NATURGENOPRETNING AF STENREV I ROSKILDE FJORD

Basisundersøgelse af tre udvalgte lokaliteter

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 344 2019

AARHUS UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

NATURGENOPRETNING AF STENREV I ROSKILDE FJORD

Basisundersøgelse af tre udvalgte lokaliteter

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 344 2019

Karsten Dahl[1]
Zyad Al-Hamdani[2]
Michael Bo Rasmussen[1]
Jon Christian Svendsen[3]
Ole Bennike[2]

[1] Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
[2] De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)
[3] DTU Aqua

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 344
Titel:	Naturgenopretning af stenrev i Roskilde Fjord
Undertitel:	Basisundersøgelse af tre udvalgte lokaliteter
Forfattere:	Karsten Dahl[1], Zyad Al-Hamdani[2], Michael Bo Rasmussen[1], Jon Christian Svendsen[3], & Ole Bennike[2]
Institutioner:	[1]Aarhus Universitet, Institut for Bioscience, [2] De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), [3]DTU Aqua
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	November 2019
Redaktion afsluttet:	November 2019
Faglig kommentering:	Jonas Koefoed Rømer (AU) og Jørn Bo Jensen (GEUS)
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung-Madsen
Sproglig kvalitetssikring:	Anne van Acker
Finansiel støtte:	Nationalpark Skjoldungernes Land
Bedes citeret:	Dahl K, Al-Hamdani Z, Rasmussen MB, Svendsen JC & Bennike O. 2019. Naturgenopretning af stenrev i Roskilde Fjord. Basisundersøgelse af tre udvalgte lokaliteter. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 53 s. - Videnskabelig rapport nr. 344 http://dce2.au.dk/pub/SR344.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning: Rapporten er udført for Skjoldungernes Nationalpark med henblik på at skaffe viden om potentielle områder for genopretning af stenrev i Roskilde Fjords inderbredning. Rapporten beskriver de geologiske og biologiske forhold ved Nørrerev og Selsø Hage - to lokaliteter som indledende undersøgelser pegede på som mulige kandidatområder til et naturgenopretningsprojekt. Rapporten beskriver også de biologiske forhold for et område ud for campingpladsen syd for Veddelev Havn med henblik på etablering af et muligt formidlingsrev. På baggrund af analyser af de indsamlede data afgrænses to potentielt egnede områder ved Nørrerev som genopretningsprojekter og et egnet område syd for Veddelev Havn som et formidlingsrev.

Emneord:	Stenrev, Roskilde Fjord, Naturgenopretning, Nationalpark Skjoldundernes Land
Layout:	Anne van Acker
Illustrationer:	Forfatterne
Foto forside:	Ålegræs, spredte sten og en sandbund dækket af drivende algemåtter ved Nørrerev. Foto Karsten Dahl.
ISBN:	978-87-7156-442-6
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	53
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR344.pdf

Indhold

Forord **5**

Sammenfatning **6**

Summary **7**

1 Indledning og områdeafgrænsning **8**
1.1 Baggrund 8
1.2 Områdets overordnede geologiske forhold 8
1.3 Kandidatområder 9

2 Geofysik og geologisk kortlægning **11**
2.1 Feltarbejde 11
2.2 Geofysisk dataindsamling 12
2.3 Resultater 13

3 Visuel verifikation med drone **20**
3.1 Areal- og oversigtskortlægning 20
3.2 Verifikation af udvalgte områder 22
3.3 Resultater 25

4 Dykkerundersøgelse af bundforhold og biologiske elementer **31**
4.1 Undersøgelser 31
4.2 Bundens beskaffenhed 32

5 Transektundersøgelse ved overfladesvømning **39**

6 Diskussion **41**

7 Forslag til afgrænsning af egnede områder til naturgenopretning af stenrev **49**

8 Referencer **52**

9 Taksigelse **53**

[Tom side]

Forord

Denne rapport er bestilt af Nationalpark Skjoldungernes Land som led i et ønske om at genoprette stenrev i Roskilde Fjord inden for nationalparkområdet. Det faglige projektarbejde ledes af Aarhus Universitet, Institut for Bioscience i samarbejde med De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) og DTU Aqua. Rapporten beskriver et kortlægningsarbejde udført inden for tre kandidatområder i Roskilde Fjords inderbredning. De tre områder er identificeret som potentielt egnede i en indledende screening. Nationalpark Skjoldundernes Land har haft mulighed for at kommentere rapporten inden udgivelse.

Sammenfatning

Nationalpark Skjoldungernes Land har en målsætning om at restaurere stenrev inden for nationalparkens område. På den baggrund er der gennemført en undersøgelse i Roskilde Fjord på tre lokaliteter med henblik på at undersøge, om lokaliteterne helt eller delvist skulle være egnede. Forud for undersøgelsen var de tre områder udvalgt ved et mindre indledende projekt.

Områderne er undersøgt ved en kombination af kortlægning med drone og efterfølgende billedbehandling på lavt vand og akustik på vanddybder over ca. 2 m. Disse undersøgelser er suppleret med tilhørende visuelle undersøgelser med dykkertransekter og undervandskameraoptagelser.

Undersøgelserne har ført til en beskrivelse af både overfladesedimentsammensætningen og de dybere sedimentlag for at kunne godtgøre, om rev tidligere har kunnet forekomme på lokaliteterne, og om bunden vil kunne bære udlagte stenrev. I tilgift er der lavet en overordnet beskrivelse af væsentlige biologiske elementer som ålegræs, andre blomsterplanter og blåmuslinger.

På baggrund af undersøgelserne har vi peget på to mindre områder ved Nørrerev, hvor stenrev potentielt kunne etableres som et naturgenopretningsprojekt. Derudover er der identificeret et område på lavt vand ved campingpladsen sydøst for Veddelev Havn, som kunne være et potentielt mindre 'formidlingsstenrev' anlagt let tilgængelig for uddannelsesinstitutioner og offentligheden generelt.

Fælles for de to potentielle restaureringsområder er, at de har en geologisk dannelse fra moræneaflejringer, som sandsynliggør, at stenforekomster er en naturlig komponent, og at bunden vil kunne bære et udlagt revområde i dag. Endvidere er områderne udvalgt, så de afledte effekter på biologiske nøglekomponenter som blomsterplanter og blåmuslingebanker vil være minimale.

Summary

The National Park Skjoldungernes Land has a goal to restore boulder reefs within the park area. The present project has investigated the suitability of three predefined areas for reef restoration.

The areas have been investigated in a mapping exercise joining image analysis of photos collected by a drone on very shallow water with underwater acoustics from a water depth of 2 m and deeper. The investigations have been supplemented by visual ground truth work along transects and in selected points.

The investigation has resulted in a description of the seabed surface sediment as well as sub-seabed sediment layers to justify their suitability for carrying the weight of the proposed boulder reef from a geological point of view. Furthermore, key biological elements as eelgrass and seagrass cover and blue mussel beds have been mapped.

Two sub areas have been identified inside the project areas as potential areas for restoration of boulder reefs. Both were located at Nørrerev. Furthermore, a potential area for establishing an 'information reef' was also identified having easy access for the public. The information reef is located south-east of Veddelev Harbour and next to a camp site.

The two identified potential restoration areas both have till deposits close to the seabed being a natural source of boulders. The two potential restoration areas, as well as the potential information reef area, contain no mussel beds and only minor eelgrass and other flowering plants reducing the negative impact of a restoration project.

1 Indledning og områdeafgrænsning

1.1 Baggrund

Nationalpark Skjoldungernes Land har iværksat et samlet udredningsprojekt med henblik på at genoprette stenrev i den indre del af Roskilde Fjord, som ligger inden for nationalparkens afgrænsning. Målet er at genskabe en artsrig habitat for tangplanter, fisk og andre bunddyr, som er gået tabt i mange danske lavvandede områder pga. stenfiskeri. Ud over at genoprette stenrevsområder har nationalparken også et ønske om etablering af et mindre revområde, der er let tilgængeligt for offentligheden. Dette rev skal tjene som 'formidlingsrev' for uddannelsesinstitutioner og øvrige interesserede.

Forud for denne undersøgelsen er der foregået et indledende arbejde, der har påvist sandsynligheden af, at optagning af sten vitterlig har fundet sted i fjorden (*Palner & Vestergaard Nielsen 2019*).

Der er også gennemført en udredning om eventuelle effekter af en genopretning i den indre del af Roskilde Fjord, som er udpeget som Natura 2000-område både i henhold til habitatdirektivet og fuglebeskyttelsesdirektivet (*Dahl & Palner 2019*).

