



# **GEOLOGI FOR SAMFUNNET**

SIDEN 1858



**NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE**  
· NGU ·





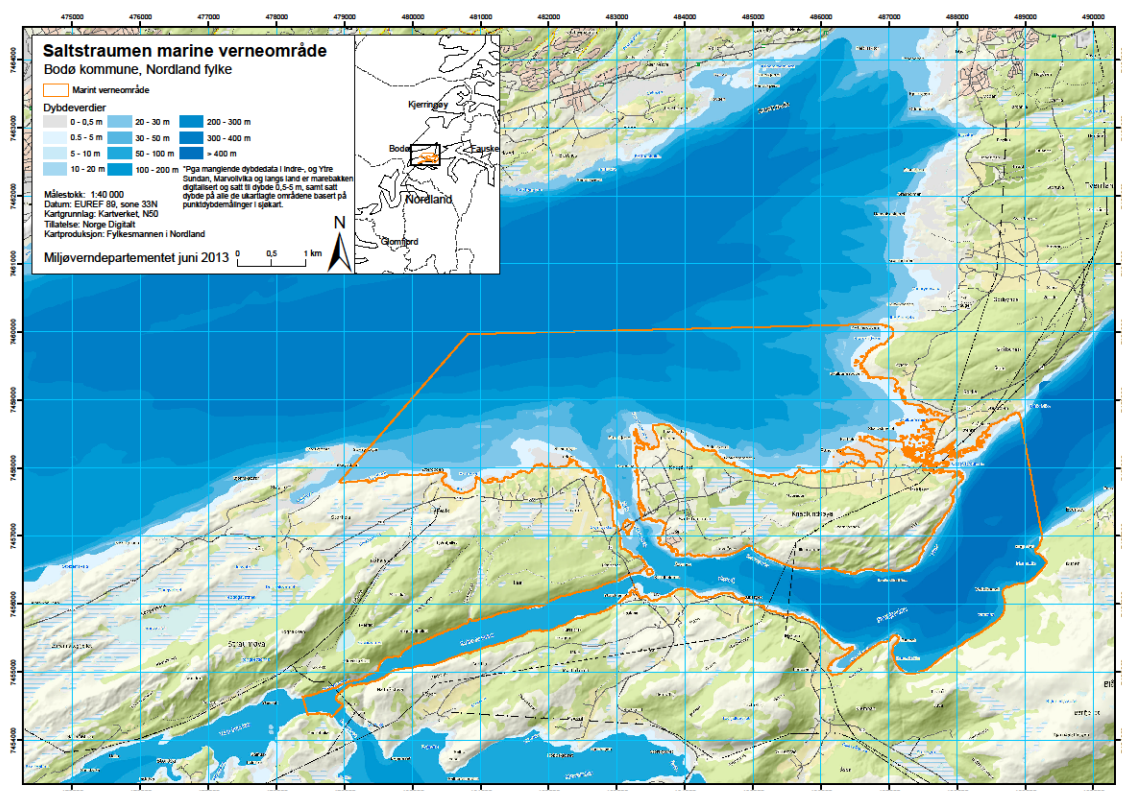
Rapport nr.: 2015.057	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen
<b>Tittel:</b> Kartlegging av Saltstraumen marine verneområde		
<b>Forfatter:</b> Liv Plassen, Thijs Christiaan van Son, Aave Lepland & Oddvar Longva	<b>Oppdragsgiver:</b> Fylkesmannen i Nordland, NGU	
<b>Fylke:</b> Nordland	<b>Kommune:</b> Bodø	
<b>Kartblad (M=1:250.000)</b> Bodø	<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b> 2029 I Valnesfjord, 2029 II Misvær, 2029 III Saltstraumen, 2029 IV Bodø	
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b>	<b>Sidetall:</b> 29	<b>Pris:</b> 245,-
<b>Feltarbeid utført:</b> September 2014	<b>Rapportdato:</b> 20. november 2015	<b>Prosjektnr.:</b> 359500
		<b>Ansvarlig:</b> R. Bøe Reidulv Bøe
<b>Sammendrag:</b> <p>Saltstraumen i Nordland er definert som verdens sterkeste tidevannsstrøm, og er derfor vurdert som et unikt kystareal med høy verneverdi. Med bakgrunn i etablering av Saltstraumen marine verneområde har Fylkesmannen i Nordland og NGU inngått en offentlig - offentlig samarbeidsavtale om utføring av prosjektet "Kartlegging av Saltstraumen marine verneområde". NGU har gjort maringeologisk kartlegging i verneområdet og utarbeidet marine grunnkart. NIVA har utført biologiske analyser og registrert naturtyper langs videolinjene innsamlet av NGU, i tillegg til å sammenstille eksisterende miljødata. Datasettene fra NGU og NIVA er så benyttet av NGU til å lage en romlig prediktiv modell av naturtypene i verneområdet.</p> <p>Det marine verneområdet dekker et sjøareal på 24,7 km<sup>2</sup>, og inkluderer overflata, vannsøyla og sjøbunnen. Kartleggingstokt med NGUs forskingsfartøy F/F Seisma fant sted i september 2014. Det ble samla inn data med Wassp (multistråleekkolodd), Topas (sedimentekkolodd), undervassvideokamera og sedimentprøver med grabb. For opparbeiding av de marine grunnkarta er det benytta detaljert multistrålebatymetri og reflektivitetsdata som viser relativ hardhet/jevnhet av bunnen, samt video og prøvetaking for verifisering av bunnforhold. Kartserien omfatter dybdeforhold, bunnsedimenter (kornstørrelse), skråning, naturtyper, ankringsforhold, gravbarhet og bunnfellingsområder. Kartleggingsresultata fra prosjektet vil bli publisert på <a href="http://www.ngu.no">www.ngu.no</a> og <a href="http://www.mareano.no">www.mareano.no</a>.</p> <p>Fordelinga av bunnsedimenter i Saltstraumenområdet gjenspeiler i stor grad dybde- og strømforhold; finkorna sedimenter som slam og sand blir avsatt i dype områder med lite bunnstrøm, mens i grunne områder med mye strøm er det erosjon eller ingen avsetning av sedimenter. I de grunne områdene med mye strøm er det fjell og grove sedimenter som grus, stein og blokk.</p> <p>Modelleringa av naturtyper er basert på marine hovedtyper fra Naturtyper i Norge versjon 1.0 (NiN 1.0). Sju marine hovedtyper - M8 Fast afotisk saltvannsbunn, M10 Tareskogsbunn, M11 Annen fast eufotisk saltvannsbunn, M12 Mellomfast afotisk saltvannsbunn, M13 Mellomfast eufotisk saltvannsbunn, M14 Løs afotisk saltvannsbunn og M15 Løs eufotisk saltvannsbunn er registrert og romlig predikert, noe som viser Saltstraumen marine verneområdes diverse natur.</p>		
<b>Emneord:</b> Maringeologi	Marine grunnkart	Modellering
Batymetri	Bunnsedimenter	Naturtyper
Ankringsforhold	Gravbarhet	Bunnfelling

## Innhold

1.	INNLEDNING .....	4
2.	KARTLEGGINGSOMRÅDE.....	5
3.	DATAGRUNNLAG OG METODER .....	7
3.1	Oversikt over innsamla data .....	7
3.2	Produksjon av marine grunnkart.....	11
3.3	Romlig modell av naturtyper .....	12
3.3.1	Miljødata .....	12
3.3.2	Responsdata.....	13
3.3.3	Modellering av naturtyper .....	14
4.	RESULTATER .....	15
4.1	Dybdeforhold.....	15
4.2	Skråning.....	17
4.3	Bunnsedimenter (kornstørrelse) .....	18
4.4	Ankringsforhold.....	19
4.5	Gravbarhet .....	20
4.6	Bunnfellingsområder .....	21
4.7	Naturtypemodellering .....	21
4.7.1	Modellvurdering, seleksjon.....	21
4.7.2	Romlig prediktiv modell av naturtyper i Saltstraumen marine verneområde ....	23
5.	DISKUSJON .....	25
5.1	Naturtypemodellering.....	25
6.	KONKLUSJONER .....	27
7.	REFERANSER .....	28
8.	VEDLEGG .....	29

## 1. INNLEDNING

Saltstraumen i Nordland er definert som verdens sterkeste tidevannsstrøm, og er derfor vurdert som et unikt kystareal med høy verneverdi (Figur 1). Norge har som part i den internasjonale konvensjonen om biologisk mangfold (CBD) forpliktet seg til å verne 10 % av sine hav- og kystarealer innen 2020. I 2001 ble et rådgivende utvalg oppretta for å vurdere mulige framtidige marine verneområder. Anbefalingene deres er inndelt i tre lister hvorav 36 områder ble prioritert som de viktigste områdene for å kunne ta vare på et representativt utvalg av naturtyper langs Norskekysten (liste A). I 2009 ble 17 kandidat områder klarert for oppstart.



Figur 1. Dybdekart over Saltstraumen marine verneområde.

Saltstraumen marine verneområde ble etablert ved kongelig resolusjon av 21. juni 2013 med hjemmel i lov 19. juni 2009 nr. 100 om forvaltning av naturens mangfold (naturmangfoldloven) § 34 jf. § 39 og § 62. Verneområdet dekker et sjøareal på 24,7 km<sup>2</sup> og inkluderer overflata, vannsøyla og sjøbunnen. Vernet har som formål å ta vare på et område som inneholder trua, sjelden og sårbar natur, representerer bestemte typer natur og som har særskilt naturvitenskapelig verdi. Saltstraumen inngår som ett av fem områder i kategorien *Strømrrike lokaliteter* i marin verneplan. Området har et rikt dyreliv tilpassa de spesielle strømforholda, som er resultat av tidevann og morfologi/batymetri, som igjen reflekterer geologiske strukturer og prosesser.

Fylkesmannen i Nordland har fått i oppdrag fra Miljødirektoratet å kartlegge naturtypene i verneområdet. Basiskartlegging av naturverdier er et viktig tiltak for å kunne utøve kunnskapsbasert forvaltning og vern av *Saltstraumen marine verneområde*. Produktet skal kunne anvendes i praktisk forvaltning, til arealstatistikk og utarbeiding av forvaltningsplan for verneområdet.

Med bakgrunn i etablering av *Saltstraumen marine verneområde* har Fylkesmannen i Nordland og NGU inngått en offentlig - offentlig samarbeidsavtale om utføring av prosjektet "Kartlegging av Saltstraumen marine verneområde". NGU har gjort maringeologisk kartlegging i verneområdet og utarbeidet marine grunnkart. NIVA har utført biologiske analyser og registrert naturtyper langs videolinjene innsamlet av NGU, i tillegg til å sammenstille eksisterende miljødata. Datasettene fra NIVA er så benyttet av NGU til å lage en romlig prediktiv modell av naturtypene i verneområdet.

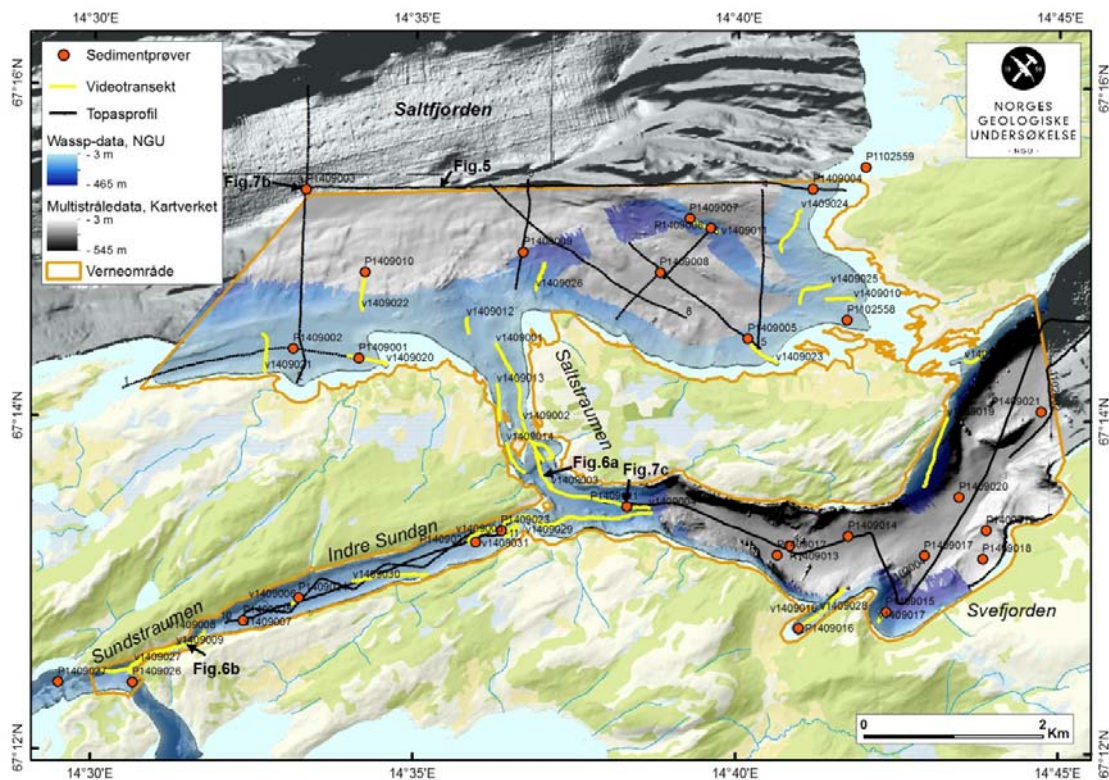
## **2. KARTLEGGINGSOMRÅDE**

Saltstraumen marine verneområde omfatter Saltstraumen, sørøstlige del av Saltfjorden, vestlige del av Svefjorden/Skjærstadvfjorden, Indre Sundan og Sundstraumen (Figur 1 og 2). Hovedstrømmen er Saltstraumen, som regnes som verdens sterkeste tidevannsstrøm, men det er også forbindelse gjennom Sundstraumen og Godøystraumen. Store vannmasser skifter plass gjennom sundene for å jevne ut tidevannsforskjellene mellom havet utenfor og de store fjordområdene innenfor. Middelhastigheten på Saltstraumen er beregnet til å ligge på 6-7 knop (ca. 13 km/t) og topphastigheten er over 20 knop (ca. 40 km/t) (Gjevik 2009; Fagerli et al. 2015). Under en tidevannsperiode på inn- eller utgående strøm, med varighet på 6 timer, kan opp til 370 millioner kubikkmeter vann passere.

Berggrunnen i Saltstraumenområdet består av karbonatholdige bergarter (kalkspatmarmor, kalkglimmerskifer og kalksilikatgneis), i tillegg til noe granitt og granodioritt (Solli 1990). De granittiske bergartene er motstandsdyktige mot erosjon. Karbonatbergartene, derimot, er bløtere og mindre motstandsdyktige mot forvitring og erosjon, og vann og is har lettere for å kunne grave seg ned i dem og utforme landskapet.

De siste 2.6 millioner år (kvartærtida) har vært prega av istider, og det er isbreene som ved erosjon har utforma de markerte landskapstrekkene vi ser i dag. Ved siste istids maksimum, for 18 – 25 000 år siden, lå isdekket ved eggakanten, langt utenfor Nordlandskysten (Olsen 2014). For 13 – 15 000 år siden lå iskanten ved de ytterste øyene i Salten, og for ca. 11 000 år siden hadde isen trukket seg innenfor Saltstraumen og langt inn i Skjærstadvfjorden.





Figur 2. Oversikt over innsamla Wassp-data (blå områder), Topasprofiler (svarte linjer), videotransekter (gule linjer) og grabbprøver (røde punkter). Oransje avgrensning representerer verneområdet. Lokalisering av figurene 5 - 7 er markert. Topografi fra Kartverket.

Dette er første gang sedimentene på fjordbunnen i Saltstraumen marine verneområde kartlegges. Omkringliggende fjordsystemer, som er kartlagt, viser at det ble avsatt store mengder glasmarine sedimenter (leir og silt med litt sand og grus) i de dype fjordbassengene i den perioden da isen trakk seg tilbake, for ca. 10 – 13 000 år siden (Plassen & Vorren 2002). Etter siste istid er det avsatt relativt lite sedimenter i fjordsystemene.

Ut i fra våre Topas-data finner vi ca. 30 m med myke finkorna sedimenter nede i Saltfjordbassenget. Oppover fjordsidene er det lite sedimenter over berggrunnen, men i flater parti og mindre bassenger ligger det noe sedimenter. I Indre Sundan er det også ca. 30 m med løse sedimenter i fjordbassenget, og i Svevfjorden når sedimentmektigheten 40-50 m.

### 3. DATAGRUNNLAG OG METODER

#### 3.1 Oversikt over innsamla data

Kartleggingstokt 1409 med NGUs forskingsfartøy Seisma fant sted 04. – 11. september 2014. Det ble samla inn data med Wassp (multistråleekkolodd), Topas (sedimentekkolodd), undervannsvideokamera og sedimentprøver med grabb (Tabell 1 og Figur 2).

Tidligere innsamlede multistråledata ble kjøpt inn fra Kartverket og prosessert og gridda på NGU før toktet. Området er dekket av tre måleoppdrag: Sjoemaaleren-0300, Sjoemaaleren-3798 (kun dybde, ingen bunnreflektivitetsdata) og Sverdrup-0106 (Figur 3). Supplerende datainnsamling med Wassp var nødvendig i Indre Sundan og langs med land. NGU har tidligere kjørt et Topasprofil i den dype delen av Svefjorden og tatt to grabbprøver øst i Saltfjorden.

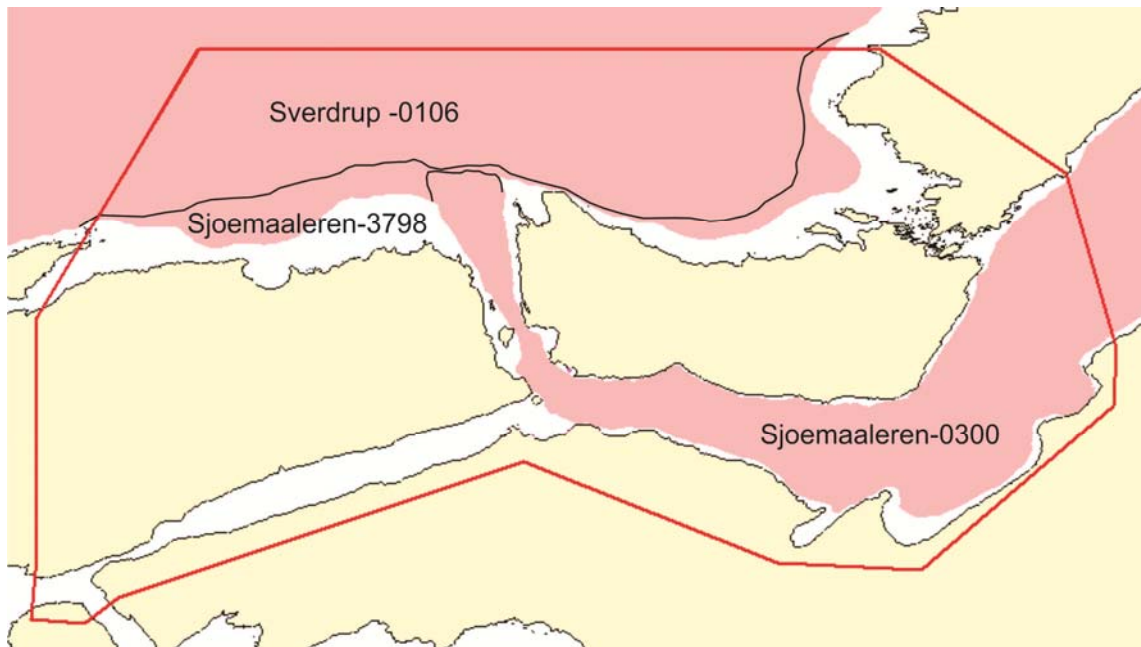
Værforholdene var bra, og alt utstyr fungerte godt under hele toktet. Sterk strøm i selve Saltstraumen og i Sundstraumen gjorde at kartlegginga her måtte skje i korte perioder rundt strømsnu. Mannskapet ombord på Seisma bestod av toktleder Liv Plassen, skipper Oddvar Longva og teknisk ingeniør John Anders Dahl.

