflangt morfologisk element. Til identifikation og afgrænsning anvendtes batymetrien og landskabsformerne Flat, Shoulder og Slope.
- Skråning: Områder defineret som landskabsformen Slope.

2.2 Bestemmelse af havbundens substrattyper

Klassifikation af substrattyper tog udgangspunkt i de substrattypeklasser, som er defineret og fastlagt i samarbejde med Miljøstyrelsen (Naturstyrelsen, 2012), og som tidligere er anvendt i danske substrat- og naturtype-kortlægninger (Miljøstyrelsen 2019, 2021, 2023; Naturstyrelsen, 2015, 2016). Definitionerne af substrattypeklasserne kan ses i Tabel 2-2. Klassifikationen er traditionelt baseret på tolkning indenfor arealenheder af 25 x 25 m.

Tabel 2-2: Definition af substrattyper (Efter Miljøstyrelsen, 2023)

Substrattype	Definition
1a. Blødbund	Homogen siltet sandbund eller dynd, hvor bunden ikke er dynamisk påvirket, og hvor sedimentet består af silt og siltet sand eller dynd.
1b. Sand	Homogen fast sandbund (sand er defineret som kornstørrelser fra 0,06–2,0 mm) præget af en vis form for dynamik med bølgeribber m.m. Denne substrattype kan også have varierende indslag af skaller, grus og silt.
1c. Mønstret sandet bund med ler	Område bestående af ler eller større relikte lerblokke på en siltet til sandet havbund, hvor det høj-reflektive ler giver havbunden et mønstret udseende. Disse ler-mønstre kan have meget markante strømstriber.
2a. Sand, grus og småsten	Meget varierende substrattype, domineret af sand og groft sand med varierende mængder af grus og småsten. Substratet består af en blanding af sand, groft sand og grus med en kornstørrelse på ca. 0,06 - 20 mm og småsten med størrelser på ca. 2 til 10 cm.
2b. Sand, grus og småsten samt bestrøning (< 10 %) med sten >10 cm	Meget varierende substrattype, domineret af sand og groft sand med varierende mængder af grus og småsten samt spredte store sten. Substratet består af en blanding af sand, groft sand og grus med en kornstørrelse på ca. 0,06 - 20 mm og småsten med størrelser ca. 2 til 10 cm. Substrattypen kan også indeholde større sten >10 cm, dog kun op til 10 % dækning.
3. Sand, grus og småsten samt bestrøning (10 - 25 %) med sten >10 cm	Område bestående af blandede substrater med sand, grus og småsten og med bestrøning af større sten >10 cm. Substrattypen indeholder et større antal sten >10 cm, oftest som bestrøning med en dækning på 10 % - 25 %.
4. Sten > 10 cm dækkende >25 %	Område domineret af sten >10 cm, men også med varierende indslag af sand, grus og småsten. Stenene ligger enten spredt på havbunden eller som et tæt lag af sten med en dækning >25 %.

Kortlægningen af substrattyper blev baseret på de indsamlede geofysiske data (MBES, SSS og SBP) med SSS som den primære datakilde i kombination med groundtruth ROV-videotranssektorer.

De dobbelt-frekvente sidescan-data blev indlæst og analyseret i SonarWiz V7. Sidescan-data blev primært korrigeret for vandsøjlen og detektion af det første havbundsretursignal ved hjælp af "bottom track"-modulet i SonarWiz. Dette sikrede, at vandsøjlen blev elimineret fra datasættet, hvorefter data blev postprocesseret yderligere for reflekteret signalstyrke og intensitet. Bottom tracking kan udføres i batch-mode, men nogle gange er vandsøjlen så støjende, at automatisk detektion af havbundens første retursignal ikke er muligt, hvorfor det i stedet blev gjort manuelt.

Herefter blev "udseendet" af sidescan-billedet justeret for at gøre det så klart som muligt til tolkning af havbundens substrater. SonarWiz tilbyder forskellige metoder til at justere indstillingerne for sidescan-billedet. Det er op til operatørerne at vælge den metode, der passer bedst til opgaven. I dette arbejde startede vi med Empirical Gain Normalisation (EGN) for at balancere sidescan-billedet i intensitet over billedets bredde. I de tilfælde, hvor der fortsat var mulighed for forbedring af udtrykket af sidescan-billedet, blev User-defined Gain Control (UGC) benyttet i stedet. Her blev der ændret i Time Varying Gain (TVG)-indstillingen, hvilket gjorde det muligt at identificere sten og de forskellige substrattyper på havbunden.

Slutteligt blev positionen og orienteringen af sidescan-billedet justeret for at sikre, at alle substratgrænser er korrekt georefereret. Dette blev gjort ved at sammenholde karakteristiske former på havbunden, der vises på sidescan-billedet, med de samme former på multibeam-datasættet. Sidescan-billederne blev rettet i tilfælde af uoverensstemmelser.

SSS-data fungerede som den primære datakilde, da intensiteten af det reflekterede signal fra havbunden direkte afhænger af både bundmaterialet og sonarens geometri. MBES og SBP fungerede som vigtige supplerende datakilder.

Ved hjælp af SBP kan de øverste lag under havbunden ses og forskellen mellem bløde og hårde sedimentaflejringer fremstår tydeligt, både på og under havbundens overflade. For eksempel er det muligt at identificere en blød, sandet bund med et hårdt morænelag nedenunder, som nogle steder kan være eksponeret ved havbundsoverfladen.

Multibeam-batymetrien gengiver havbundens tredimensionelle overflade, hvilket ofte giver en indikation af sedimenttypen. En hård bund med store sten skaber en ujævn og ru topografi, mens sandaflejringer danner karakteristiske geometriske mønstre.

Ved at kombinere data fra de tre instrumenter blev tolkningen af havbundens sedimenter optimeret og præciseret.

2.3 Bestemmelse af havbundens naturtyper

Naturtyper er de marine naturtyper, der er beskyttet i henhold til EU Habitatdirektivet. Ved Lyø og Helnæs er naturtypen "Rev (1170)" af relevans i nærværende rapport. Identifikation og afgrænsning af naturtypen følger Naturstyrelsens notat i relation til identifikation og afgrænsning af marine naturtyper (Naturstyrelsen, 2012) samt opfølgende faglige kriterier for opdatering af habitatområdernes udpegningsgrundlag for habitatdirektivets naturtyper (Miljøstyrelsen, 2021).

Sammenfattende er kriterierne for afgrænsning af 1170 Rev, at havbunden er substrattype 4 Sten (med sten større end 10 cm dækkende >25 %) eller substrattype 3 Sand, grus og småsten (med sten > 10 cm dækkende 10-25%) i tilknytning til substrattype 4 (jf. Miljøstyrelsen, 2012). Minimumsarealet for afgrænsning af 1170 Rev i form af stenrev er 100 m² (Miljøstyrelsen, 2021). Det primære datagrundlag for afgrænsning af 1170 Rev er SSS-data med understøttelse af SBP-data samt batymetri baseret på MBES. Dertil kommer videotranskter med ROV, som er en integreret del af kortlægnings af substrattyper.

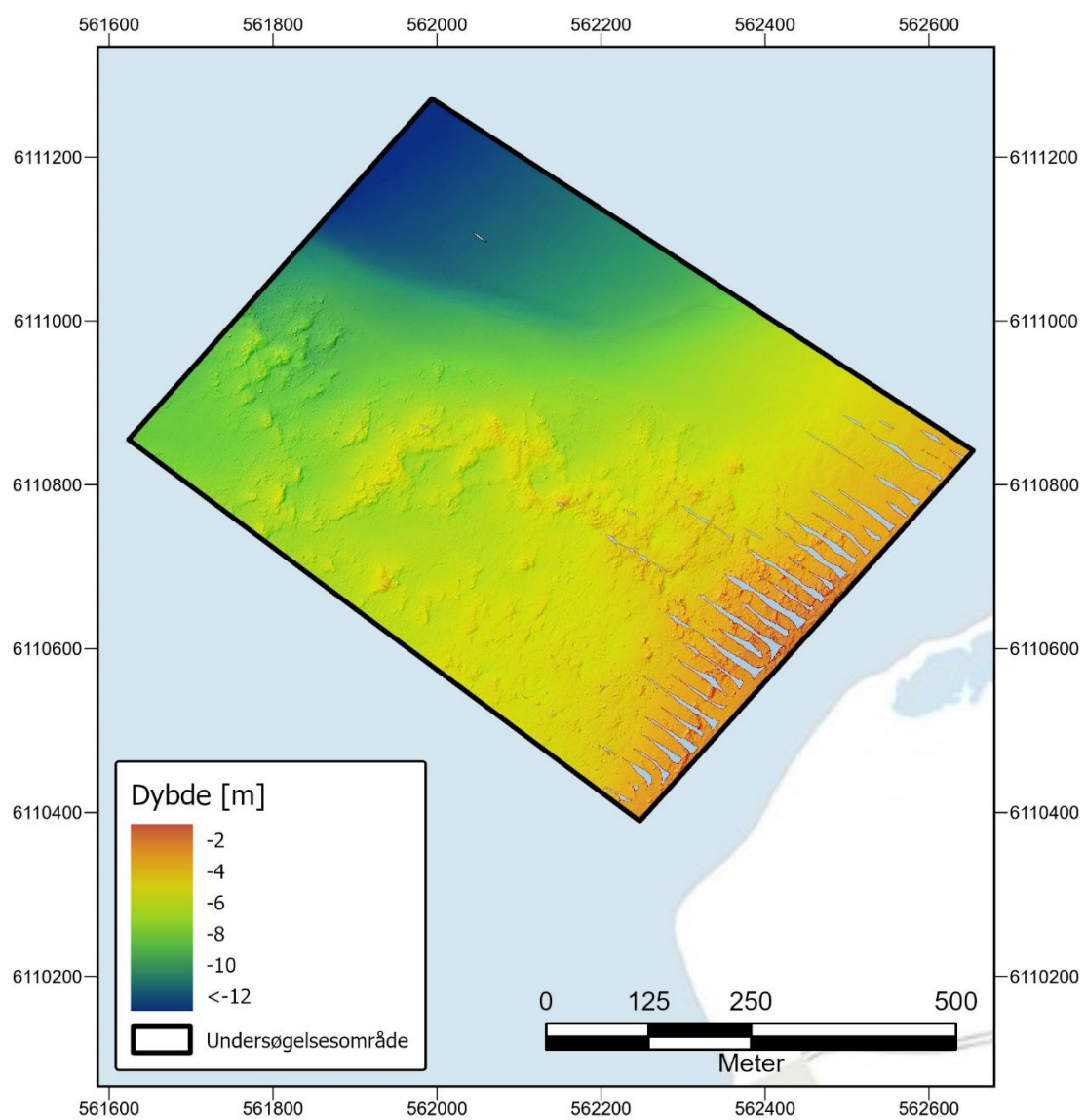
2.4 Identifikation af menneskelig påvirkning af havbunden

Potentielle menneskelige påvirkninger af havbunden blev identificeret primært ud fra tolkning af sidescan-data og understøttet af multibeam batymetri og groundtruth. Observationerne blev registreret sideløbende med substrattypetolkningen.

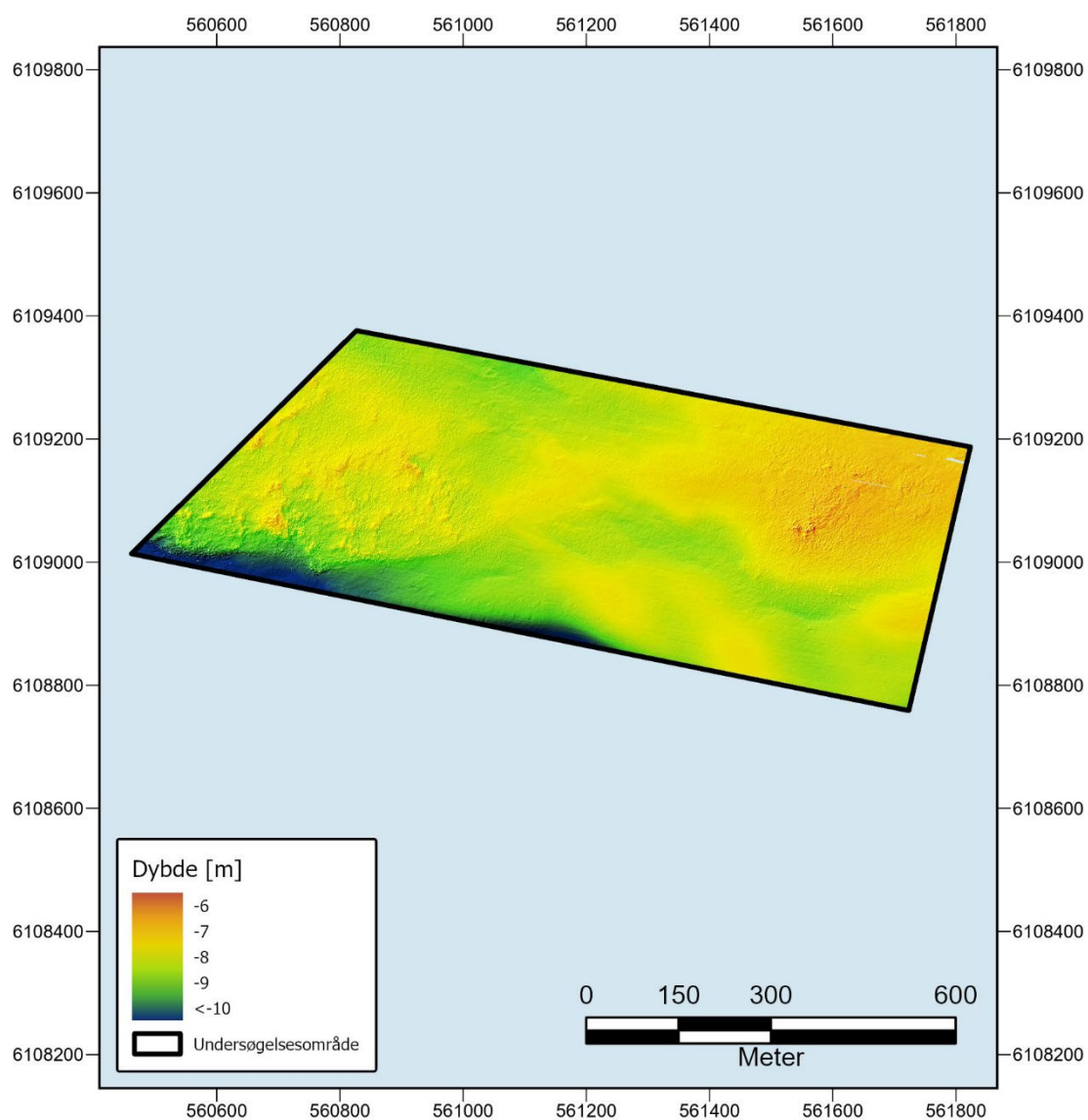
3. Resultater

3.1 Havbundens morfologi

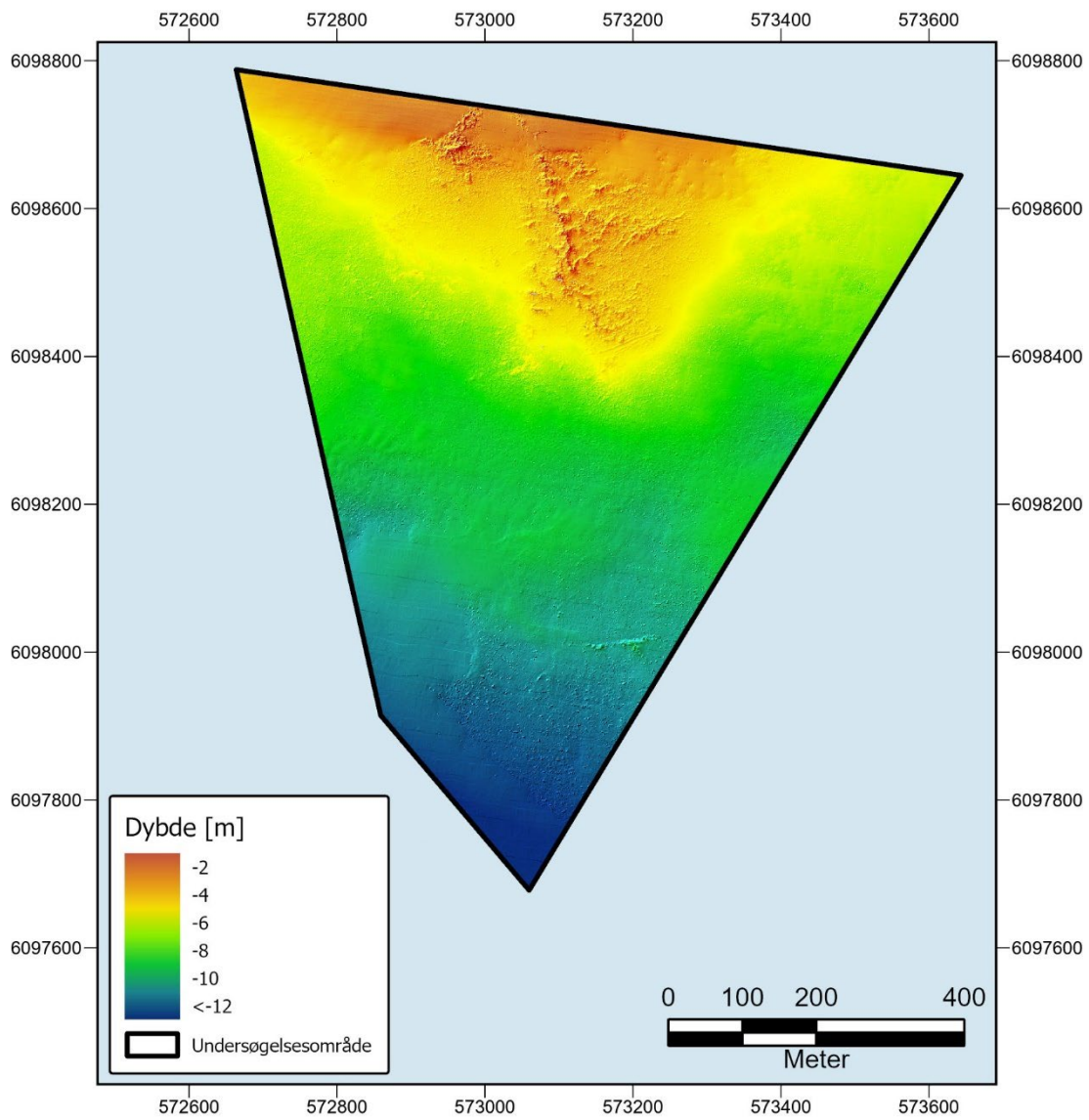
Batymetrien for hvert af de tre undersøgelsesområder er vist i Figur 3-1, Figur 3-2 og Figur 3-3. Batymetrien er fulddækkende, dog med enkelte huller ved Helnæs UNO1 (Figur 3-1). Her har de lavvandede forhold gjort, at data blev indsamlet i et meget smalt bånd langs sejllinjerne, hvilket kombineret med afstanden mellem sejllinjerne har bevirket, at der opstår huller i datasættet. For Helnæs UNO1 og Lyø ses dybdeforskelle i områderne på godt og vel 10 m, mens dybdeforskellen i Helnæs UNO2 er på omtrent 4 m. Ved Helnæs UNO1 er dybden mindst i områdets østlige del tæt på kysten, mens der er dybest i det nordvestlige hjørne af området. I Helnæs UNO2 er de mindste dybder beliggende i det nordøstlige hjørne. Samtidig er der områder med lave dybder i både den vestlige del og centralt. Områdets dybeste steder er beliggende i det sydvestlige hjørne og centralt langs den sydlige rand af området. Ved Lyø er der dybest i den sydlige del, mens det gradvist bliver mere lavvandet op mod den nordlige rand af området, hvor de laveste dybder forekommer.



Figur 3-1. Batymetri i Helnæs UNO1. Gridcellestørrelse er 50 cm.

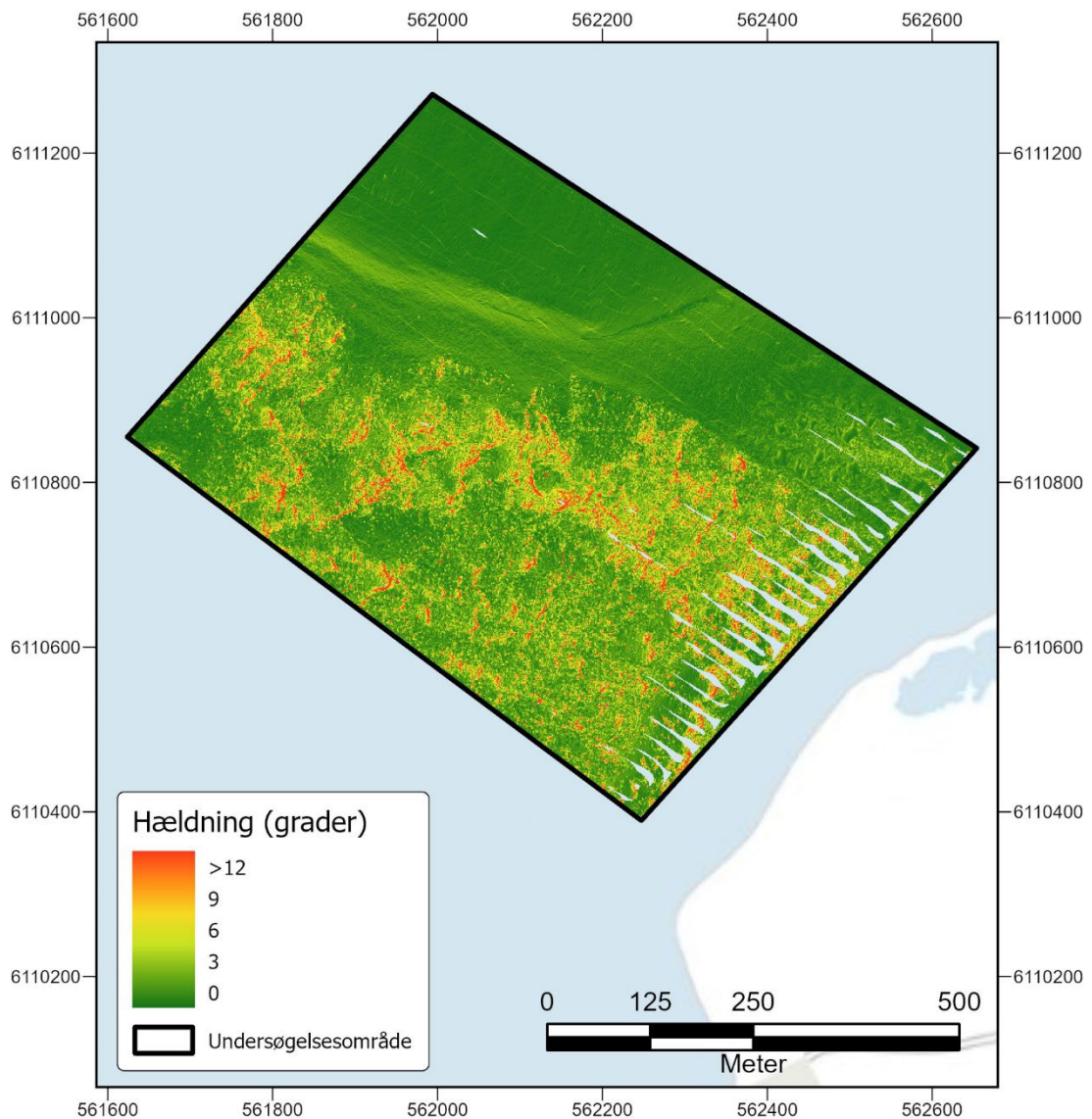


Figur 3-2. Batymetri i Helnæs UNO2. Gridcellestørrelse er 50 cm.