1.2 Områdets overordnede geologiske forhold

Under sidste istid var hele Roskilde Fjord området dækket af den skandinaviske iskappe, og der blev afsat moræneler, der består af en blanding af ler, sand og sten under det sidste fremstød, der kom fra den baltiske isstrøm (*Houmark-Nielsen 2017*). Boringer i området viser, at morænen er hård, idet boringer udført med vibrationsbor kun er trængt lidt ned i morænen. Morænens overflade er uregelmæssig og nem at kortlægge ud fra de seismiske data.

Da isen smeltede bort, efterlod den et kuperet landskab med søer og åer. Den lange åsformede ryg, der strækker sig fra Kornerup over Kattinge og Bognæs, gennem Roskilde Fjord til Selsø og videre mod nordøst, er dannet som en del af et stort afvandingssystem, hvor store floder har løbet i et leje på dødisen og efterladt materiale (*Houmark-Nielsen 2017*).

For ca. 8.000 år siden begyndte havet at trænge ind i området, og for ca. 6.000 år siden var havniveauet i den sydlige del af Roskilde Fjord 3-4 m højere end i dag. Langs kysterne gnavede havet i morænebakkerne, og der blev dannet kystklinter. Nogle af kystklinterne er stadig under nedbrydning, mens andre fremstår som græs- eller skovklædte skrænter et stykke fra den nuværende kyst. Stenene ligger i dag tilbage fra den udvaskede moræne, dels i strandzonen, dels på lavvandede steder i fjorden.

Derimod blev ler og sand ført bort med strøm og bølger. Sandet er aflejret på lavt vand, mens leret er aflejret på større vanddybder sammen med organisk materiale som dynd. På steder med strøm trivedes østers, som ikke længere forekommer i fjorden. Østers var begunstigede af det højere havniveau, der betød, at vandet var mere salt end i dag, af tidevand samt af vandtemperaturer, der var lidt højere end i dag. Forekomster af østersskaller er derfor kendte

fra en del steder i Roskilde Fjord. Disse forekomster er tidligere udnyttet kommercielt. Det er imidlertid vanskeligt at adskille forekomster af skaller fra lag af sand og dynd på de seismiske profiler.

1.3 Kandidatområder

På baggrund af luftfotos, iagttagelser under sejlads på fjorden, et satellit-baseret dybdekort fra DHI-Grass og drøftelser med en række lokalkendte personer blev to områder, Nørrerev og Selsø Hage, identificeret som potentielt egnede for udlægning af større stenforekomster (naturgenopretningsområder) (*Dahl & Palner 2019*).

Nørrerev er et langstrakt lavvandet område, der strækker sig fra den nordvestlige pynt af Bognæs næsten tværs over fjorden mod nord til området syd for Selsø, kun afbrudt af to afmærkede dybere løb, der benyttes af lystfartøjer. Det valgte undersøgelsesområde på østsiden af Nørrerev fremgår af *figur 1.1*. Området er afgrænset til et område, der går fra ca. 5 m dybdekurve til kystlinjen på sandbanken.

Selsø Hage ligger lige sydvest for renden, der løber mellem Eskilsø og Hornsherred. Også dette område er afgrænset fra ca. 5 m dybdekurve og ind til kysten (*figur 1.1*).

Figur 1.1. De to valgte undersøgelsesområder ved Nørrerev og Selsø Hage er vist med rødt.

I det indledende arbejde blev der også peget på, at et formidlingsrev kunne placeres vest for Herslev Havn, men området var for lavvandet ud til sejlruten til havnen. Et muligt område ud for campingpladsen syd for Veddelev blev udvalgt i stedet (*figur 1.2*).

I de tre kandidatområder er der gennemført en række supplerende undersøgelser med henblik på at beskrive lokaliteternes egnethed for udlægning af sten. Rapporten skal også kunne anvendes som dokumentation og grundlag for en evt. myndighedsbeslutning. På vanddybder mellem 5 og ca. 2 m blev der gennemført akustiske undersøgelser. Det var ikke muligt syd for campingpladsen. På lavvandede områder blev der anvendt en luftbåren drone til både en visuel kortlægning i punkter med et drop kamera og til optagelse af luftfoto til en egentlig billedanalyse af større fladearealer. Disse undersøgelser

er yderligere blevet suppleret med en beskrivelse og videofilm ved overfladesvømning langs fire transekter syd for campingpladsen og tre transekter gennemført med dykker ved både Nørrerev og Selsø Hage.

Figur 1.2. Drone kortlægningsområde ved campingpladsen syd for Veddelev, hvor der blev foretaget en sammenhængende fotokortlægning.

2 Geofysik og geologisk kortlægning

Den geofysiske undersøgelse blev gennemført i de to kandidatområder for genopretning af stenrev ved Nørrerev og Selsø Hage.

2.1 Feltarbejde

Feltarbejdet blev udført i perioden 18.-19. juni 2019. Dataindsamling blev foretaget med GEUS' survey-båd Maritina sammen med de nødvendige geofysiske instrumenter og survey-mandskab. På grund af gode vejrforhold blev surveyen gennemført til tiden og uden vejrlig. De gode vejrforhold muliggjorde indsamling af data af god kvalitet, samtidig med at Maritina var i stand til at opmåle de lavvandede områder.

De to primære geofysiske instrumenter, som blev anvendt til opmålingen, var en Edgetech 6205 Swath Bathymetry/sidescan-sonar og en Innomar Medium sub-bottom profiler. På *figur 2.1* ses survey-båden Maritina med påmonterede geofysiske systemer.

Edgetech-systemet er monteret på boven med et specialdesignet beslag, som sikrer stabilitet og minimerer uønsket støj. Det er et system, som under dataindsamling kombinerer swath bathymetry med georefereret sidescan-sonar, hvilket betyder, at der ikke er behov for yderligere navigationsinput. Systemet optager i to frekvenser, 230 kHz og 550 kHz, som er et optimalt frekvensområde til kortlægning af habitatområder.

Innomar-systemet er monteret bagerst på bagbords side for at reducere interferens. Dette system åbner op for en lang række muligheder for kortlægning af de øverste sedimentlag, med frekvensområdet 2-7 kHz enten som chirpet signal eller som et kontinuert bølgeformet signal. Ved hjælp af en motion sensor bliver transducerens bevægelser korrigeret for 'heave' og 'roll', hvilket sikrer gode data i et bredt vejrvindue.

Figur 2.1. GEUS' survey-båd Maritina med geofysisk udstyr.

2.2 Geofysisk dataindsamling

For at sikre god datakvalitet med høj opløsning blev der udført en patch test af Edgetech 6205-systemet. En patch test har til formål at kalibrere de statiske offsets mellem transducer og motion sensor. Sediment-ekkoloddet blev også testet, inden surveyen blev påbegyndt. Alle instrumentpositioner samt orientering blev registreret i indsamlingssoftwaren for at kunne producere nøjagtig positioneret data, hvor der tages højde for alle påvirkninger relateret til bådens bevægelser.

Surveyen var designet med det sigte at opnå fulddækkende bathymetri og sidescan, så vidt det var muligt. Survey-området er lavvandet med dybder mellem 2-5 m, hvilket betydeligt reducerer den brugbare swath-bredde af multiphase ekkolodet. Survey-linjerne var derfor placeret med en afstand på 25 m. Der blev i alt opmålt 21 linje-km, inklusive krydslinjer og kystparallelle linjer.

Der blev produceret tre typer af data: sidescan-billeder af havbunden, bathymetri samt seismiske profiler af lagene under havbunden.

Geofysisk dataprocessering og analyse

Dedikeret software blev brugt til at processere de tre typer indsamlede datasæt. Sidescan-data blev processeret med SonarWiz 7 for at producere en klar mosaik; bathymetridata blev også processeret i SonarWiz 7. Patch-testen, udført i forbindelse med den bathymetriske opmåling, blev processeret med EIVAs NaviEdit software, hvor systemets roll, pitch og heave blev ekstraheret. Sedimentekkolodsdata blev processeret med IHS Kingdom suite og med Innomar ISE seismisk processerings-software.

Bathymetri datasættet blev korrigeret for peaks og outliers og derefter gridded med ArcGIS-software. Sidescan-mosaikken blev konverteret til *.TIFF-format for at kunne præsenteres på en GIS-platform. Selve sidescan-dataanalysen blev udført i SonarWiz 7, fordi dette software er bedre egnet til at observere og ekstrahere mere nøjagtig og detaljeret information.

Processeringen af de seismiske linjer i IHS Kingdom resulterede i seismiske profiler (tværsnit), hvor den øverste glaciale enhed (hård moræne) kunne tolkes på profilerne, ligesom dybde ned til enheden kunne noteres.