**Tabell 1. Oversikt over innsamla data. Se Figur 2 for detaljer om hvor de ulike data er lokalisert.**

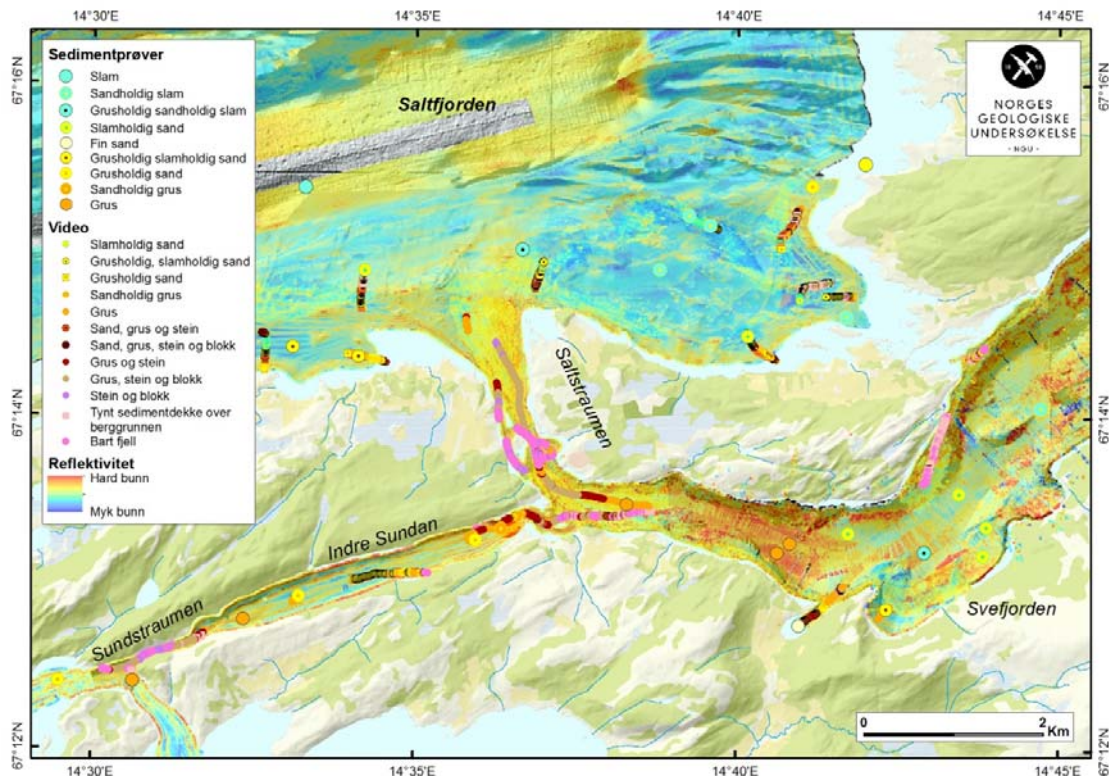
Utstyr	Antall	Lengde/Areal	Tid	Benevning
Wassp	Areal	10 km <sup>2</sup>		
Topas	11 profiler	29 km		T1409001 - T1409011
Video	31 transekter	16 km	800 minutter	V1409001 - V1409031
Gabb	27 prøver			P1409001 - P1409027

Wassp er et multistråleekkolodd koplet opp mot Olex ombord i Seisma, og som samler inn flatedekkende dybdedata og reflektivitetsdata (backscatter) fra sjøbunnen. Styrken på lydsignala som blir reflektert avhenger av hardhet og jevnhet på bunnen, og ut fra reflektivitetsmålingene får en et bilde av den relative hardheta/jevnheta på sjøbunnen.

Datasetta med reflektivitet har noe varierende kvalitet. Sjoemaaleren-0300 har dårlig kvalitet, mens Sverdrup-0106 har bra kvalitet unntatt i den dype delen av Saltfjorden. NGU sine data er bra, men viser noe striping.



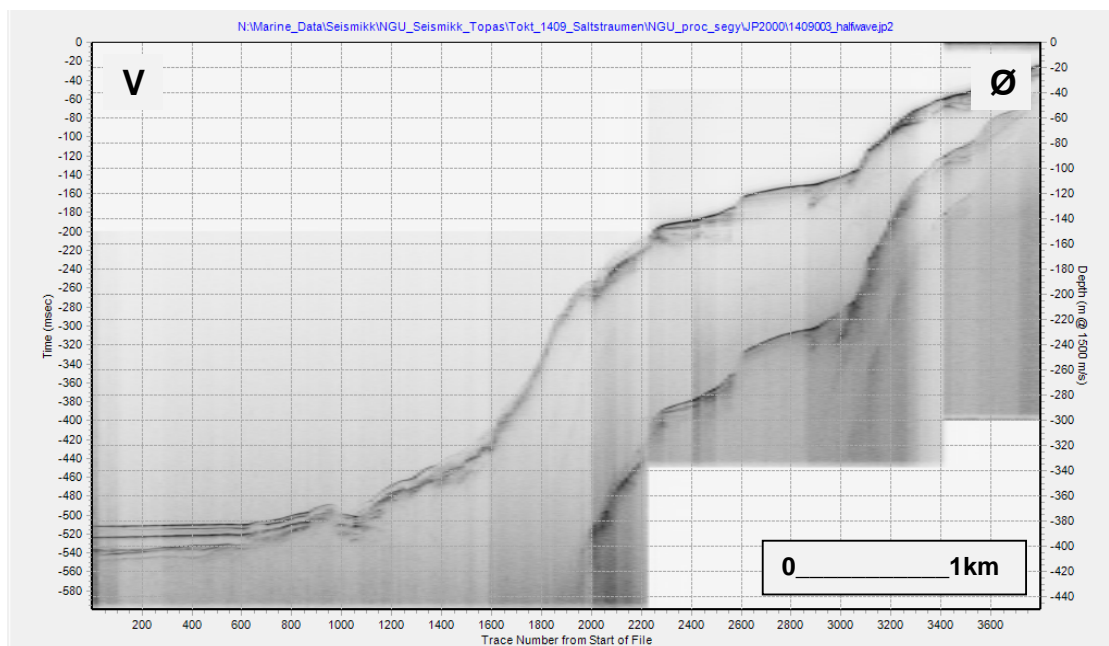
Figur 3. Rosa areal viser dekning av tidligere innsamlede multistråledata kjøpt inn fra Kartverket. Området omfatter tre måleoppdrag: Sjoemaaleren-0300, Sjoemaaleren-3798 og Sverdrup-0106.



Figur 4. Reflektivitetsdata drapert over skyggerelieff. Oransje og gule områder har en hard bunntype, mens grønne og blå områder har myke sedimenter. Tolkning av video og sedimentprøver er vist. Topografi/batymetri fra Kartverket.

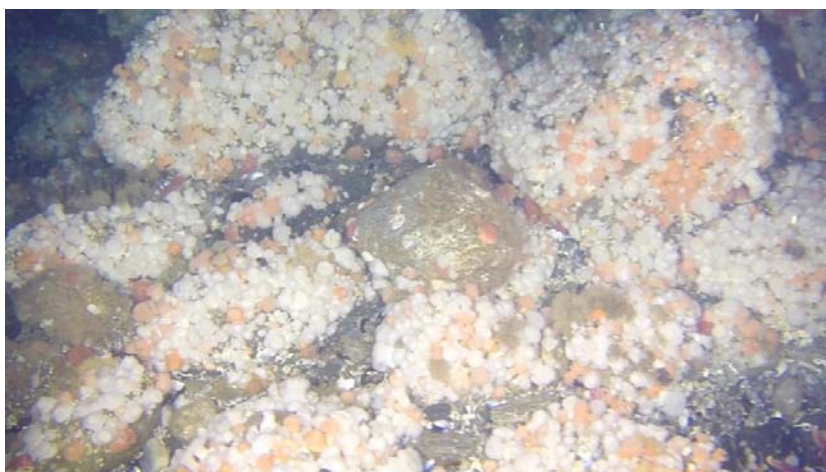


Topas er et sedimentekkolodd som viser sedimentlag under sjøbunnen. Topasprofilene gir en regional oversikt over sedimentfordelinga på og under bunnen, der en ser basseng med innfylling av sedimenter og rygger og skråninger med tynt eller manglende sedimentdekke.



Figur 5. Topas-profil T1409003 fra Saltfjorden i vest og østover mot land (se Figur 2 for lokalisering). Profilet viser ca. 30 m med myke, finkorna sedimenter nede i Saltfjordbassenget. Oppover fjordsida er det lite sedimenter over berggrunnen, men i de flatere partia ligger det noe sedimenter.

Videodata blir samla inn i 0,5 - 1 knops fart. Videoriggen har to kamera; et som gir opptak av høg kvalitet, og ett med lavere kvalitet, men som også gir informasjon om dyp og temperatur. NGUs videosystem kan filme bunnen ned til ca 200 m dyp. Geologien på bunnen blir logga i tekstfil mens opptaket blir gjort.



Figur 6a. Bilde fra videotransekt V1409003 i Saltstraumen, som viser stein og blokk overgrodd av sjøanemoner (se Figur 2 for lokalisering).



*Figur 6b. Bilde fra videotranssekt V1409008 i Sundstraumen, som viser klynger med sjøpølser, dødmannshånd, samt torsk og sjøstjerne på en bunn av skjellgrus og stein (se Figur 2 for lokalisering).*

Grabben tar sedimentprøver av sjøbunnen, ned til 30 cm under bunnen dersom det er myke sedimenter. Prøva blir fotografert på dekk og sedimenttype- og egenskaper blir ført i loggskjema. En representativ del av prøva blir lagra i plastpose.



*Figur 7a. Grabbprøvetaking på F/F Seisma.*



Figur 7b. Grabbprøve P1409003 tatt på 375 m dyp ute i Saltfjorden (se Figur 2 for lokalisering). Prøva inneholder slam.



Figur 7c. Grabbprøve P1409011 tatt på 129 m dyp i strømpåvirka deler av Sveffjorden (se Figur 2 for lokalisering). Prøva inneholder skjell og skjellgrus med noe runda mineralgrus.

### 3.2 Produksjon av marine grunnkart

Marine grunnkart består av en kartserie med ulike temakart som er utvikla av NGU gjennom ulike prosjekter i de senere år, og utgjør nå en standard for fjord og kystområder i Norge. For opparbeiding av de marine grunnkarta blir det brukt detaljert multistrålebatymetri og reflektivitetsdata, samt video og grabbprøver til verifisering av bunnforholda. All



databearbeiding og kartproduksjon foregår i ArcMap, bortsett fra naturtypekartet som modelleres og tilrettelegges i det statistiske programmet R.

Karta er utarbeidet med tanke på at de skal presenteres i målestokk 1:20 000, men kvaliteten er god nok til å vises i høyere oppløsning.

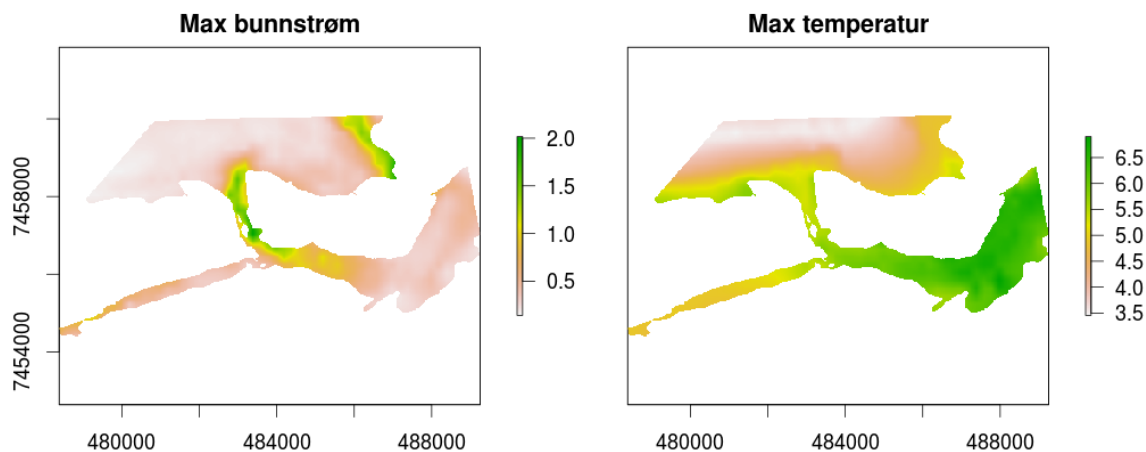
### **3.3 Romlig modell av naturtyper**

Naturtyper i Norge (NiN; 'Natur i Norge' fra versjon 2.0) er et system for inndeling og systematisering av norsk natur. NiN har som mål å beskrive all variasjon i norsk natur (Halvorsen et al. 2015). En utdypende forklaring av tilretteleggingen av data og den statistiske modelleringen av naturtyper i Saltstraumen marine verneområde med R-kode og illustrasjoner finnes i Vedlegg 1.

#### **3.3.1 Miljødata**

Heldekkende rasterkart av god kvalitet og med god evne til å forklare den observerte variabiliteten i responsen (her marine hovedtyper i NiN 1.0) er viktige for en vellykket modellering. I Saltstraumen marine verneområde har vi hatt tilgjengelig og valgte ut fire miljøvariabler (også kalt forklaringsvariabler) som vi mener nettopp kan bidra til å forklare variabiliteten i fordelingen av naturtyper. Disse miljøvariablene er dyp og sedimentkornstørrelse som begge har en oppløsning på 25 m. Sedimentkartet er produsert av NGU for dette prosjektet og brukes her som variabel i modelleringen av naturtyper. Vi brukte også to oseanografiske variabler som av erfaring er viktige for å forklare endringer i marin biologi og marin geologi på havbunnen. Disse er bunnstrøm og bunntemperatur (gjort tilgjengelig for dette prosjektet av T. Bekkby, NIVA) som har en oppløsning på 200 m. De oseanografiske variablene kommer i ulike varianter (f. eks. maximum, minimum, gjennomsnittlig bunnstrøm). Disse er ofte korrelerte seg i mellom, og vi valgte derfor ut en av variantene for bunnstrøm og bunntemperatur basert på hvilke som er minst korrelerte med andre variabler, som for eksempel dyp.

Da vi ønsket å modellere på 25 m oppløsning (oppløsningen til dybde data og sedimentkartet) desaggregerte vi de oseanografiske variablene fra 200 m til 25 m oppløsning. I tillegg måtte alle variablene klippes og maskeres for å ha akkurat samme utstrekning. Etter å ha gjort en test for kolinearitet valgte vi ut max bunnstrøm og max temperatur (Figur 8) som da sammen med dyp og sedimentkornstørrelse utgjør de fire variablene som inngår som potensielle forklaringsvariabler i den statistiske modelleringen.



Figur 8. Rasterkart av variablene max bunnstrøm og max bunntemperatur som er brukt i modelleringen.

### 3.3.2 Responsdata

NIVA har gjort 9230 registreringer eller observasjoner av naturtyper og megafauna langs de 31 videolinjene som NGU har samlet inn i Saltstraumen marine verneområde. Romlig autokorrelasjon er en utfordring med slike tette observasjoner langs videolinjer. I tillegg ønsket vi å bruke en modelleringstilnærming som tar utgangspunkt i en matrise med responser langs kolonnene og observasjoner nedover radene. Vi valgte derfor å aggregere NIVAs naturtypeobservasjoner innenfor 100 m lange segmenter av videolinjene. Totalt endte vi opp med 216 slike segmenter. Noen av disse segmentene inneholdt ingen registreringer og ble derfor ekskludert fra den statistiske modelleringen. I praksis vil denne aggregeringen si at vi teller opp antall registreringer av de ulike naturtypene innenfor hvert segment. Vi ender da opp med en matrise der kolonnene utgjør de ulike naturtypene og hver rad tilsvarer et segment.

Noen observasjoner i stasjon 22 i Saltfjorden er klassifisert som M8 (Fast afotisk saltvannsbunn). Disse virker å være feilklassifisert. Vi har sett på videoene på nytt og har vært i dialog med NIVA om dette. Mest sannsynlige naturtype for de aktuelle observasjonene er M12 (Mellomfast afotisk saltvannsbunn) eller M14 (Løs afotisk saltvannsbunn). NIVA mener at stasjonene bør klassifiseres som M12 og vi har dermed gjort endringer i henhold til deres anbefaling. I tillegg er det enkelte observasjoner som ligger langt fra videolinjene (mer en 25 m). Disse har tydelig feil med posisjonen og vi har fjernet dem siden de introduserer støy i modelleringen.

Ekstraksjonen av antall observasjoner av naturtyper innen hvert 100 m segment har ikke tatt hensyn til at flere observasjonspunkter har repeterende linjer i shapefilen fra NIVA. NIVA har repetert observasjonspunktene der det ikke var plass til alle observasjoner av megafauna på en linje i shapefilen og de har satt inn ekstra linjer etter behov. Dette medfører at antall hovedtyper i flere segmenter er overestimert. Dette har vi løst ved å konvertere

naturtypematriksen til tilstedeværelse/fravær (presence/absence), dvs at matrisen har score 1 når en naturtype er tilstede i et gitt segment og 0 ellers.

### 3.3.3 Modellering av naturtyper

Den statistiske modelleringen av marine NiN 1.0 hovedtyper er gjort i flere trinn. Vi har ikke brukt en såkalt forward/backward-seleksjon av variabler da mange mener at dette kan betegnes som ‘data mining/dredging’. I stedet har vi laget et sett av mulige modeller som vi mener kan forklare fordelingen av naturtyper. Vi bruker funksjonen `manyglm()` i `mvabund` (Wang et al. 2012) pakken i R til å modellere naturtypematriksen som en funksjon av variablene. `manyglm()` tilpasser en generalized linear model simultant til hver enkelt av hovedtypene i naturtypematriksen. Fordelene med denne metoden er at den kan bruke korrelasjoner mellom responsene (her hovedtyper) til å bedre kunne predikere deres utbredelse (Warton et al. 2015).

Etter å ha tilpasset `manyglm()`-er til modellene i modellsettet ble dem sammenlignet ved å bruke en ‘Information Theoretic Approach’ (ITA; Burnham et al. 2010). I denne tilnærmingen sammenlignes modeller ved hjelp av AIC og AICc (i tillegg brukte vi også BIC). Vi delte også vilkårlig opp datasettet i fem like store deler og kjørte en kryssvalidering av modeller utvalgt ved hjelp av ITA. De kryssvaliderte modellene ble deretter predikert i rom hvorpå en visuell og kvalifisert vurdering ble gjort for å oppdage eventuelle klare feilpredikeringer. Tilslutt ble den eller de modellene som er best til å predikere til nye data evaluert ved hjelp av en såkalt ‘confusion matrix’.