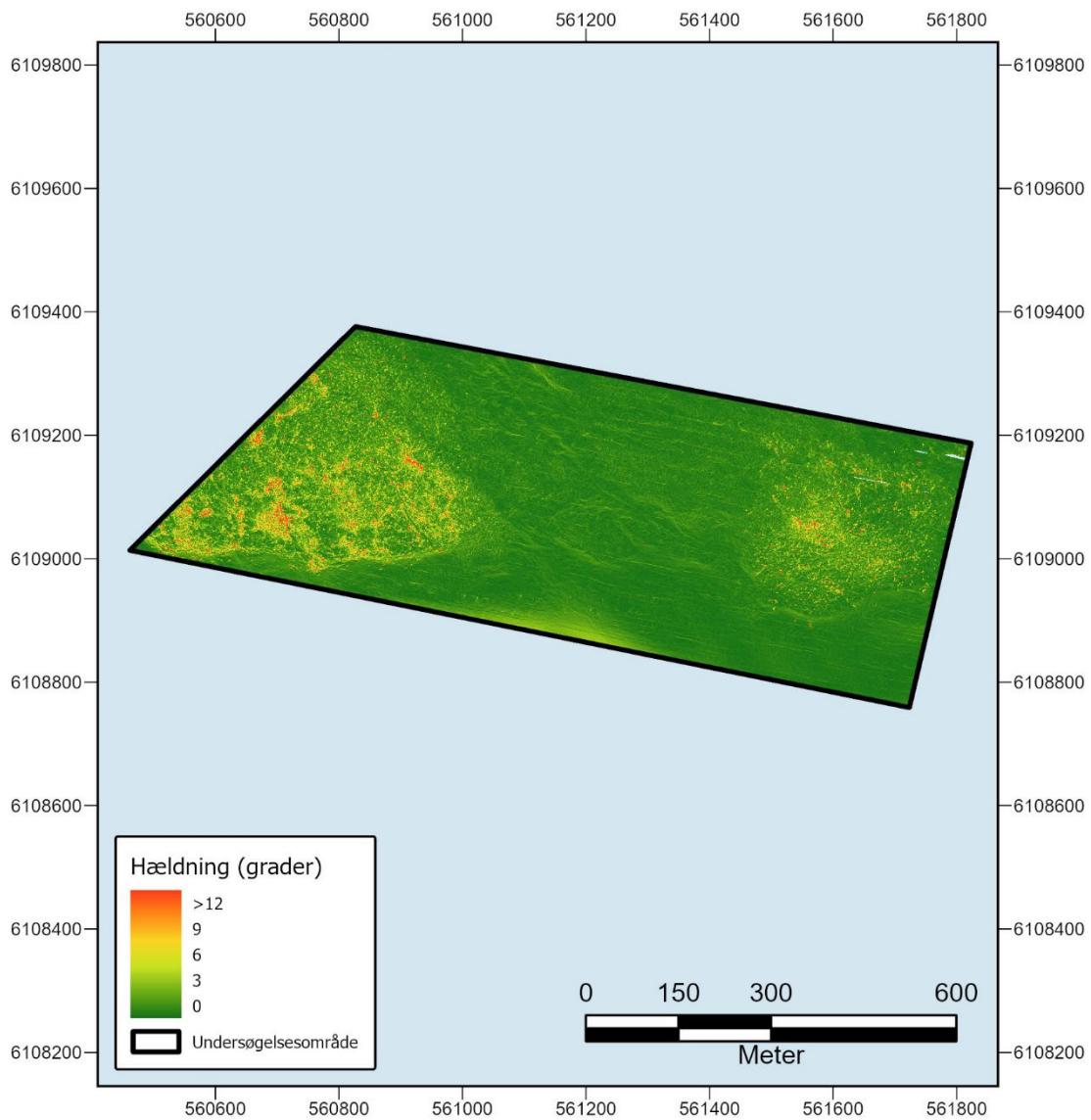


Figur 3-3. Batymetri ved Lyø. Gridcellestørrelse er 50 cm.

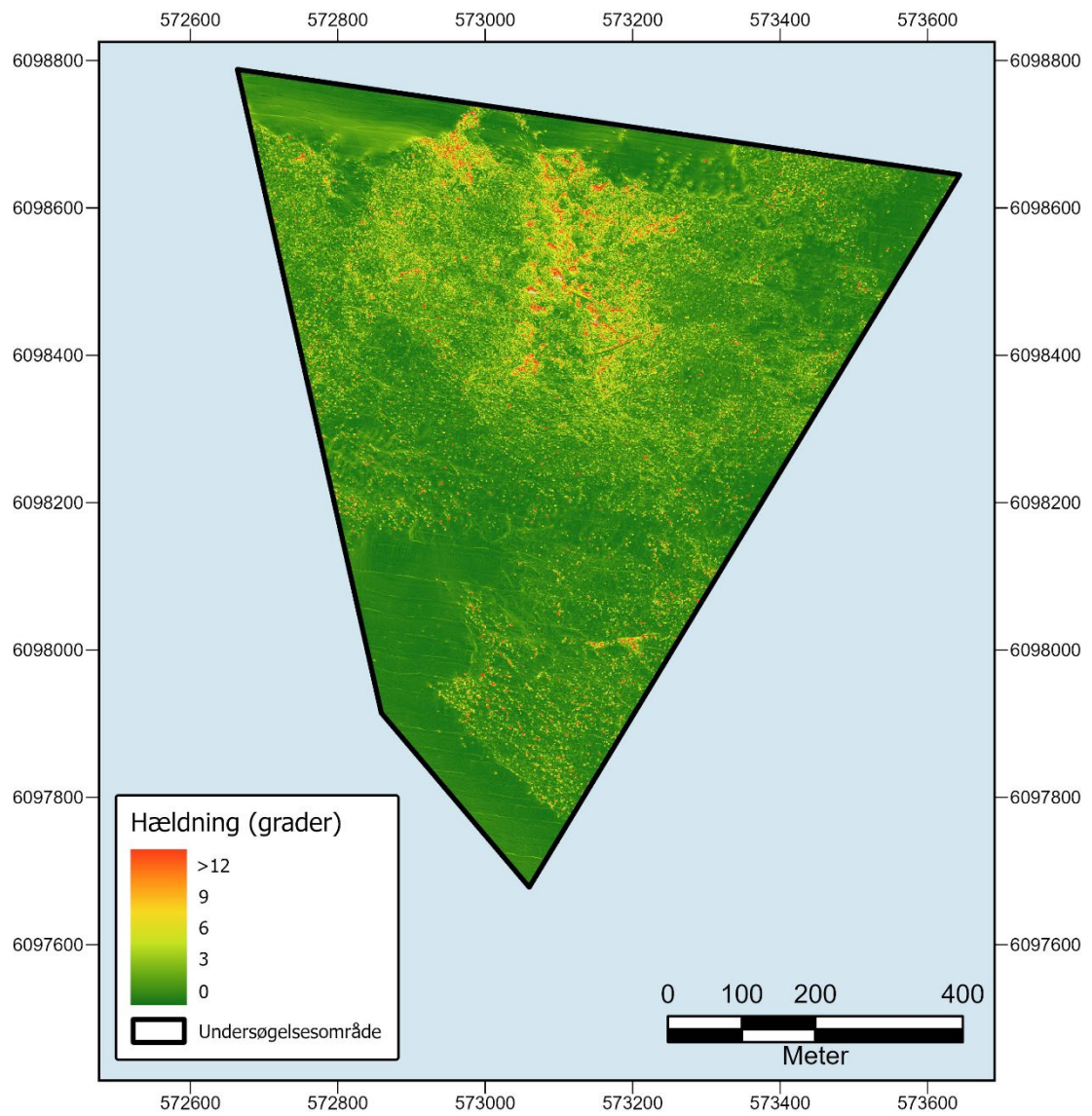
Hældningskort for hvert af de tre undersøgelsesområder er vist i Figur 3-4, Figur 3-5 og Figur 3-6. Helnæs UNO1 er præget af et fladt areal i områdets nordlige del. Den resterende del af Helnæs UNO1 bærer præg af større udsving i hældningen. Helnæs UNO2 er overordnet set fladt, men indeholder to områder med større udsving i hældningen hhv. beliggende i områdets østlige og vestlige dele. Ved Lyø er der flade områder af mindre udbredelse langs den nordlige afgrænsning samt i områdets sydvestlige hjørne. De største gradienter i hældning findes centralt i områdets nordlige halvdel.



Figur 3-4. Hældninger i området Helnæs UNO1.

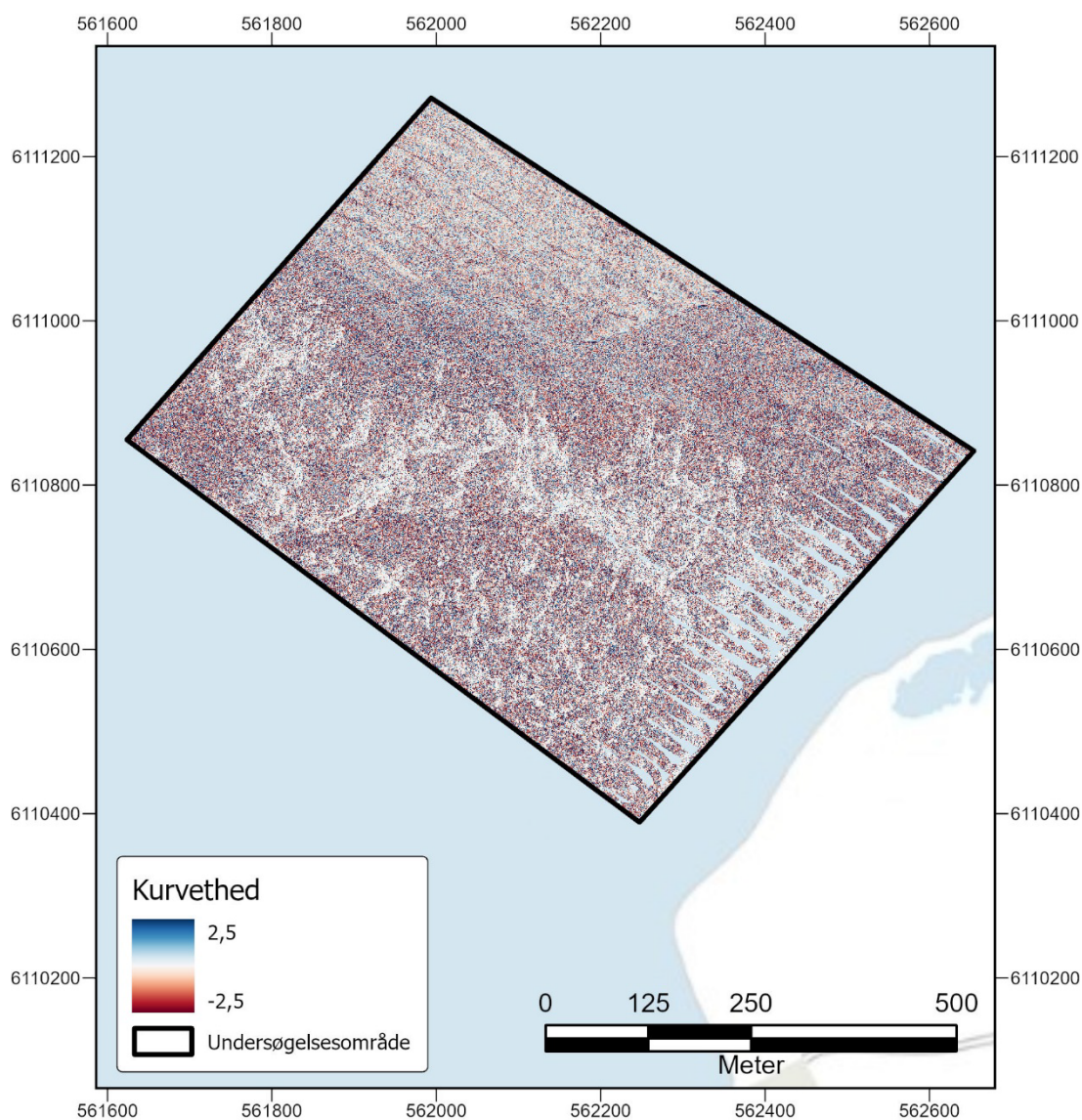


Figur 3-5. Hældninger i området Helnæs UNO2.

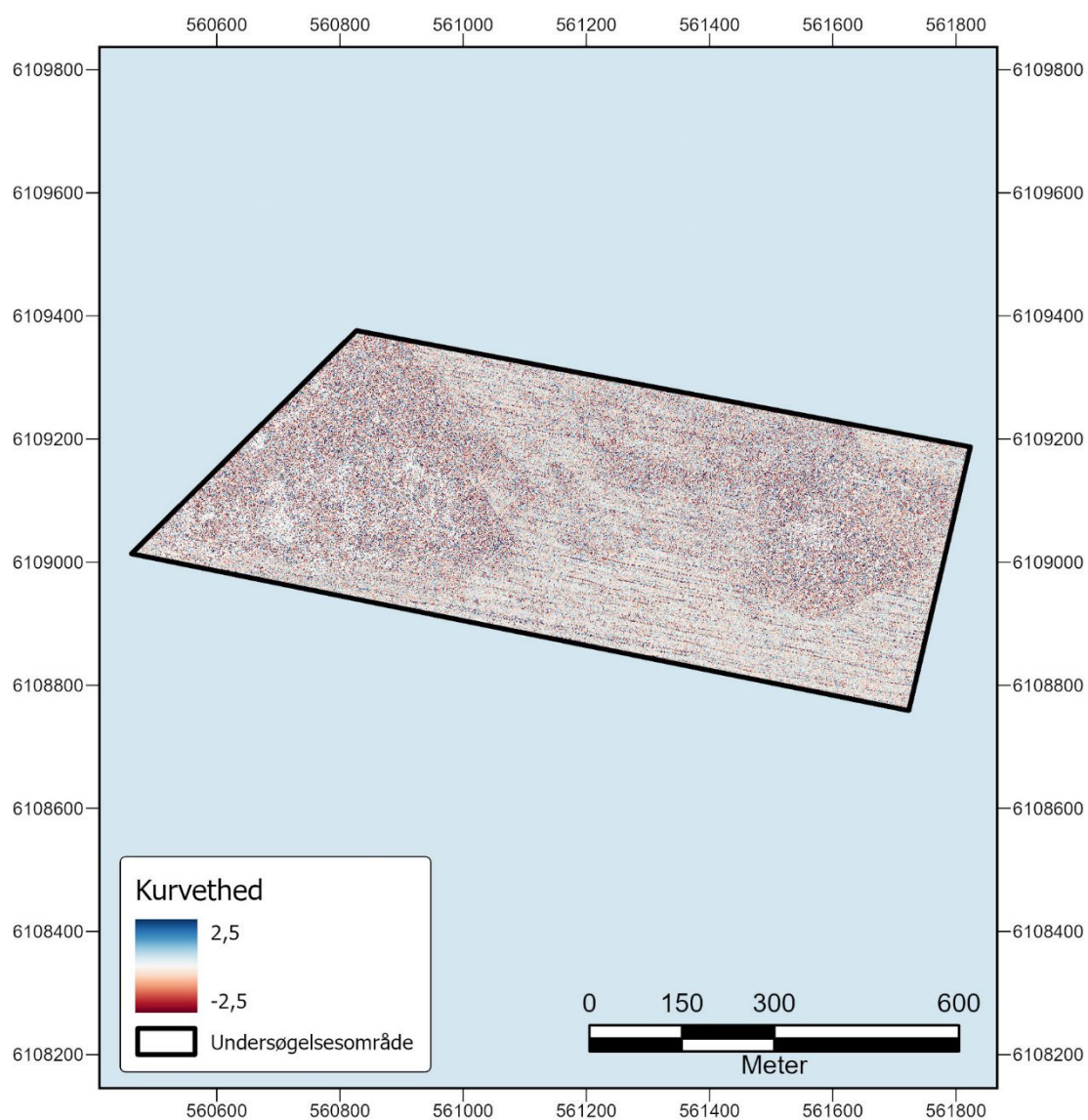


Figur 3-6. Hældninger i området ved Lyø.

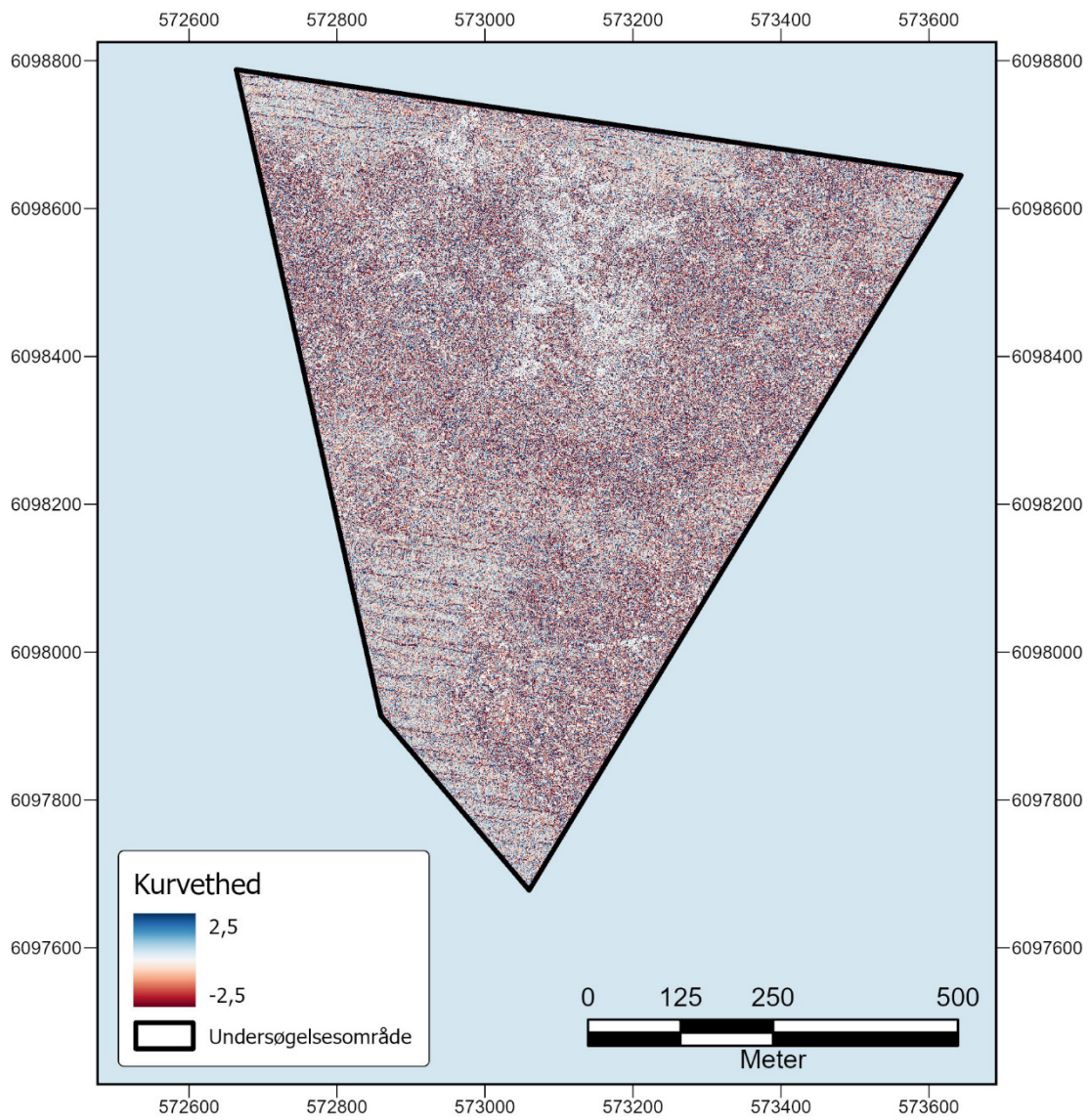
Kort for kurvethed for hvert af de tre undersøgelsesområder er vist i Figur 3-7, Figur 3-8 og Figur 3-9. Ved Helnæs UNO1 ses et fladt område i det nordvestlige hjørne, mens resten af området er uden nogen nævneværdig tendens. Helnæs UNO2 er fladt i den sydøstlige del. Dette flade areal breder sig ind over den centrale del af området og fortsætter i et smallere bælte mod det nordvestlige hjørne af området. Resten af området er uden større sammenhængende arealer kendetegnet ved en bestemt kurvethed. For Lø er der flade områder i den nordvestlige og sydvestlige del.



Figur 3-7. Profilkurvethed i området Helnæs UNO1.