Prøvetagningspositioner blev udvalgt på baggrund af analysen af sidescan- og seismiske data. De udvalgte stationer blev dokumenteret i et arbejdsdokument indeholdende alle prøvetagningspositioner kombineret med sidescan-billeder og seismiske profiler samt en indledende tolkning.

Yderligere blev der udvalgt tre linjer fra hvert område, hvor der blev udført verificering ved hjælp af en dykker og et kamera. *Figur 2.2* viser survey-linjerne og de visuelle verifikationspositionerne for de to områder.

Figur 2.2. A) Nørrerev: survey-linje og udlagte dykkertransekter og drone videopunkter. B) Selsø Hage: survey-linje og udlagte dykkertransekter og drone video punkter.

2.3 Resultater

2.3.1 Substrat (sidescan-data) tolkning

Sidescan-data blev processeret i SonarWiz software, og det bedste akustiske billede af havbunden blev produceret for alle survey-linjer. Den gråskala, som er anvendt på sidescan-optagelserne, afhænger af havbundens refleksivitet og morfologi. Høj refleksivitet (mørke nuancer) er forventeligt fra hårde substrater såvel som fra vegetation og muslinger, hvorimod flade områder bestående af mudder eller silt resulterer i lav refleksivitet (lyse nuancer) fra det akustiske signal. Morfologien (reflektionsvinklen) spiller en vigtig rolle for den modtagne intensitet, hvorfor eksempelvis skygger fra sten kan observeres ved en høj indfaldsvinkel. Alle disse informationer blev brugt til at analysere sidescan-billederne og producere substrattypekort. *Figur 2.3* viser sidescan-mosaikken for de to områder.

Figur 2.3. A) Sidescan-mosaik af Nørrerev-området. B) Sidescan-mosaik af Selsø Hage-området.

Nørrerev

I område 1-1 blev de processerede sidescan-billeder analyseret med henblik på at udvælge punkter til yderligere visuel verifikation. Substrattypekortet blev produceret med brug af alle tilgængelige informationer, det vil sige sidescan, seismiske profiler, arkivdata og yderligere visuel verifikation. Substrattypekortet for område Nørrerev er vist på *figur 2.4*.

Figur 2.4. Substrattypekort for området ved Nørrerev.

På figuren ses det, at det meste af det lavvandede område ved Nørrerev er dækket af vegetation. Hvis vegetationsdækket er tæt, vil det forringe signalet fra den underliggende havbund. Substrattypen i dette område består af sand med spredte sten og er tolket ud fra det seismiske profil, de visuelle verifikationsundersøgelser bestående af video- og dykkerobservationer, samt hvordan området fremstår på sidescan-billederne. Størstedelen af de dybere områder (3-4 m) er dækket af mudder, sandet mudder eller sandet silt. Grovkornet sediment (grus) eller muslingebanker (i den sydlige del) er også observeret på sidescan-billederne.

Selsø Hage

I området blev alle tilgængelige datasæt brugt til tolkningen af substrattypekortet. I den sydlige del af området findes der i GEUS' arkiv data bestående af seismiske linjer og borehuller. Arkivdata giver her værdifuld information omkring miljømæssige forhold og den geologiske historie for området.

Tendensen for vegetationsdækket gentages ved Selsø Hage, hvor vegetationen dækker det vestlige lavvandede område. Også i dette område blev den seismiske profil, den supplerende visuelle verifikation og sidescan-billeder brugt til substrattypetolkningen. Sten med sandede lag findes ved dybder omkring 2-3 m, mens de nordlige og centrale områder er dækket af sand. Mudder, sandet mudder og sandet silt dækker de dybere dele af området. *Figur 2.5* viser substrattypekortet for Selsø Hage.

Figur 2.5. Substrattypekort for området ved Selsø Hage.

2.3.2 Sedimentekkolod (seismiske data) tolkning

De indsamlede seismiske profiler blev processeret med det dedikerede Innomar software ISE. De seismiske profiler blev brugt til substrattypetolkning samt udpegning af områder for supplerende visuel verifikation.

En avanceret analyse af datasættet blev foretaget med IHS Kingdom suite software. De successive stratigrafiske horisonter som manifesterer aflejrings-/erosionshistorikken og områdets geologi blev identificeret. Det er det øvre glaciale lag bestående af moræneler, der udgør det hårde sedimentlag, som kan bære vægten af mulige nye stenrev. Dette lag er blevet kortlagt, og dets dybde under havbunden samt tykkelsen af de overliggende lag er blevet udledt.

Nørrerev

Et eksempel på en seismisk linje, hvor det øvre glaciale morænelers lag er kortlagt, er vist i *figur 2.6*. Den brune linje repræsenterer det øvre glaciale lag bestående af en horisont af moræneler. Figuren illustrerer, hvordan det hårde sedimentlag når op til havbunden i den nordlige del af profilet.

Figur 2.6. Seismisk profil for linje 1 ved Nørrerev. Den brune linje er det øvre glaciale lag (moræneler).

Der blev lavet et 5 m grid baseret på alle seismiske linjer, som angiver dybden af det øvre glaciale lag. *Figur 2.7* viser dybdefordelingen af dette lag for Nørrerev-området.

Figur 2.7. Dybden til top glaciale lag ved Nørrerev.

Tykkelsen af lagene over morænen varierer fra ca. 0,4 m mod nordvest til ca. 6 m mod sydøst. Mod øst findes områder med gasholdige sedimenter (gas front), hvilket betyder, at tykkelsen af lagene over morænen ikke kan kortlægges, men lagene er formentlig mere end 6 m tykke, og de må antages at bestå af organisk-rigt blødt dynd. På de seismiske profiler ses, at moræneoverfladen er dækket af to typer sedimenter: nederst er der et transparent lag og øverst et mere lagdelt lag. Det øverste lag er formentlig mere sandet end det nederste lag. Der er ingen boringer i dette område, men lag af skaller forekommer næppe.

Selsø Hage

Den samme procedure blev fulgt for at identificere det øvre glaciale morænelerslag ved Selsø Hage. Laget befinder sig meget tæt på havbunden (ca. 30-40 cm under havbunden) og har en udbredelse på omkring 350 m langs den vestlige del af området (*figur 2.8*). I retning mod den sydøstlige flanke af Selsø Hage har laget en stejl hældning ned under havbunden.

Figur 2.8. Seismisk profil for linje 1 ved Selsø Hage. Den brune linje er det øvre glaciale lag (moræneler).

Det øvre glaciale moræneler slag blev identificeret og dets dybde under havbunden kortlagt. Der blev produceret et 5 m grid, baseret på samtlige survey-linjer, som dækker hele survey-området og viser en kontinuerlig overflade af moræneler slaget. Resultatet er vist på *figur 2.9*.

Mod nord på lavt vand findes moræne ved havbunden eller ganske nær havbunden. På sidescan-billeder kan man se spredte sten på havbunden. Mod syd er morænen dækket af havaflejringer, som bedømt ud fra boringer i området består af dynd, sand og skaller. Således er der i boring DGU 551209.20 fra en vanddybde på 4,2 m truffet en lagserie, der fra oven består af 3 m dynd, 6 m tykt lag skaller og 1 m moræneler. Ifølge kortet, der viser tykkelsen af dæklagene over morænen, skulle der kun være omkring 3 m dæklag over morænen, snarere end 9 m, som boringen viser. Positionen for denne boring, der er fra 1976, er dog noget usikker. Skalbanken er formentlig en del af den skalbanke, der findes mellem Eskilsø og Østskov og som har været kendt siden 1839, hvor sejlrenden i Skovrenden blev udgravet. Det er muligt, at boringen faktisk er udført noget øst for den angivne position *(Skov- og Naturstyrelsen 1987*; Marta, GEUS database).

Figur 2.9. Dybden til top glacial lag i område Selsø Hage.

2.3.3 Bathymetri (Swath bathymetry data) tolkning

Det indsamlede bathymetri datasæt er blevet korrigeret for bådens bevægelser og position. Derudover er outliers og støj i punktskyen fjernet. Der er meget begrænset swath-dækning i de lavvandede områder (ca. 10 m swath på 2 m's vanddybde), hvilket forårsager huller i den griddede bathymetrioverflade.

Nørrerev

Dybden i det kortlagte område (*figur 2.10*) stiger generelt fra vest nær Nørrerev mod øst, men centralt i området er der et lavvandet område. Den største vanddybde ses mod sydøst, hvor vanddybden er omkring 4 m. De mest lavvandede dele er omkring 2 m dybe.

Figur 2.10. Dybdekort for Nørre-rev-området.