Som nevnt ovenfor har vi etter sjekk for kolinearitet følgende forklaringsvariabler tilgjengelig for den statistiske modelleringen:

- Dyp (d)
- Max bunnstrøm (s)
- Max bunntemperatur (t)
- Sedimentkornstørrelse (k)

Under normale omstendigheter bruker man ofte ‘model-averaging’ basert på ‘Akaike weights’ i ITA. Akaike weights er et mål for sannsynligheten for en gitt modell gitt dataene og settet av modeller. Model-averaging basert på multivariat analyse (som her) er lite utviklet og vi er derfor nødt til å bruke de ‘beste’ eller de ‘best egnede’ modellene i modellsettet til romlig prediksjon. Følgende modellsett inngår i analysen:

1. **dk**: Dyp + Sedimentkornstr
2. **dsk**: Dyp + Bunnstrøm + Sedimentkornstr
3. **dstk**: Dyp + Bunnstrøm + Bunntemp + Sedimentkornstr
4. **dst**: Dyp + Bunnstrøm + Bunntemp
5. **d2k**: Dyp<sup>2</sup> + Sedimentkornstr



6. **d2s2k**:  $\text{Dyp}^2 + \text{Bunnstrøm}^2 + \text{Sedimentkornstr}$
7. **d2s2t2k**:  $\text{Dyp}^2 + \text{Bunnstrøm}^2 + \text{Bunntemp}^2 + \text{Sedimentkornstr}$
8. **d2s2t2**:  $\text{Dyp}^2 + \text{Bunnstrøm}^2 + \text{Bunntemp}^2$
9. **dxsk**:  $\text{Dyp} * \text{Bunnstrøm} + \text{Sedimentkornstr}$
10. **dxstk**:  $\text{Dyp} * \text{Bunnstrøm} + \text{Bunntemp} + \text{Sedimentkornstr}$
11. **dxst**:  $\text{Dyp} * \text{Bunnstrøm} + \text{Bunntemp}$
12. **dxst2k**:  $\text{Dyp} * \text{Bunnstrøm} + \text{Bunntemp}^2 + \text{Sedimentkornstr}$
13. **dxst2**:  $\text{Dyp} * \text{Bunnstrøm} + \text{Bunntemp}^2$

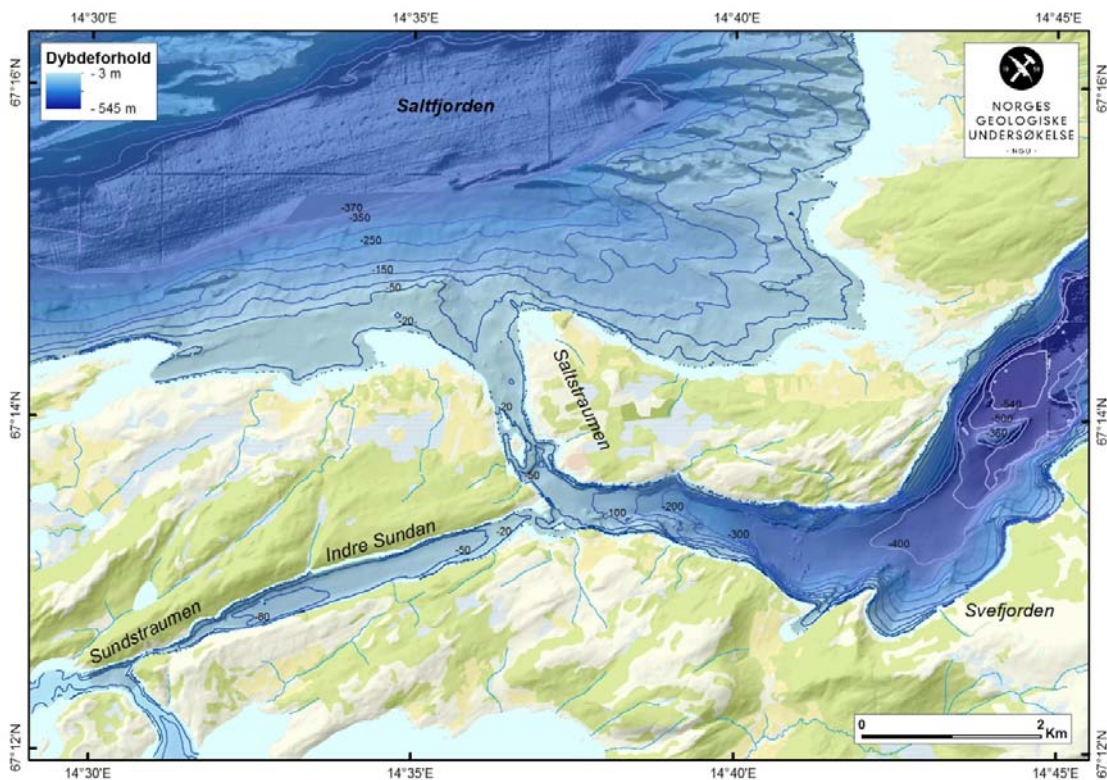
## 4. RESULTATER

### 4.1 Dybdeforhold

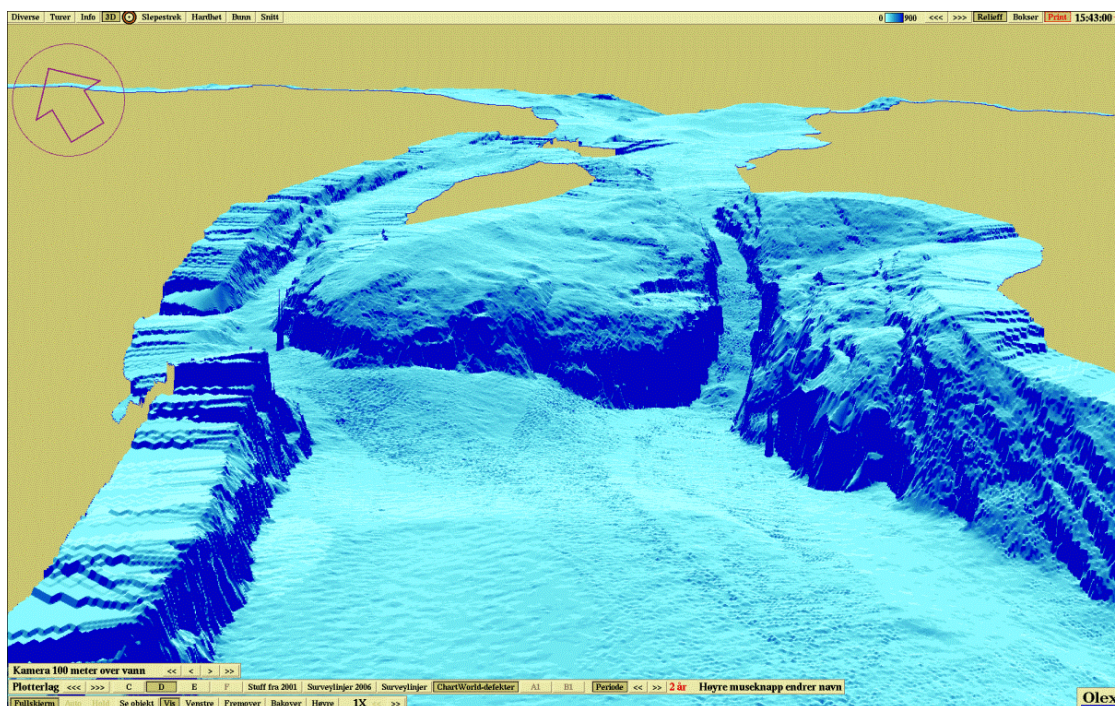
Detaljerte kart over dybdeforhold utgjør viktig basisinformasjon for kartlegginga. I tillegg til å vise eksakte dybder, blir disse dataene brukt til å kalkulere konturer, skråning og skyggerelieff. Karta er presentert som 10 meters gridd innenfor verneområdet og som 50 meters gridd utenfor (Forsvaret har frigitt detaljerte dybde-data innenfor verneområdet til offentlig bruk).

De dypeste delene av Saltstraumen marine verneområde er i Svefjorden, som har et maksimum dyp på 548 m, og i Saltfjorden med et maksimum dyp på 377 m (Figur 9). Indre Sundan er nærmere 90 m dyp i vestlige del, før den smalner inn mot Sundstraumen. Selve Saltstraumen er 25 m dyp i sentrale deler, og blir gradvis dypere nordover mot Saltfjorden. Fra brua (øst og vest for Storholmen) og sørover går to markerte renner (Figur 10). Den østlige renna er mest markant, og her øker dypet brått ned til 100 m over en distanse på vel 300 m.

Svefjorden er flankert av bratte fjordsider på nordsida og slakere på sørsida. I den dypeste, østlige delen stikker det opp en bergknaus 100 m grunnere enn den omkringliggende fjordbunnen. Sundet mellom Svefjorden og Indre Sundan er 15-20 m dypt. Dypet øker gradvis vestover, til nærmere 90 m, før Indre Sundan smalner inn mot Sundstraumen. Indre Sundan er ca. 4 km lang og har bratte fjordsider, unntatt langs den sørøstre delen. Sundstraumen er 50 m brei på det smaleste og mellom 30 og 40 m dyp. Dypet øker til 80 m i bassenget vest for straumen.



Figur 9. Dybdeforhold i Saltstraumen marine verneområde. Kartet viser dybde drapert over skyggerelieff og med 50-meters konturintervall pluss 20 m konturen Topografi på land fra Kartverket.



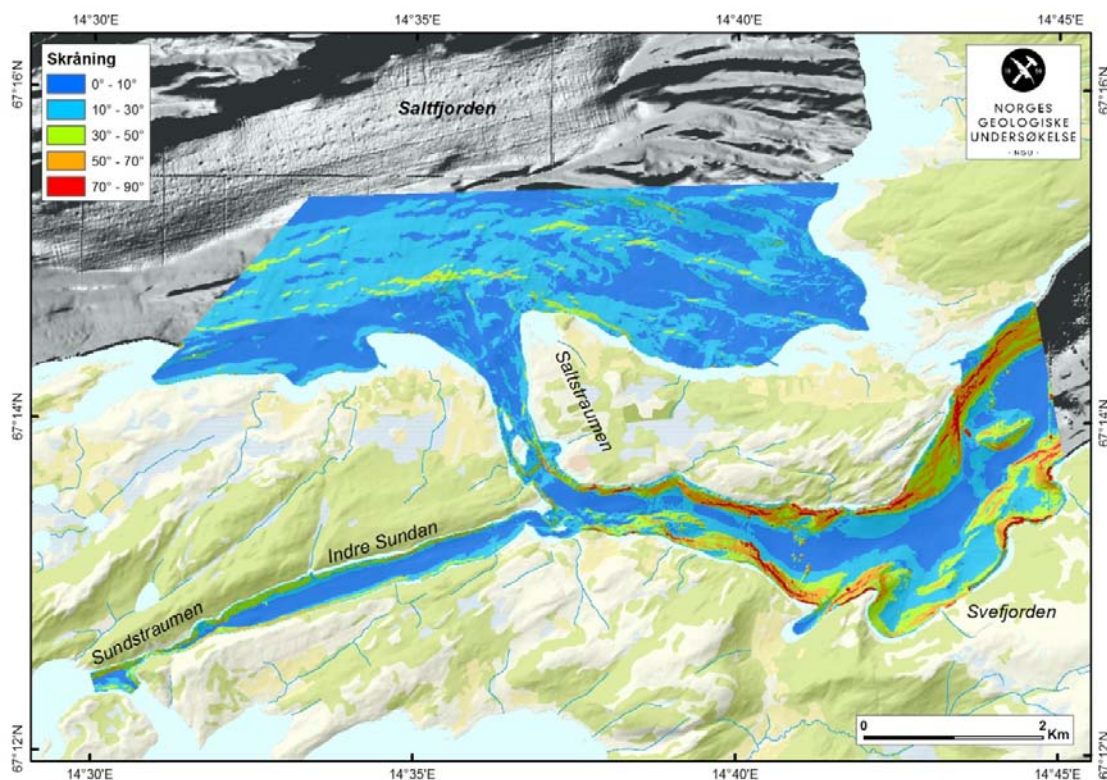
Figur 10. 3D-modell fra OLEX som viser de to markerte rennene sør i Saltstraumen.



## 4.2 Skråning

Skråningskartet viser skråningen på sjøbunnen i grader. Skråning blir kalkulert fra dybde data ved hjelp av ”Spatial analyst slope tool” i ArcGis. Skråningsdata er et nyttig verktøy for utarbeiding av bunnsedimentkartet, da områder med over 30° skråning er så bratte at det vil finnes lite eller ingen sedimenter over berggrunnen.

I Saltstraumen marine verneområde finner vi de bratteste områdene sør i Saltstraumen og langs fjordsidene i Svefjorden, og da spesielt på nordsida (Figur 11). Det meste av fjordsidearealet er over 30°, mye over 50°, og stedvis også over 70°. De sentrale delene av Svefjorden er relativt flate, med unntak av bergknausen øst i området. Fjordsidene i Indre Sundan har generelt en skråningsgrad mellom 30 og 50°, mens en del av arealet er over 70°. Fjordbunnen er tilnærmet helt flat. Nordlige del av Saltstraumen og delen av Saltfjorden som inngår i verneområdet har variert skråningsgrad nedover mot den flate fjordbunnen. Det meste av arealet er under 30°, hvorav ca. halvparten er under 10°. Noen langsgående bergstrukturer har skråning mellom 30 og 50°.



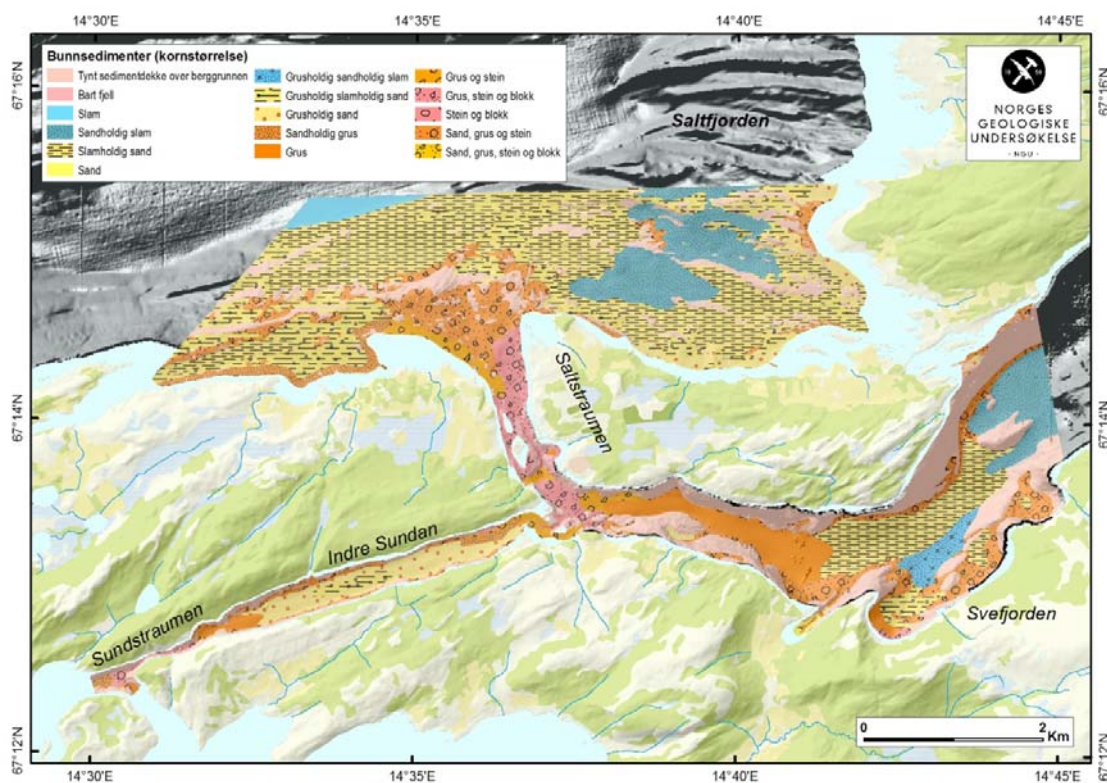
Figur 11. Skråningskart. Kartet viser skråning drapert over skyggerelieff. Topografi på land fra Kartverket.



### 4.3 Bunnsedimenter (kornstørrelse)

Bunnsedimentkartet viser kornstørrelsen til bunnsedimenta, for eksempel slam, slamholdig sand, grus eller stein og blokk. Kartet er basert på detaljert multistrålebatymetri og bunnreflektivitet, samt video og prøvetaking til verifisering av bunnforhold. Kartet viser sedimenttypen i de øverste ca. 25 cm av bunnen. Bunnsedimentkartet danner grunnlag for kart over ankringsforhold, gravbarhet og bunnfellingsområder, i tillegg til å være en viktig forklaringsvariabel i modelleringen av naturtyper.

I ”Maringeologisk standard for klassifisering av kornstørrelsesdata” er det definert 34 sedimentklasser/bunntyper (Vedlegg 2). I Saltstraumen marine verneområde har vi benyttet 16 av disse klassene (Figur 12). Sedimentfordelinga gjenspeiler i stor grad dybde- og strømforhold; finkorna sedimenter som slam og sand blir avsatt i dype områder med lite bunnstrøm, mens i grunne områder med mye strøm foregår det ingen avsetning/erosjon, og her finner vi bare grove sedimenter som grus, stein og blokk. På kartet (Figur 12) ser vi at bunnsstratet gjennom Saltstraumen og i Sundstraumen er grove sedimenter eller fjell og at grus, i hovedsak store skjellfragmenter, strekker seg i forlengelsen av Saltstraumen og ned mot dypere vann i Svefjorden.



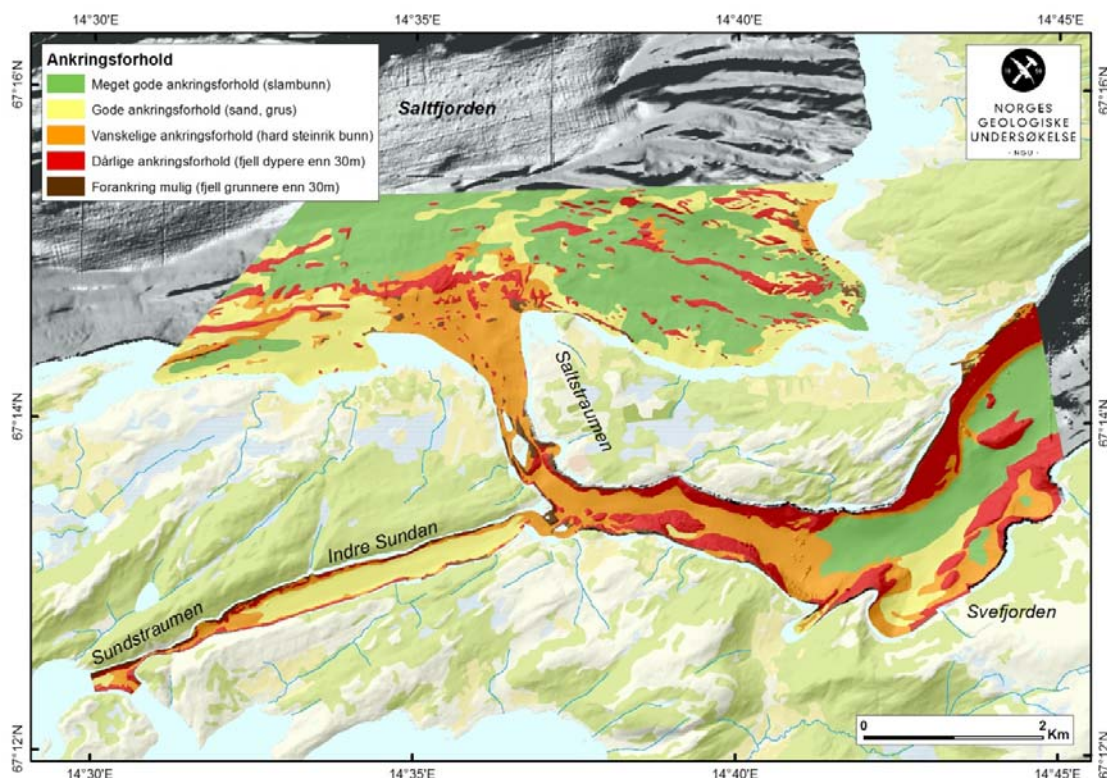
Figur 12. Bunnsedimenter (kornstørrelse). Kartet viser bunnsedimenter drapert over skyggerelieff. Topografi på land fra Kartverket.

#### 4.4 Ankringsforhold

Ankringsforhold er tolket ut ifra bunntype/bunnsedimentkartet, dybde og skråning. I tillegg til å identifisere områder med relativt godt hold for anker, vises også områder der det kan gå an å montere festbolter (fast fjell ned til ca. 30m dyp). Normalt regnes finkornede sedimenter, for eksempel leire og silt, som gode ankringsforhold, mens hardere bunn kan være mer utfordrende. Ankringsforhold er definert i fem klasser. Ved å vite noe om type bunn kan man enklere velge den mest optimale fortøyningsmetoden, noe som bedrer sikkerheten for installasjoner og oppdrettsanlegg.

I Saltstraumen er marine verneområde er kornstørrelsesklassene slam, sandholdig slam, slamholdig sand og grusholdig sandholdig slam definert som områder med meget gode ankringsforhold (Figur 13). Det må likevel tas hensyn til at bunnsedimentene representerer kun de øvre ca. 25 cm, og at det kan være hardere sedimenter/berggrunn under dette dypet. Kornstørrelsene grusholdig slamholdig sand, sand, grusholdig sand og sandholdig grus representerer gode ankringsforhold. Områder med grus, stein og blokk har vanskelige ankringsforhold.