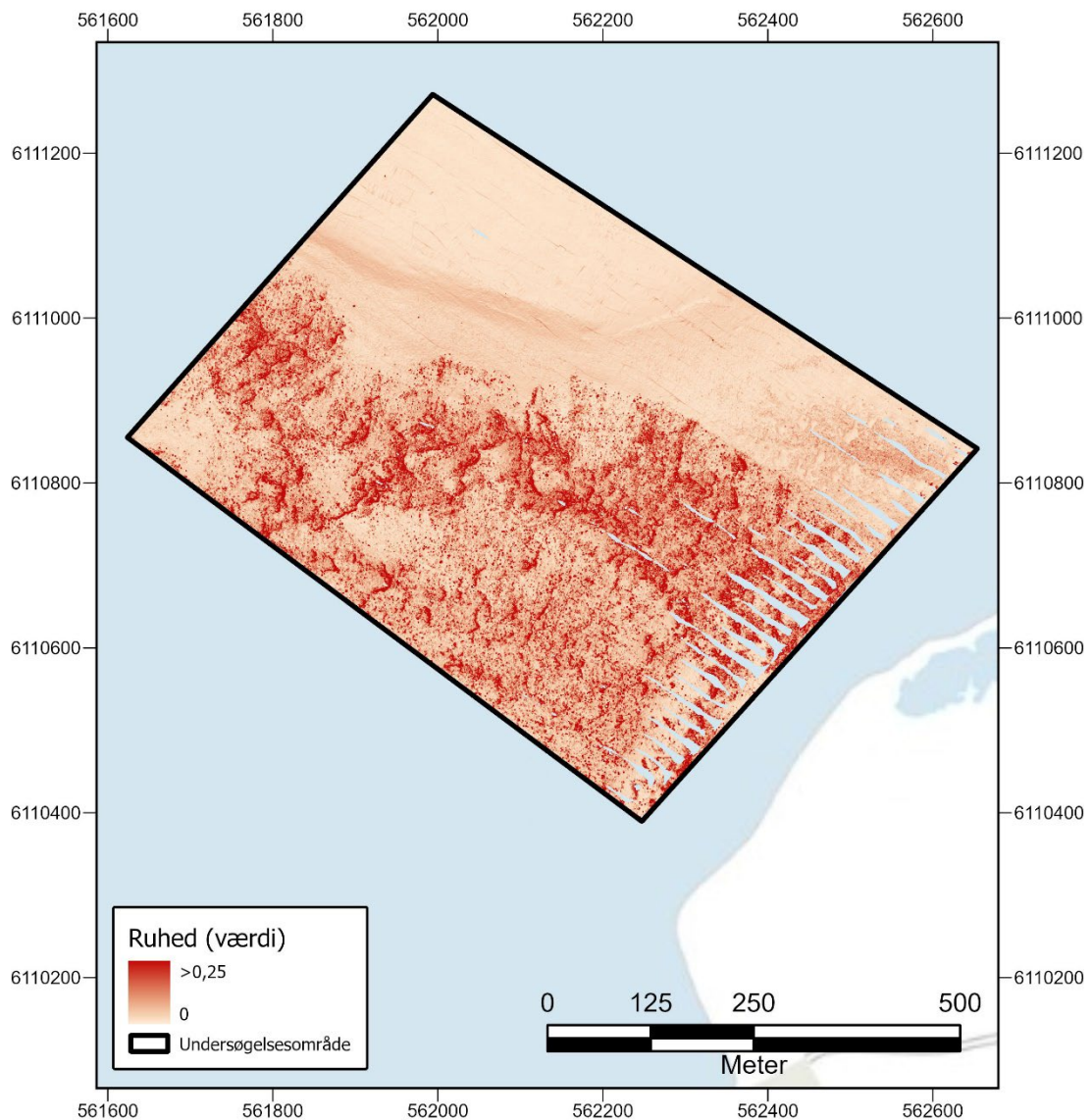


Figur 3-8. Profilkurvethed i området Helnæs UNO2.

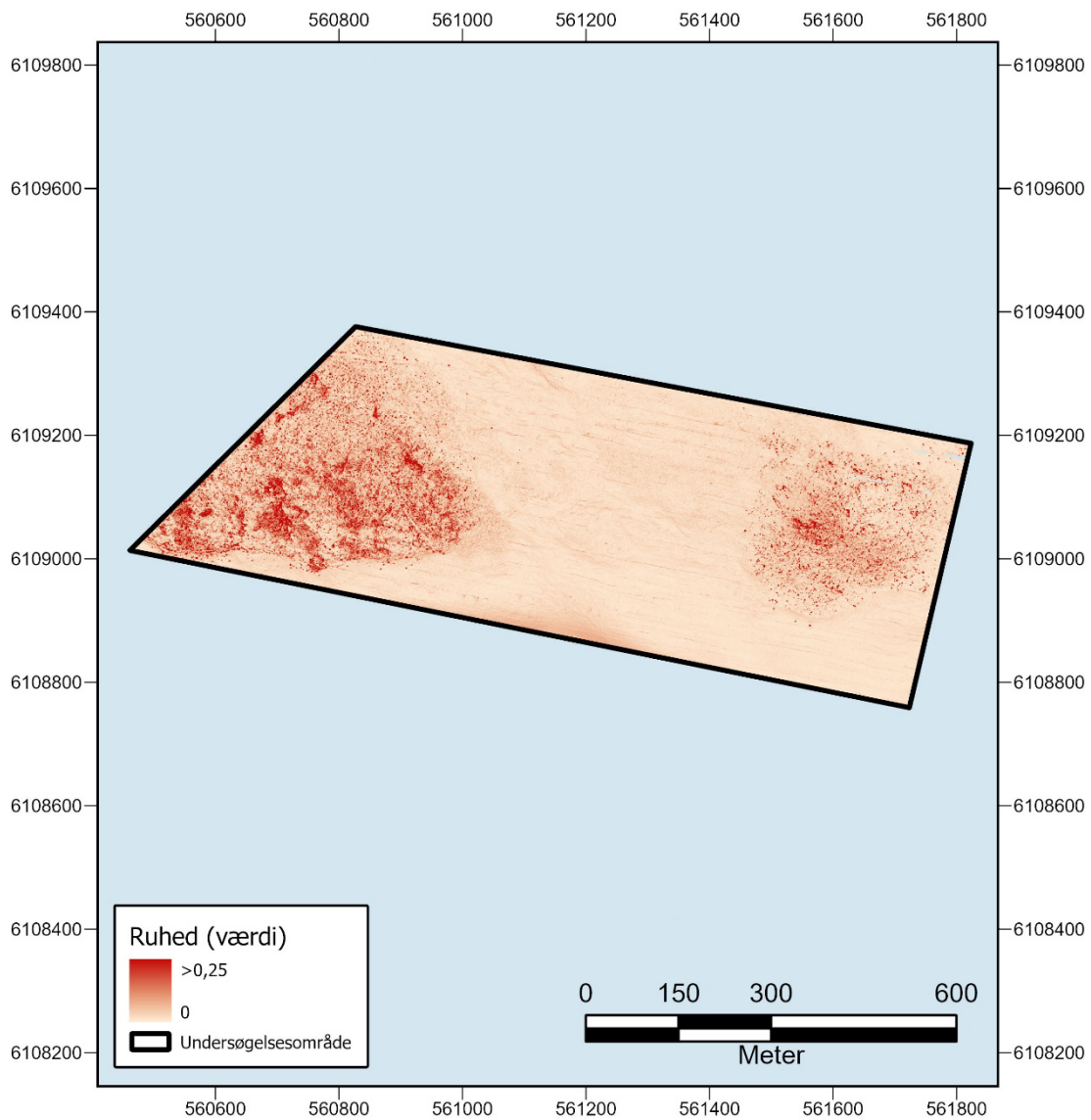


Figur 3-9. Profilkurvethed i området ved Lyø.

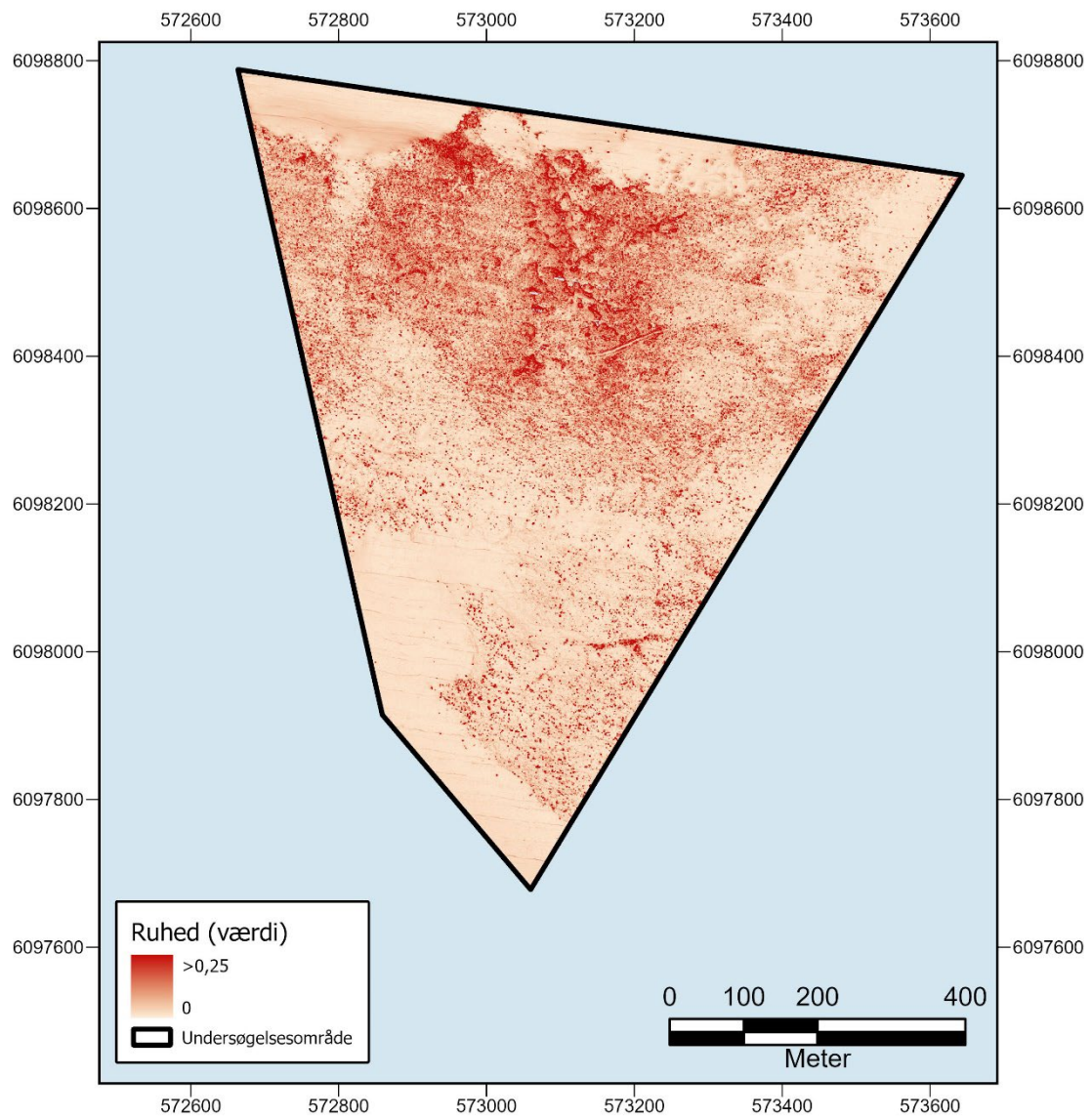
Ruhedskort for hvert af de tre undersøgelsesområder er vist i Figur 3-10, Figur 3-11 og Figur 3-12. Helnæs UNO1 er præget af lave ruheder i områdets nordlige del. Havbunden i den resterende del af Helnæs UNO1 er karakteriseret af højere ruheder. Helnæs UNO2 er overordnet præget af lave ruheder, men indeholder to områder med større ruhed, hhv. beliggende i områdets østlige og vestlige dele. Ved Lyø er der mindre områder med lave ruheder langs den nordlige afgrænsning samt i områdets sydvestlige hjørne. De største ruheder er beliggende centralt i områdets nordlige halvdel.



Figur 3-10. Ruhed i området Helnæs UNO1.

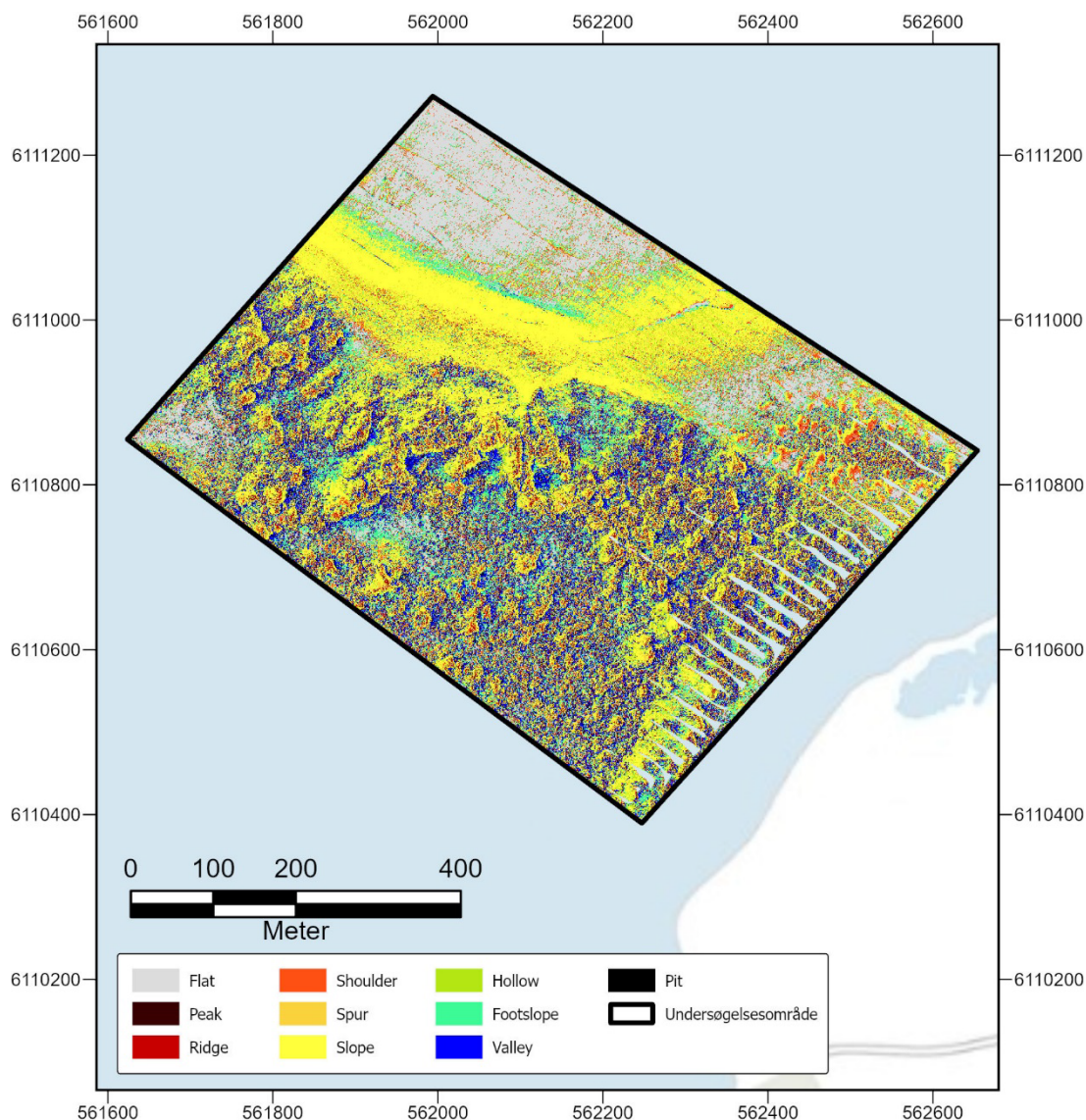


Figur 3-11. Ruhed i området Helnæs UNO2.

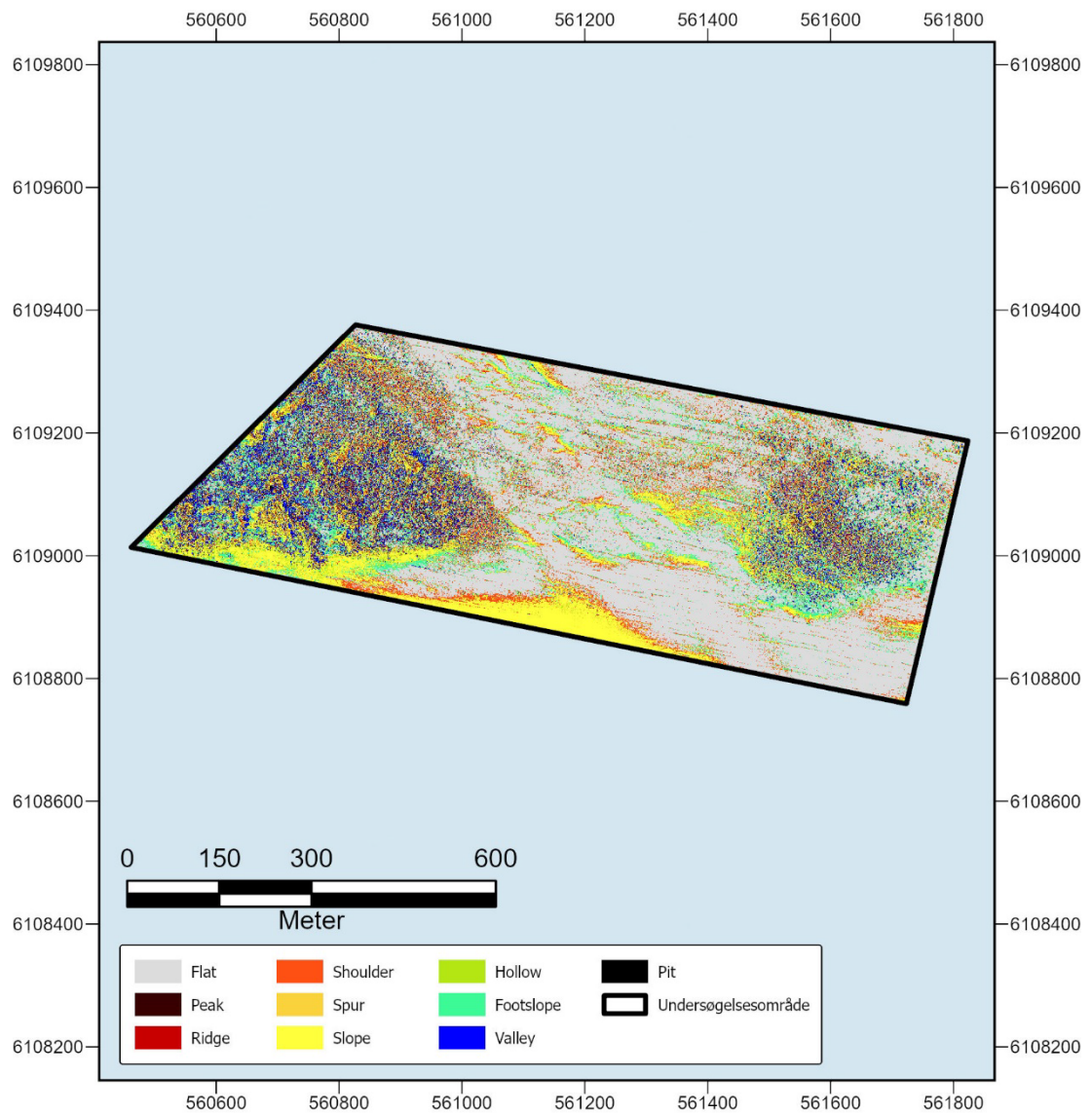


Figur 3-12. Ruhed i området ved Lyø.

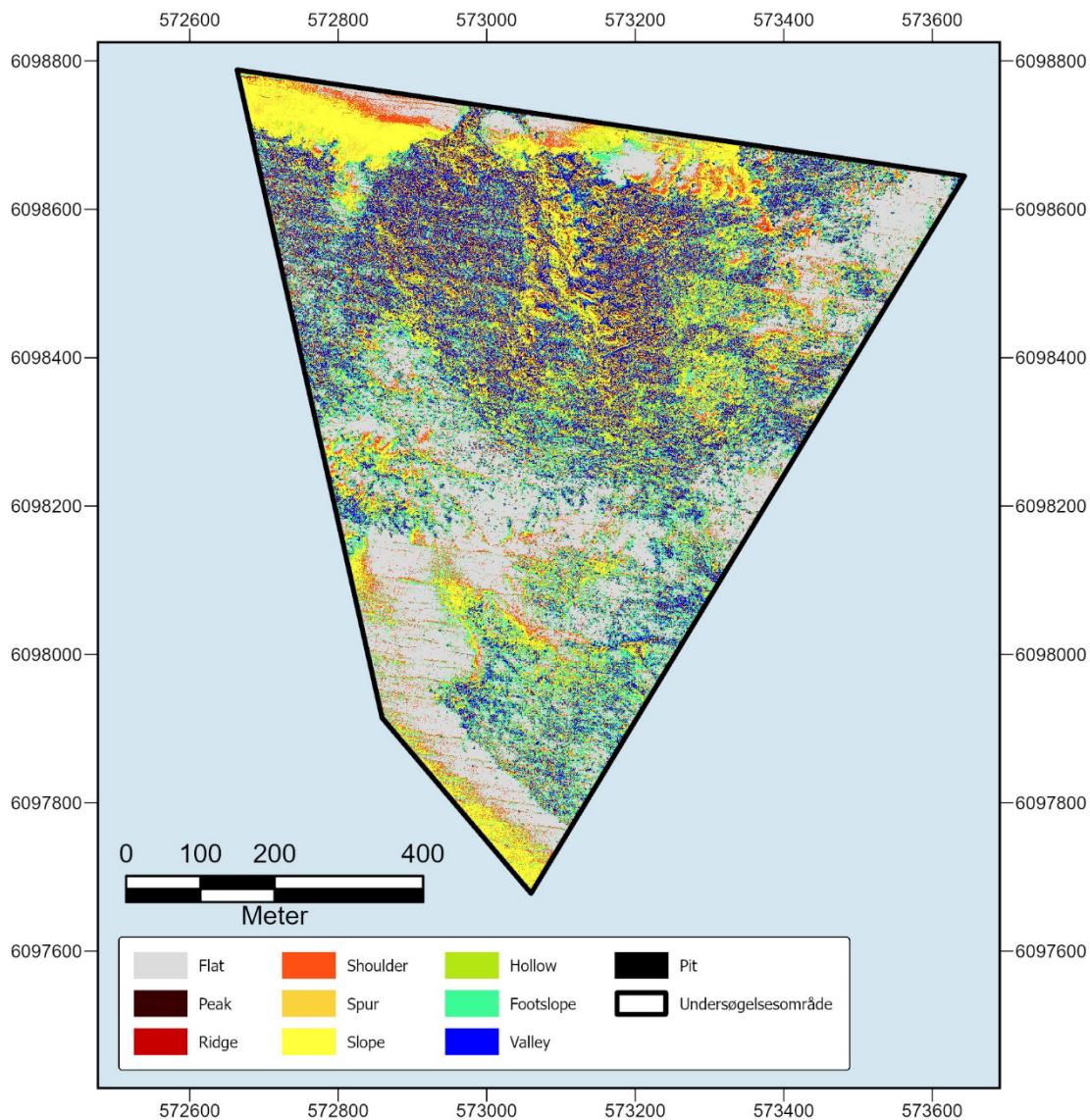
Landskabsformer for hvert af de tre undersøgelsesområder baseret på geomorphons er vist i Figur 3-13, Figur 3-14 og Figur 3-15. Det nordvestlige hjørne af Helnæs UNO1 er præget af et større sammenhængende område klassificeret som Flat, med det tilstødende areal klassificeret som Slope. Den resterende del af Helnæs UNO1 er uden større sammenhængende områder klassificeret under én kategori. I Helnæs UNO2 er en stor del af området klassificeret som Flat, men Helnæs UNO2 indeholder to arealer uden større sammenhængende områder klassificeret under én kategori, hhv. beliggende i områdets østlige og vestlige ender. Ved Lyø er der mindre sammenhængende områder, der er klassificeret som Flat langs den nordlige afgrænsning samt større arealer i områdets sydvestlige hjørne, strækkende sig ind i den centrale del af området.