Selsø Hage

Dybden i det kortlagte område stiger fra ca. 2 m mod nord til ca. 5 m mod syd. Til forskel fra Nørrerev er den dybderelaterede hældning svag fra øst mod sydvest, som vist på *figur 2.11*.

Figur 2.11. Dybdekort for Selsø Hage området.

3 Visuel verifikation med drone

3.1 Areal- og oversigtskortlægning

Den 30-8-2019 blev de tre kandidatområder kortlagt ved hjælp af drone. Der blev anvendt en Mavic 2 Pro drone (*figur 3.1)*, der blev programmeret til at optage billeder langs et grid. Flyvningerne blev foretaget i 100 m's højde, og billederne blev optaget med et overlap på 80 %. Der blev optaget mellem 200-600 billeder i hvert område. Efterfølgende blev billederne samlet til én fil (ortofoto mosaik med brug af Agisoft Metashape Professional software.

Figur 3.1. Mavic 2 Pro drone til arealkortlægning.

Nørrerev

Området er forholdsvis lavvandet med maksimal vandybde på 4,5 m inden for det udlagte undersøgelsesområde. En del af revet er til tider tørlagt og ses som den lange lyse stribe på *figur 3.2*. På grund af forholdsvis ringe sigt i vandet kunne billederne kun blive analyseret ned til 1,5-2 m's dybde (*figur 3.2*).

Figur 3.2. Ortofoto fra drone kortlægning omkring Nørrerev i Roskilde Fjord.

Selsø Hage

Dette område har en maksimal vanddybde på 5,2 m inden for det udlagte undersøgelsesområde. Droneoptagelserne er analyseret ned til ca. 2 m's dybde (*figur 3.3*).

Figur 3.3. Ortofoto fra drone kortlægning ved Selsø Hage i Roskilde Fjord.

Område 3

Området 3 er beliggende ud for campingpladsen sydøst for Veddelev Havn. Droneoptagelserne er analyseret ned til ca. 2 m's dybde (*figur 3.4*).

Figur 3.4. Ortofoto fra drone kortlægning ud for campingpladsen sydøst for Veddelev Havn i Roskilde Fjord.

3.2 Verifikation af udvalgte områder

På baggrund af de akustiske undersøgelser samt på baggrund af areal- og oversigtskortlægninger ved hjælp af drone blev der udvalgt en række visuelle verifikationspunkter (*figur 3.5*, *3.6* og *3.7*) til nøjere undersøgelse med drone forsynet med et undervandskamera (*figur 3.8*). Undersøgelserne blev foretaget den 26-9-2019.

Figur 3.5. Punkter ved Nørrerev undersøgt med undervands-kamera monteret på drone.

Figur 3.6. Punkter ved Selsø Hage undersøgt med under-vandskamera monteret på drone.

Figur 3.7. Punkter ud for campingpladsen ved Veddelev undersøgt med undervandskamera monteret på drone.

Figur 3.8. Drone forsynet med undervandskamera til verifikation.

3.3 Resultater

Figur 3.9, 3.10 og 3.11 viser bundforholdene på de udvalgte drone verifikationspunkter på Nørrerev (punkt 1.1 til 1.7), Selsø Hage (punkt 2.1 til 2.8) og ud for campingpladsen ved Veddelev (punkt 3.1 til 3.7).

Figur 3.9. Fotos taget med undervandskamera monteret under drone på positioner udvalgt til at verificere den akustiske kortlægning ved Nørrerev. Dybden blev målt samtidig og i sidste kolonne er anført en vurdering af bundsedimenter og biota.

Prøve #	Dybde (m)		Beskrivelse
1.1	3,2		Grusede sedimenter/sten/ålegræs/ makroalger
1.2	3,5		Silt/trådformede alger
1.3	3,2		Silt/trådformede alger
1.4	2,1		Sand/ålegræs
1.5	3,7		Sand/silt
1.6	3,6		Grusede sedimenter/vegetation
1.7	3,5		Sand/ålegræs

Figur 3.10. Fotos taget med undervandskamera monteret under drone på positioner udvalgt til at verificere den akustiske kortlægning ved Selsø Hage. Dybden blev målt samtidig og i sidste kolonne er anført en vurdering af bundsedimenter og biota.

Prøve #	Dybde (m)		Beskrivelse
2.1	2		Ålegræs
2.2	3		Sand/trådformede alger
2.3	3,5		Sand/blåmuslinger/sten
2.4	4,5		Sand/ålegræs
2.5	5		Sand-silt/trådformede alger
2.6	2		Sand/blåmuslinger/ålegræs
2.7	2,8		Sand/trådformede alger
2.8	3,8		Sand/trådformede alger

Figur 3.11. Fotos taget med undervandskamera monteret under drone på positioner udvalgt til at verificere den akustiske kortlægning sydøst for Veddelev Havn. I sidste kolonne er anført en vurdering af bundsedimenter og biota.

Prøve #		Beskrivelse
3.1		Sand/silt
3.2		Sand/silt
3.3		Sand/mindre sten
3.4		Mindre sten/vegetation
3.5		Mindre sten/ålegræs/havgræs
3.6		Muslingeskaller/havgræs
3.7		Små sten/vegetation

På det lavvandede område er udbredelsen af ålegræs, havgræs, trådalger, blåmuslinger og sten på baggrund af droneoptagelserne blevet analyseret i ArcMap. Analysen er foretaget på baggrund af billedernes RGB-værdi og ved hjælp af en Maximum Likelihood klassificering. Til klassificeringen er anvendt RGB-signalet fra target punkterne, hvis disse er placeret inden for det undersøgte område (*figur 3.12*, *3.13* og *3.14*).

På baggrund af drone areal- og verifikationsflyvningerne samt billedanalyserne kan følgende overordnede forhold beskrives for de tre undersøgelseslokaliteter på lavt vand:

Nørrerev

Ud til 2 m's dybde er 33 % af havbunden omkring Nørrerev dækket af ålegræs (*figur 3.12* og *tabel 3.1*). Ca. 12 % af havbunden er dækket af havgræs og 23 % er dækket af trådalger, hovedsagligt krølhårstang (*Chaetomorpha linum*). Billedanalysen viste, at ca. 8 % af havbunden er dækket af sten. Forekomst af blåmuslinger har ikke kunnet detekteres på billederne. Undersøgelse af verifikationspunkterne viste, at på vanddybder over 3 m bestod bunden hovedsagligt af sand, grus og silt med enkelte spredte sten bevokset med rødalger.

Figur 3.12. Område 1 med klassificering af arealudbredelse af ålegræs (grøn), havgræs (gul), trådalger (blå), blåmuslinger (rød) og sten (sort)

Tabel 3.1. Område 1 med angivelse af arealdækning og % dækning af det totale analyserede areal. Der er kun angivet procenter for de 5 emner.

Område 1	Areal m²	%
Ålegræs	23.799	33
Havgræs	8.581	12
Trådalger	16.521	23
Blåmuslinger	0	0
Sten	5.789	8

Selsø Hage

Ud til 2 m's dybde dækker ålegræs 36 % af havbunden ved Selsø Hage (*figur 3.13* og *tabel 3.2*). Der findes også spredte forekomster af trådalger, der dækker ca. 3 % af bunden. Sandbunden er flere steder dækket af blåmuslinger, som udgør et samlet areal på ca. 8 %. På dybere vand afløses sandbunden af en mere siltet bund med enkelte spredte sten, der dækker 2 % af havbunden. Disse sten er hovedsagligt bevokset med trådformede rødalger.

Figur 3.13. Område 2 med klassificering af arealudbredelse af ålegræs (grøn), havgræs (gul), trådalger (blå), blåmuslinger (rød) og sten (sort).

Tabel 3.2. Område 2 med angivelse af arealdækning og % dækning af det totale analyserede areal. Der er kun angivet procenter for de 5 emner.

Område 2	Areal m²	%
Ålegræs	24.020	36
Havgræs	0	0
Trådalger	2.251	3
Blåmuslinger	5.020	8
Sten	1.113	2

Området ud for campingpladsen ved Veddelev

Havbunden ud for campingpladsen er dækket ud til ca. 2,5 m's dybde af ålegræs og andre blomsterplanter (*figur 3.14* og *tabel 3.3*). Ålegræs udgør ca. 28 % af bunden, mens havgræs udgør 11 %. Foruden fasthæftet vegetation forekommer der også en del løst drivende alger i form af trådalger og rørhinde, der dækker ca. 10 % af bunden. Det samlede vegetationsdække udgør således ca. 50 %. På vanddybder over 2,5 m bliver havbunden mere siltet og vegetationen aftager. Der forekommer kun ganske få spredte mindre sten i området,

som er bevokset med trådformede rødalger – disse har dog ikke kunnet ses på dronebillederne.