Generelt i verneområdet er Saltstraumen, Sundstraumen og fjordsidene i Indre Sundan og Svefjorden lite egnet for ankring. Fjordbunnen i Indre Sundan og Svefjorden, i tillegg til store deler av Saltfjorden har gode ankringsforhold. Fjell grunnere enn 30 m utgjør minimale arealer i verneområdet.



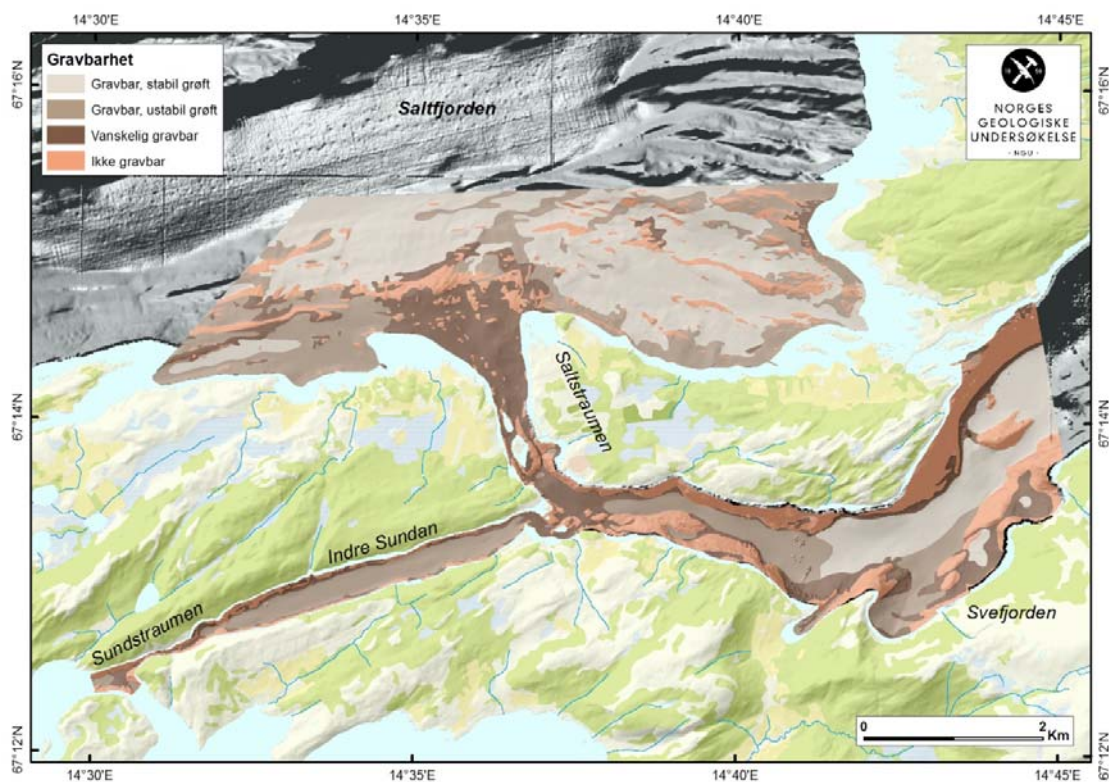
Figur 13. Ankringsforhold. Topografi på land fra Kartverket.



## 4.5 Gravbarhet

Gravbarhet av sjøbunnen er relatert til bunntype, og angir både hvor enkelt det er å grave i bunnen og den forventede stabiliteten til det utgravde området. Myk bunn som slam og sand er lett gravbar, mens hard bunn med grus og stein er vanskelig gravbar. Berggrunn er ikke gravbar. Det er definert fire klasser av gravbarhet. Kartinformasjonen er nyttig bl.a. ved planlegging av kabel- og rørledningstraseer.

I Saltstraumen marine verneområde er områder med slam, sandholdig slam og slamholdig sand definert som lett gravbar med stabil grøft (Figur 14). Det må likevel tas hensyn til at bunnsedimenter representerer kun de øvre ca. 25 cm, og at det kan være hardere sedimenter/berggrunn under denne dybden. Grusholdig sandholdig slam, grusholdig slamholdig sand, sand, grusholdig sand, sandholdig grus og grus representerer gravbar men ustabil grøft. Områder med de grove sedimentkornstørrelsene grus, stein og blokk er ansett som vanskelig gravbare. Generelt i verneområdet er Saltstraumen, Sundstraumen og fjordsidene i Indre Sundan og Svefjorden vanskelig/ikke gravbare. Fjordbunnen i Indre Sundan og Svefjorden er gravbare, i tillegg til store deler av Saltfjorden.



Figur 14. Gravbarhet. Topografi på land fra Kartverket.

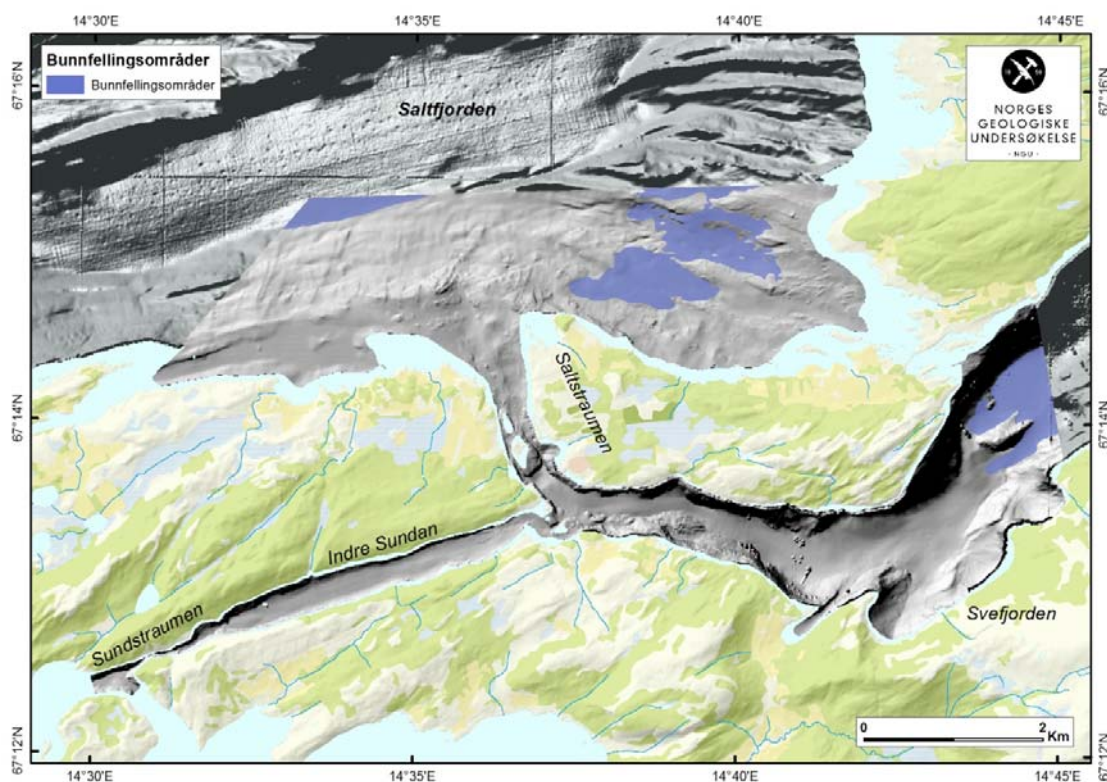


## 4.6 Bunnfellingsområder

Bunnfellingsområder er bassenger karakterisert av finkornige sedimenter på bunnen. Slike områder kan være oksygenfattige med forråtnelsesprosesser i sedimentene, og er derfor viktige å overvåke for å kartlegge virkningen av utslipp som kan gi forurensning.

Bunnfellingskartet er basert på bunnsedimentkartet, hvor områder med slamholdige sedimenter er definert som bunnfellingsområder.

I Saltstraumen marine verneområde er bunnfellingsområder definert der hvor det er kartlagt slam og sandholdig slam (Figur 15) i den dypeste, østlige delen av Svefjorden, i den delen av verneområdet som omfatter den dypeste delen av Saltfjorden, og i bassengområdet sørøst i Saltfjorden.



Figur 15. Bunnfellingsområder. Topografi på land fra Kartverket.

## 4.7 Naturtypemodellering

### 4.7.1 Modellvurdering, seleksjon

Alle de 13 modellene oppfylte modellforutsetninger om homogenitet av residualer og dataene lå på en fin rett linje i QQ-plottene. I ITA bruker man AIC eller AICc til å sammenligne modeller.  $AIC = -2\ln(L) + 2k$ , hvor L er modellens "likelihood" og k er antall parametre i

modellen. Jo lavere AIC, jo bedre forklarer modellen variabiliteten i datasettet og 2k er straffen mer komplekse modeller med flere parametere får. AICc er en korrigert versjon av AIC som korrigerer for datasett med relativt lav n. Den anbefales brukt når  $n < 40$  per estimert parameter i modellen (Burnham et al. 2010) og gir enda strengere straff for komplekse modeller. Vi har også brukt BIC i modellseleksjon.  $BIC = -2\ln(L) + k*\ln(n)$ , hvor  $n =$  antall observasjoner i datasettet. AIC egner seg bedre enn BIC som modellseleksjonsmetode når man ønsker modeller med gode prediktive egenskaper (Aho et al. 2014), men vi har likevel beregnet BIC for å se om dette også stemmer. Av erfaring vet vi at modellseleksjon basert på AIC og AICc ofte ender opp i overmettede og overtilpassede modeller som ikke er så gode til å predikere til nye data. Vi valgte derfor også ut noen modeller som er mindre komplekse da vi vet av erfaring at disse kan være bedre til å predikere til nye data (Tabell 2).

Modellseleksjon basert på ITA antyder at noen av de mest kompliserte modellene er de beste. Av disse valgte vi å fortsette analysen med d2s2t2k og dxst2k. Vi valgte også to mindre komplekse modeller som kan være bedre til å predikere til nye data. Til kryssvalidering (Tabell 2) og senere romlig predikere ble dermed også dsk og dstk modellene valgt.

**Tabell 2 Resultater fra modellseleksjon basert på AIC, AICc og BIC samt feilrate fra kryssvalidering gjort på utvalgte modeller.**

Modell	AIC (rang)	AICc (rang)	BIC (rang)	Feilrate
dk	798.1 (10)	815.0 (11)	1115.8 (9)	
dsk	759.9 (7)	779.3 (8)	1100.3 (5)	0.37
dstk	747.5 (5)	769.7 (5)	1110.6 (6)	0.36
dst	849.9 (12)	852.2 (12)	964.3 (3)	
d2k	771.6 (8)	791.0 (9)	1112.0 (8)	
d2s2k	738.5 (4)	763.5 (4)	1124.3 (12)	
d2s2t2k	698.8 (1)	728.3 (1)	1128.0 (13)	0.32
d2s2t2	773.8 (9)	778.0 (7)	933.9 (1)	
dxsk	747.8 (6)	770.0 (6)	1110.9 (7)	
dxstk	731.4 (3)	756.4 (3)	1117.1 (10)	
dxst	849.9 (13)	852.2 (13)	964.3 (4)	
dxst2k	712.2 (2)	740.4 (2)	1120.7 (11)	0.31
dxst2	804.2 (11)	807.3 (10)	941.4 (2)	

#### 4.7.2 Romlig prediktiv modell av naturtyper i Saltstraumen marine verneområde

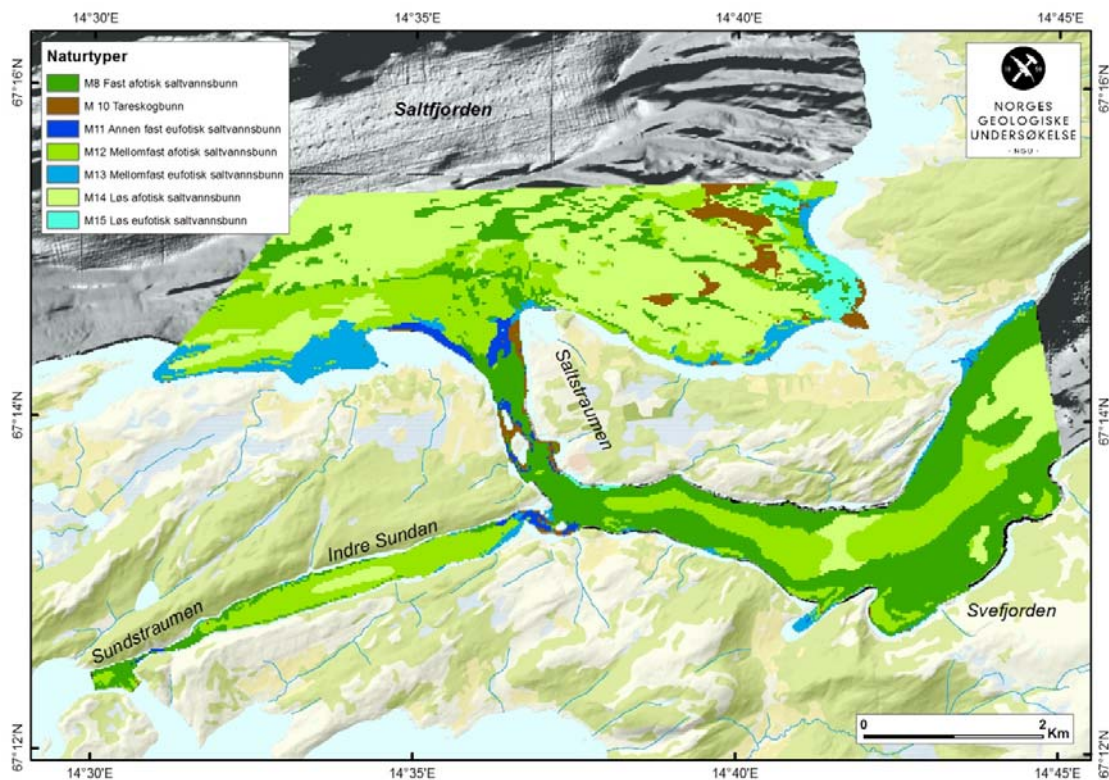
Vi predikerte de fire utvalgte modellene romlig og sjekket dem alle for deres evne til å predikere korrekt. Dette ble gjort ved manuell inspeksjon og kvalifiserte vurderinger av sannsynligheten for at den predikerte romlige fordelingen av marine hovedtyper av NiN 1.0 i Saltstraumen marine verneområde er korrekt. Dette var spesielt viktig å gjøre i områder der vi ikke har observasjoner, som for det meste er områder dypere enn 200 m. De to komplekse modellene viste klare feilpredikeringer i de dype områdene mens de to mindre komplekse modellene jevnt over predikerte godt, også i de dype områdene i Saltfjorden og Svevfjorden (Vedlegg 2).

Confusion matrix-analysen av de to mindre komplekse modellene viste at det var relativt liten forskjell mellom dem med hensyn på treffsikkerhet, men dstk-modellen (som inneholder additive termer av dyp, max bunnstrøm, max bunntemperatur og sedimentkornstørrelse) hadde noe høyere treffsikkerhet (72.7% vs. 70.0% for dsk; se Tabell 3 for confusion matrix og Figur 16 og 17 for romlige prediksjoner).

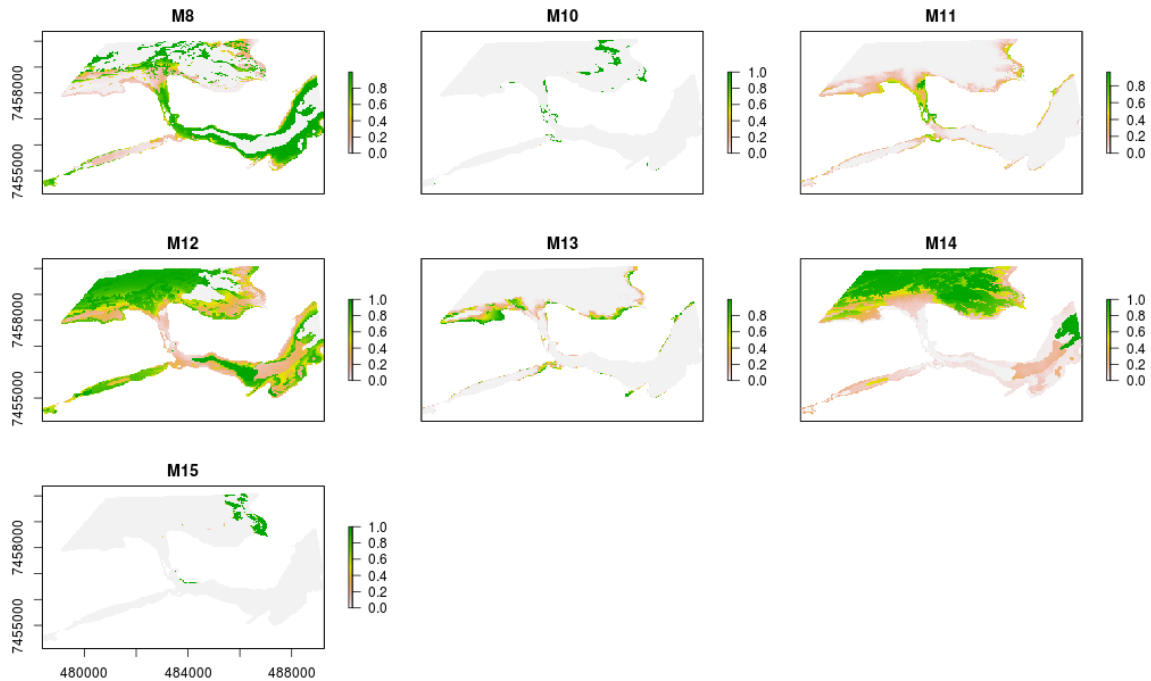
**Tabell 3. Confusion matrix for dstk-modellen. En confusion matrix-analyse sammenligner hva som virkelig ble observert (True) med det som predikert (Pred). Tall med tykk skrift viser riktig predikerte observasjoner.**

	True							
		M8	M10	M11	M12	M13	M14	M15
Pred	M8	<b>60</b>	0	9	12	0	5	0
	M10	0	<b>2</b>	1	0	0	0	0
	M11	6	0	<b>5</b>	1	1	0	0
	M12	4	0	1	<b>38</b>	2	5	0
	M13	0	0	0	2	<b>16</b>	0	0
	M14	2	0	1	6	0	<b>11</b>	0
	M15	0	0	0	0	0	0	<b>4</b>





Figur 16. Kart over utbredelse av marine hovedtyper i NiN 1.0 i Saltstraumen marine verneområde. Kartet er viser den naturtypen med høyest predikert sannsynlighet i en gitt piksel.



Figur 17. Predikert sannsynlighet for de 7 marine hovedtypene i Saltstraumen marine verneområde. Det er disse predikerte sannsynlighetene som endelig naturtypekartet er basert på. M8 Fast afotisk, M10 Tareskogsbunn, M11 Annen fast eufotisk, M12 Mellomfast afotisk, M13 Mellomfast eufotisk, M14 Løs afotisk, M15 Løs eufotisk.

## 5. DISKUSJON

### 5.1 Naturtypemodellering

Det har vært en utfordrende øvelse å romlig modellere naturtyper i Saltstraumen marine verneområde. Hovedårsaken til dette er at miljørommet (dvs. rommet av realiserte miljøkombinasjoner i studieområdet) ikke er tilstrekkelig prøvetatt for å gjøre en god modellering med høy konfidens og treffsikkerhet. Når de realiserte observasjonene (her bestemt av plasseringen av videolinjer som igjen er begrenset av andre logistiske begrensninger) ikke dekker dette miljørommet på en god måte finnes det ingen annen måte å vurdere de romlige prediksjonene på enn ved hjelp av visuell inspeksjon og kvalifiserte vurderinger.

En god prøvetakning av hele miljørommet vil gjøre det mulig å stole mer på analytiske verifiseringsmetoder som kryssvalidering og confusion matrix-analyse. Men selv i tilfeller hvor man har god dekning av miljørommet kan man ikke helt stole på disse valideringsmetodene. Den eneste måten å analytisk kunne si noe om konfidensen og treffsikkerheten til modellen når den predikerer i rom er validering ved hjelp av et uavhengig datasett. Noe vi ikke har her og som svært sjeldent er tilgjengelig i denne typen

modelleringsøvelser (først og fremst fordi det vil koste mye penger å innhente et slikt ekstra, uavhengig evalueringsdatasett).