Figur 3-13. Kortlagte landskabsformer (jf. ArcGIS Geomorphon landform analyse) i området Helnæs UNO1.



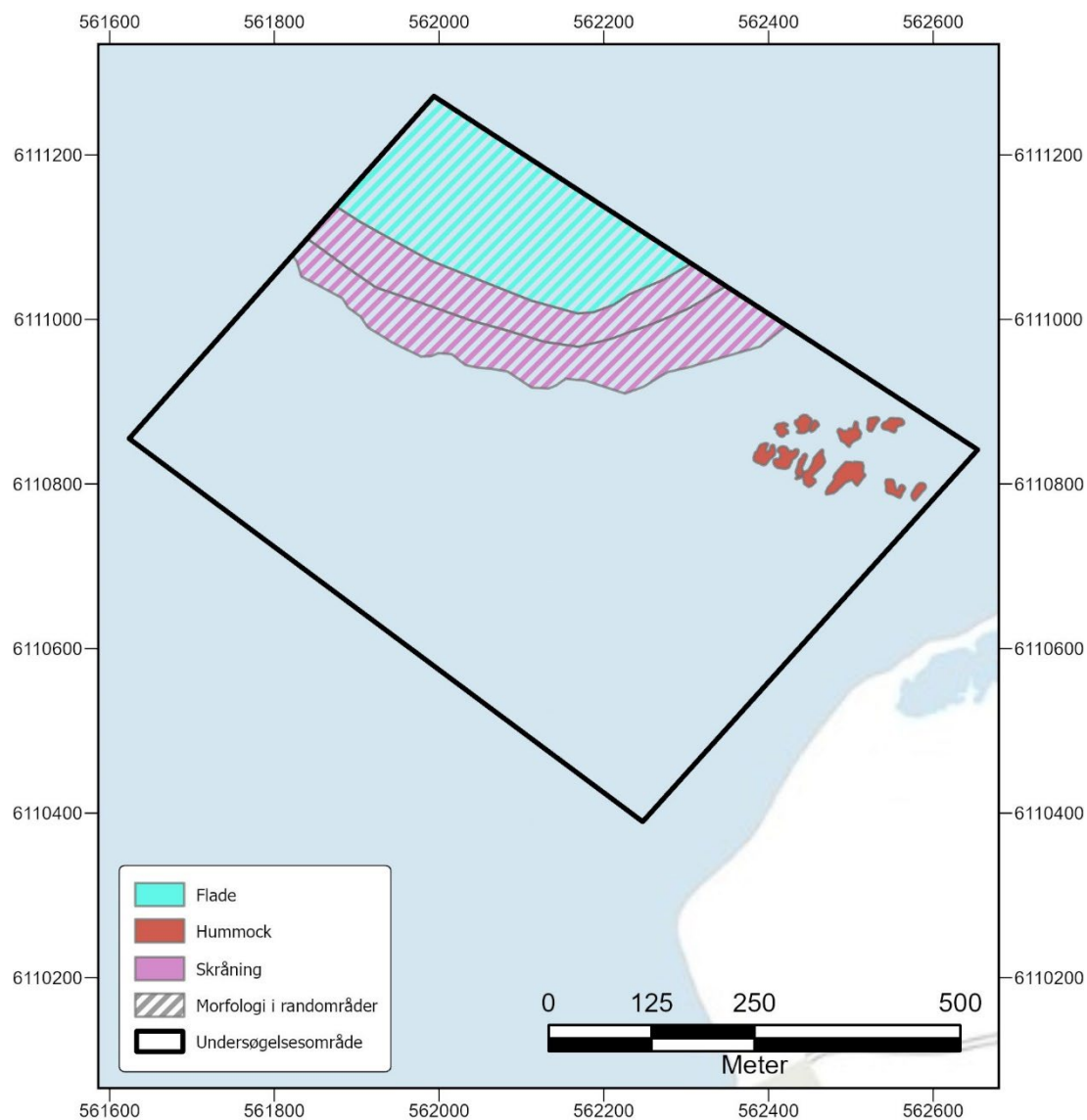
Figur 3-14. Kortlagte landskabsformer (jf. ArcGIS Geomorphon landform analyse) i området Helnæs UNO2.



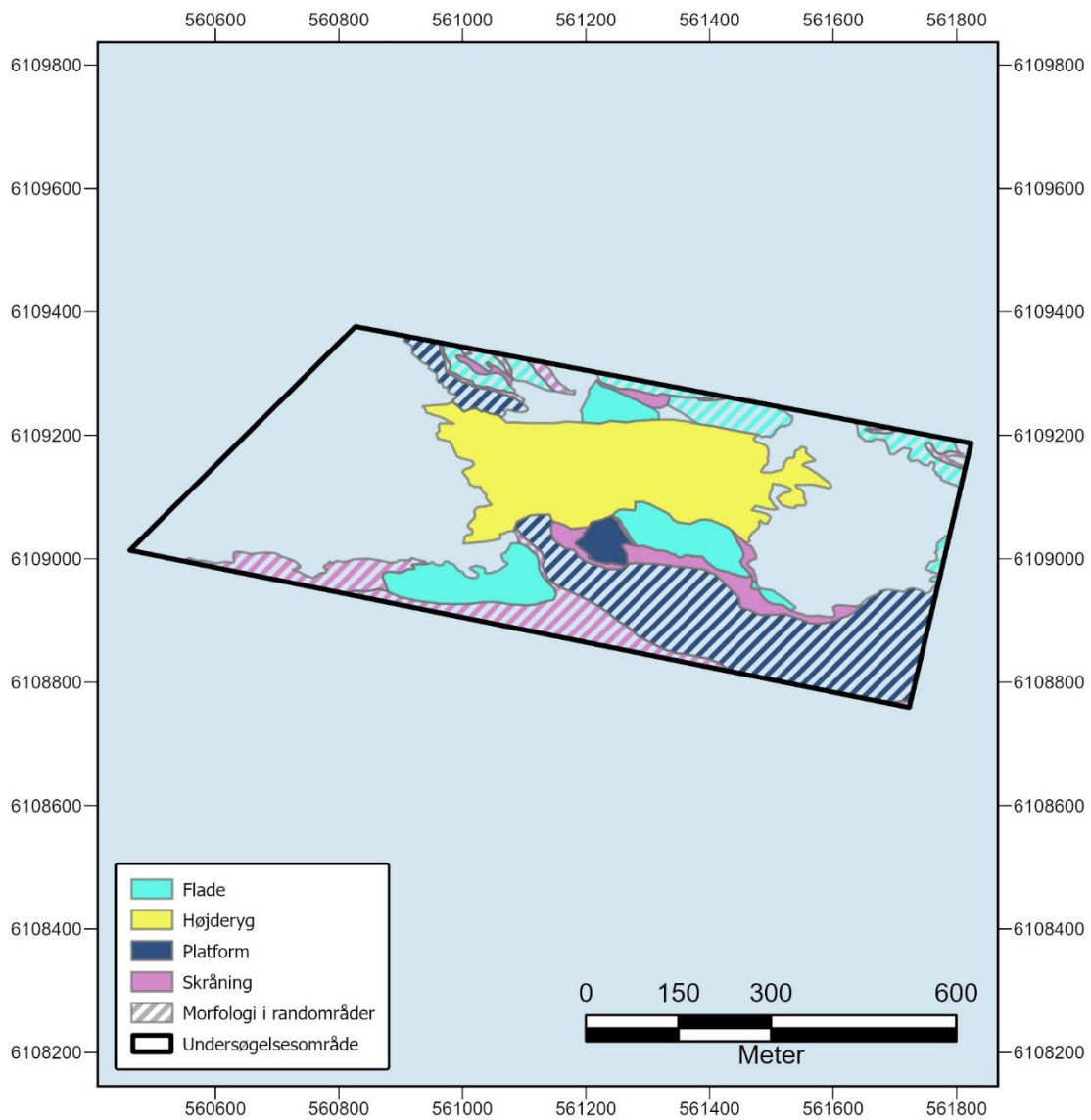
Figur 3-15. Kortlagte landskabsformer (jf. ArcGIS Geomorphon landform analyse) i området ved Lyø.

Morfologiske enheder er kortlagt i hvert af de tre undersøgelsesområder (Figur 3-16, Figur 3-17 og Figur 3-18). Der er kortlagt fem forskellige morfologiske enheder: Flade, Hummock, Højderyg, Platform og Skråning. Morfologiske enheder kortlagt i områdernes randområder er skraveret for at markere usikkerheden forbundet med ikke at kende den morfologiske enheds fulde form (jf. afsnit 4.1). Ved Helnæs UNO1 er de morfologiske elementer Flade og Skråning kortlagt i den nordlige del af området, mens der i den østlige del er kortlagt flere små Hummocks. Tilsvarende morfologiske enheder er kortlagt ved Lyø, idet Hummocks er kortlagt i det nordøstlige hjørne af området mens Flade og Skråning hovedsageligt er kortlagt i den nordlige og sydvestlige del. I Helnæs UNO2 er der udover Flader, Skråninger og Hummocks kortlagt en højderyg og platforme. Højderyggen er lokaliseret

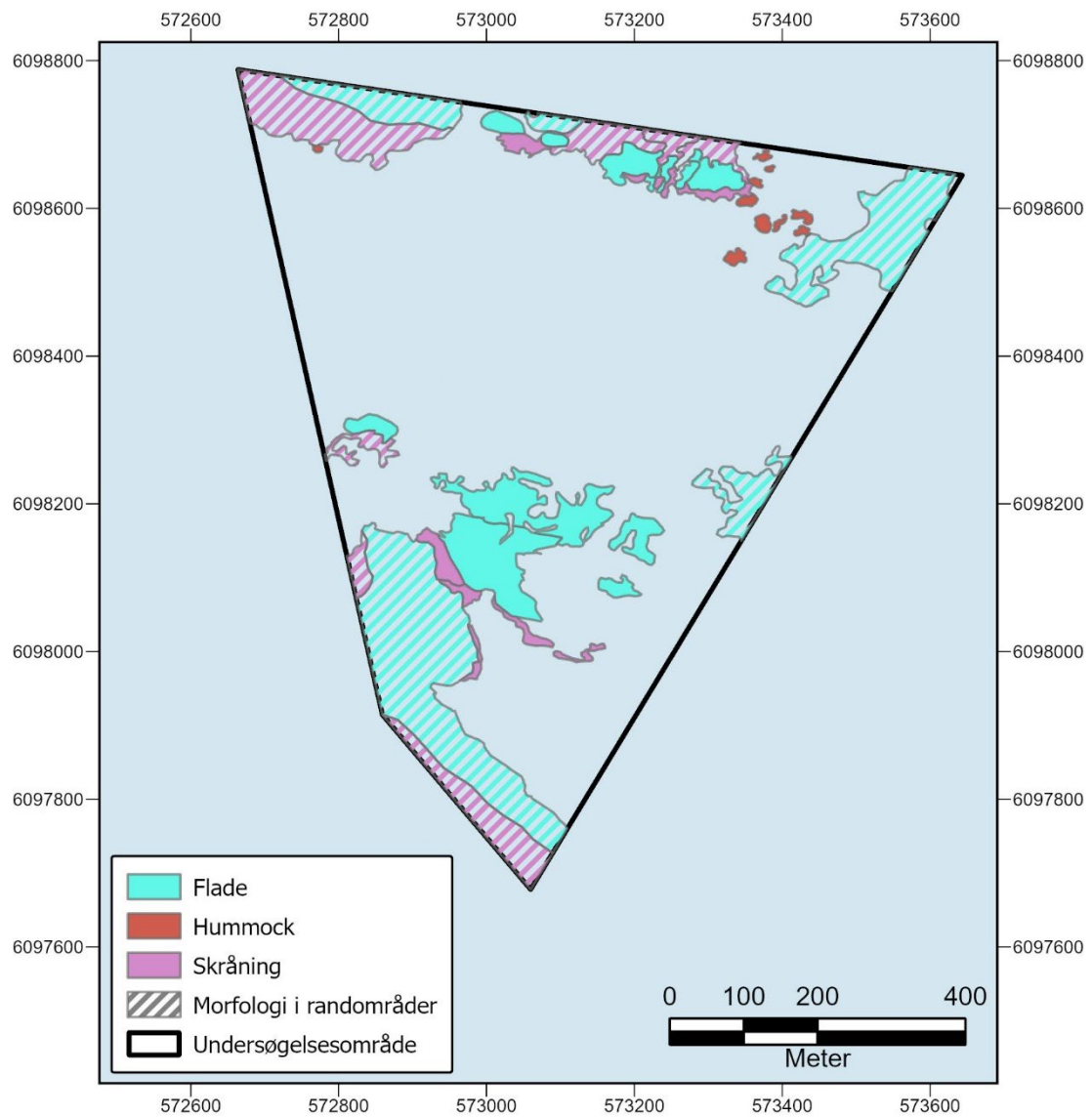
centralt i området. De kortlagte platforme går på tværs af området fra det sydøstlige hjørne til det nordvestlige hjørne på hver side af højderyggen.



Figur 3-16. Morfologiske enheder i Helnæs UNO1.



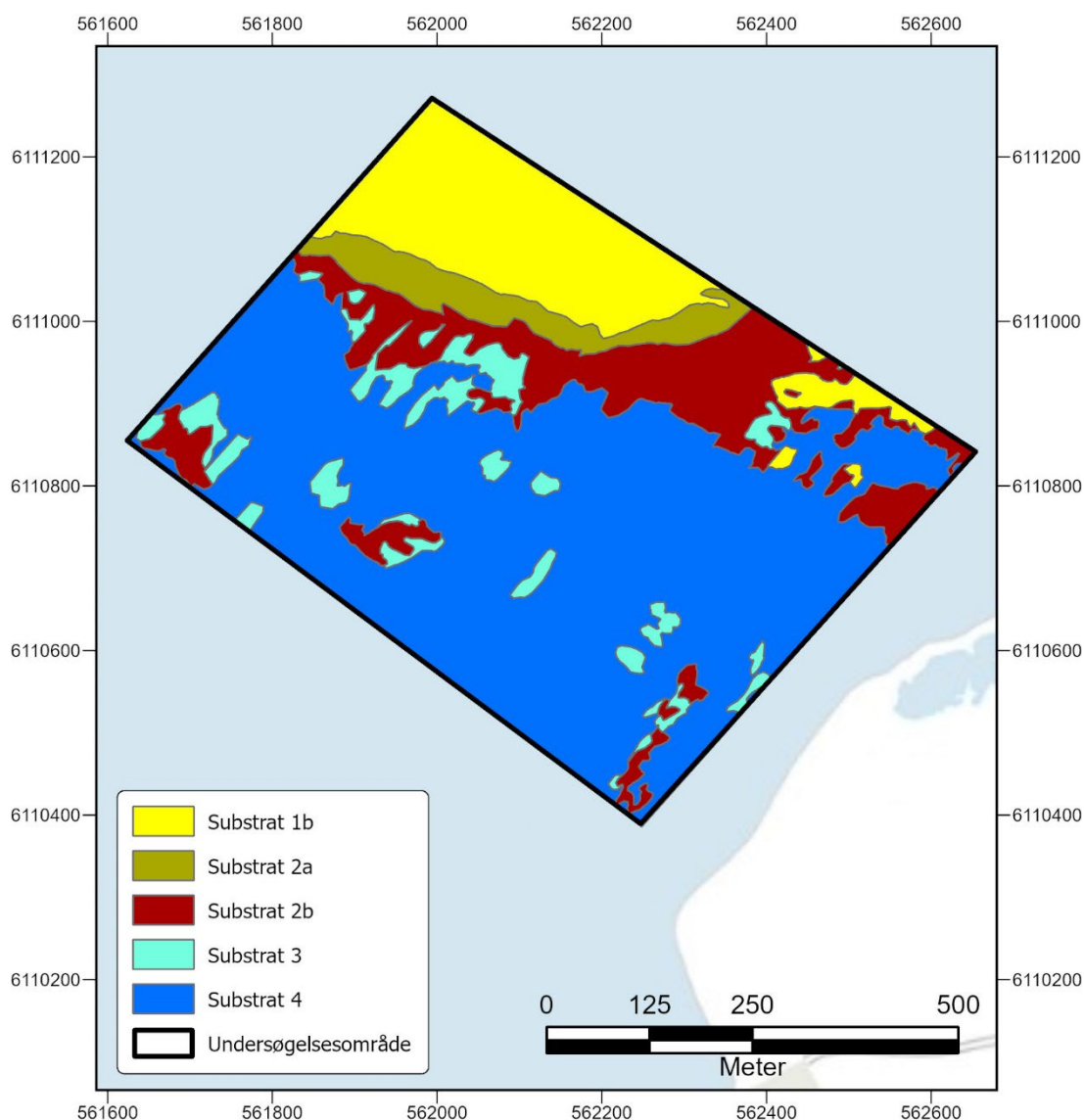
Figur 3-17. Morfologiske enheder i Helnæs UNO2.



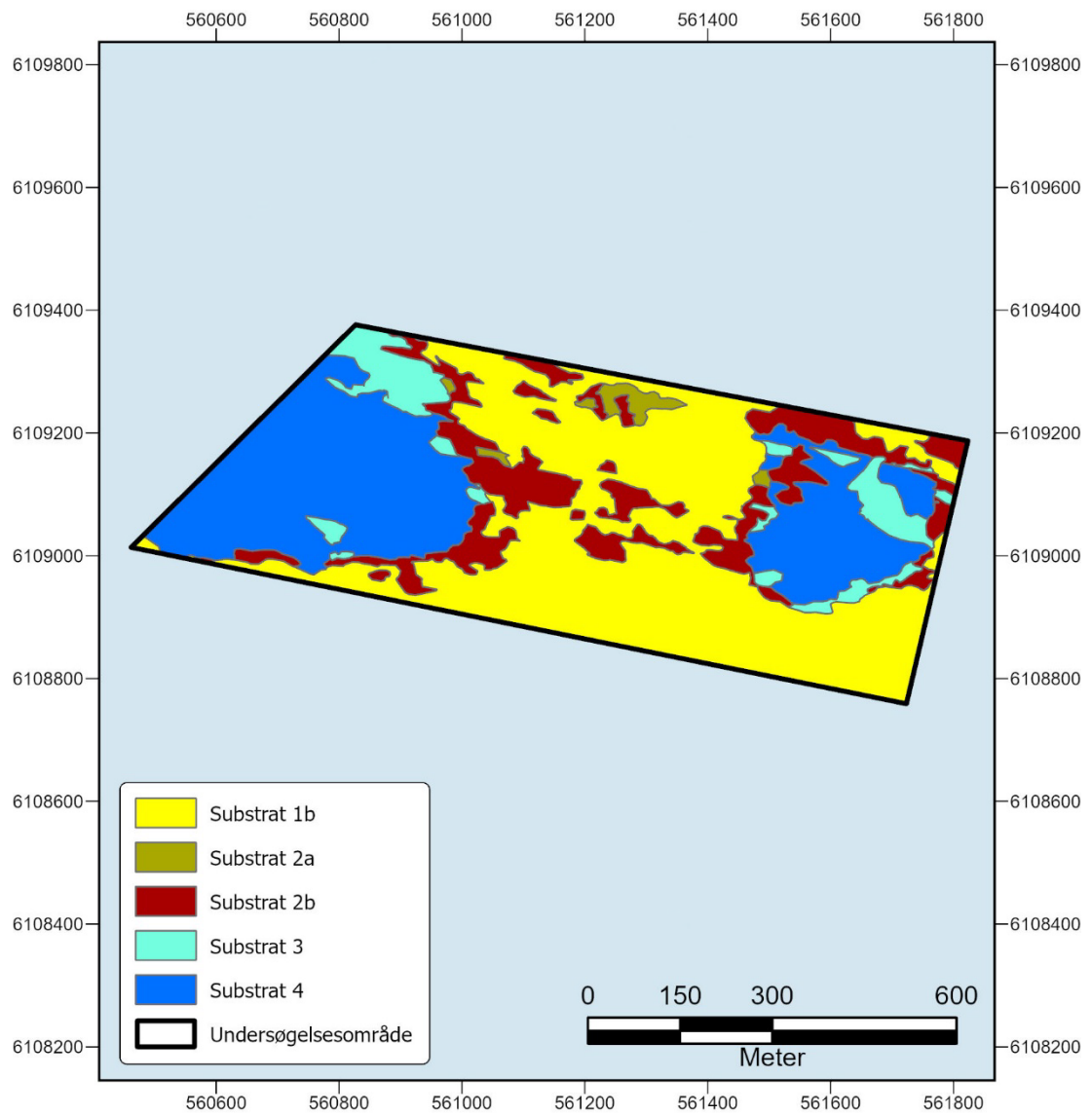
Figur 3-18. Morfologiske enheder ved Lyø.