Figur 3.14. Område 3 med klassificering af arealudbredelse af ålegræs (grøn), havgræs (gul), trådalger (blå), blåmuslinger (rød) og sten (sort).

Tabel 3.3. Område 3 med angivelse af arealdækning og % dækning af det totale analyserede areal.

Område 3	**Areal m²**	**%**
Ålegræs	15.537	28
Havgræs	6.143	11
Trådalger	5.602	10
Blåmuslinger	0	0
Sten	0	0

4 Dykkerundersøgelse af bundforhold og biologiske elementer

4.1 Undersøgelser

Der blev gennemført tre dykninger på både Nørrerev og ud for Selsø Hage den 7. oktober 2019 i meget stille vejr. Disse undersøgelser skulle dels supplere undervandsdroneoptagelserne med drop kamera, dels give en mere detaljeret beskrivelse af udviklingen af de fysiske og biologiske komponenter på bunden langs et dybdetransekt.

Undersøgelse af bundens bæreevne blev undersøgt ganske simpelt ved, om det var muligt for dykkeren at presse en knytnæve ned i bunden.

Sedimentsammensætningen og tilstedeværelse af ålegræs, blåmuslinger og makroalger blev visuelt vurderet af en dykker med erfaring i den type undersøgelse. Sedimentfraktioner blev opgjort i de kategorier, der er beskrevet i tekniske retningslinjer for stenrevsundersøgelser (*Dahl & Lundsteen 2018*) og angivet som en % dækning af bunden. Ålegræs og blåmuslinger blev ligeledes opgjort som den procentandel, de dækkede bunden. Makroalger blev derimod opgjort som en procentandel på stabile sten.

Endelig havde dykkene til formål af skaffe fotodokumentation til brug for det videre arbejde.

De seks transekter blev udlagt på baggrund af resultaterne fra de akustiske undersøgelser.

Figur 4.1. Tre transekter (line 1.1 til 1.3) udlagt ved Nørrerev (tv) og tre transekter (line 2.1 til 2.3) udlagt ved Selsø Hage (th). Det bagvedliggende kort beskriver dybden opmålt med multibeam langs de akustiske transekter.

4.2 Bundens beskaffenhed

Nørrerev

Ved Nørrerev var der en meget markant overgang fra mudret bund til sandet bund ved 3,7-3,8 m's dybde på de tre transekter (*tabel 4.1*).

På transekt 1.1 blev sten først observeret på 2,3 m's dybde (*tabel 4.1*). Mellem 1,7 og 1 m's dybde var tætheden af sten relativ hø,j og der var en del større sten. Mellem 0,5 og 1 m's dybde aftog stendækket, og bunden bestod primært af ustabile småsten på 2-5 cm størrelse.

Blåmuslinger var ret sparsomt til stede på alle dybder og nåede kun en dækning på 5 % på 2,3 m's dybde (*tabel 4.1*). Ålegræs forekom helt ud på mudderbunden på 4,3 m's dybde i form af enkelte individer, der sandsynligvis er frøspirede planter fra i år. Et enkelt mindre bed ålegræs havde næste 100 % dækning, men generelt voksede ålegræs spredt med gennemsnitlig dækning fra <0,1 % til 5 % i dybdeintervallet 4,3-1,5 m. Blågrønalgedækninger forekom udbredt på bunden på 3-4 m's dybde. Røde trådformede makroalger dækkede stabile sten omtrent 100 % på alle dybder. Der blev ikke observeret blæretang eller andre større brunalger. *Figur 4.2* dokumenterer bundforholdene på følgende tre udvalgte dybder.

Mudret bund med udbredte belægninger af blågrønalger på ca. 4 m's dybde.
Foto: © Karsten Dahl.

Spredte ålegræsplanter på sandbund og enkelte sten (baggrunden) på ca. 3 m's dybde. Bunden er dækket af et tyndt lag trådalger, hvoraf mange vurderes løse.
Foto: © Karsten Dahl.

Relative tætte stenforekomster på 1,5 m's dybde. Stenene er dækket af fasthæftede rødalger.
Foto: © Karsten Dahl.

Figur 4.2. Bundforhold og vegetation langs transekt 1.1 ved Nørrerev.

Transekt 1.2 havde allerede spredte ste forekomster på 3,7 m's dybde (*tabel 4.1*). Stentæthederne var dog generelt mindre, og det samme gjaldt stenstørrelsen sammenlignet med det sydligere transekt 1.1. Ålegræs forekom lidt mere udbredt fra 3,7 til 0,5 m's dybde sammenlignet med transekt 3.1 (*tabel 4.1*). Blåmuslinger var også her meget sparsomme. Blågrønalgedækninger forekom udbredt på bunden på 3-4 m's dybde (*figur 4.3*). Røde trådformede makroalger dækkede stabile sten omtrent 100 % på alle dybder. Der blev ikke observeret blæretang eller andre større brunalger.

Sten på 3,7 m overgroet med blågrønalger og med enkelte blåmuslinger på stenen og på sandbundne. Røde trådalger, sandsynligvis hovedsalig løse, ses over sandet.
Foto: © Karsten Dahl.

Spredte ålegræsplanter på sandbund mellem sten overgroet med røde trådalger på 1,7 m's vanddybde.
Foto: © Karsten Dahl.

Røde makroalger på sten på ca. 1 m's dybde.
Foto: © Karsten Dahl.

Figur 4.3. Bundforhold og vegetation langs transekt 1.2 ved Nørrerev.

Transekt 1.3 var det nordligst undersøgte transekt, og vanddybden over revet var betydelig større end det midterste transekt. Stenforekomster var sparsomme og blev kun observeret på den lavest undersøgte vanddybde (*tabel 4.1*). Stenene var alle overgroet med rødalger (*figur 4.4*). Ålegræs var derimod meget udbredt med gennemsnitlige dækninger varierende fra 20 % på 3 m's dybde til 70% og 90 % på 1,7 og 2 m's dybde (*figur 4.4*). Blåmuslinger blev kun observeret i lille antal.

Spredte ålegræsplanter på en sandbund med spredte sten overvokset med røde og grønne trådalger på 1,7 m's dybde.
Foto: © Karsten Dahl.

Tæt ålegræsbed på 2,5 m's dybde.
Foto: © Karsten Dahl.

Figur 4.4. Bundforhold og vegetation langs transekt 1.3 ved Nørrerev.

Tabel 4.1. Dykker skønnede sedimentdækninger og dækning af ålegræs og blåmuslinger på forskellige dybder langs tre undersøgte transekter ved Nørrerev. De første og sidste positioner i tabellen er inden for 4 m's nøjagtighed. Øvrige positioner på et transekt er taget 7-10 m fra positionen i retning mod land/laveste dybde (angivet med kursiv). De geologiske forekomster på havbunden udgør tilsammen 100 %. Oven på havbunden kan der yderligere været registreret muslinger eller ålegræs, som beskrives som en procentdækning af havbunden.

Område	Dybde (m)	Længdegrad (WGS-84)	Breddegrad (WGS-84)	Sten >60 cm	Sten 30-60 cm	Sten 10-30 cm	Sten 5-10 cn	Sten 2-5 cm	Grus	Sand	Mudder	Ålegræs	Blåmuslinger
Nørrerev 1.1	4,3	55.42,681	11.59,598								100 %	<1 %	
	4,0-3,7	*55.42,685*	*11.59,536*							100 %		1 %	
	2.3	55.42,694	11.59,524		5 %	5 %				90 %		2 %	5 %
	1,7				5 %	50 %	20 %		25 %			5 %	
	0,5					5 %		95 %					
Nørrerev 1.2	4,1	55.42,617	11.54,688								100 %		
	4,0										100 %		
	3,7	*55.42,825*	*11.54,607*			10 %			90 %			5 %	1 %
	2,8	55.42,825	11.59,576		2 %	5 %						15 %	
	1,7				5 %	10 %	5 %			80 %		5 %	
	0.5					10 %	10 %	10 %		70 %		1 %	
Nørrerev 1.3	4,3	55.42,975	11.54,752								100 %		1 %
	3,8									100 %			2 %
	3,0									100 %		20 %	2 %
	2,4									100 %		90 %	
	1,7			2 %	3 %					95 %		70 %	

Selsø Hage

Ved Selsø Hage var der også en markant overgang fra mudret bund til sandet bund, men der var en større forskel mellem de tre transekter. På transekt 2.1 startede transektet på 3,8 m's dybde og her var bunden allerede sandet med store spredte sten. På transekt 2.2 og 2.3 var der mudderbund ind til 3 og 2,7 m, på hvilke dybder større spredte sten også var at finde (*tabel 4.2*). Generelt var stentætheden betydelig mindre end ved Nørrerev. Mindre sten under 10 cm forekom ikke som synlige på havbunden.