Denne modelleringsøvelsen har tydelig vist viktigheten av å tenke på bias-variance trade-off-en. ITA vurderte konsekvent de mest komplekse modellene som de beste, men disse gjorde ingen god figur når de predikerte i rom til nye data som ikke var brukt til å trene modellen. Mindre komplekse modeller som ikke gjorde det spesielt godt ved hjelp av ITA gjorde det mye bedre med hensyn på å predikere romlig. Dette fenomenet forsterket seg antageligvis pga observasjonenens relativt dårlig dekning av studieområdet realiserte miljørom (som diskutert over). Dette viser også viktigheten av kvalifiserte vurderinger når denne typen modelleringer finner sted.

Den romlige modellen har ganske høy treffsikkerhet og derfor ganske høy konfidens i de områder der dekningen av observasjoner (dvs videolinjer) er god. I lys av det som er diskutert over er det naturlig å si at konfidensen i de dypere områdene i Saltfjorden og Svefjorden er mye lavere, til tross for at den valgte modellen virker på generelt grunnlag å predikere fornuftige fordelinger av naturtyper i disse områdene. Framtidige øvelser som dette må bestrebe seg etter å prøveta innenfor hele det realiserte miljørommet i studien. Modeller kan ikke med høy konfidens predikere til miljøkombinasjoner som ikke modellen er trent for.

NiN er nå oppdatert til versjon 2.0 og det ville ha vært interessant å oppdatere observasjonene til den nyeste versjonen. Dette krever selvfølgelig å gå igjennom videoene på ny. Den nye versjonen av NiN hypotiserer at marine bunndyr fordeler seg i respons til to komplekse miljøgradienter, nemlig havbunnens erosjonsmotstand og innhold av finmateriale i sedimentet. Teori tilsier at disse to komplekse miljøgradientene kan forklare mye av variabiliteten av natur i marine bunnsystemer samt at de inndeler naturen på en mer naturlig måte enn hva tilfellet er for NiN 1.0.



## 6. KONKLUSJONER

NGU har utført maringeologisk kartlegging i Saltstraumen marine verneområde og utarbeidet marine grunnkart, i tillegg til å lage en romlig prediktiv modell av naturtypene.

De utarbeidede karta inkluderer dybdeforhold, bunnsedimenter (kornstørrelse), skråning, naturtyper, ankringsforhold, gravbarhet og bunnfellingsområder.

Fordelinga av bunnsedimenter i Saltstraumenområdet gjenspeiler i stor grad dybde- og strømforhold; finkorna sedimenter som slam og sand blir avsatt i dype områder med lite bunnstrøm, mens i grunne områder med mye strøm er det erosjon eller ingen avsetning av sedimenter. I de grunne områdene med mye strøm er det fjell og grove sedimenter som grus, stein og blokk.

Naturtypekartet virker å gi et reelt bilde av fordelinga av marine hovedtyper i NiN 1.0. Dette bør på sikt oppdateres til NiN 2.0. De sju marine hovedtypene i NiN 1.0: M8 Fast afotisk saltvannsbunn, M10 Tareskogsbunn, M11 Annen fast eufotisk saltvannsbunn, M12 Mellomfast afotisk saltvannsbunn, M13 Mellomfast eufotisk saltvannsbunn, M14 Løs afotisk saltvannsbunn og M15 Løs eufotisk saltvannsbunn, ble registrert og romlig predikert i området. Dette viser Saltstraumens diverse natur og dermed viktigheten av å verne den.

Kartprodukta og resultatene fra prosjektet vil være både nødvendige og nyttige for videre forvaltning av Saltstraumen marine verneområde.

## 7. REFERANSER

- Aho, K., Derryberry, D. & Peterson, T. 2014: "Model Selection for Ecologists: The Worldviews of AIC and BIC." *Ecology* 95 (3). Eco Soc America: 631–36.
- Burnham, K.P., Anderson, D.R. & Huyvaert, K.P. 2010: "AIC Model Selection and Multimodel Inference in Behavioral Ecology: Some Background, Observations, and Comparisons." *Behavioral Ecology and Sociobiology* 65 (1). Springer-Verlag: 23–35.
- Fagerli, C.W., Gundersen, H., Gitmark, J.K., Staalstrøm, A. & Christie, H. 2015: Naturtyper i Saltstraumen marine verneområde. NIVA-Rapport 6841-2015.
- Gjevik, B. 2009: Flo og fjære langs kysten av Norge og Svalbard. Jar: Farleia Forlag.
- Halvorsen, R., Bryn, A., Erikstad, L. & Lindgaard, A. 2015: Natur i Norge - NiN. Versjon 2.0.0. Artsdatabanken, Trondheim (<http://www.artsdatabanken.no/nin>).
- Olsen, L. 2014: Beskrivelse av kvartærgeologisk kartblad Fauske 2129 IV – M 1:50 000. NGU Rapport 2014.058.
- Plassen, L. & Vorren, T.O. 2002: Late Weichselian and Holocene sediment flux and sedimentation rates in Andfjord and Vågsfjord, North Norway. *Journal of Quaternary Science* 17, 161-180.
- Solli, A. 1990: SALTSTRAUMEN 2029 III, berggrunnskart M 1:50 000. Norges geologiske undersøkelse.
- Wang, Y., Naumann, U., Wright, S.T. & Warton, D.I. 2012: "Mvabund - an R Package for Model-Based Analysis of Multivariate Abundance Data: The Mvabund R Package." *Methods in Ecology and Evolution / British Ecological Society* 3 (3): 471–74.
- Warton, D.I., Blanchet, F.G., O'Hara, R.B., Ovaskainen, O., Taskinen, S., Walker, S.C. & Hui, F.K.C. 2015: "So Many Variables: Joint Modeling in Community Ecology." *Trends in Ecology & Evolution*, October. Elsevier. doi:10.1016/j.tree.2015.09.007.

## **8. VEDLEGG**

1. Modellering av naturtyper i Saltstraumen.
2. Maringeologisk standard for klassifisering av kornstørrelsesdata.



# Modellering av naturtyper i Saltstraumen

*Thijs Chr van Son*

*12 November 2015*

Dette er et Rmarkdown dokument som kan flette sammen tekst, R-kode og illustrasjoner. Dokumentet viser tilretteleggingen av og modellering basert på NIVA sine NiN-observasjoner. NIVAs observasjonene av naturtyper er basert på innsamlet video av NGU på F/F Seisma. I selve modelleringen testes ulike modeller og deres evne til å predikere de ulike naturtypene. Modellene vurderes ved hjelp av AIC, AICc og BIC, samt kryssvalidering før noen utvalgte modeller predikeres romlig.

## Tilrettelegging av data

Tilgjengelig data er ofte ikke direkte klargjorte for modellering og trenger bearbeiding først.

### Laster inn tilleggs pakker

```
library(magrittr)
library(raster)
library(rgdal)
library(rgeos)
library(dplyr)
library(tidyr)
library(dismo)
library(mvabund)
library(vegan)
library(raster)
library(caret)
library(MuMIn)

# Kildefil for kollinearplot
source('../R/panel_cor_func.R')
```

### Laster inn miljødata

Vi har fire heldekkende lag med miljødata tilgjengelig fra området som vi mener kan være viktige for å forklare den observerte variabiliteten i fordelingen av naturtypene. Vi har dyp, oseanografiske variabler (bunnstrøm og bunntemperatur) og kornstørrelseskart (som NGU har laget for dette prosjektet). Backscatter er også tilgjengelig, men er av så varierende kvalitet at vi valgte å ikke bruke det. For å kunne predikere romlig til hele området kan bare heldekkende miljølag benyttes i modelleringen.

```
## Dyp
depth25 <- '../input/depth/dybdemos_25c.tif' %>%
  raster
values(depth25) <- values(depth25)

## Bunnstrøm
```

```

# spstdb = spminb -> laster kun spstdb

# Max bunnstrøm
spmaxb <- '../input/currSpd/spmaxb11.tif' %>%
  raster

# Gjennomsnittlig bunnstrøm
spmeanb <- '../input/currSpd/spmeanb11.tif' %>%
  raster

## Standard avvik for bunnstrøm
spstdb <- '../input/currSpd/spstdb11.tif' %>%
  raster

## Bunntemperatur
# tstdb = tminb -> laster kun tstdb

# Max bunntemperatur
tmaxb <- '../input/temperature/tmaxb11.tif' %>%
  raster

# Gjennomsnittlig bunntemperatur
tmeanb <- '../input/temperature/tmeanb11.tif' %>%
  raster

# Standard avvik bunnstrøm
tstdb <- '../input/temperature/tstdb11.tif' %>%
  raster

## Sediment kornstørrelse
sed <- '../input/grainSize/sedGrainSize2_UTM33_25m.tif' %>%
  raster

# Brukes til å klippe til de andre variablene
sedForKlipp <- '../input/grainSize/sedGrainSizeUTM33_25m.tif' %>%
  raster

# Konvertering av 0'er (områder uten sedimentklasse) til NA'er
sed[sed == 0] <- NA

```

## NIVAs observasjoner av naturtyper

NIVA har klassifisert naturtyper i 9230 punkter langs videolinjene. Vi bestemte oss for å aggregere observasjonene innenfor 100m lange segmenter. Totalt endte vi opp med 216 slike segmenter. I praksis vil denne aggregering si at vi teller opp antall observasjoner av de ulike naturtypene innenfor disse segmentene. Da ender vi opp med en naturtypematrise hvor hver rad representerer et 100m segment og hver kolonne utgjør en naturtype. Disse 100 m segmentene ble til ved å først aggregere observasjonspunktene til piksler med 100m oppløsning. Deretter gjorde vi rasterpikslene om til polygoner og punkter i vektorformat. Polygonene og punktene brukes senere for å ekstrahere ønsket informasjon om naturtypene. Av de 216 segmentene er det noen som ikke inneholder observasjoner (de inneholder bare nuller). Disse blir fjernet når selve modelleringen finner sted.

```
## NIVAs NiN (vers 1.0) punkter (i latlong)
nin <- '../input/observations/' %>%
  readOGR('Saltstraumen_points')

## OGR data source with driver: ESRI Shapefile
## Source: "../input/observations/", layer: "Saltstraumen_points"
## with 9230 features
## It has 44 fields

## Raster med pikslar av 100m oppløsning som følger videolinjene
nin_100m_rast <- '../input/aggregations/NiN_level2_100m.tif' %>%
  raster

# Konverterer raster til polygoner
nin_100m_pg <- rasterToPolygons(x = nin_100m_rast)

# Konverterer raster til punkter
nin_100m_pts <- rasterToPoints(x = nin_100m_rast,
                               spatial = T)
```

## Modifisering av noen naturtypeklassifiseringer

Noen punkter i de dypere lagene klassifisert som M8 (Fast afotisk saltvannsbunn) virker å være feilklassifisert. Mest sannsynlig klassifisering er M14 (Løs afotisk saltvannsbunn) eller M12 (Mellomfast afotisk saltvannsbunn). Dette er diskutert med NIVA og de mener at det bør klassifiseres som M12 og vi har dermed endret klassifisering i henhold til deres anbefaling. Vi reklassifiserer derfor de aktuelle observasjonene nevnt ovenfor (tilhører videostasjon 22). Dette er gjort ved å identifisere Løpenr for de aktuelle observasjonene, og bytte ut M8 med M12. Foreløpig er endringen bare gjort på hovedtypenivå (vi har uansett ikke modellert på grunntype nivå). I tillegg fjerner vi en del observasjoner som tydelig er feilposisjonert.

```
## Stasjon 22
nin@data$NIN_12[nin@data$Løpenr >= 6514 & nin@data$Løpenr <= 6592] <- 'M12'

## Fjerning av observasjoner som har feil posisjonering
nin <- nin[-c(820, 821, 1770, 2084, 2522, 2529, 2531, 2729,
             3775, 3776, 3811, 3812, 6322, 7575, 8832), ]
```

## Reprojisering av NiN observasjonene til UTM 33N

Modelleringen vil bruke data i UTM format. NiN observasjonene reprojiseres til samme koordinatsystem som depth25 (som allerede er i UTM 33N).

```
nin_utm <- spTransform(nin, crs(depth25))
```

## Ekstrahering av NiN hovedtyper innen 100m-polygoner.

Først krysser vi NiN observasjonspunkter med 100m polygonene for å finne hvilke observasjoner som tilhører hvilke polygoner. Deretter ekstraheres og tilrettelegges observasjonene slik at vi ender opp med en matrise over NiN hovedtyper som beskrevet over. Vær oppmerksom på at denne ekstraheringen ikke tar hensyn til at enkelte observasjonspunkter har flere inputs i shapefilen (dvs repeterende linjer for samme observasjonspunkt), noe som fører til at mengden overestimeres. Dette løses senere ved å redusere dataene til presence/absence.

```

## Kryssing av NiN observasjoner og 100m-polygoner
inter <- gIntersects(spgeom1 = nin_utm,
                    spgeom2 = nin_100m_pg,
                    byid = T)

## Datarammetemplet som sammensetning av hovedtyper innen hvert polygon
## fusjoneres sammen med
df_template <- data.frame(t(rep(0, length(levels(nin_utm@data$NIN_12)))))

## Kolonnenavn (tilsvarende NiN hovedtyper koder) for datarammetempletet
cnames <- c('M8',
            'M10',
            'M11',
            'M12',
            'M13',
            'M14',
            'M15')
names(df_template) <- cnames

## Vi lager en liste som kan lagre sammensetningen av hovedtyper innen 100m polygoner
nin_hoved_comp <- list()

## Selve ekstraheringen av NIN hovedtyper innen 100m polygoner

## Looper over alle polygoner
for(i in seq(length(nin_100m_pg@polygons))) {
  extr.i <- nin_utm@data[which(inter[i, ] == T),      # Extract obs within poly i
                       c('Løpenr', 'NIN_12', 'NIN_123')]
  extr.i <- extr.i[complete.cases(extr.i), ]         # Remove observations containing NAs
  cnt.i <- count(extr.i, NIN_12)                    # count each hovedtype
  sprd.i <- spread(cnt.i,                            # make hovedtype into variable
                  NIN_12,
                  n)
  sprd.i <- as.data.frame(sprd.i)                    # coerce into 'normal' df
  nms.i <- names(sprd.i)
  vec.i <- sprd.i[!is.na(sprd.i)]                    # extract non-NAs only
  names(vec.i) <- nms.i
  df.i <- data.frame(t(vec.i))                       # coerce into transposed df
  mer.i <- merge(x = df.i,                           # merge with template df
                y = df_template,
                all.x = T)
  nin_hoved_comp[[i]] <- mer.i[cnames]               # store in list in correct col seq
}

## Fusjonering av alle datarammene i listen
nin_hoved_df <- nin_hoved_comp %>%
  unlist %>%
  matrix(ncol = length(cnames),
        byrow = T,
        dimnames = list(NULL, cnames)) %>%
  as.data.frame

```



```
## Substituering av NA-er med 0-er
nin_hoved_df[is.na(nin_hoved_df) == T] <- 0
head(nin_hoved_df)
```

```
##   M8 M10 M11 M12 M13 M14 M15
## 1  0  0  6  0  32  0  0
## 2  0  0  0  0  8  0  0
## 3  0  0  0  0  0  40  0
## 4  0  0  0  0  0  53  0
## 5  0  0  51  0  0  0  0
## 6  0  0  0  0  0  10  0
```

### Desaggregering av oseanografidata til 25m oppløsning

Både dybde- og sedimentdataene har allerede 25m oppløsning, den oppløsningen vi ønsker på det endelig kartet over modellerte naturtyper. Derfor må vi desaggregerere oseanografidataene som har en oppløsning på 200m til den samme oppløsningen.

```
## Liste som inneholder de originale oseanografidataene
oceanOrig.ls <- list(spmaxb,
                    spmeanb,
                    spstdb,
                    tmaxb,
                    tmeanb,
                    tstdb)

ocean25m.ls <- oceanOrig.ls

## Desaggregerings-loop
for(i in seq(length(oceanOrig.ls))) {
  var.i <- oceanOrig.ls[[i]]
  dis.i <- disaggregate(x = var.i,
                        fact = 8,
                        method = 'bilinear')
  ocean25m.ls[[i]] <- dis.i
}

## Første komponent i listen (bekreftelse på 25m oppløsning)
ocean25m.ls[[1]]
```

```
## class      : RasterLayer
## dimensions  : 312, 520, 162240 (nrow, ncol, ncell)
## resolution  : 25, 25 (x, y)
## extent     : 477488.9, 490488.9, 7452938, 7460738 (xmin, xmax, ymin, ymax)
## coord. ref. : +proj=utm +zone=33 +datum=WGS84 +units=m +no_defs +ellps=WGS84 +towgs84=0,0,0
## data source : in memory
## names      : spmaxb11
## values     : 0.05455469, 2.768527 (min, max)
```

## Klipping og maskering av miljølagene

Miljølagene må klippes til og verdier må maskeres for at alle skal ha samme utstrekning og bare den utstrekningen som vi er interesserte i.

```
## Liste som skal inneholde de klippede og maskerte miljølagene
env25m.ls <- c(ocean25m.ls,
              depth25,
              sed)

env25mCrop.ls <- env25m.ls

## Klipper og maskerer til utstrekning av sedimentkartet
for(i in seq(length(env25m.ls))) {
  var.i <- env25m.ls[[i]]
  crop.i <- crop(var.i,
                extent(sedForKlipp))
  extent(crop.i) <- extent(sedForKlipp)
  msk.i <- mask(x = crop.i,
               mask = sedForKlipp)
  res(msk.i) <- c(25, 25)
  env25mCrop.ls[[i]] <- msk.i
}

## Lagrer miljødataene i en rasterstack

env25mCrop.rs <- stack(env25mCrop.ls)
names(env25mCrop.rs) <- c('spmaxb',
                        'spmeanb',
                        'spstdb',
                        'tmaxb',
                        'tmeanb',
                        'tstdb',
                        'depth25m',
                        'sed25m')
```

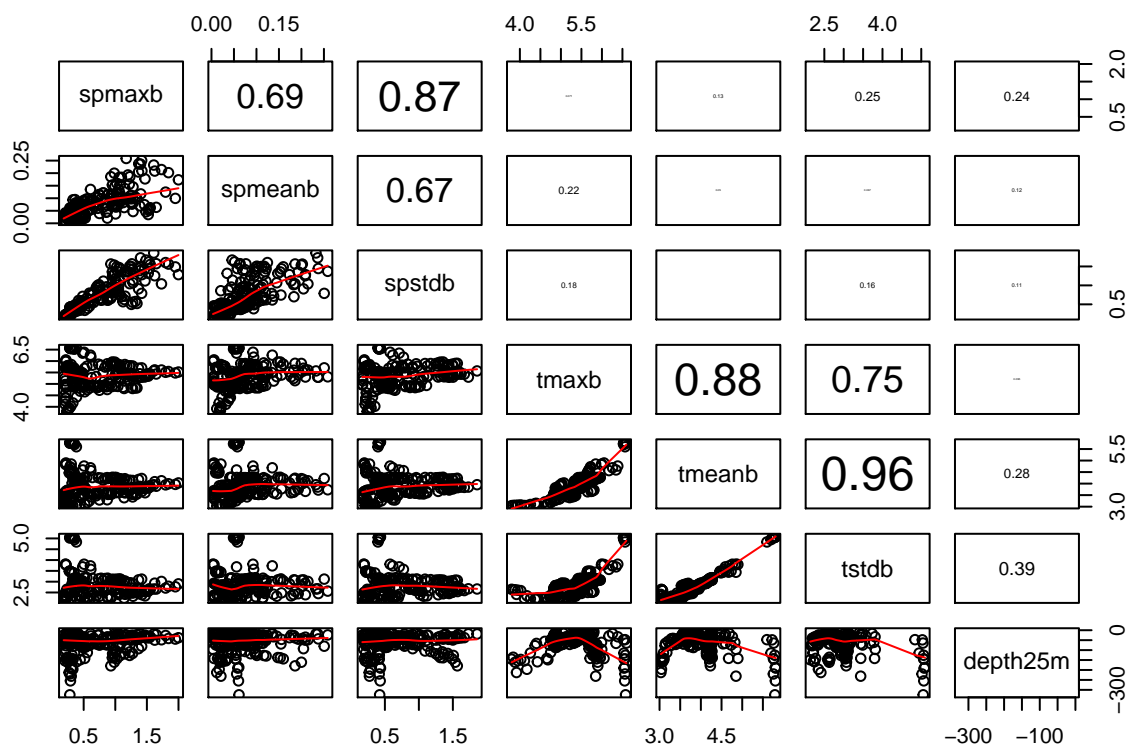
## Sjekk av kolinearitet mellom miljølagene