3.2 Havbundens substrattyper

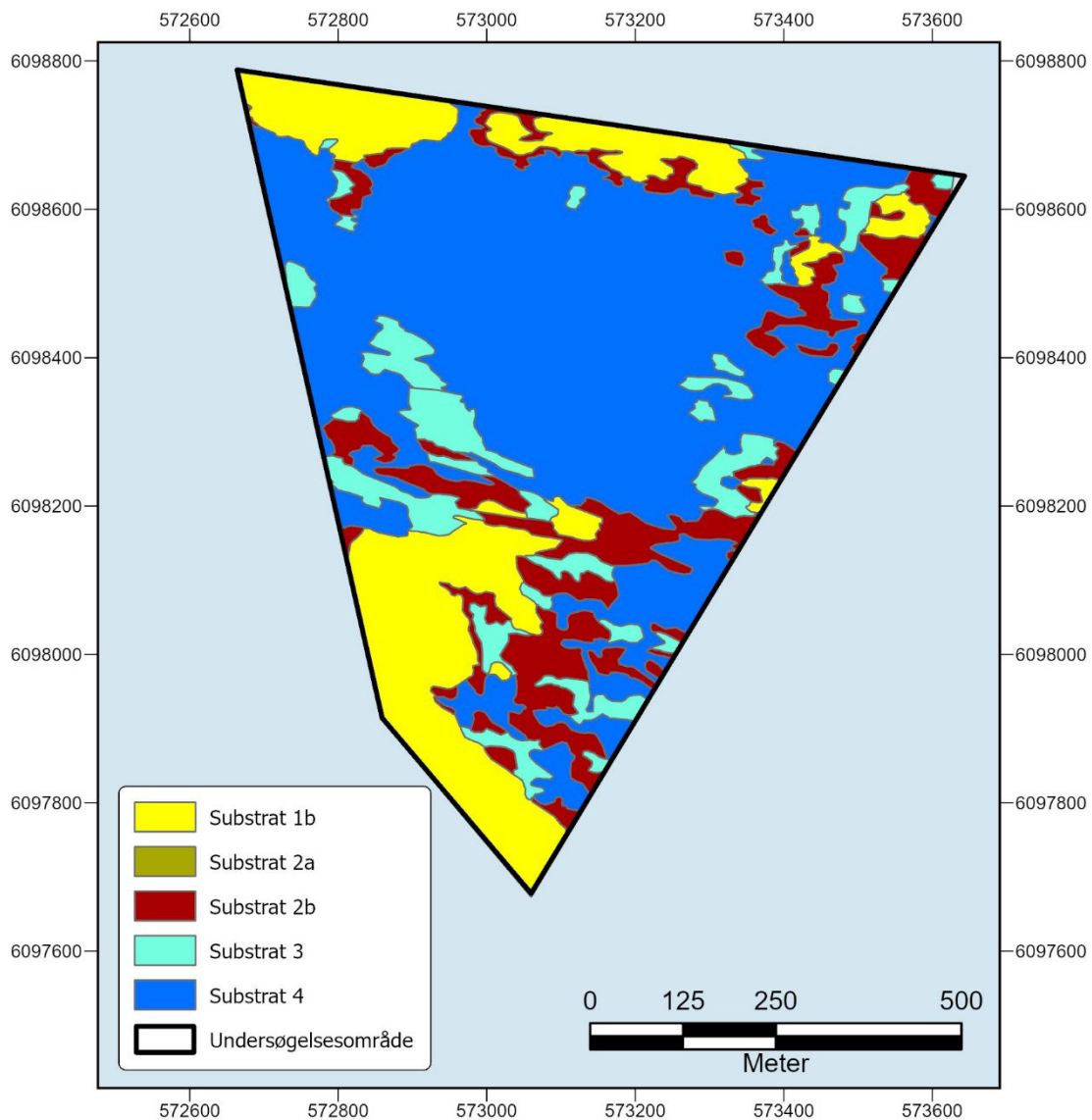
Fordelingen af substrattyper er vist i Figur 3-19, Figur 3-20 og Figur 3-21. Over halvdelen af arealet i undersøgelsesområdet Helnæs UNO1 samt ved Lyø er klassificeret som substrattype 4 (Tabel 3-1). Kun i det nordlige hjørne af Helnæs UNO1 findes et større sammenhængende område med bløde substrater (substrattype 1b og 2a). Ved Lyø præger hårde substrater den centrale og østlige del af området, mens der er områder med bløde substrater i det nordlige og sydvestlige hjørne. I området Helnæs UNO2 udgøres 31% af arealet af substrattype 4, mens substrattype 1b udgør 45%. Her er de hårde substrater koncentreret i to områder, hhv. i den vestlige og østlige del af området.



Figur 3-19. Substrattyper i området Helnæs UNO1.



Figur 3-20. Substrattyper i området Helnæs UNO2.

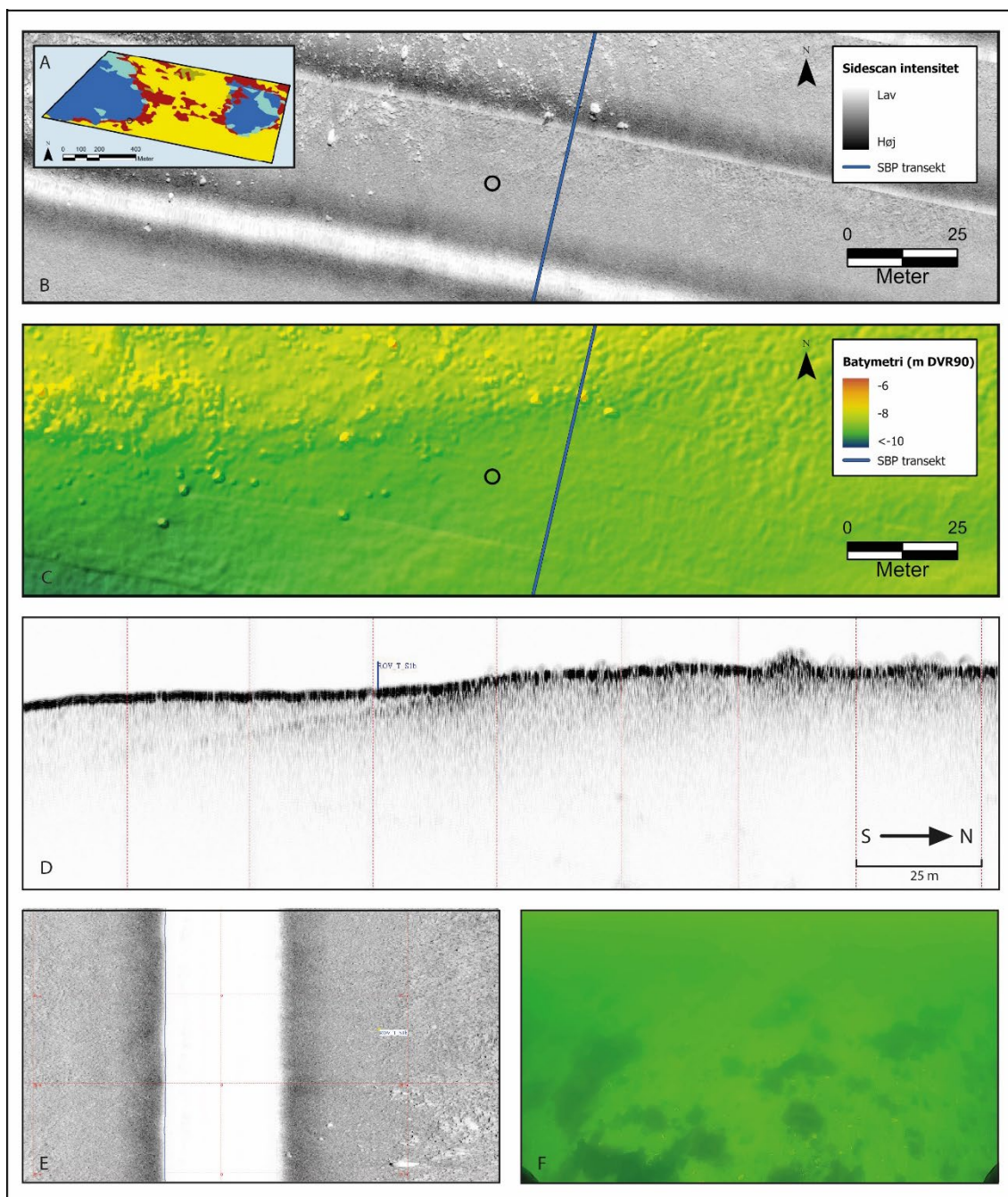


Figur 3-21. Substrattyper i området ved Lyø.

Tabel 3-1. Oversigt over den arealmæssige udbredelse af hver enkelt substrattype inden for undersøgelsesområderne.

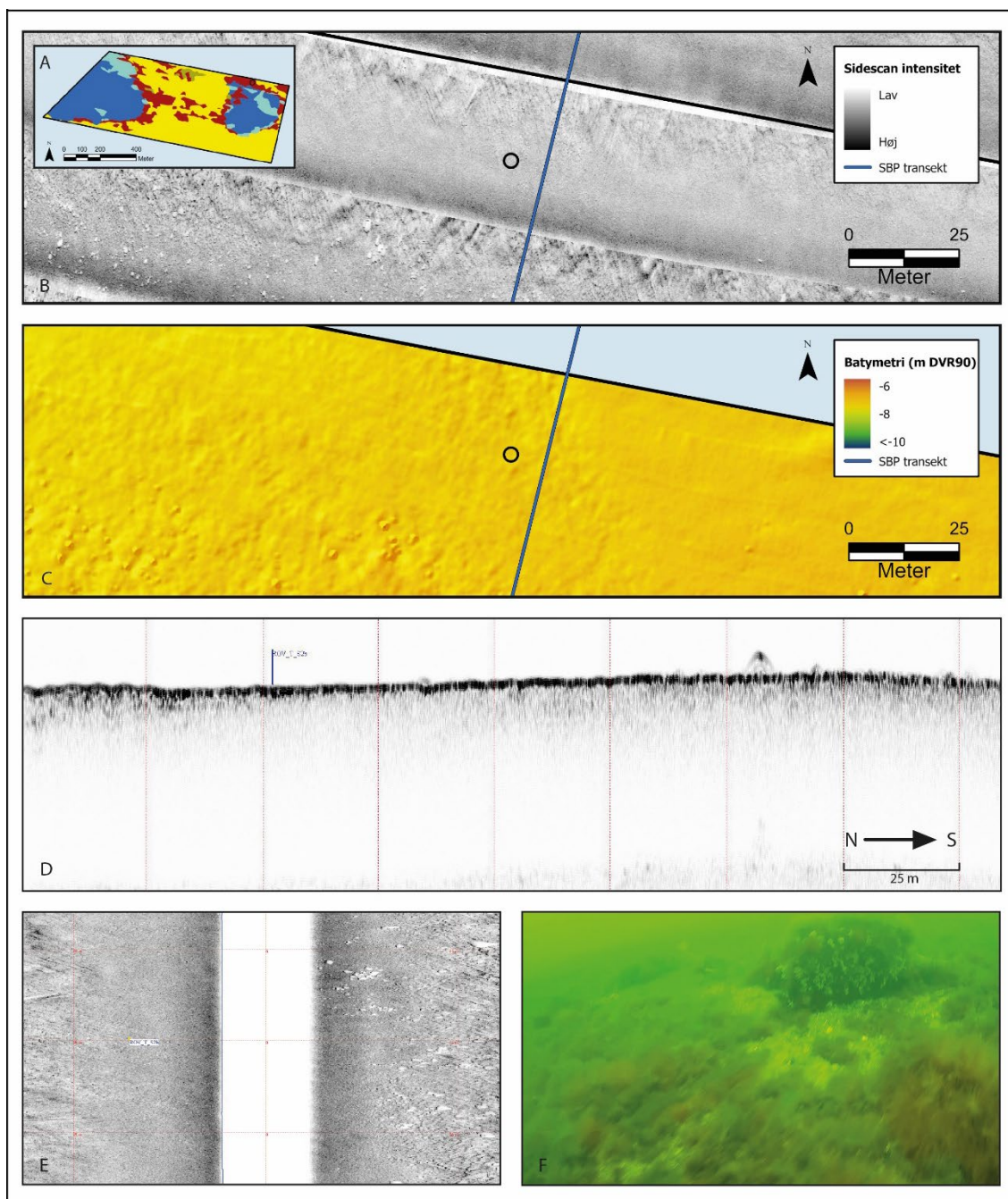
	Helnæs UNO1		Helnæs UNO2		Lyø	
	Areal [m ²]	Andel [%]	Areal [m ²]	Andel [%]	Areal [m ²]	Andel [%]
Substrat 1b	69.259	15	225.525	45	115.270	20
Substrat 2a	20.852	5	6.320	1	-	-
Substrat 2b	68.415	15	77.323	16	83.229	14
Substrat 3	27.219	6	34.676	7	59.330	10
Substrat 4	266.929	59	154.132	31	321.445	55

Eksempel på datagrundlaget for udpegningen af substrattype 1b fremgår af Figur 3-22. Substrattype 1b er karakteriseret ved en sandet bund med varierende indslag af skaller, silt og grus.



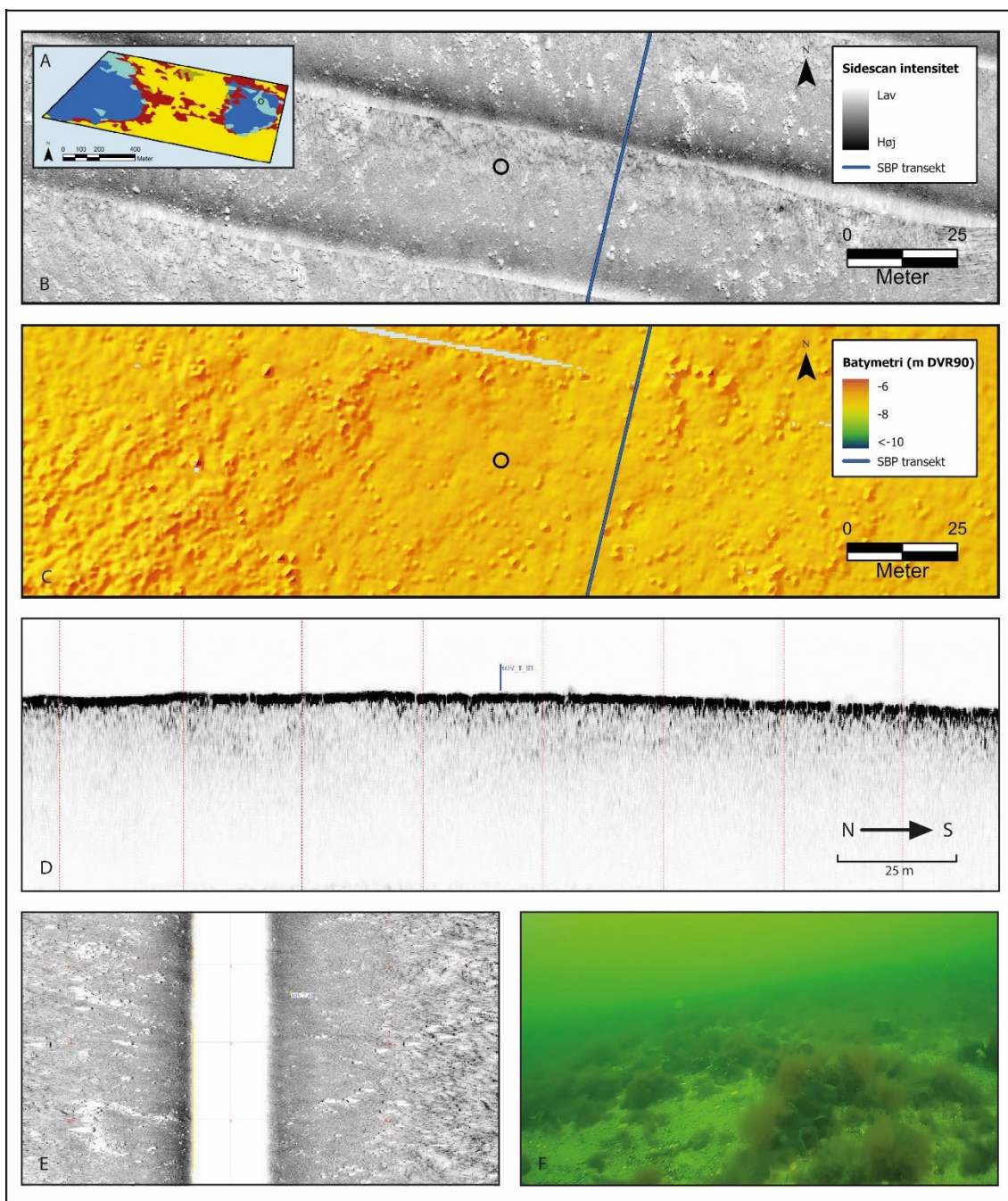
Figur 3-22. Datagrundlag for udpegning af substrattype 1b ved Helnæs UNO2. A: Oversigtskort med substrattyper og ROV-stationens position (sort cirkel). For signaturforklaring se Figur 3-20. B: Sidescan mosaik. Sort cirkel angiver ROV-stationens faktiske position. C: Batymetrisk model (0,5 m x 0,5 m celleopløsning) overlagt med skyggeeffekt. D: Seismisk profil indsamlet med SBP med indikation af ROV-stationens placering. Afstand mellem vertikale røde linjer på 25 m. E: Sidescan dataanalyse-vindue i SonarWiz 7 inddelt i 25m x 25m grid. Gul prik indikerer ROV-stationens udpegede position. F: ROV-billede af substrattypen.

Eksempel på datagrundlaget for udpegningen af substrattype 2b fremgår af Figur 3-23. Substrattype 2b er domineret af sand og groft sand med varierende indslag af grus og småsten samt en dækningsgrad af større sten på op til 10 %.



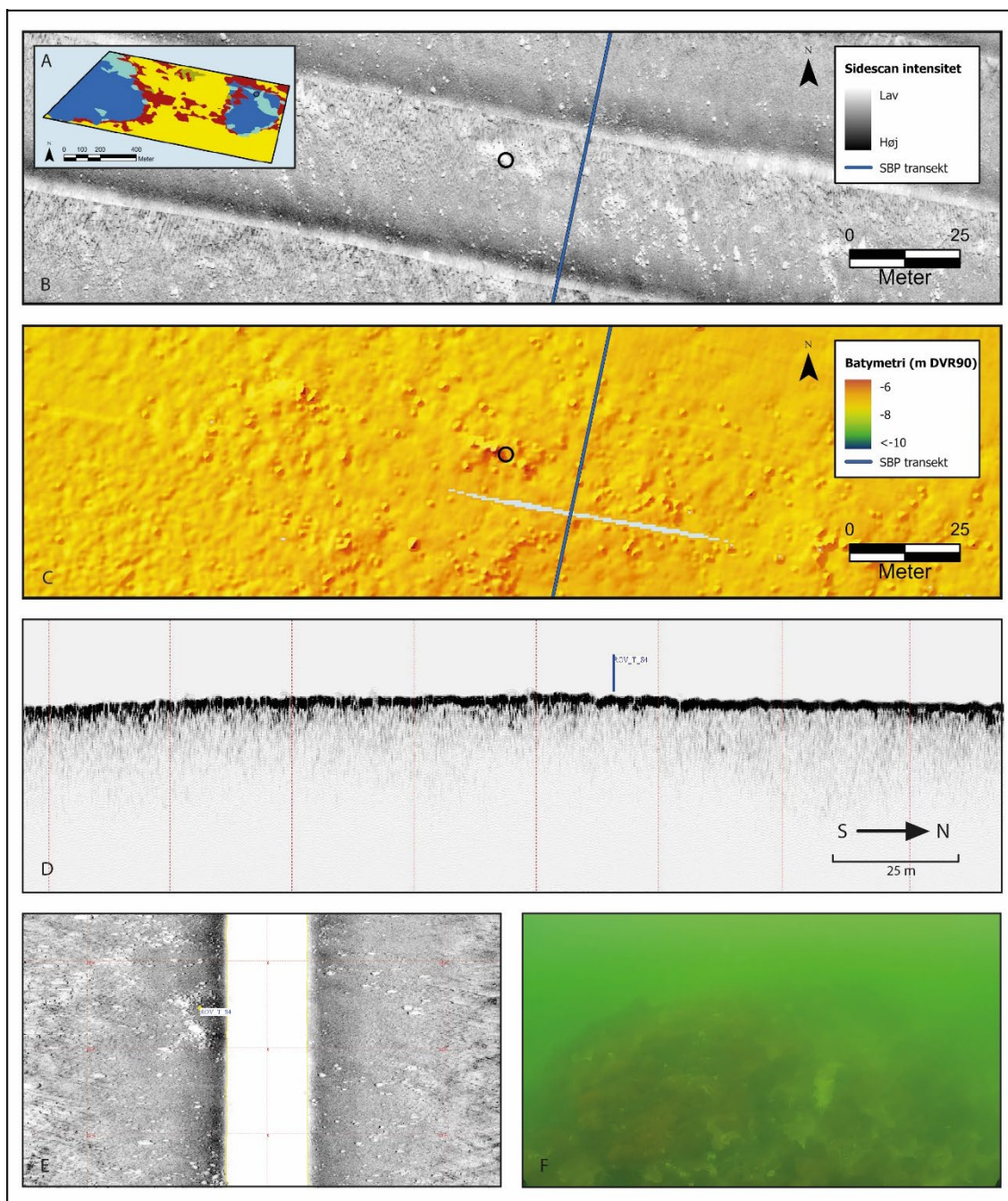
Figur 3-23. Datagrundlag for udpegning af substrattype 2b ved Helnæs UNO2. A: Oversigtskort med substrattyper og ROV-stationens position (sort cirkel). For signaturforklaring se Figur 3 20. B: Sidescan mosaik. Sort cirkel angiver ROV-stationens faktiske position. C: Batymetrisk model (0,5 m x 0,5 m celleopløsning) overlagt med skyggeeffekt. D: Seismisk profil indsamlet med SBP med indikation af ROV-stationens placering. Afstand mellem vertikale røde linjer på 25 m. E: Sidescan dataanalyse-vindue i SonarWiz 7 inddelt i 25m x 25m grid. Gul prik indikerer ROV-stationens udpegede position. F: ROV-billede af substrattypen.