På transekt 2.1 forekom ålegræs meget udbredt. Dækningen var ca. 10 % ved 3,8 m's dybde, men mellem 1 og 2,6 m's dybde var engene tætte med 80-100 % dækning med enkelte bare pletter ind imellem. Forekomst af blåmuslinger blev ikke registreret på dette transekt. Transekt 2.1 var det første, der blev undersøgt af de seks, og vi var endnu ikke opmærksomme på, at registrering af blåmuslinger var nyttig. Der kan have været en del muslinger mellem ålegræsskuddene, men der er ikke dokumentation for det på de billeder, der blev taget. De relativt få store sten, der blev observeret, var alle helt dækket af røde trådalger, ligesom løse trådalger dannede måtter på sandbunden flere steder.

Dybeste sten observeret på transektet på 3,8 m's dybde. Stenen er dækket af trådformede rødalger, der virker, som om en stor del er under henfald. Et 'låg' af blågrønalger dækker algerne på toppen af stenene. Løse trådalger danner en måtte på sandbunden. Foto: © Karsten Dahl.

Spredte sten med trådformet rødalgevegetation på en sandbund med pletvis forekomst af ålegræs. På sandbunden, hvor der ikke er ålegræs eller sten, danner løse trådalger drivende algemåtter. Foto: © Karsten Dahl.

Tæt ålegræ vegetation på 2 m's dybde.
Foto: © Karsten Dahl.

Figur 4.5. Bundforhold og vegetation langs transekt 2.1 ved Selsø Hage.

Transekt 2.2 ved Selsø Hage havde tætte forekomster af blåmuslinger helt fra den dybest undersøgte station på 4,1 m's dybde og ind til 1,4 m's dybde. Særligt mellem 2,5 og 1,4 m's dybde var muslingebankerne meget tætte. Muslingerne var mellem 3 og 4,5 cm store. Ålegræs forekom med spredte planter og ikke over 15 % dækning. På den lavest undersøgte vanddybde var der en udbredt vegetation af havgræs på sandbunden. Dette transekt var det mest stenrige af de tre med 10-20 % større sten fra 2,8 til 1,2 m's dybde. Stenene var alle dækket af trådformede rødalger. Enkelte unge individer af blæretang blev observeret på det lavere vand omkring 1,5 m's dybde. De kan være fasthæftet på sten nede i niveau med havbunden eller på en musling.

Sten på 3 m's dybde omgivet af blåmuslinger, der ligger på sandbunden. På stenen er der røde trådalger.
Foto: © Karsten Dahl.

Enkelte sten med trådformede rødalger og spredte ålegræsplanter på en bund med tæt forekomst af blåmuslinger på ca. 2 m's dybde.
Foto: © Karsten Dahl.

Blåmuslingebanke på 1,5 m's dybde med enkelte unge planter af blæretang. Blæretangen kan sidde på sten lige i havbundsoverfladen eller fæstnet på en musling.
Foto: © Karsten Dahl.

Sandbund på 1,2 m's dybde med spredte ålegræsplanter og en tæt bevoksning af blomsterplanten af arten havgræs. På denne dybde er muslingerne ikke længere til stede.
Foto: © Karsten Dahl.

Figur 4.6. Bundforhold og vegetation langs transekt 2.2 ved Selsø Hage.

Transekt 2.3 startede på lidt lavere vanddybde. Generelt blev der observeret få sten, som også her var dækket af trådformede rødalger. Blåmuslingeforekomsten var meget omfattende med 30 % dækning på 3 m's dybde og 80-97 % dækning fra 2,7 til 1,4 m's dybde (*figur 4.7*). Muslingernes størrelse var mellem 3 og 4,5 cm. Ålegræs forekom som mere spredt vegetation med 2-20 % dækning. På transektet blev der observeret en større svamp og en ubestemmelig 'hvid kugle', der kan være en ægsamling (*figur 4.7*). Små trådformede rødalger var fasthæftet til nogle muslinger (*figur 4.7*).

Blandet samfund på 2,5 m's dybde bestående af mindre samling af ålegræs, sten med trådformede rødalgevegetation samt tætte forekomster af blåmuslinger over sandbunden.
Foto: © Karsten Dahl.

Svamp på ca. 2 m* dybde omgivet af røde trådalger og blåmuslinger.
Foto: © Karsten Dahl.

Spredte ålegræsplanter i en muslingebanke, der ligger oven på en sandbund på 1,5 m's vanddybde.
Foto: © Karsten Dahl.

Blåmuslinger med spredt påvækst af trådformede rødalger og en ukendt løs 'hvid kugle', som måske er en ægsamling. Dybde ca. 1,5 m.
Foto: © Karsten Dahl.

Figur 4.7. Bundforhold og vegetation langs transekt 2.3 ved Selsø Hage.

Tabel 4.2. Dykker skønnede sedimentdækninger og dækning af ålegræs og blåmuslinger på forskellige dybder langs tre undersøgte transekter ved Selsø Hage. De første og sidste positioner i tabellen er inden for 4 m's nøjagtighed. Øvrige positioner på et transekt er taget 7-10 m fra positionen i retning mod land/laveste dybde (angivet med kursiv). De geologiske forekomster på havbunden udgør tilsammen 100 %. Oven på havbunden kan der yderligere været registreret muslinger eller ålegræs, som beskrives som en procentdækning af havbunden.

Område	Dybde (m)	Længdegrad (WGS-84)	Breddegrad (WGS-84)	Sten >60 cm	Sten 30-60 cm	Sten 10-30 cm	Sten 5-10 cn	Sten 2-5 cm	Grus	Sand	Mudder	Ålegræs	Blåmuslinger
Selsø Hage 2.1	3,8	55.43,769	12.03,501		2 %	8 %				90 %		10 %	?
	2,6	*55.43,742*	*12.03,481*									100 %	?
	2,0	55.43,762	12.03,501	5 %						95 %		100 %	?
	1,9								100 %				?
	1,0									100 %		80 %	?
Selsø Hage 2.2	4,1	55.43,666	12.03,560								100 %		40 %
	3,3										100 %		40 %
	3,0				1 stk.								
	2,8-2,5			5 %	5 %					90 %			
	2,3			5 %	10 %	5 %				80 %		5 %	70 %
	1,4			5 %	5 %	5 %				85 %		10 %	95 %
	1,2	55.43,745	12.03,6617	5 %	10 %	5 %			80 %			15 %	
Selsø Hage 2.3	3,0	55.43,643	12.03,637								100 %	2 %	30 %
	2,7	55.43,653	12.03,658		3 %	2 %				95 %		20 %	80 %
	1,5			Lille klump (4 m^2) med store sten						resten			97 %
	1,4			2 %	2 %					96 %		15 %	90 %

5 Transektundersøgelse ved overfladesvømning

Området ud for campingpladsen sydøst for Veddelev Havn blev undersøgt på 4 transekter den 25. juni 2019. Undersøgelsen blev gennemført ved overfladesvømning med dykkermaske og løbende videooptagelse på et Go-pro kamera. Transekternes placering fremgår af *figur 5.1*.

Der blev observeret sten op til 30-40 cm i vandkanten. Men derudover blev der ikke set sten over 10 cm på de fire transekter. Der er lavvandet (<1 m) i hele området indtil enden af sektionerne, hvor der relativ hurtigt bliver dybt, ca. 3 m. Der er områder, især på det laveste vand, med fast sand med spredte muslingeskaller.

Figur 5.1. Transekter ud for Roskilde Camping ved Veddelev. Bemærk at kortet er drejet lidt i retning nord-nordøst.

Transekt 1 (første fra nordvest). På det helt lave vand er der hård sandbund med trådalger og sandorme. Ålegræs forekommer tre fjerdedele ude af transektet, hvor vandet bliver dybt. Der er nogle andre mere spredte skud af blomsterplanten havgræs langs første halvdel af transektet helt fra lavt vand. Der er kun trådalger/løse alger fra ca. halvdelen af transektet og ud, hvor ålegræs overtager på dybere vand.

Transekt 2 (fra vest). Transektet starter med relativt tætte forekomster af blomsterplanten havgræs allerede inde på det helt lave vand. Der er megen epifytisk trådalgevækst på blomsterplanterne. Ca. halvvejs ude af transektet og ud til det dybe tynder det ud i blomsterplantevegetationen, og bunden bliver overvejende fri for vegetation. Bunden ser stadig relativ 'hård' ud.