Vi er interessert i å bruke miljølag som er minst mulig korrelert seg i mellom. Korrelerte variabler kan skape problemer for modelleringen. Vi sjekket for kolinearitet og fant at Dyp, Max bunnstrøm og Max bunntemperatur er lite korrelerte.

```
## Ekstraksjon av miljølagene i hvert 100m segment
envVarsExtr <- raster::extract(x = env25mCrop.rs,
                              y = nin_100m_pts) %>%
  as.data.frame

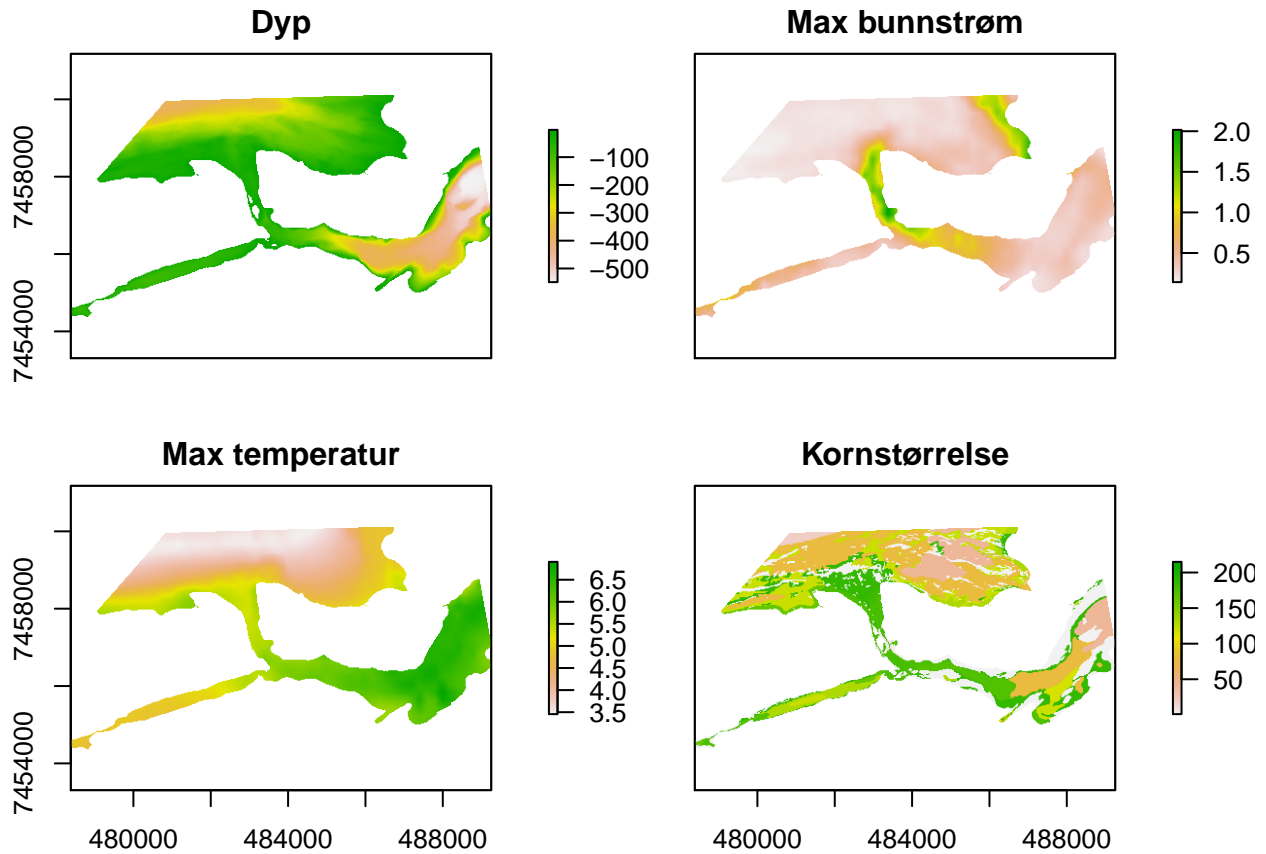
## Fjerning av segmenter som inneholder NA-er
envVarsExtrNoNA <- na.omit(envVarsExtr)

## Selve visualiseringen av kolinearitet
pairs(x = envVarsExtrNoNA[, -8],
      lower.panel = panel.smooth,
      upper.panel = panel.cor)
```



```
## Utvalgte miljølag (i tillegg til sedimentkornstørrelse)
# Depth, spmaxb og tmaxb

plot(env25mCrop.rs[[c('depth25m', 'spmaxb', 'tmaxb', 'sed25m')]],
     main = c('Dyp',
              'Max bunnstrøm',
              'Max temperatur',
              'Kornstørrelse'))
```



### Konvertering av NiN hovedtypematriksen til presence/absence

Ekstraheringen av antall hovedtypeobservasjoner innen hvert 100m segment har ikke tatt hensyn til at flere observasjonspunkter har flere repeterende inputs i shapefilen fra NIVA. Det fører til at mengden av hovedtyper i flere segmenter er overestimert. Dette har vi løst ved å konvertere matrisen til presence/absence, dvs at matrisen har score 1 når en hovedtype er observert i et segment og 0 ellers.

```
## Konvertering til p/a
nin_hoved_pa <- decostand(x = nin_hoved_df,
                        method = 'pa')

## Lagring av observasjoner og variabler i en og samme liste
nin_hoved <- as.list(envVarsExtr[, c('depth25m', 'spmaxb', 'tmaxb', 'sed25m')])
nin_hoved$sed25m <- as.factor(nin_hoved$sed25m)
nin_hoved$obs <- as.matrix(nin_hoved_pa)

## Reklassifiserer noen sedimentklasser (har ikke NiN-observasjoner i disse)
nin_hoved$sed25m[nin_hoved$sed25m == 20] <- 40
nin_hoved$sed25m[nin_hoved$sed25m == 100] <- 130
nin_hoved$sed25m[nin_hoved$sed25m == 115] <- 120
nin_hoved$sed25m[nin_hoved$sed25m == 215] <- 185

str(nin_hoved)

## List of 5
```



```
## $ depth25m: num [1:216] -26 -16 -145.7 -135.9 -22.4 ...
## $ spmaxb : num [1:216] 1.254 1.122 0.233 0.245 1.343 ...
## $ tmaxb : num [1:216] 4.83 4.86 3.8 3.84 4.83 ...
## $ sed25m : Factor w/ 13 levels "1","5","40","80",...: 13 13 3 3 1 3 3 3 7 13 ...
## $ obs : num [1:216, 1:7] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 ...
## ..- attr(*, "dimnames")=List of 2
## .. ..$ : NULL
## .. ..$ : chr [1:7] "M8" "M10" "M11" "M12" ...
```

## Modellering av naturtyper

Denne delen av dokumentet viser hvordan den statistiske analysen av NiN hovedtyper er utført på grunnlag av klassifisering gjort av NIVA. Analysen består av følgende deler:

- Lager et sett av mulige modeller som kan forklare fordelingen av naturtyper
- Selve modelleringen hvor vi bruker `manyglm()` funksjonen i `mvabund` pakken i R
- Modellsammenligning ved hjelp av AIC, AICc og BIC
- Oppdeling av datasettet i fem like store deler
- Kryssvalidering av modellene
- Predikering i rom basert på utvalgte modeller ved hjelp av modellsammenligning og skjønn
- Modellevaluering i form av analyse av såkalt ‘confusion/error matrix’

## Modellering og modellvurdering

Vi har følgende miljølag/variabler tilgjengelig for modelleringen:

- Dyp (d)
- Max bunnstrøm (s)
- Max bunntemperatur (t)
- Sedimentkornstørrelse (k)

Disse er alle variabler som kan forklare mye av variansen i naturtyper. Av erfaring vet vi at dyp og sedimentkornstørrelse har stor forklaringssevne. Sammen med de oseanografiske variablene laget vi et sett av modeller som vi mener kan gi en god biologisk og geologisk forklaring av variabiliteten i fordelingen av naturtyper. Blant annet ønsket vi å teste kvadrerte variabler samt interaksjonen mellom Dyp og Max bunnstrøm. Vi bruker en Information Theoretic Approach og under normale omstendigheter ville vi ha brukt ‘model-averaging’ basert på Akaike weights. Akaike weights er et mål for sannsynligheten for en gitt modell gitt dataene og settet av modeller. Model-averaging’ basert på multivariat analyse er lite utviklet og vi er derfor nødt til å bruke de ‘beste’ eller de ‘best egnede’ modellene i modellsettet til romlig prediksjon. Følgende modellsett inngår i analysen:

1. dk: Dyp + Sedimentkornstr
2. dsk: Dyp + Bunnstrøm + Sedimentkornstr
3. dstk: Dyp + Bunnstrøm + Bunntemp + Sedimentkornstr
4. dst: Dyp + Bunnstrøm + Bunntemp
5. d2k: Dyp<sup>2</sup> + Sedimentkornstr
6. d2s2k: Dyp<sup>2</sup> + Bunnstrøm<sup>2</sup> + Sedimentkornstr
7. d2s2t2k: Dyp<sup>2</sup> + Bunnstrøm<sup>2</sup> + Bunntemp<sup>2</sup> + Sedimentkornstr
8. d2s2t2: Dyp<sup>2</sup> + Bunnstrøm<sup>2</sup> + Bunntemp<sup>2</sup>
9. dxsk: Dyp \* Bunnstrøm + Sedimentkornstr

10. dxstk: Dyp \* Bunnstrøm + Bunntemp + Sedimentkornstr
11. dxst: Dyp \* Bunnstrøm + Bunntemp
12. dxst2k: Dyp \* Bunnstrøm + Bunntemp<sup>2</sup> + Sedimentkornstr
13. dxst2: Dyp \* Bunnstrøm + Bunntemp<sup>2</sup>

dk: DYP + SEDIMENTKORNSTØRRELSE

```
dk <- manyglm(obs ~ depth25m + sed25m,
              data = nin_hoved,
              subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,      # Fjerner 100m segmenter uten obs
              family = 'binomial')
```

dsk: DYP + BUNNSTRØM + SEDIMENTKORNSTØRRELSE

```
dsk <- manyglm(obs ~ depth25m + spmaxb + sed25m,
              data = nin_hoved,
              subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,
              family = 'binomial')
```

dstk: DYP + BUNNSTRØM + TEMPERATUR + SEDIMENTKORNSTØRRELSE

```
dstk <- manyglm(obs ~ depth25m + spmaxb + tmaxb + sed25m,
                data = nin_hoved,
                subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,
                family = 'binomial')
```

dst: DYP + BUNNSTRØM + TEMPERATUR

```
dst <- manyglm(obs ~ depth25m * spmaxb + tmaxb,
               data = nin_hoved,
               subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,
               family = 'binomial')
```

d2k: DYP<sup>2</sup> + SEDIMENTKORNSTØRRELSE

```
d2k <- manyglm(obs ~ depth25m + I(depth25m^2) + sed25m,
               data = nin_hoved,
               subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,
               family = 'binomial')
```

d2s2k: DYP<sup>2</sup> + BUNNSTRØM<sup>2</sup> + SEDIMENTKORNSTØRRELSE

```
d2s2k <- manyglm(obs ~ depth25m + I(depth25m^2) +
                 spmaxb + I(spmaxb^2) +
                 sed25m,
                 data = nin_hoved,
                 subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,
                 family = 'binomial')
```

d2s2t2k: DYP<sup>2</sup> + BUNNSTRØM<sup>2</sup> + BUNNTEMP<sup>2</sup> + SEDIMENTKORNSTØRRELSE

```
d2s2t2k <- manyglm(obs ~ depth25m + I(depth25m^2) +
  spmaxb + I(spmaxb^2) +
  tmaxb + I(tmaxb^2) +
  sed25m,
  data = nin_hoved,
  subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,
  family = 'binomial')
```

d2s2t2: DYP<sup>2</sup> + BUNNSTRØM<sup>2</sup> + BUNNTEMPERATUR<sup>2</sup>

```
d2s2t2 <- manyglm(obs ~ depth25m + I(depth25m^2) +
  spmaxb + I(spmaxb^2) +
  tmaxb + I(tmaxb^2),
  data = nin_hoved,
  subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,
  family = 'binomial')
```

dxsk: Dyp \* Bunnstrøm + Sedimentkornstr

```
dxsk <- manyglm(obs ~ sed25m + depth25m * spmaxb,
  data = nin_hoved,
  subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,
  family = 'binomial')
```

dxstk: Dyp \* Bunnstrøm + Bunntemp + Sedimentkornstr

```
dxstk <- manyglm(obs ~ depth25m * spmaxb + tmaxb + sed25m,
  data = nin_hoved,
  subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,
  family = 'binomial')
```

dxst: Dyp \* Bunnstrøm + Bunntemp

```
dxst <- manyglm(obs ~ depth25m * spmaxb + tmaxb,
  data = nin_hoved,
  subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,
  family = 'binomial')
```

dxst2k: Dyp \* Bunnstrøm + Bunntemp<sup>2</sup> + Sedimentkornstr

```
dxst2k <- manyglm(obs ~ depth25m * spmaxb +
  tmaxb + I(tmaxb^2) +
  sed25m,
  data = nin_hoved,
  subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,
  family = 'binomial')
```

dxst2: Dyp \* Bunnstrøm + Bunntemp<sup>2</sup>

```
dxst2 <- manyglm(obs ~ depth25m * spmaxb +
                tmaxb + I(tmaxb^2),
                data = nin_hoved,
                subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0,
                family = 'binomial')
```

## Modevaluering: Residual- og QQ-plot

Både residual- og QQ-plottene viser at forutsetningene for homogeneitet og normalfordeling av residualer er oppfylte (plottene vises ikke).

## Modellseleksjon basert på AIC/BIC verdier

Vi bruker AIC, AICc og BIC til hjelp i modellseleksjon.

```
sort(aicVals)
```

```
## d2s2t2k dxst2k dxstk d2s2k dstk dxsk dsk d2k
## 683.8452 699.7808 719.1400 726.1946 735.5160 736.7456 748.8754 759.4920
## d2s2t2 dk dxst2 dst dxst
## 773.7929 787.4165 804.1733 849.9165 849.9165
```

```
sort(aiccVals)
```

```
## d2s2t2k dxst2k dxstk d2s2k dstk dxsk dsk d2k
## 712.0099 724.8334 741.2795 748.3341 754.9379 756.1676 765.7719 776.3885
## d2s2t2 dk dxst2 dst dxst
## 778.0079 801.9765 807.3177 852.1505 852.1505
```

```
sort(bicVals)
```

```
## d2s2t2 dxst2 dst dxst dsk dstk dxsk
## 933.9179 941.4234 964.2915 964.2915 1066.5666 1075.8994 1077.1291
## d2k dxstk dk dxst2k d2s2k d2s2t2k
## 1077.1832 1082.2157 1082.4155 1085.5487 1089.2702 1092.3053
```

## Kryssvalidering av utvalgte modeller basert AICc og erfaringer

AIC egner seg bedre enn BIC som modelleleksjonsmetode når man ønsker modeller med gode prediktive egenskaper (Aho et al 2014). AICc anbefales når antall observasjoner ( $n$ ) delt på antall parametre ( $K$ )  $< 40$  (Burnham et al 2010). Dette er tilfelle for de aller fleste modellene i vårt modellsett. Vi vektlegger derfor AICc når vi kryssvaliderer følgende to modeller: d2s2t2k og dxst2k. Samtidig er AIC (også AICc) kjent for å velge overmettede (komplekse) modeller som overtilpasser dataene. Vi velger derfor også å kryssvalidere og senere romlige predikere to mindre komplekse modeller, nemlig dsk og dstk.

```
cv.cl <- function(
  mvmodel,      # multivariat modell tilpasset med manyglm()
  X,            # dataramme med prediktorvariabler brukt for å tilpasse mvmodel
  Y,            # dataramme med responsvariabler brukt for å tilpasse mvmodel
```



```

s = 1234,      # seed til set.seed() funksjonen, endres for å se om feilraten er stabil
k = 10,      # antall grupper som brukes i kryssvalideringen, 5 eller 10 er mest vanlig
...)
{
## Funksjon som kalkulerer feilraten til en multivariate modellering utført vha
## mvabund pakken.

# Nødvendige bibliotek
require(mvabund,
        quietly = T)
require(dismo,
        quietly = T)

# Setter seeden, deler opp datasettet og lager en vektor som skal inneholde feilraten
set.seed(s)
group = kfold(x = X[, 1],
              k = k)
errors <- rep(NA, k)

# Selve kryssvalideringen
for(i in seq(length(unique(group)))) {
  # Oppdaterer modellen med redusert datasett
  modUp.i <- update(object = mvmodel,
                    subset = group != i)

  # Ekstraherer prediktorobservasjoner og predikerer til det nye datasettet
  X.i <- X[group == i, ]
  test.i <- predict.manyglm(object = modUp.i,
                            newdata = X.i,
                            type = 'response')

  # Identifiserer observasjoner med NAs som senere fjernes
  NAs.i <- is.na(test.i[, 1])

  # Finner den mest sannsynlige klassen for både predikerte og observerte data
  pred.i <- apply(test.i[!NAs.i, ],
                  MARGIN = 1,
                  FUN = base::which.max)
  true.i <- apply(X = Y[group == i, ],
                  MARGIN = 1,
                  FUN = base::which.max)
  cv.i <- data.frame(pred = unname(pred.i),
                    true = true.i[!NAs.i])

  # Beregner feilrate
  error.i <- 1 - sum(cv.i$true == cv.i$pred) / nrow(cv.i)
  errors[i] <- error.i
}
out <- list(errors = errors,
            meanError = mean(errors),
            sdError = sd(errors))
}

```

```
cv.results
```

```
##      model feilrate      sd
## 1 d2s2t2k 0.3211024 0.07731094
## 2 dxst2k 0.3059864 0.09991544
## 3      dsk 0.3678366 0.10495878
## 4      dstk 0.3589104 0.09908138
```

## Romlig prediksjon av naturtyper

### Dataramme med nye data som vår endelige modell skal predikere til

Denne datarammen inneholder miljødata for hele Saltstraumen marine verneområde. Dvs, hele området som vi ønsker å gjøre romlig prediksjon til. Noen sedimentklasser har ikke blitt observert i videoene (husk, det er tatt ekstra grabbprøver for sjekk av sediment). Disse klassene må dermed reklassifiseres til nærliggende sedimentklasse. Deretter må sedimentklassene (representert med et tall) konverteres til faktor.

```
# Dataramme med utvalgte (ikke-korrelerte) miljølag
env25mCrop.df <- env25mCrop.rs[[c('depth25m', 'spmmaxb', 'tmaxb', 'sed25m')]] %>%
  as.data.frame

## Reklassifiserer noen sedimentklasser
env25mCrop.df$sed25m[env25mCrop.df$sed25m == 20] <- 40
env25mCrop.df$sed25m[env25mCrop.df$sed25m == 115] <- 120
env25mCrop.df$sed25m[env25mCrop.df$sed25m == 215] <- 185

## Konverterer sedimentklassene til faktor
env25mCrop.df$sed25m <- as.factor(env25mCrop.df$sed25m)
str(env25mCrop.df)

## 'data.frame': 100050 obs. of 4 variables:
## $ depth25m: num NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA ...
## $ spmaxb : num NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA ...
## $ tmaxb : num NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA ...
## $ sed25m : Factor w/ 13 levels "1","5","40","80",...: NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA ...
```