Eksempel på datagrundlaget for udpegningen af substrattype 3 fremgår af Figur 3-24. Substrattype 3 er karakteriseret ved varierende indslag af sand, grus og småsten og med bestrøning af større sten med en dækningsgrad på 10 % - 25 %.



Figur 3-24. Datagrundlag for udpegning af substrattype 3 ved Helnæs UNO2. A: Oversigtskort med substrattyper og ROV-stationens position (sort cirkel). For signaturforklaring se Figur 3 20. B: Sidescan mosaik. Sort cirkel angiver ROV-stationens faktiske position. C: Batymetrisk model (0,5 m x 0,5 m celleopløsning) overlagt med skyggeeffekt. D: Seismisk profil indsamlet med SBP med indikation af ROV-stationens placering. Afstand mellem vertikale røde linjer på 25 m. E: Sidescan dataanalyse-vindue i SonarWiz 7 inddelt i 25m x 25m grid. Gul prik indikerer ROV-stationens udpegede position. F: ROV-billede af substrattypen.

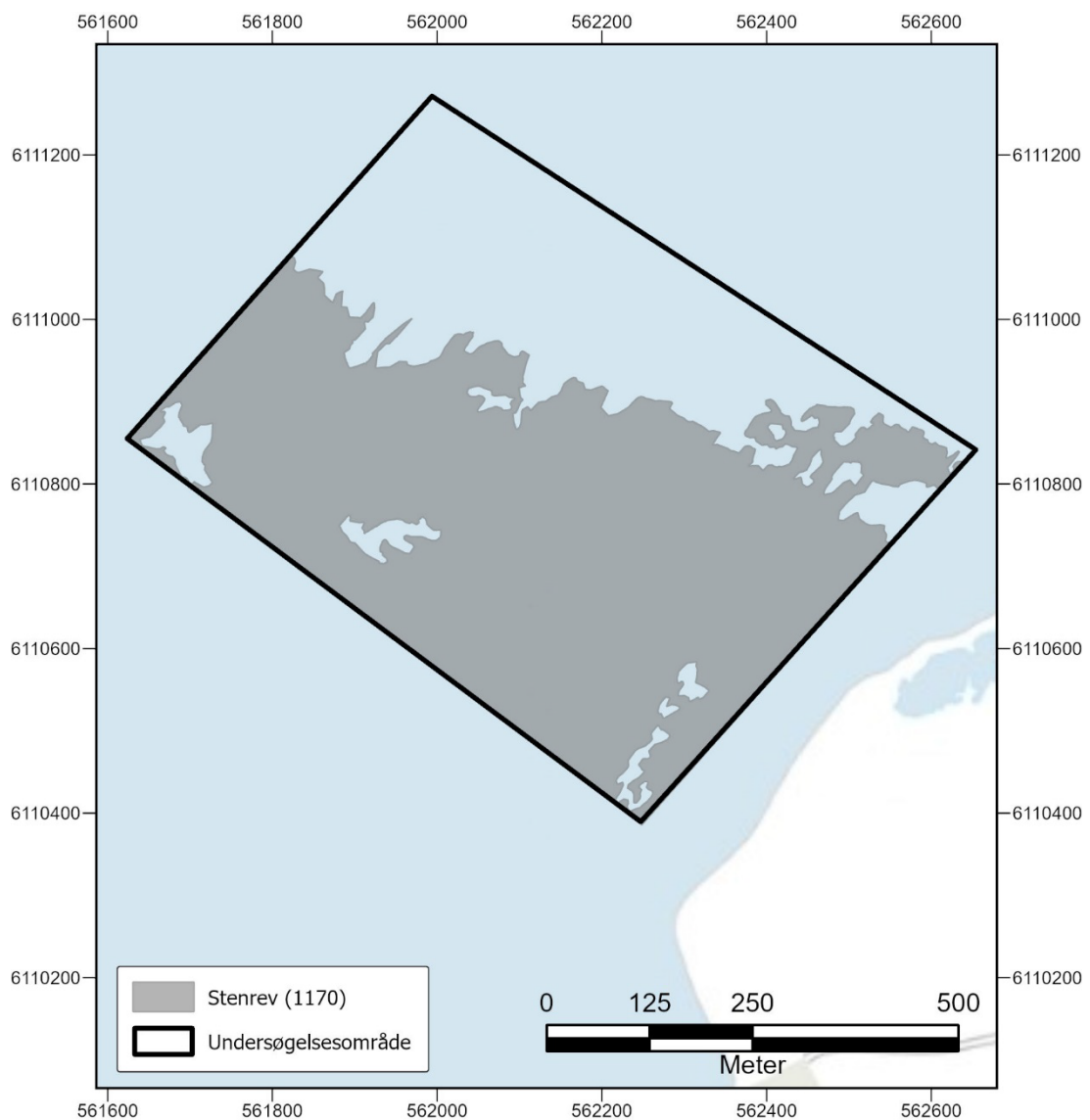
Eksempel på datagrundlaget for udpegningen af substrattype 4 fremgår af Figur 3-25. Substrattype 4 domineres af større sten med en dækningsgrad > 25 % og varierende indslag af sand, grus og småsten.



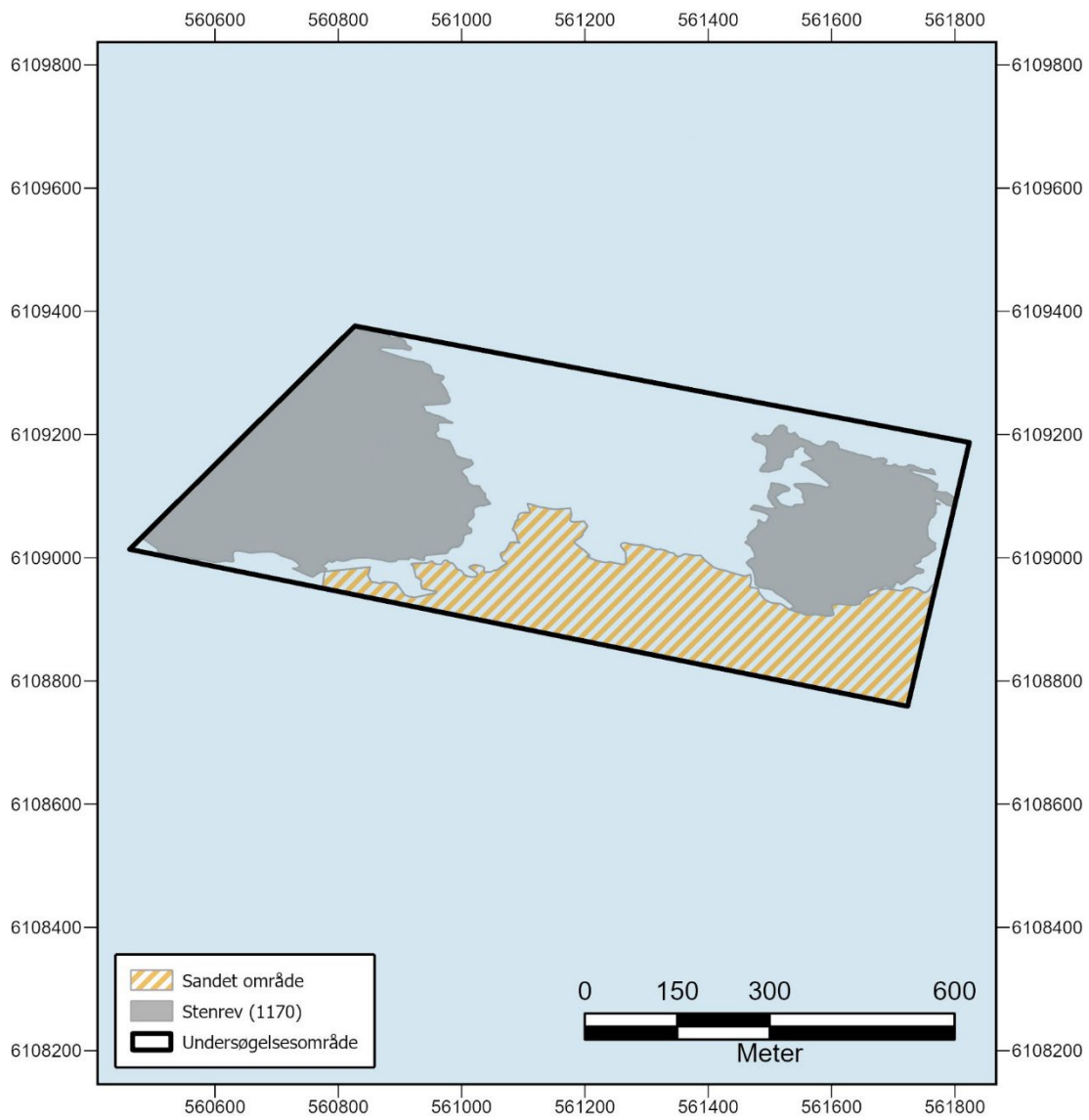
Figur 3-25. Datagrundlag for udpegning af substrattype 4 ved Helnæs UNO2. A: Oversigtskort med substrattyper og ROV-stationens position (sort cirkel). For signaturforklaring se Figur 3 20. B: Sidescan mosaik. Sort cirkel angiver ROV-stationens faktiske position. C: Batymetrisk model (0,5 m x 0,5 m celleopløsning) overlagt med skyggeeffekt. D: Seismisk profil indsamlet med SBP med indikation af ROV-stationens placering. Afstand mellem vertikale røde linjer på 25 m. E: Sidescan dataanalyse-vindue i SonarWiz 7 inddelt i 25m x 25m grid. Gul prik indikerer ROV-stationens udpegede position. F: ROV-billede af substrattypen.

3.3 Havbundens naturtyper

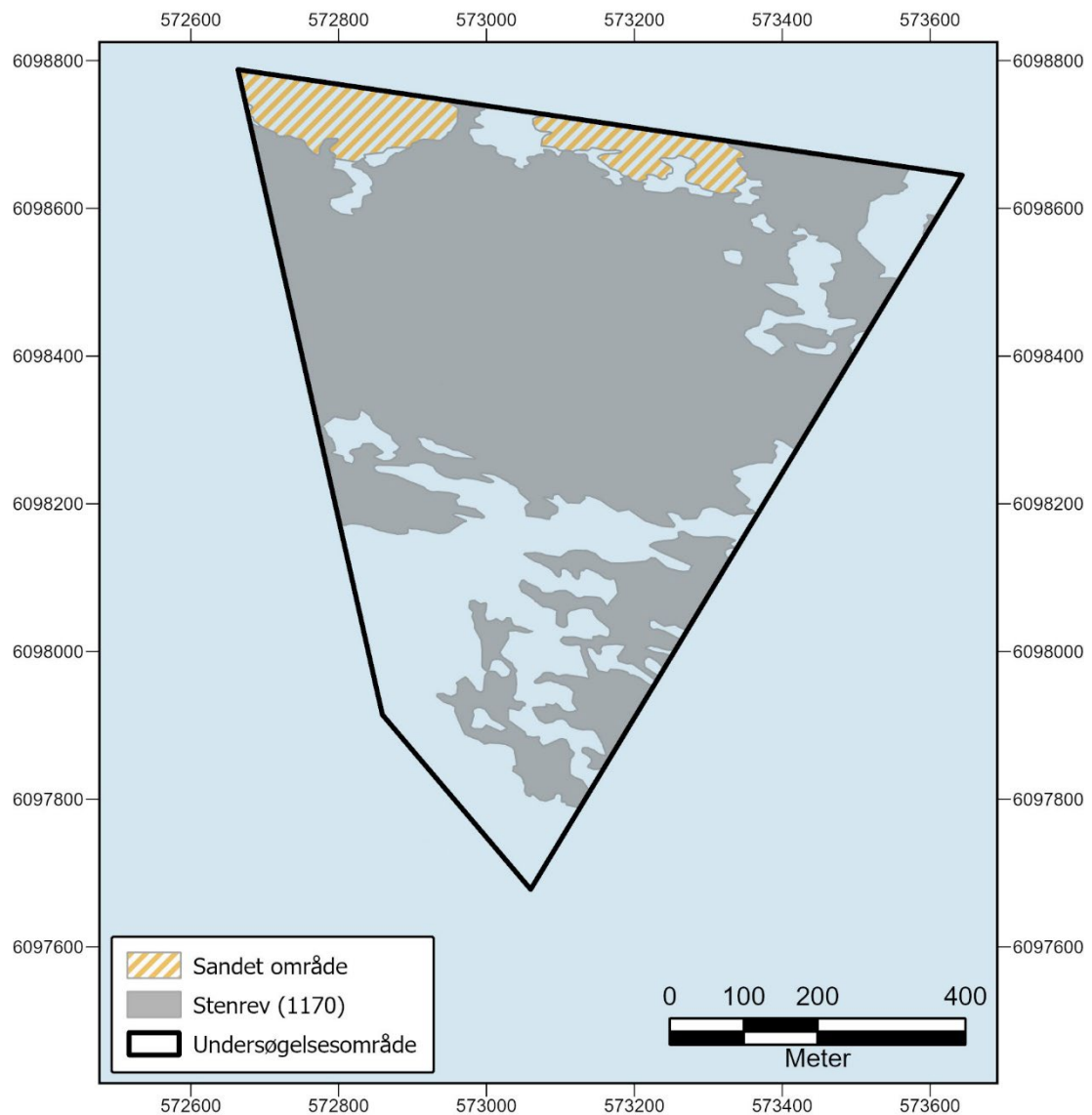
Habitatdirektivets marine naturtype "Rev (1170)" er kortlagt og vist i Figur 3-26, Figur 3-27 og Figur 3-28. I området Helnæs UNO1 er der kortlagt stenrev (1170), mens der i de to andre delområder er kortlagt stenrev (1170) samt sandede områder. I Helnæs UNO1 er der et samlet stenrev, der dækker omtrent 65% af undersøgelsesområdet, fra den sydvestlige rand af området mod nordøst. Ved Helnæs UNO2 dækker et stenrev i den vestlige del af området 26% af det samlede areal, mens et stenrev i den østlige del dækker 12% af det samlede areal. Ved Lyø dækker et stort stenrev centralt beliggende i området 57% af området samlede areal, mens mindre stenrev i den sydøstlige del af området dækker 9% af det samlede areal.



Figur 3-26. Stenrev (1170) i området Helnæs UNO1.



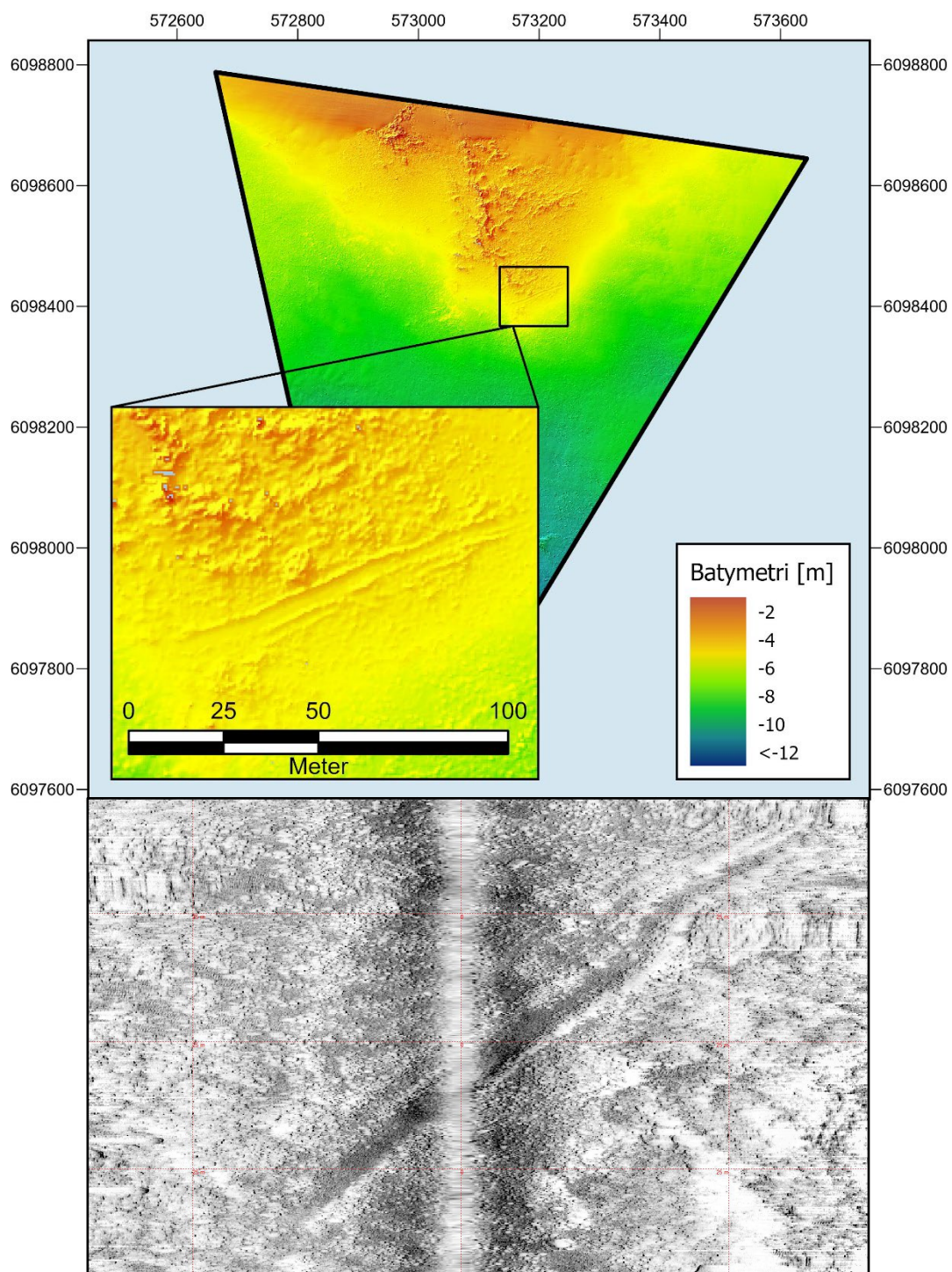
Figur 3-27. Stenrev (1170) i området Helnæs UNO2. Desuden er et større sandet område kortlagt.



Figur 3-28. Stenrev (1170) i området ved Lyø. Desuden er sandede områder kortlagt.

3.4 Menneskelig påvirkning af havbunden

Ved Lyø er der fundet spor på havbunden, der indikerer mulig menneskelig påvirkning. Sporet er omtrent 100 m langt og er 4 m bredt i den sydvestlige ende af sporet. Som vist på Figur 3-29 er det beliggende i et område med mange sten (substrattype 4), men sporet fremstår i stedet som en mørk stribe uden mange sten (substrattype 2b). Da sporet dækker et område svarende til et areal under 25x25 m, er det dog ikke tolket som substrattype 2b, men inkluderet i det omkringliggende substrat 4. Langs grænsen mellem sporet og den omkringliggende substrattype 4 ses en ryg af sten.



Figur 3-29. Mulig menneskelig påvirkning af havbunden ved Lyø. Sidescan-billedet nederst er inddelt i 25x25m gridceller.

4. Diskussion og perspektivering

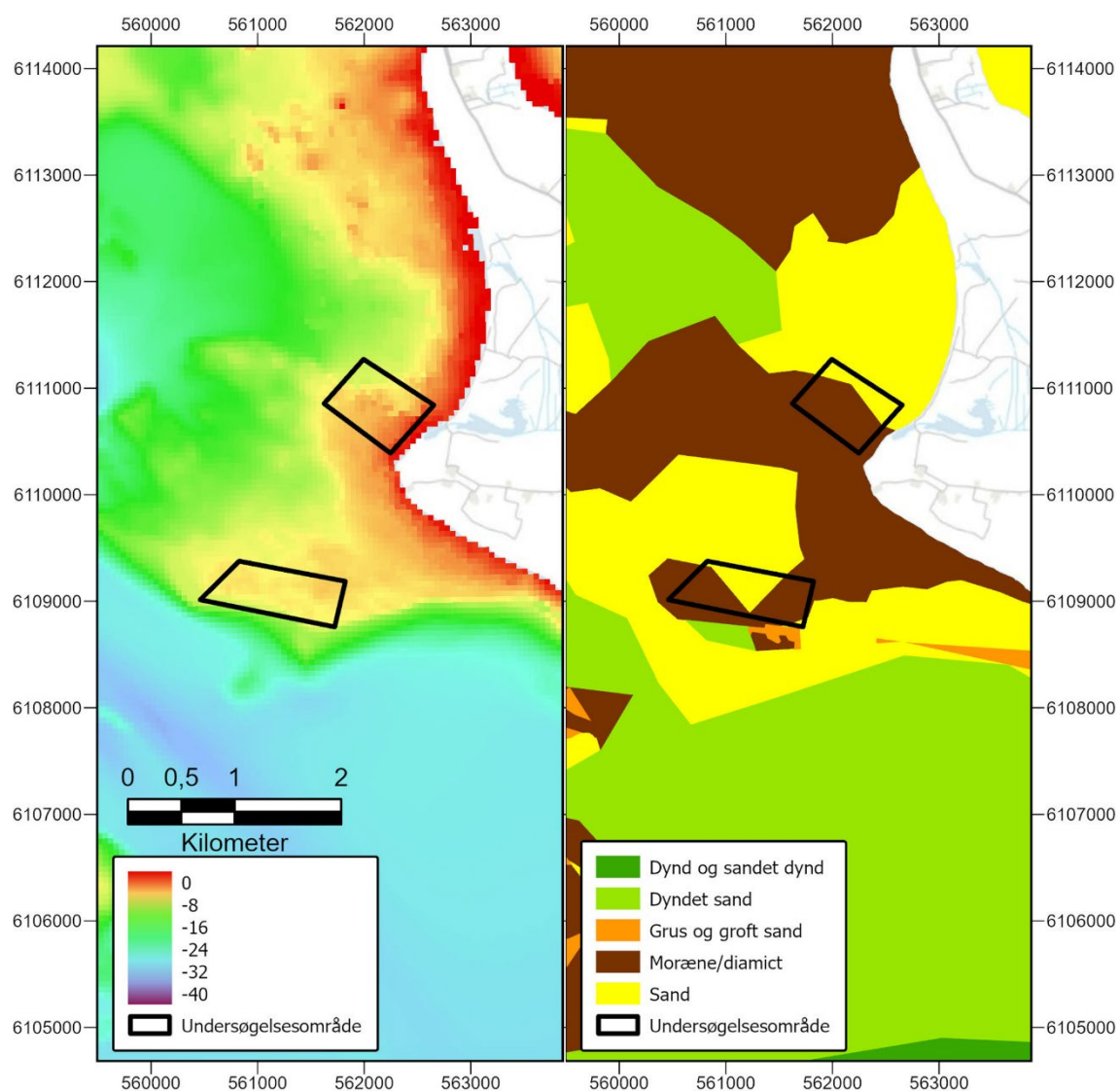
4.1 Havbundens morfologi, substrat- og naturtyper

Ved kortlægning af havbundens morfologi er det nødvendigt at kunne se de morfologiske enheder i deres helhed for at sikre en korrekt klassifikation. I den morfologiske kortlægning præsenteret i Figur 3-16, Figur 3-17 og Figur 3-18 er morfologiske enheder i randområderne skraveret for at gøre opmærksom på pågældende usikkerhed. Der er en overvægt af de morfologiske enheder Skråning og Flade. Dette skyldes netop, at elementerne ikke kan ses i deres helhed. Dette er eksemplificeret ved Helnæs UNO1, hvor der i det nordvestlige hjørne er kortlagt netop Skråning og Flade. Pågældende område kunne også være del af en større morfologisk enhed fx en lavning eller en anden negativ morfologisk form. Den delvise kortlægning af den morfologiske enhed umuliggør en detaljeret klassifikation i randområderne, hvorfor der i stedet er kortlagt mange flader og skråninger.