Transekt 3 (fra vest). Blomsterplanten havgræs findes med relativ høj dækning helt fra transektets start på lavt vand. Ca. halvejs ude og til ca. tre fjerdedele af transektet er bunden med betydelig færre blomsterplanter. Disse kommer så igen i sidste ende på den sidste fjerdel ud mod dybt vand. Blomsterplanterne er overvokset med mange trådformede epifytter. Lidt grønalger er også observeret.

Transekt 4 (østligste). Første halvdel er med spredte havgræs blomsterplanter. Blandede blomsterplanter (ålegræs og havgræs) findes i større grad halvejs ude af transektet, og ålegræs bliver herefter mere almindelig.

6 Diskussion

De to kortlægningsmetoder med drone og undervandsakustik var tænkt at skulle supplere hinanden i rum og gerne med et overlap i kortlægning mellem de to metoder. Drone kortlægningen var imidlertid begrænset dybdemæssigt pga. en ringe sigtbarhed i vandet på undersøgelsestidspunktet. De akustiske undersøgelser var tilsvarende begrænset mht. til at nå ind på lavt vand pga. de sårbare instrumenter og risiko for kollision med større sten.

Som det ses af *figur 6.1* var det ikke muligt at få et overlap mellem undersøgelserne ved Selsø Hage, hvor der derimod var et mindre gab uden kortlægning. Til gengæld var det faktiske undersøgte område med akustiske instrumenter større end oprindelig planlagt.

Figur 6.1. Undersøgelsesområder med drone (mørke områder) og undervandsakustik (lyse områder).

Nørrerev-området

Der er kun fundet stenforekomster ved Nørrerevs sydlige ende, som har en tæthed, som falder inden for Miljøministeriets definition på stenrev med mindst 25 % stabile sten i et kerneområde. De tætte stenforekomster befinder sig i et relativt afgrænset bælte på omkring 1,5 m's dybde. På dybere vand blev der observeret sten med en tæthed og størrelse, der gør, at det ifølge ministeriets definition fortsat kan betragtes som et stenrev, mens tætheden på lavere vanddybde var for sparsom.

De geologiske arkivdata, de geofysiske og akustiske undersøgelser og visuelle observationer i området indikerer tre potentielle områder egnet til reetablering af stenrev ud fra de eksisterende akustiske kortlægninger af sedimenter, der kan være grundlag for stenforekomster.

Nørrerev område 1
Dette område er karakteriseret ved stenet substrat omgivet af sand og vegetation *figur 6.2A*, som vist på sidescan-billedet i *figur 6.2B*. Den visuelle verifikation med dykkerobservationer bekræfter tilstedeværelsen af 10 % sten ved en dybde på 2,5 m. Den akustiske survey dækker ikke de lavvandede områder, hvor dykkerobservationer afslører en væsentlig højere tæthed af sten.

Figur 6.2. A) Potentielt område 1 (Nørrerev). B) Sidescan-billede af potentiale område 1.

Ikke desto mindre viser de seismiske profiler for område 1, at det øvre glaciale morænelerslag befinder sig omkring 2,5 m under havbunden (grøn boks i *figur 6.3*). Kilden til de observerede sten kan ikke bekræftes på dette stadie, men det antages, at det øvre glaciale lag har en stejl hældning i dette område, som bevirker, at sten associeret til dette lag kommer op til overfladen i takt med, at vi bevæger os vestpå mod den helt lavvande del af Nørrerev.

Område 1 er omkring 50 m langt og strækker sig fra 2,3 m's dybde i retning mod vest og de lavvandede områder.

Nørrerev område 2
Dette område befinder sig nordligere end det foregående og omtrent ud for den nordlige spids af den ofte blottede banke (*figur 6.4A*), angivet med en sort boks på *figur 6.3*. I området befinder det øvre glaciale moræneler sig meget tæt på havbunden (ca. 40 cm), men på sidescan-billedet på *figur 6.4B* ses kun meget få sten på havbunden. Området er omkring 40-50 m langt, og dybden af morænelerslaget tiltager hurtigt, med en stejl hældning til følge, når vi bevæger os i østlig retning.

Figur 6.3. Seismisk profil af potentiale område 1 og 2.

Figur 6.4. A) Potentiale område 2. B) Sidescan-billede af potentiale område 2.

Nørrerev område 3

Dette område befinder sig nord for det på forhånd definerede kandidatområde, men indgik alligevel i kortlægningen (*figur 6.5*). Området er omkring 200 m langt, og havbunden er hovedsageligt dækket af vegetation, hvilket betyder, at kun få sten kan observeres på sidescan-billedet vist i *figur 6.5B*.

Figur 6.5. A) Potentiale område 3. B) Sidescan-billede of potentiale område 3.

Derimod fremgår det af den seismiske profil, at det øvre glaciale morænelerslag befinder sig meget tæt på havbunden, som vist i *figur 6.6*. Tykkelsen af dette morænelag er mindre end 50 cm.

Figur 6.6. Seismisk profil af potentiale område 3.

De geologiske og seismiske undersøgelser peger således på områder, hvor stenrev teoretisk har kunnet opstå ved erosion af moræneaflejringer på vanddybder over ca. 2 m.

Billedbehandlingen af de fladedækkende droneoptagelser på lavere vanddybde viser, at ålegræs forekommer på en stor del langs sandbanken på Nørrerev, men også at dækningen er lav ved område 1 i den sydlige del og lidt nord for den nordlige del omkring område 2. Disse resultater understøttes af dykkertransekterne, som fandt ålegræs med gennemsnitlig tæthed på maksimalt 5 % på den sydligste position og maksimalt 15 % lige nord for område 2. I det nordligste område 3 viste dykkertransektet og en enkelt af drone videopunkterne derimod høje dækninger med ålegræs.

Blåmuslingebanker blev ikke fundet ved Nørrerev. Hvor sandbunden ikke var bevokset med ålegræs, blev der ofte observeret sammenhængende måtter med løse trådalger.

Selsø Hage-området

Der er ikke observeret stenforekomster på dykkertransekterne, som falder inden for Miljøministeriets definition på stenrev med mindst 25 % sten i et kerneområde. De geologiske og akustiske undersøgelser på dybder over ca. 2 m viste, at der er to potentielle områder, der vil kunne bære udlægning af sten.

Sælsø Hage område 1

Dette område er lokaliseret i den østlige til sydøstlige del af området, som vist på *figur 6.7*. Området har en relativ høj procentdel af store sten, som det også fremgår af sidescan-billedet på *figur 6.8*.

Figur 6.7. Potentiale område 1 ved Selsø Hage.

Figur 6.8. Sidescan-billede af det potentielle område 1 ved Selsø Hage.

Det seismiske profil for området er vist på *figur 6.9*. Det øvre glaciale lag befinder sig tæt på havbunden over en strækning på omkring 200 m med en maksimal dybde på kun 40 cm under havbunden. Området er dækket med vegetation, hvilket forringer det akustiske signal fra havbunden, men en del store sten >10 cm kan alligevel observeres på sidescan-billedet. Området strækker sig fra survey-områdets dybdegrænse på 2 m til omkring 3,5 m's dybde i den sydlige del af survey-området.

Figur 6.9. Seismisk profil af potentiale område 1 ved Selsø Hage.

Selsø Hage område 2

Dette område er placeret centralt i området inden for det overordnede kandidatområde, som vist på *figur 6.10*, og strækker sig over ca. 150 × 30 m. Havbunden er karakteriseret ved spredte sten >10 cm i diameter med dybder på mellem 3-4 m i den centrale del af det pågældende område. På sidescan-billedet (*figur 6.11*) ses fordelingen af sten i området såvel som vegetationsdækket.

Figur 6.10. Potentiale område 2 i område ved Selsø Hage.

Figur 6.11. Sidescan-billede of potentiale område 2 ved Selsø Hage.

Det seismiske profil af dette potentiale område er vist på *figur 6.12*. Det øvre glaciale lag befinder sig tæt på havbundens overflade ved denne lokalitet, hvilket understøtter observationen af sten på sidescan-billedet.

Figur 6.12. Seismisk profil af potentiale område 2 ved Selsø Hage.