### Funksjon for romlig prediksjon

```
mvSpat.pred <- function(
  mvmodel,      # Multivariat modell tilpasset med manyglm()
  newDt,        # Nye data som modellen skal predikere til
  rs            # Raster stack med romlig informasjon som definerer området av interesse
) {
  ## Funksjon som predikerer romlig basert på nye data lagret i en dataramme

  # Nødvendige pakker
  require(mvabund,
    quietly = T)
  require(raster,
    quietly = T)
```

```

# Lister som skal lagre responser predikert i rom
spatPred.fit.ls <- list()
spatPred.se.ls <- list()

# Prediksjon til nye data
spatPred <- predict.manyglm(object = mvmodel,
                           newdata = newDt,
                           type = 'response',
                           se.fit = T)

# Looper over alle predikerte responser; konverterer til matriser og deretter til rastere
for(i in seq(ncol(spatPred$fit))) {
  mat_fit.i <- matrix(data = spatPred$fit[, i],
                    nrow = nrow(rs),
                    ncol = ncol(rs),
                    byrow = T)
  mat_se.i <- matrix(data = spatPred$se.fit[, i],
                   nrow = nrow(rs),
                   ncol = ncol(rs),
                   byrow = T)
  fit.i <- raster(x = mat_fit.i,
                 crs = rs@crs,
                 xmn = rs@extent@xmin,
                 ymn = rs@extent@ymin,
                 xmx = rs@extent@xmax,
                 ymx = rs@extent@ymax)
  se.i <- raster(x = mat_se.i,
                crs = rs@crs,
                xmn = rs@extent@xmin,
                ymn = rs@extent@ymin,
                xmx = rs@extent@xmax,
                ymx = rs@extent@ymax)
  spatPred.fit.ls[[i]] <- fit.i
  spatPred.se.ls[[i]] <- se.i
}

# Konverterer listene til rasterstacks og gir miljølagene riktig navn
spatPred.fit.rs <- stack(spatPred.fit.ls)
spatPred.se.rs <- stack(spatPred.se.ls)

names(spatPred.fit.rs) <- colnames(spatPred$fit)
names(spatPred.se.rs) <- colnames(spatPred$fit)

# Kombinerer prediksjonene fra alle responsene i ett kart
# Resulterer i et kart hvor hver piksel er representert av den naturtypen det er høyst
# predikert sannsynlighet for
combSpatPred <- which.max(spatPred.fit.rs)

return(list(combMap = combSpatPred,
           fits = spatPred.fit.rs,
           seFits = spatPred.se.rs))
}

```

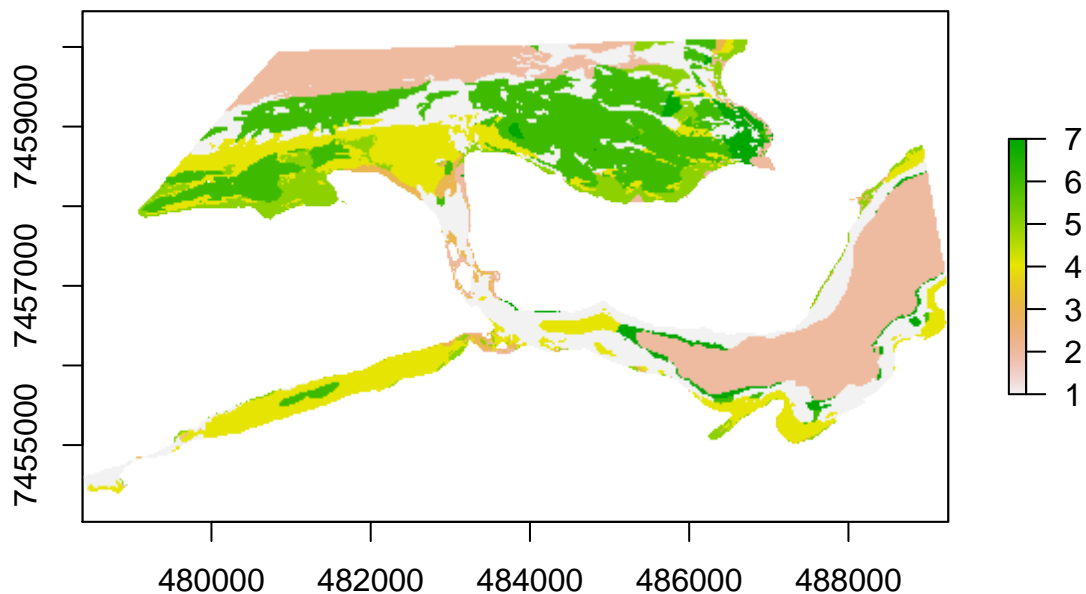
## Romlig prediksjon d2s2t2k

Denne modellen predikerer godt i områder hvor vi har god dekning av observasjoner, men predikerer helt usannsynlig utbredelse av M10 Tareskogsbunn (Figur 1; klasse 2; rosa fargekode) i de dypere områdene (helt ned til 500m) i både Saltfjorden og Skjerstadfjorden. Det vil si, i områder vi ikke har observasjoner. Koder for Figur 1 - 4:

1. M8 Fast afotisk
2. M10 Tareskogsbunn
3. M11 Annen fast eufotisk
4. M12 Mellomfast afotisk
5. M13 Mellomfast eufotisk
6. M14 Løs afotisk
7. M15 Løs eufotisk

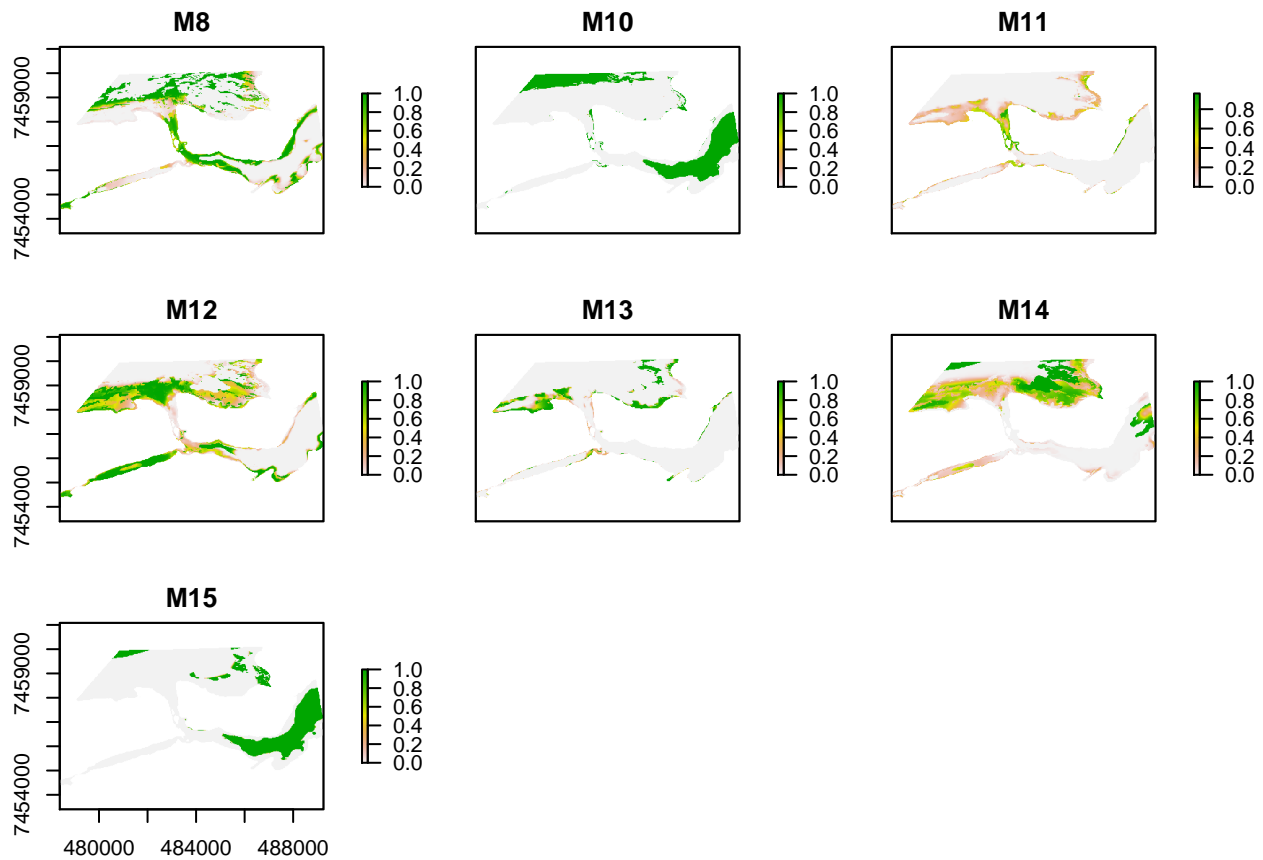
```
spatPred_d2s2t2k <- mvSpat.pred(mvmodel = d2s2t2k,  
                                newDt = env25mCrop.df,  
                                rs = env25mCrop.rs)  
  
## Predikert NiN 1.0 hovedtypekart  
plot(spatPred_d2s2t2k$combMap,  
      main = 'Figur 1 - d2s2t2k')
```

**Figur 1 – d2s2t2k**





```
## Prediksjon av hver enkelt hovedtype
plot(spatPred_d2s2t2k$fits)
```



```
# plot(nin@data$NIN_12, nin@data$Dyp,
#       xlab = 'NIN Hovedtyper',
#       ylab = 'Dyp')
```

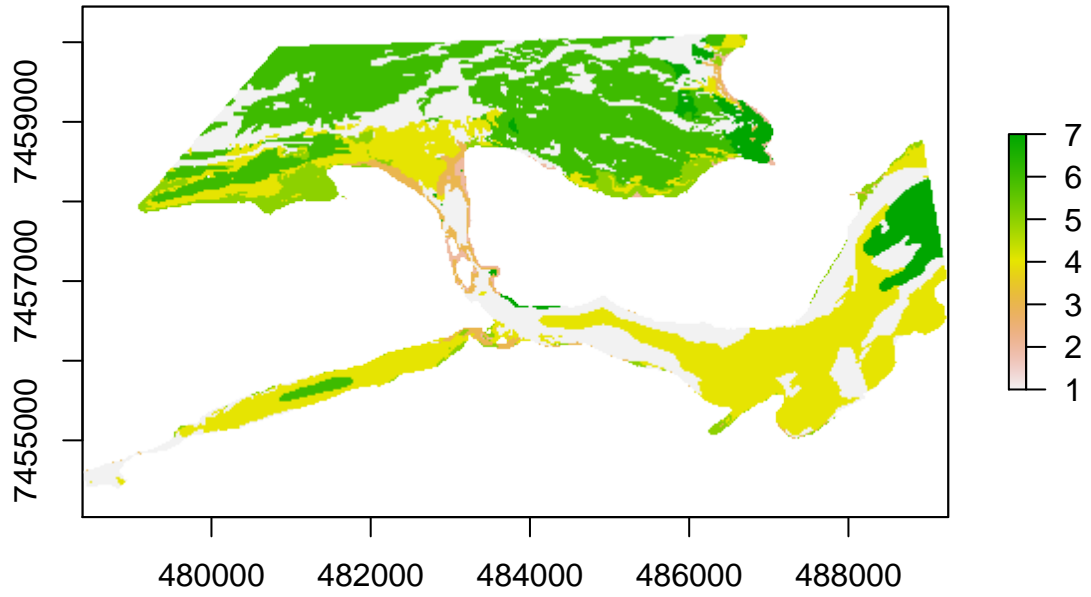
## Romlig prediksjon dxst2k

Denne modellen predikerer godt bortsett fra helt urealistiske prediksjoner av M15 Løs eufotisk (Figur 2; klasse 7; mørkegrønn fargekode) i det dypeste lagene i Skjerstadfjorden. Den overpredikerer mest sannsynlig M8 Fast afotisk i Saltfjorden.

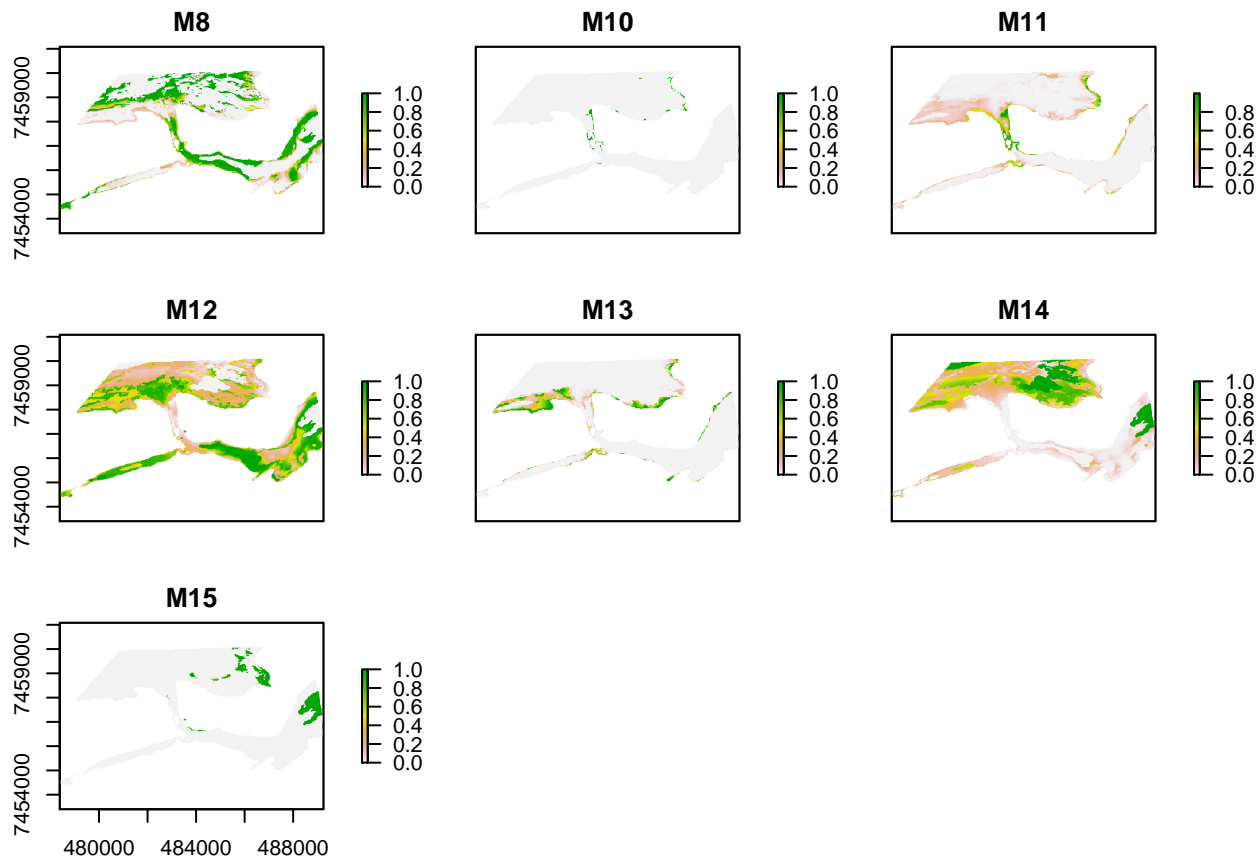
```
spatPred_dxst2k <- mvSpat.pred(mvmodel = dxst2k,
                              newDt = env25mCrop.df,
                              rs = env25mCrop.rs)
```

```
## Predikert NiN 1.0 hovedtypekart
plot(spatPred_dxst2k$combMap,
     main = 'Figur 2 - dxst2k')
```

**Figur 2 – dxst2k**



```
## Prediksjon av hver enkelt hovedtype  
plot(spatPred_dxst2k$fits)
```



### Romlig prediksjon dsk

Denen modellen predikerer i stor grad fornuftig i hele området, det er ingen klasser som er blitt helt åpenbart predikert feil over store områder. M8 Fast afotisk (Figur 3; klasse 1, hvit fargekode) blir nok noe overpredikert både i Saltfjorden og Skjerstadfjorden. Det samme kan kanskje være tilfelle for M10 (Figur 3; klasse 2; rosa fargekode) utenfor Godøystraumen i Saltfjordsiden.

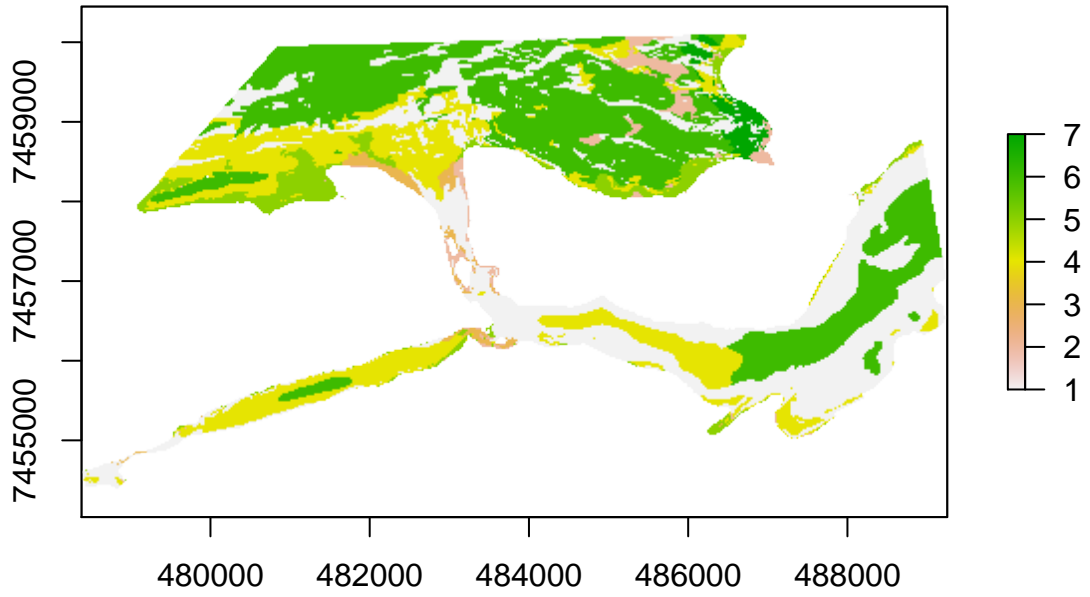
```

spatPred_dsk <- mvSpat.pred(mvmodel = dsk,
                           newDt = env25mCrop.df,
                           rs = env25mCrop.rs)

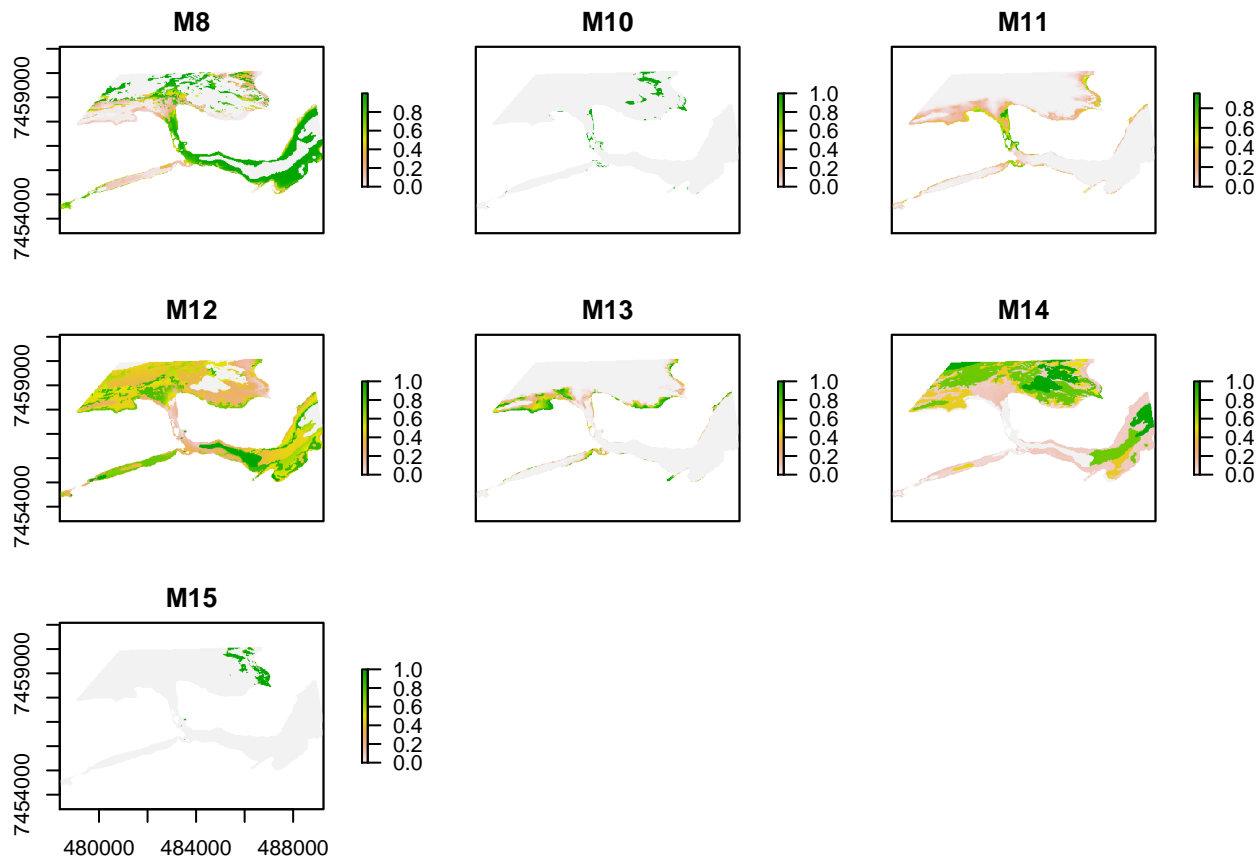
## Predikert NiN 1.0 hovedtypekart
plot(spatPred_dsk$combMap,
     main = 'Figur 3 - dsk')