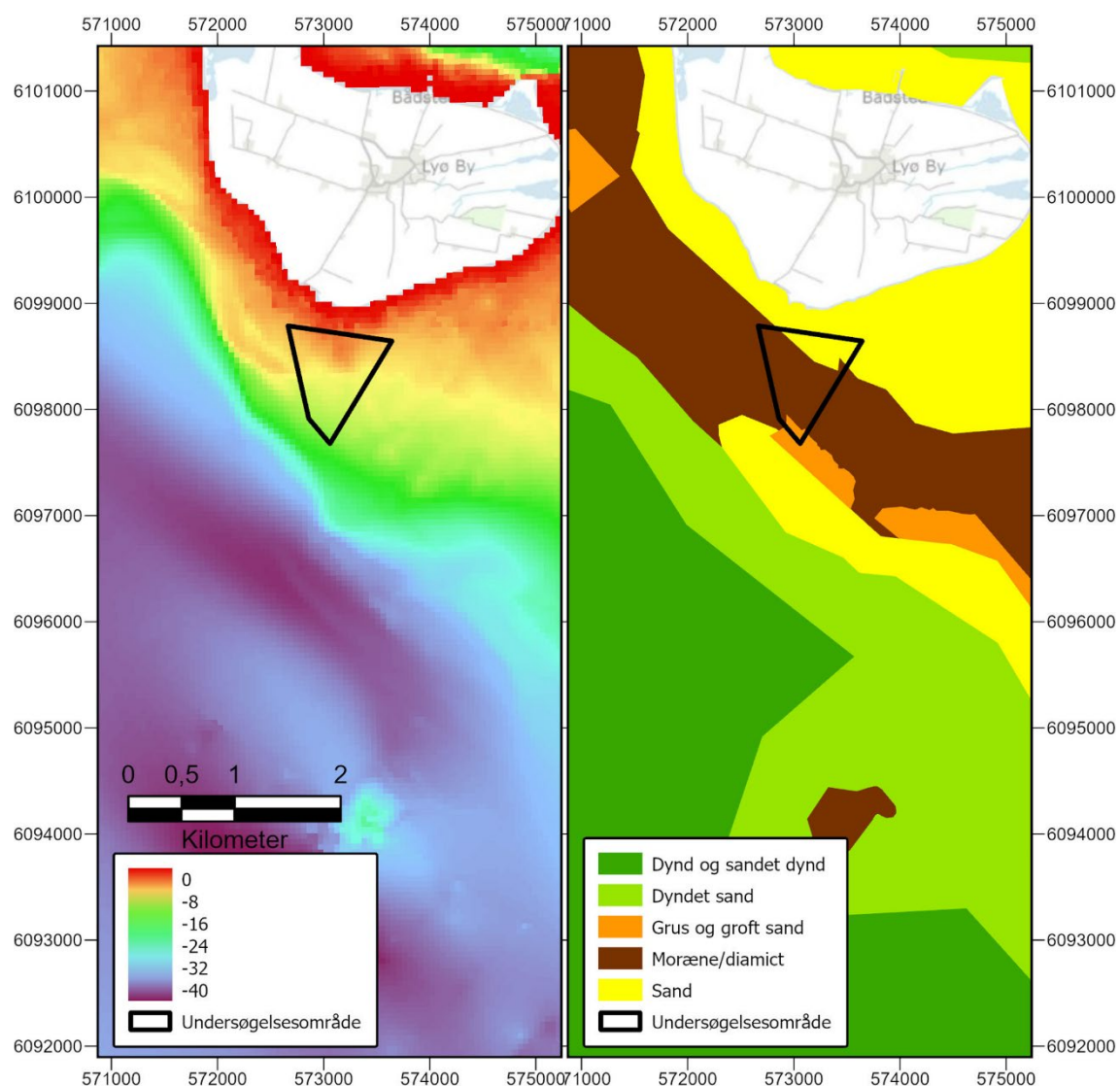
For at sætte morfologien i randområderne i relation til hvad der ligger uden for undersøgelsesområderne, er Danmarks Dybdemodel (50 m gridcellestørrelse, Geodatastyrelsen, 2024) og Havbunds-sedimentkortet (GEUS, 2020) blevet inddraget. Heraf kan det ses, at det førmtalte nordvestlige hjørne af Helnæs UNO1 er en del af en konkav lavning bestående af sand, modsat den omgrænsende moræne (Figur 4-1).

I den sydlige del af Helnæs UNO2 ses de største hældninger på bløde substrater. Ved sammenligning med Danmarks Dybdemodel og Havbundssedimentkortet ses et dybere løb umiddelbart syd for undersøgelsesområdet. Den morfologiske enhed Kanal overlapper muligvis undersøgelsesområdet, hvilket kommer til udtryk i hældningen i den sydlige del af området.

I den sydvestlige del af undersøgelsesområdet ved Lyø er der kortlagt Skråning og Flade. Ved sammenligning med Danmarks Dybdemodel og Havbundssedimentkortet ses det, at området ligger ud til dybereliggende og sandede områder (Figur 4-2). Den morfologiske klassifikation er i givet fald korrekt, da det er en del af et større skrånende område, der udgør strandplanet af kystzonen.



Figur 4-1. Dybdemodel (venstre) og Havbundssedimenter (højre) ved Helnæs baseret på data fra hhv. Geodatastyrelsen (2024) og GEUS (2020).



Figur 4-2. Dybdemodel (venstre) og Havbundssedimenter (højre) ved Lyø baseret på data fra hhv. Geodatastyrelsen (2024) og GEUS (2020).

De kortlagte hårde substrater i Helnæs UNO1 er beliggende i overensstemmelse med kortlagt moræne i Havbundssedimentkortet. Tilsvarende sammenhæng ses også i de to andre undersøgelsesområder, dog med lavere grad af sammenfald. Dette skyldes, at Havbundssedimentkortet beror på interpolationer. Sammenhængen stemmer overens med, at morænefladen har været udsat for erosion, hvilket har fjernet de finkornede sedimenter og eksponeret grovere residualsedimenter (rest-sedimenter).

For kortlægningen af naturtyper gælder det samme forbehold som for kortlægningen af havbundens morfologi. De sandede områder, der kan udgøre potentielle sandbanker, er beliggende i undersøgelsesområdernes randområder, og de er derfor kun delvist kortlagt. Det fulde omfang af disse sandområder er ikke kendt, og det kan heller ikke udelukkes, at sandområdernes morfologi udenfor undersøgelsesområderne tager en form, der ikke stemmer overens med definitionen af sandbanker. Af den grund er de pågældende områder ikke defineret som naturtypen sandbanker, men i stedet blot som sandede områder.

Den mulige menneskelige påvirkning af havbunden, der er kortlagt ved Lyø kan ikke med sikkerhed knyttes til en bestemt aktivitet eller hændelse. Yderligere undersøgelser er nødvendige for at belyse årsagen.

4.2 Egnethed til etablering af stenrev

Havbundens geologi er fundamentet for stenrev. Tilstedeværelsen af stenrev forudsætter en forudgående aflejring af sten. I de nuværende danske havområder er der flere processer, som har bidraget/bidrager til aflejring af sten. Sten er primært aflejret af tidligere gletsjere og smeltevandsfloder, og dermed findes disse aflejringer både på lavere og dybere vand i forhold til det nuværende havspejl. Desuden er sten aflejret i tidligere og nuværende kystnære havområder eksponeret for bølger (og/eller kraftige strømme), hvor de fossile kystaflejringer derfor kan ligge langt fra den nuværende kystlinje og på dybere vand i forhold til det nuværende havspejl. Sten kan også være aflejret på dybere vand som følge af isbjerge (i form af dropsten) eller turbiditstrømme.

Havbundens geomorfologi omfatter havbundens landskabsformer og dynamiske processer drevet primært af bølger og strøm med erosion, transport og aflejring (og dermed omlejring) af havbundens sedimenter. Tilstedeværelsen af stenrev er ofte knyttet til en tidligere eller nuværende bølge- eller strømdrevet mobilisering og fjernelse af finere sedimenter, hvor de grovere residualsedimenter (restsedimenter) herefter kan danne grundlag for stenrev. Dette er bl.a. tilfældet for områder med tidligere eller nuværende eksponerede moræneaflejringer, der som udgangspunkt generelt er dårligere sorteret. Omvendt er sten aflejret af strøm og/eller bølger generelt bedre sorteret. I disse tilfælde er de tidligere og nuværende dynamiske processer vigtige for, om disse stenaflejringer eksponeres eller begraves af yngre aflejringer.

4.2.1 Bæreevne

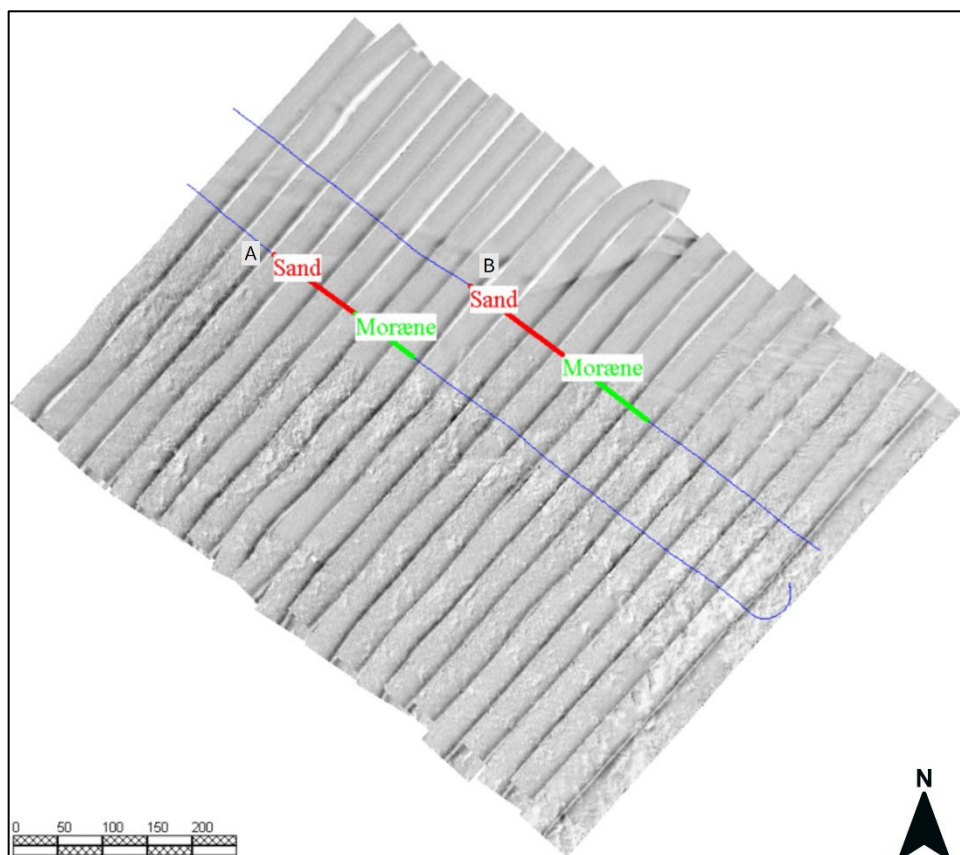
På baggrund af resultaterne fra undersøgelserne er egnetheden af områderne ved Lyø og Helnæs til etablering af stenrev vurderet baseret på et geovidenskabeligt perspektiv og datagrundlag.

Havbundens hældning er vurderet. Undersøgelsesområderne er i vidt omfang karakteriseret som værende svagt hældende. En højtliggende moræneoverflade udgør kernen af hvert af de tre undersøgelsesområder og kommer til udtryk ved stenede substrater/sedimenter på havbunden. Disse områder vurderes til at have en høj bæreevne.

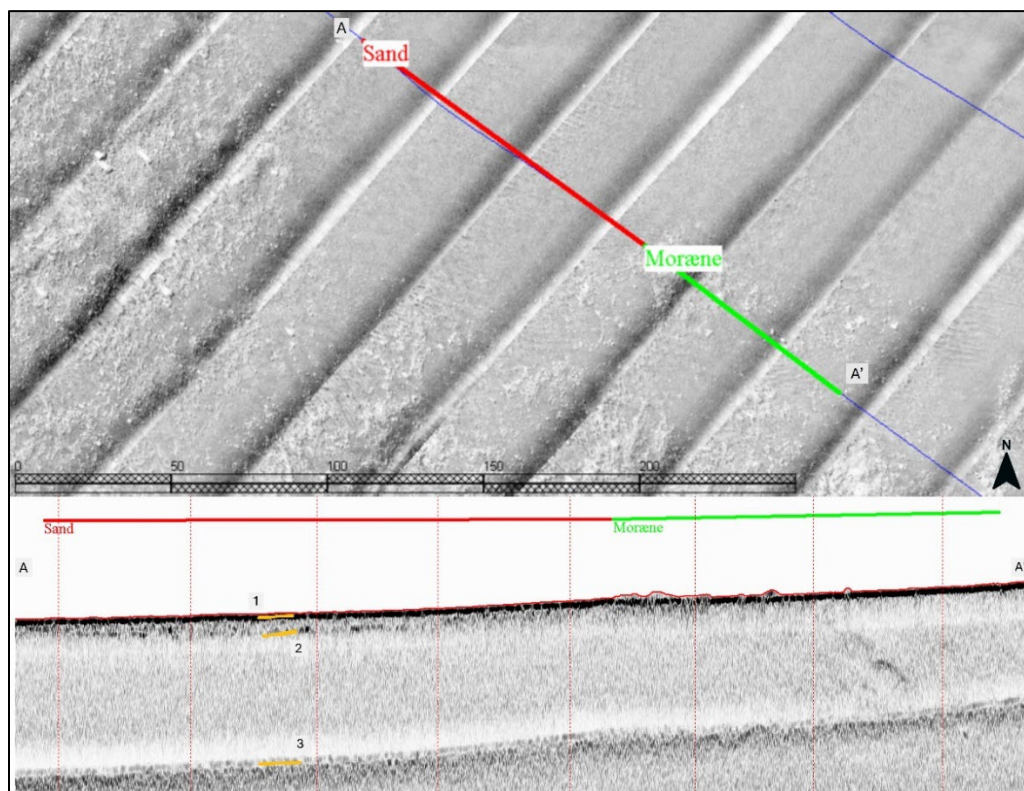
4.2.2 Stabilitet

Nærværende kortlægning er udtryk for et øjebliksbillede af havbundens landskabsformer. Dynamiske processer mobiliserer sand og finkornet sediment, hvorved det er muligt at benytte SBP-data, i kombination med de tolkede substrattyper, til at kortlægge, hvor der er mobile sandlag og sedimentlag generelt.

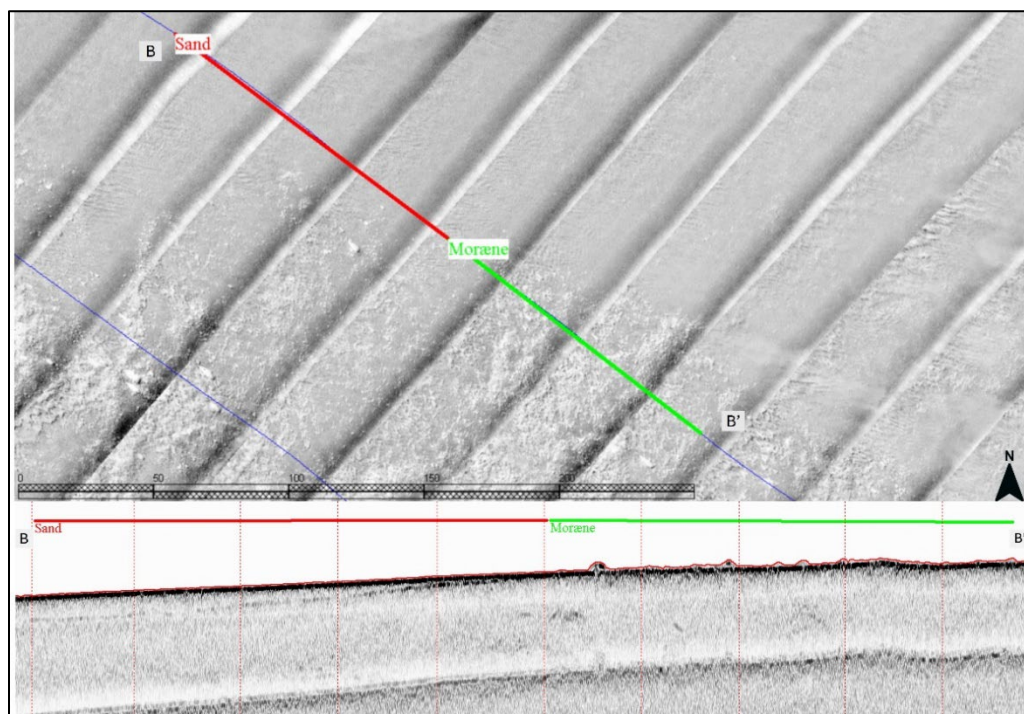
I Figur 4-3, Figur 4-4 og Figur 4-5 er transekter fra Helnæs UNO1 vist med både sidescan data og sub-bottom profiler data. Ved både transekt A og B ses den begravede moræneflade under et sandlag. Ved transekt A er morænen begravet under et op til 1 m tykt sandlag, mens sandlaget i den vestlige del af transekt B måler en tykkelse på 1,6 m. Morænen går fra at være begravet til at være eksponeret, hvilket kan ses i begge datatyper.



Figur 4-3. Oversigtskort over transekter i Helnæs UNO1. Målestok er angivet i meter.

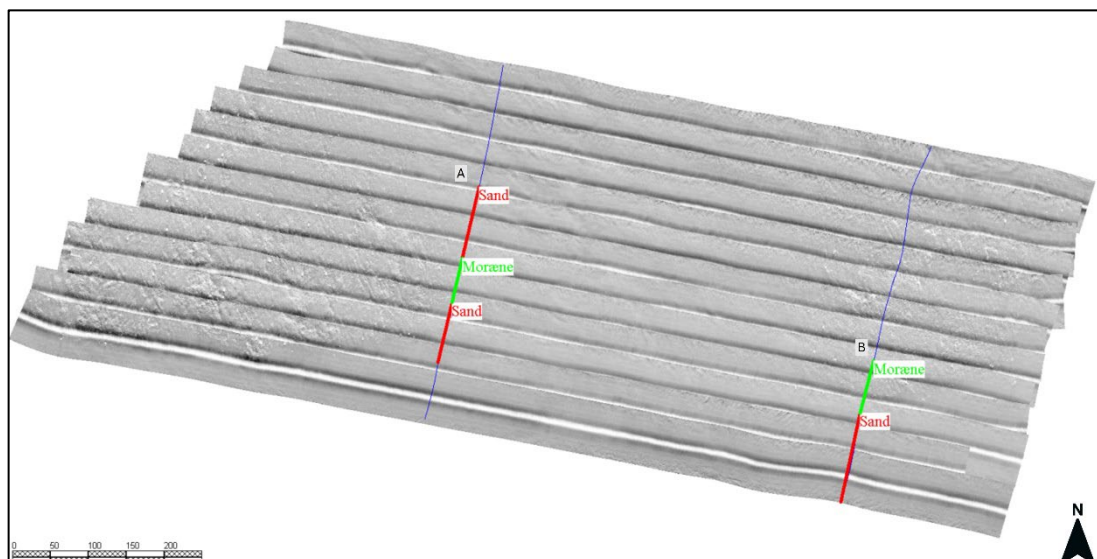


Figur 4-4. Transekt A i Helnæs UNO1. I den nordvestlige del af transektet repræsenterer 1: havbunden (sand), 2: begravet moræne, 3: ekko af havbunden. Afstand mellem markering 1 og 2 er 1 meter. Målestok på sidescan (øverst) er angivet i meter. Vertikale røde linjer på sub-bottom profiler (nederst) angiver afstand på 25 meter.