De biologiske undersøgelser langs dykkertransekter viste tætte forekomster af blåmuslinger observeret ved Selsø Hages to østlige transekter, som begge ligger inden for det potentielle område 1. Forekomsterne falder med stor sandsynlighed inden for definitionen biogene rev (Dahl & Petersen 2018). Biogene rev udgør sammen med stenrev habitatdirektivets 'rev' naturtype. Der er opstillet tre kriterier, som skal være opfyldt, for at blåmuslingebanker kan regnes som et biogent rev: 1) banken som minimum er på 2.500 m^2, 2) der er en minimum tæthed på 30 % muslinger, og 3) der er tre kohorter (årgange) til stede inden for banken. Det har ikke været en del af denne undersøgelse at kortlægge biogene rev med blåmuslinger, så der er ikke foretaget kohorteanalyser af muslinger i områder. Dele af muslingebanken ligger inden for det lavvandede område kortlagt ved droneundersøgelsen, og her er areal estimeret til 5.000 m^2 Bankens størrelse og tætheden af muslinger gør dog, at i hvert fald to kriterier er opfyldt. Det vestlige transekt ved Selsø Hage inden for område 1 har ligesom den nordlige del af Nørrerev meget tætte ålegræsbede fra ca. 2,6 m's dybde og ind på lavere vand. Ligesom ved Nørrerev var trådalger dominerende både fasthæftet på sten, men også som løse måtter på den lidt dybere sandbund. Blæretang blev observeret som enkelte spredte planter på lavt vand.

Selsø Hage område 2 ligger en smule dybere end område 1, men også i dette område blev der registreret ålegræs med en gennemsnitlig dækning på 10 % på 3,8 m's dybde stigende til 100 % ved 2,6 m's dybde. Blåmuslinger indgik desværre ikke blandt de forhold, som blev noteret på dette indledende transekt.

Området ud for campingpladsen ved Veddelev

I dette område er der ikke foretaget akustiske undersøgelser pga. den lave vanddybde. Generelt viste billedanalysen af de indsamlede dronebilleder, at ålegræsvegetationen og ligeledes havgræsvegetation var særdeles udbredt i området. Der er dog arealer næste uden vegetation særligt i det nordvestlige område. Dette blev også bekræftet af videooptagelserne fra det ene transekt.

7 Forslag til afgrænsning af egnede områder til naturgenopretning af stenrev

På baggrund af de geologiske og biologiske undersøgelser anbefales det at se bort fra området ved Selsø Hage, da områder med moræneaflejringer nær overfladen inden for undersøgelsesområdet samtidig rummer enten tætte ålegræsbede eller større muslingebanker.

Derimod er der to områder ved Nørrerev, som er fundet egnede til genopretning af stenrevsområder og et ud for campingpladsen ved Veddelev, som vil være egnet som formidlingsrev på en lavvandet lokalitet, lidt fra kysten. Området til formidlingsrev er egnet, da der er let offentlig adgang, lav vanddybde og nærhed til bymiljøer. Det betyder, at skoler, institutioner, foreninger m.m. kan benytte formidlingsrevet til undervisningsformål.

Nørrerev område 1
Området er udadtil afgrænset af 2,3 m dybdekurven og går ind til og evt. på sandbanken, der er tørlagt ved normal vandstand. Området fremgår af *figur 7.1* og dets afgrænsninger er angivet i *tabel 7.1*.

Det er projektgruppens faglige vurdering, at de biologiske omkostninger ved at udlægge sten i området er begrænsede i forhold til den forventede gevinst i form af en habitattype, der i dag sjældent forekommer i Roskilde Fjord. Bunden består generelt af en relativ stor andel af sten, ral og groft grus med kun spredt bevoksning af ålegræs. Ved udlægning af sten vil de spredte forekomster af ålegræs sandsynligvis gå tabt, og tilsvarende vil mulige infauna organismer som muslinger og polychaeter sandsynligvis gå tilbage på arealet under og måske mellem stenene. Til gengæld vil lokaliteten blive beriget med en større fysisk kompleksitet dannet af de udlagte sten. Stenene vil samtidig øge beskyttelsen mod erosion af de småstenede revstrukturer, der forekommer i dag, og tjene som habitat for en række tangplanter og dyr knyttet til den hårde bund. Tætte ålegræsbede og sandede bunde findes i rigt mål omkring det udpegede potentielle område.

Figur 7.1. Område 1 ved Nørrerev.

Nørrerev område 2
Området er afgrænset udad til 3,7 m dybdekurven og går ind til og evt. på sandbanken, der er tørlagt ved normal vandstand. Området fremgår af *figur 7.2* og dets afgrænsninger er angivet i *tabel 7.1*.

De biologiske omkostninger ved at udlægge sten i området vurderes også her relativt begrænsede, da bundens bevoksning af ålegræs ikke er tæt her. Igen skal omkostningen ses i forhold til gevinsten ved at få et mere komplekst fysisk revhabitat.

Figur 7.2. Område 2 ved Nørrerev.

Campingpladsen syd for Veddelev
Området er lavvandet med højst 1 m's dybde. Bunden synes relativ stabil, men der er ikke gennemført undersøgelser, som kan dokumentere, at den kan bære udlagte sten. De biologiske omkostninger ved at udlægge sten i området er begrænsede, da forekomsten af ålegræs og blomsterplanter er sparsomme i det udpegede område. Området fremgår af *figur 7.3*, og dets afgrænsninger er angivet i *tabel 7.1*.

Figur 7.3. Område 3 ved campingpladsen sydøst for Veddelev Havn.

Tabel 7.1. Potentielle restaureringsområder, arealer og deres dybdeintervaller.

Område	Areal (m^2)	Dybdeinterval	Position for afgrænsning	
			Længde	Bredde
Nørrerev 1	3.840	0-3 m	11 59.5011	55 42.7101
			11 59.53764	55 42.70368
			11 59.51952	55 42.67146
			11 59.48154	55 42.67728
Nørrerev 2	4.700	0-3,7 m	11 59.61894	55 42.84234
			11 59.54058	55 42.8109
			11 59.60484	55 42.80538
			11 59.55426	55 42.84954
Campingpladsen	1.165	ca. 0,5-1 m	12 4.22082	55 40.52502
			12 4.25796	55 40.53594
			12 4.26342	55 40.5207
			12 4.22352	55 40.51092

8 Referencer

Dahl, K. & Lundsteen, S. (2018) Makroalger og hårdbundsfauna på sten- og boblerev. Teknisk anvisning nr. M14. DCE – Nationalt center for Miljø og Energi. http://bios.au.dk/fileadmin/bioscience/Fagdatacentre/MarintFagdatacenter/TekniskeAnvisninger2011_2015/TA_M14__Makroalger_og_bundfauna_paa_sten-_og_boblerev_ver1.pdf

Dahl, K. & Petersen, J.K. (2018) Definition af biogene rev. Miljøprojekt nr. 1992. Miljøstyrelsen. https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2018/mar/definition-af-biogene-rev/

Dahl, K. og Palner, M. (2019) Naturgenopretning af stenrev i Roskilde Fjord -- er det foreneligt med den historiske udnyttelse og dagens beskyttelse? Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 8.3.2019.

Houmark-Nielsen, M. (2017) Geologi og landskaber i Nationalpark Skjoldungernes Land. Geologisk Tidsskrift 2017, pp. 1-20. ISSN 2245-7097, København.

Marta, GEUS database. https://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/marin-raastofdatabase-marta/

Palner, M. og Vestergaard-Nielsen, T. (2019) Naturgenopretning af stenrev i Roskilde Fjord – Interviewundersøgelse. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 21.02.2019.

Skov- og Naturstyrelsen (1987) Havbundsundersøgelser. Geologisk og råstofgeologisk bearbejdning. Roskilde Fjord.

9 Taksigelse

Tak til Janus Larsen for assistance med svømmetransekter ud for Veddelev og Jeppe Dalgaard Balle og Jakob Selvig-Hansen for sejlads på fjorden.

Tak også til Lars Ø. Hansen og Nicky H. Witt (GEUS) for deres hjælp med behandling af data for bathymetri og de seismiske linjer.

NATURGENOPRETNING AF STENREV I ROSKILDE FJORD

Basisundersøgelse af tre udvalgte lokaliteter

Rapporten er udført for Skjoldungernes Nationalpark med henblik på at skaffe viden om potentielle områder for genopretning af stenrev i Roskilde Fjords inderbredning. Rapporten beskriver de geologiske og biologiske forhold ved Nørrerev og Selsø Hage - to lokaliteter som indledende undersøgelser pegede på som mulige kandidatområder til et naturgenopretningsprojekt. Rapporten beskriver også de biologiske forhold for et område ud for campingpladsen syd for Veddelev Havn med henblik på etablering af et muligt formidlingsrev. På baggrund af analyser af de indsamlede data afgrænses to potentielt egnede områder ved Nørrerev som genopretningsprojekter og et egnet område syd for Veddelev Havn som et formidlingsrev.

ISBN: 978-87-7156-442-6
ISSN: 2244-9981