```

**Figur 3 – dsk**



```
## Prediksjon av hver enkelt hovedtype  
plot(spatPred_dsk$fits)
```



### Romlig prediksjon dstk

Ganske like prediksjon som dsk bortsett fra at M12 Mellomfast afotisk (Figur 4; klasse 4, gul fargekode) predikeres i stedet for M14 Fast afotisk i deler av dypvannsbassenget i Skjerstadjfjorden. Både M8 og M10 Tareskogsbunn virker å være noe overpredikert i Saltfjorden. M8 virker dog å være litt mindre overpredikert enn i dsk-modellen. Som for dsk-modellen, ingen helt åpenbare feilprediksjoner over store områder som var tilfellet for både d2s2t2k og dxst2k.

```

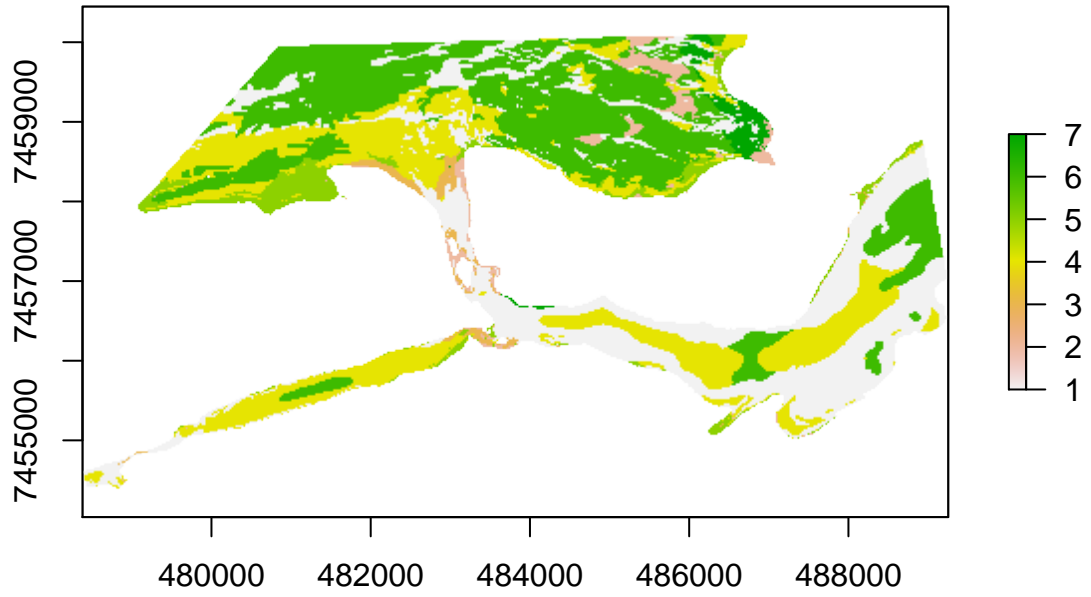
spatPred_dstk <- mvSpat.pred(mvmodel = dstk,
                             newDt = env25mCrop.df,
                             rs = env25mCrop.rs)

## Predikert NiN 1.0 hovedtypekart
plot(spatPred_dstk$combMap,
     main = 'Figur 4 - dstk')

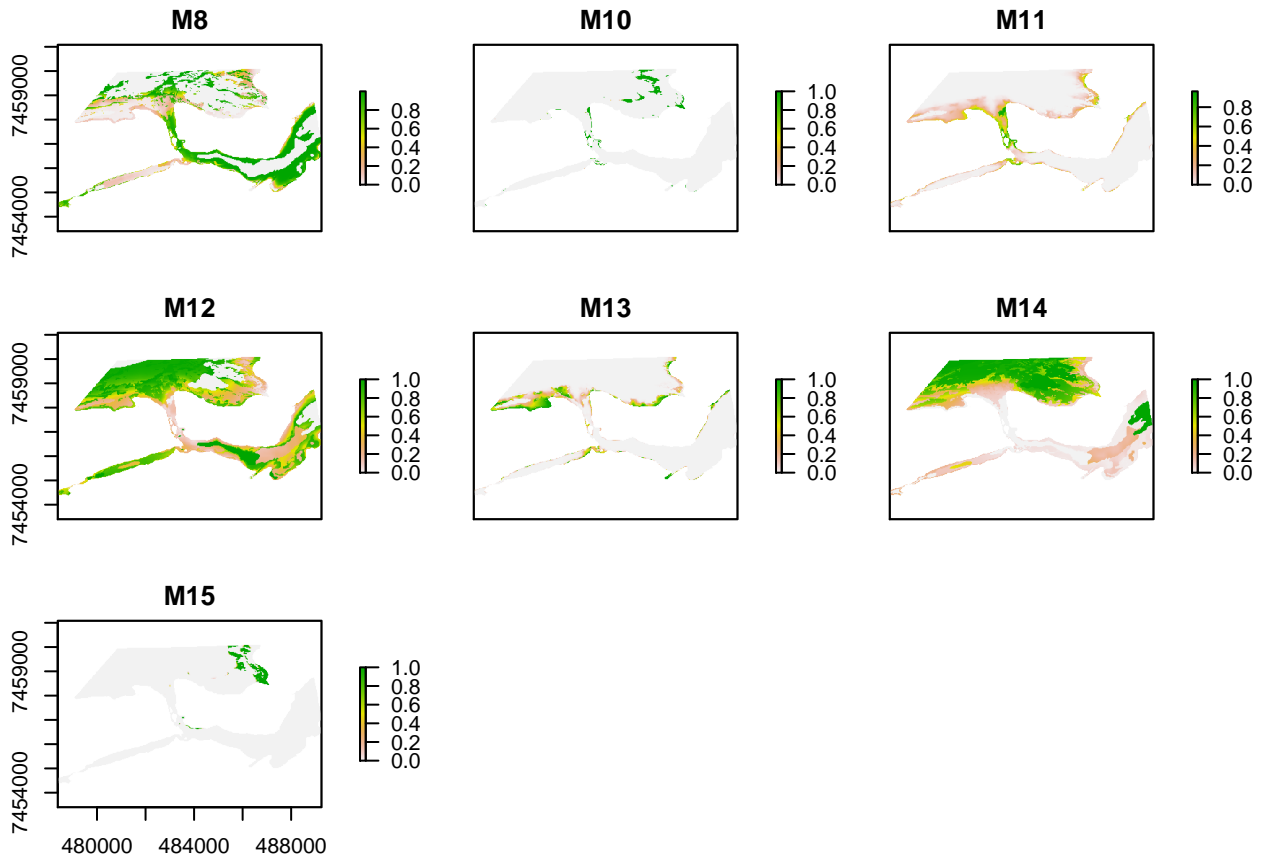
```



Figur 4 – dstk



```
## Prediksjon av hver enkelt hovedtype  
plot(spatPred_dstk$fits)
```



### Modellevaluering: Confusion/Error matrix

```
## Extraherer den observerte (true) dominerende hovedtypen innen hvert 100m segment
# Bruker datarammen med mengde hovedtype data. Indeksen til den kolonnen som har høyest
# mengde returneres.
true <- apply(X = nin_hoved_df,
              MARGIN = 1,
              FUN = base::which.max)

## Ekstraherer predikert hovedtype av dsk-modellen innen hvert 100m segment
pred_dsk <- spatPred_dsk$combMap %>%
  raster::extract(nin_100m_pts)

## Ekstraherer predikert hovedtype av dstk-modellen innen hvert 100m segment
pred_dstk <- spatPred_dstk$combMap %>%
  raster::extract(nin_100m_pts)

## Lagrer confusion matrix-analyse data i en dataramme
confusion_df <- data.frame(true = true,
                           pred_dsk = pred_dsk,
                           pred_dstk = pred_dstk)
```

```

# Fjerner rader/observasjoner/100m segment uten data
confusion_df <- na.omit(confusion_df)

## Confusion matrix for dsk-modellen
confMat_dsk <- confusionMatrix(data = confusion_df$pred_dsk,
                               reference = confusion_df$true)
confMat_dsk

```

```
## Confusion Matrix and Statistics
```

```
##
##           Reference
## Prediction  1  2  3  4  5  6  7
##           1 60  0  9 12  0  5  0
##           2  0  2  1  0  0  0  0
##           3  6  0  5  1  1  0  0
##           4  4  0  1 38  2  5  0
##           5  0  0  0  2 16  0  0
##           6  2  0  1  6  0 11  0
##           7  0  0  0  0  0  0  4
##
```

```
## Overall Statistics
```

```
##
##           Accuracy : 0.701
##           95% CI : (0.6313, 0.7645)
##           No Information Rate : 0.3711
##           P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16
##
```

```
##           Kappa : 0.5907
```

```
## McNemar's Test P-Value : NA
```

```
##
```

```
## Statistics by Class:
```

```
##
```

```
##           Class: 1 Class: 2 Class: 3 Class: 4 Class: 5 Class: 6
## Sensitivity      0.8333  1.00000  0.29412  0.6441  0.84211  0.5238
## Specificity      0.7869  0.99479  0.95480  0.9111  0.98857  0.9480
## Pos Pred Value   0.6977  0.66667  0.38462  0.7600  0.88889  0.5500
## Neg Pred Value   0.8889  1.00000  0.93370  0.8542  0.98295  0.9425
## Prevalence       0.3711  0.01031  0.08763  0.3041  0.09794  0.1082
## Detection Rate   0.3093  0.01031  0.02577  0.1959  0.08247  0.0567
## Detection Prevalence 0.4433  0.01546  0.06701  0.2577  0.09278  0.1031
## Balanced Accuracy 0.8101  0.99740  0.62446  0.7776  0.91534  0.7359
##
```

```
##           Class: 7
```

```
## Sensitivity      1.00000
## Specificity      1.00000
## Pos Pred Value   1.00000
## Neg Pred Value   1.00000
## Prevalence       0.02062
## Detection Rate   0.02062
## Detection Prevalence 0.02062
## Balanced Accuracy 1.00000

```

```
## Confusion matrix for dstk-modellen
confMat_dstk <- confusionMatrix(data = confusion_df$pred_dstk,
                                reference = confusion_df$true)
confMat_dstk
```

```
## Confusion Matrix and Statistics
```

```
##
##           Reference
## Prediction  1  2  3  4  5  6  7
##           1 63  0  8 10  0  3  0
##           2  0  2  1  0  0  0  0
##           3  4  0  6  1  1  0  0
##           4  2  0  0 37  3  4  0
##           5  0  0  1  4 15  0  0
##           6  3  0  1  7  0 14  0
##           7  0  0  0  0  0  0  4
```

```
## Overall Statistics
```

```
##
##           Accuracy : 0.7268
##           95% CI : (0.6584, 0.7882)
##           No Information Rate : 0.3711
##           P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16
```

```
##
##           Kappa : 0.6294
```

```
## McNemar's Test P-Value : NA
```

```
## Statistics by Class:
```

```
##
##           Class: 1 Class: 2 Class: 3 Class: 4 Class: 5 Class: 6
## Sensitivity      0.8750  1.00000  0.35294  0.6271  0.78947  0.66667
## Specificity      0.8279  0.99479  0.96610  0.9333  0.97143  0.93642
## Pos Pred Value   0.7500  0.66667  0.50000  0.8043  0.75000  0.56000
## Neg Pred Value   0.9182  1.00000  0.93956  0.8514  0.97701  0.95858
## Prevalence       0.3711  0.01031  0.08763  0.3041  0.09794  0.10825
## Detection Rate   0.3247  0.01031  0.03093  0.1907  0.07732  0.07216
## Detection Prevalence 0.4330  0.01546  0.06186  0.2371  0.10309  0.12887
## Balanced Accuracy 0.8514  0.99740  0.65952  0.7802  0.88045  0.80154
##
##           Class: 7
## Sensitivity      1.00000
## Specificity      1.00000
## Pos Pred Value   1.00000
## Neg Pred Value   1.00000
## Prevalence       0.02062
## Detection Rate   0.02062
## Detection Prevalence 0.02062
## Balanced Accuracy 1.00000
```

## Oppsummering

Det er ikke stor forskjell i de prediktive egenskapene til dsk- og dstk-modellene. dstk-modellen har dog en noe høyere accuracy enn dsk-modellen. Det er viktig å påpeke at confusion matrix analyserer bare observerte

responser mot predikerte responser, derfor er det begrenset til de områdene vi har observasjoner fra. Accuracy (dvs, treffsikkerhet) på 72% er akseptabelt. Dog må det sies at vi er ganske usikre på hvor god modellen er i de typere delene av både Saltfjorden og Skjerstadfjorden. Utfra et helhetlig perspektiv velger vi å presentere dstk-modellen som den endelige.

## Modellkoeffisienter for dstk-modellen

```
anova(dstk,
      p.uni = 'adjusted',
      cor.type = 'shrink')
```

```
## Time elapsed: 0 hr 0 min 21 sec
```

```
## Analysis of Variance Table
```

```
##
```

```
## Model: manyglm(formula = obs ~ depth25m + spmaxb + tmaxb + sed25m, family = "binomial",
```

```
## Model:      data = nin_hoved, subset = rowSums(nin_hoved$obs) != 0)
```

```
##
```

```
## Multivariate test:
```

```
##           Res.Df Df.diff  wald Pr(>wald)
```

```
## (Intercept)    188
```

```
## depth25m      187      1 8.162    0.001 ***
```

```
## spmaxb        186      1 8.551    0.001 ***
```

```
## tmaxb         185      1 5.206    0.001 ***
```

```
## sed25m        173     12 8.694    0.001 ***
```

```
## ---
```

```
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
##
```

```
## Univariate Tests:
```

```
##           M8           M10           M11           M12
```

```
##           wald Pr(>wald)  wald Pr(>wald)  wald Pr(>wald)  wald
```

```
## (Intercept)
```

```
## depth25m    1.592    0.231 1.928    0.190 4.573    0.001 1.782
```

```
## spmaxb      5.657    0.001 1.743    0.069 3.626    0.001 3.188
```

```
## tmaxb       2.449    0.045 0.587    0.859 1.609    0.368 1.179
```

```
## sed25m      5.353    0.001 1.594    0.363 2.78     0.363 4.121
```

```
##           M13           M14           M15
```

```
##           Pr(>wald)  wald Pr(>wald)  wald Pr(>wald)  wald Pr(>wald)
```

```
## (Intercept)
```

```
## depth25m    0.231 4.647    0.001 1.724    0.231 1.7    0.231
```

```
## spmaxb      0.003 3.353    0.002 3.016    0.003 1.579    0.073
```

```
## tmaxb       0.633 0.695    0.859 4.136    0.001 0.714    0.859
```

```
## sed25m      0.037 3.221    0.246 3.2     0.246 0.608    0.775
```

```
## Arguments:
```






















```
## Test statistics calculated assuming correlated response via ridge regularization
```

```
## P-value calculated using 999 resampling iterations via PIT-trap resampling (to account for correlati
```



Maringeologisk standard for klassifisering av kornstørrelsesdata  
(Folk 1954, modifisert)

Sist revidert 12.05.2014

Symbol	Kornstørrelse	Fork.	Definisjon/beskrivelse	Kode
	Leire	C	Leir:silt >2:1 og leir+silt >90%, sand <10%, grus <2%	10
	Organisk slam	-	Leir:silt fra 1:2 til 2:1 og leir+silt >90%, sand <10%, grus <2%. Høyt innhold av organisk materiale.	15
	Slam	M	Leir:silt fra 1:2 til 2:1 og leir+silt >90%, sand <10%, grus <2%	20
	Slam med blokker av sedimenter		Slam i veksling med blokker av harde sedimenter	21
	Sandholdig leire	sC	Leir:silt >2:1 og leir+silt >50%, sand <50%, grus <2%	30
	Sandholdig slam	sM	Leir:silt fra 1:2 til 2:1 og leir+silt >50%, sand <50%, grus <2%	40
	Silt	Z	Leir:silt <1:2 og leir+silt >90%, sand <10%, grus <2%	50
	Sandholdig silt	sZ	Silt:leir >2:1 og leir+silt >50%, sand <50%, grus <2%	60
	Leirholdig sand	cS	Sand >50%, leir:silt >2:1 og clay+silt <50%, grus <2%	70
	Slamholdig sand	mS	Sand >50%, leir:silt fra 1:2 til 2:1 og leir+silt <50%, grus <2%	80
	Siltholdig sand	zS	Sand >50%, silt:leir >2:1 og leir+silt <50%, grus <2%	90
	Fin sand	-	Sand >90%, inkluderer fin og veldig fin sand (Wentworth, 1922)	95
	Sand	S	Sand >90%, leir+silt <10%, grus <2%	100
	Grov sand	-	Sand >90%, inkluderer medium, grov og veldig grov sand (Wentworth, 1922)	105
	Grusholdig slam	gM	Sand:silt+leir <1:9, grus 2-30%	110
	Grusholdig sandholdig slam	gsM	Sand:silt+leir fra 1:9 til 1:1, grus 2-30%	115
	Grusholdig slamholdig sand	gmS	Sand:silt+leir fra 1:1 til 9:1, grus 2-30%	120
	Grusholdig sand	gS	Sand:silt+leir >9:1, grus 2-30%	130
	Slamholdig grus	mG	Sand:silt+leir <1:1, grus 30-80%	140
	Slamholdig sandholdig grus	msG	Sand:silt+leir fra 1:1 til 9:1, grus 30-80%	150
	Sandholdig grus	sG	Sand:silt+leir >9:1, grus 30-80%	160

Symbol	Kornstørrelse	Fork.	Definisjon/beskrivelse	Kode
	Grus	G	Grus >80%	170
	Grus og stein	GSt	Dominans av grus og stein	174
	Grus, stein og blokk	GB	Dominans av grus, stein og blokk	175
	Stein og blokk	B	Dominans av stein og blokk	180
	Sand, grus og stein	SGB	Dominans av sand, grus og stein	185
	Diamikton	D	Sediment med blandede kornstørrelser og dårlig sortering	200
	Sand/slam og stein/blokk	S/M-B	Bimodal bunntype der stein/blokk forekommer hyppig i områder dominert av finkornige sedimenter.	205
	Stein/blokk med sand-/slamdekke	B-S/M	Stein og/eller blokk overdekt av finkornig materiale	210
	Sand, grus, stein og blokk	SGB	Sand, grus, stein og blokk i vekslende sammensetning	215
	Harde sedimenter eller sedimentære bergarter		Blotning av konsoliderte sedimenter eller sedimentære bergarter på havbunnen	300
	Tynt eller usammenhengende sedimentdekke over berggrunn	-	Veksling mellom små sedimentbassenger, bart fjell og/eller bart fjell med tynt/usammenhengende sedimentdekke. Sedimenter har varierende kornstørrelse.	1
	Bart fjell	-	Områder med bart fjell uten sedimentdekke	5
	Uspesifisert	-	Kornstørrelse ikke angitt	0





NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE  
· NGU ·

Norges geologiske undersøkelse  
Postboks 6315, Sluppen  
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse  
Leiv Eirikssons vei 39  
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00  
E-post [ngu@ngu.no](mailto:ngu@ngu.no)  
Nettside [www.ngu.no](http://www.ngu.no)