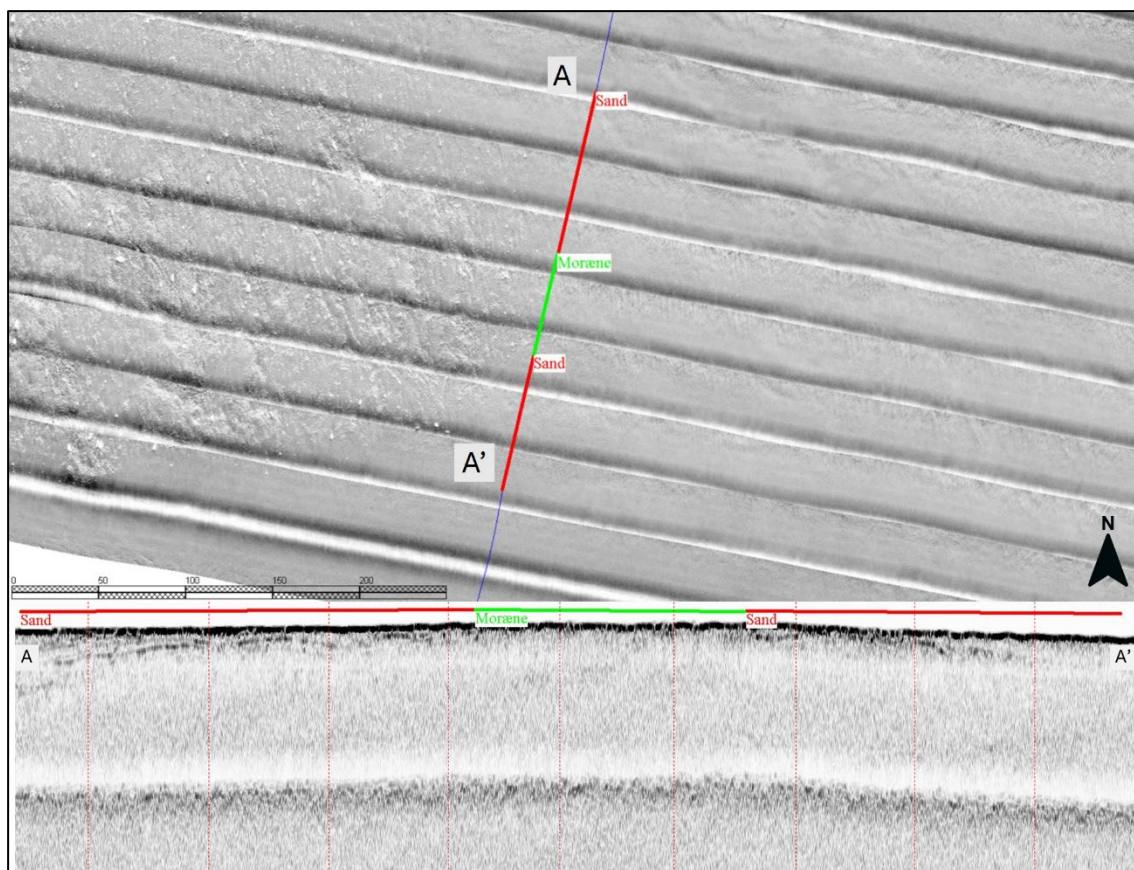


Figur 4-5. Transekt B i Helnæs UNO1. Sandlagets tykkelse måler 1,6 m ved "B". Målestok på sidescan (øverst) er angivet i meter. Vertikale røde linjer på sub-bottom profiler (nederst) angiver afstand på 25 meter.

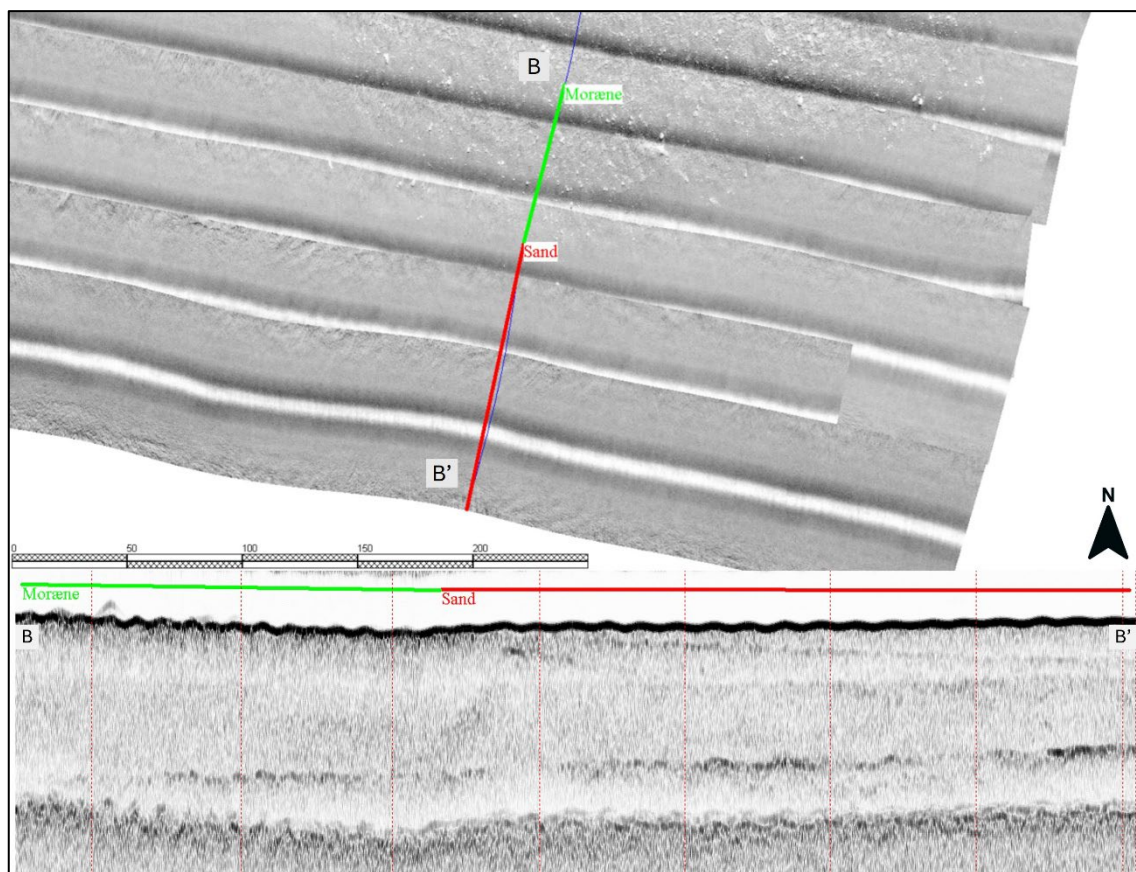
I Figur 4-6, Figur 4-7 og Figur 4-8 er transekter fra Helnæs UNO2 vist. Transekt A krydser den østlige ende af det vestligst beliggende stenrev vist i Figur 3-27. Af Figur 4-7 ses det, hvordan morænen går fra at være begravet til at være eksponeret, hvorefter den igen begraves under et sandlag. I transekt B fremstår morænen stødt faldende fra B til B'. Dette er sammenfaldende med et sandlag, der har begravet moræneoverfladen. Den bølgede overflade i SBP (nederst i figuren) skyldes bølger i forbindelse dataindsamling.



Figur 4-6. Oversigtskort over transekter i Helnæs UNO2. Målestok er angivet i meter.

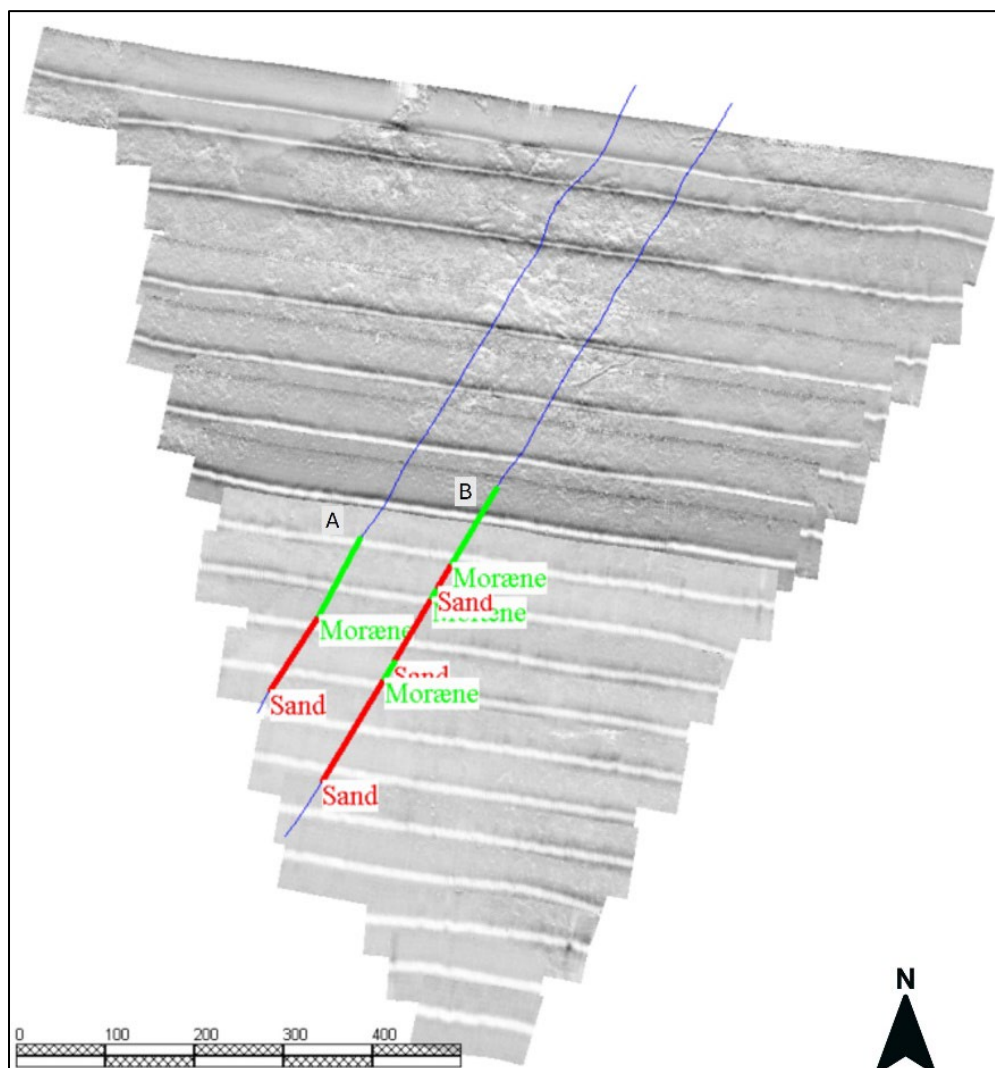


Figur 4-7. Transekt A i Helnæs UNO2. Målestok på sidescan (øverst) er angivet i meter. Vertikale røde linjer på sub-bottom profiler (nederst) angiver afstand på 25 meter.

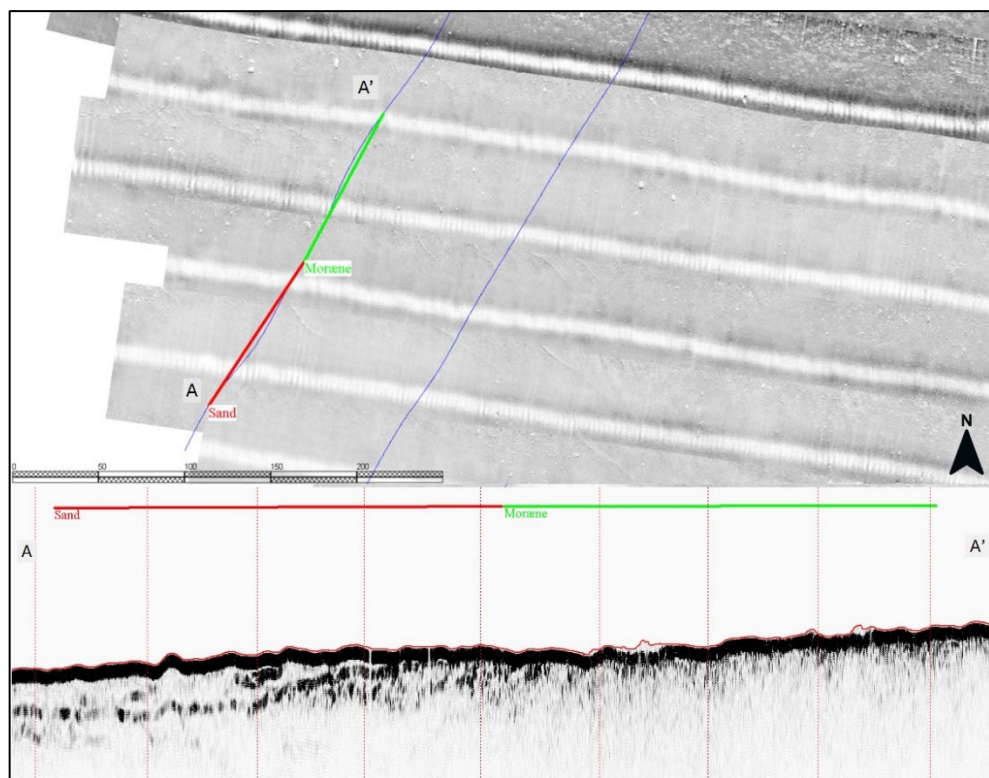


Figur 4-8. Transekt B Helnæs UNO2. Målestok på sidescan (øverst) er angivet i meter. Vertikale røde linjer på sub-bottom profiler (nederst) angiver afstand på 25 meter.

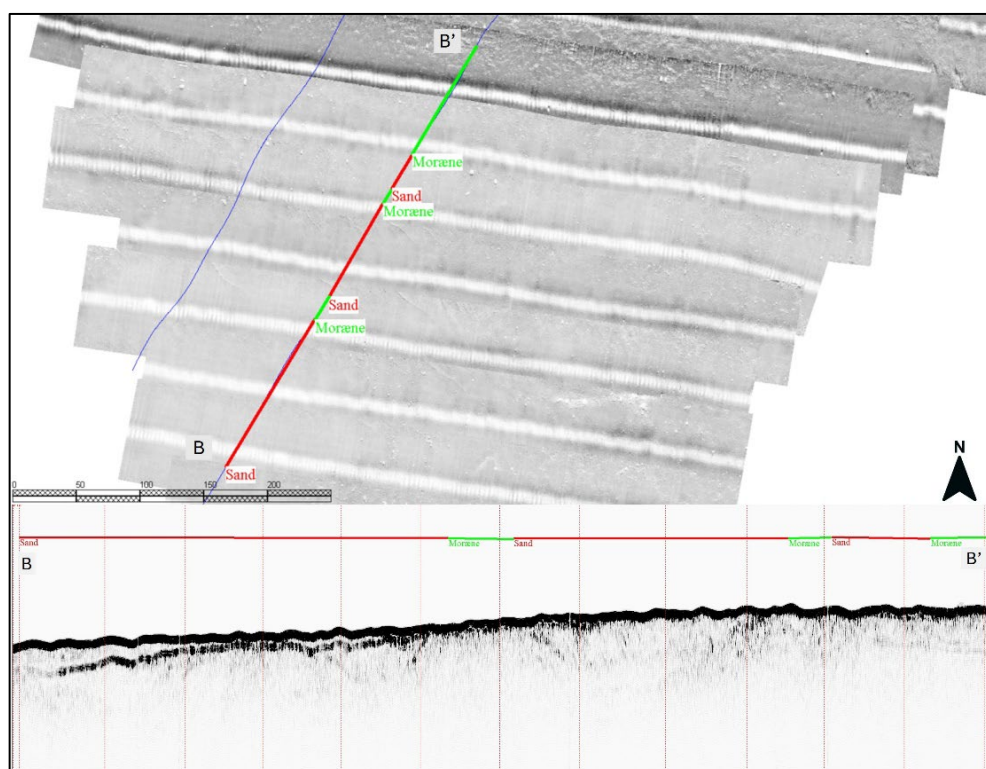
I Figur 4-9, Figur 4-10 og Figur 4-11 er transekter fra Lyø vist. I figurene ses morænen i sin eksponerede form, hvor den tager sig ud som stenede substrater. Det er ligeledes muligt at følge morænen under havbunden, hvor den bliver begravet under et sandlag. Ved evt. ændringer i bølge- og/eller strømklima, vil erosions- og aflejringsmønstrene kunne ændre sig, hvilket potentielt kan føre til enten yderligere eksponering af morænefladen eller til aflejring af sand i områder med eksponeret moræne.



Figur 4-9. Oversigtskort over transekter ved Lyø. Målestok er angivet i meter.



Figur 4-10. Transekt A ved Lyø. Målestok på sidescan (øverst) er angivet i meter. Vertikale røde linjer på sub-bottom profiler (nederst) angiver afstand på 25 meter.



Figur 4-11. Transekt B ved Lyø. Målestok på sidescan (øverst) er angivet i meter. Vertikale røde linjer på sub-bottom profiler (nederst) angiver afstand på 25 meter.

Havbundens sediment-/substratforhold og erosions-/aflejringsforhold er vurderet. Der er udbredte områder med stenede substrater/sedimenter i alle tre delområder. Områderne med stenede substrater/sedimenter kan vurderes som værende erosionsområder, hvor de finkornede sedimenter er borteroderet og moræneoverfladens residualseedimenter udgør de stenede substrater. Omvendt er der også områder med sandet substrat/sediment i delområderne. Disse områder kan vurderes som værende aflejringsområder. Denne vurdering af erosions- og aflejringsområder bygger på få informationer. Vurderingen bør ideelt set understøttes af modellering af hydrodynamik og sedimenttransport i delområderne.

Sammenfattende vurderes det, at områder med stenede substrater/sedimenter (dvs. substrattype 2b, 3 og 4) er egnet til etablering af stenrev i alle tre delområder.

I dette område er sten forekommende på havbundens overflade som følge af de geologiske og geomorfologiske processer i området.

Inden en fysisk etablering af et stenrev anbefales det at indsamle sedimentkerner af havbunden på den planlagte position for stenrevet med henblik på detaljerede geologiske og geotekniske punktundersøgelser for at verificere, komplementere og understøtte analyser og tolkninger af de geofysiske undersøgelser.

5. Konklusion

Med udgangspunkt i den geofysiske dataindsamling udført af SensorSurvey i kombination med ROV-videotransekter indsamlet af DCE-AU er der blevet foretaget en geofysisk kortlægning, der bidrager til at forbedre viden om havbunden i afgrænsede områder ved Helnæs og Lyø med henblik på etablering af stenrev. Havbundens morfologi, substrattyper og naturtyper er kortlagt. Ligeledes er potentiel menneskelig påvirkning af havbunden kortlagt.

Der er i Helnæs UNO1 og ved Lyø kortlagt de morfologiske elementer Flade, Hummock og Skråning, mens der i Helnæs UNO2 er kortlagt, Flade, Højderyg, Platform og Skråning.

Stenede substrater (substrattype 2b, 3 og 4) udgør størstedelen af substratet i alle tre undersøgelsesområder, hhv. 81% for Helnæs UNO1, 53% for Helnæs UNO2 og 80% for Lyø.

Denne overvægt af stenede substrater afspejles også i de kortlagte naturtyper. Stenrev (1170) er kortlagt i alle tre undersøgelsesområder og udgør hhv. 65% af arealet ved Helnæs UNO1, 28% ved Helnæs UNO2 og 66% ved Lyø.

Der er kortlagt én mulig menneskelig påvirkning af havbunden ved Lyø, der tager sig ud som et omtrent 100 meter langt spor med få spredte sten i et område, der ellers er præget af en betydelig mængde sten.

Det vurderes, at områder med eksponeret moræne, som kommer til udtryk ved stenede substrater, er egnet til etablering af stenrev i alle tre delområder. Inden en fysisk etablering af et stenrev anbefales det at indsamle sedimentkerner af havbunden på den planlagte position for stenrevet med henblik på detaljerede geologiske og geotekniske punktundersøgelser.

6. Referencer

- Dove, D., Nanson, R., Bjarnadóttir, L.R., Guinan, J., Gafeira, J., Post, A., Dolan, M.F.J., Stewart, H., Arosio, R., Scott, G. (2020). A two-part seabed geomorphology classification scheme: (v.2) – part 1: morphology features glossary. In: Open Report Prepared by the MIM-GA Geomorphology Working Group. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4075248>.
- Geodatastyrelsen (2024) Danmarks Dybdemodell 2024, data hentet d. 24-03-2025. <https://gst.dk/ansvarsomraader/soekort-og-marine-data/soeopmaaling-og-dybde-data/danmarks-dybdemodell>
- GEUS (2020) Havbundens overfladesedimenter, <https://www.geus.dk/mineralske-raastoffer/raastoffer-i-danmark/havbundens-overfladesedimenter/>
- Jasiewicz, J. & Stepinski, T. F. (2013). Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology* Volume 182, pp. 147–56. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005>
- Larsen, G. (2002). *Geologisk set – Fyn og øerne*, 1. udgave, Geografforlaget, pp. 144.
- Miljøstyrelsen (2023). Kortlægning af havbunden i beskyttede områder – Kortlægning af havbunden i fire områder i Østersøen omkring Bornholm (2022-2023). Udført af GEUS og WSP for Miljøstyrelsen.
- Miljøstyrelsen (2021). Faglige kriterier for opdatering af habitatområdenes udpegningsgrundlag for habitatnaturtyper – 2021. Miljøstyrelsen, J.nr. MST-821-00515, 3 pp.
- Miljøstyrelsen (2019). Marin Habitatkortlægning i Skagerrak og Nordsøen 2017-2018. Udført af GEUS og Orbicon for Miljøstyrelsen.
- Naturstyrelsen (2016). Marin Habitatkortlægning i Skagerrak og Nordsøen 2015. Udført af GEUS og DCE for Naturstyrelsen.
- Naturstyrelsen (2015). Marin habitatkortlægning i de indre danske farvande 2014. https://naturstyrelsen.dk/media/136155/habitatkort%C3%A6gning-2014_geus_dce.pdf, Udført af GEUS og DCE for Naturstyrelsen, 2014
- Naturstyrelsen (2012). Identifikation og afgrænsning af marine naturtyper, herunder habitatnaturtyper. Notat udarbejdet af Orbicon for Miljøstyrelsen, september 2012, 5 pp