



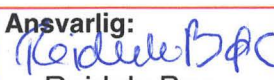
GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·



Rapport nr.: 2016-005	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Fortrolig til 02.04.2017
Tittel: Modellering av optimale oppdrettslokaliteter.		
Forfatter: Oddvar Longva og Sigrid Elvenes	Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Troms	Kommune: Skånland, Gratangen, Lavangen, Kvæfjord, Harstad, Ibestad, Salangen, Dyrøy, Tranøy, Torsken, Berg	
Kartblad (M=1:250.000) Narvik, Tromsø, Svolvær	Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:	Sidetall: 22 Kartbilag:	Pris: 82,-
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 08.04.2016	Prosjektnr.: 357700
		Ansvarlig:  Reidulv Bøe
Sammendrag: <p>Denne rapporten beskriver et modelleringsforsøk der de fysiske parametrene innhentet gjennom Astafjordprosjektet kobles mot erfaringsdata fra oppdrettsnæringen. Formålet var å påvise hva som kjennetegner de beste oppdrettslokalitetene og peke ut arealer med de beste fysiske forutsetningene for oppdrett av laksefisk.</p> <p>Erfaringsdata kommer fra forprodusenten EWOS' statistikkbaserte EGI (EWOS Growth Index), som er ment å gi en nøytral produksjonsevaluering basert på veksthastighet/fôrutnyttelse uavhengig av fiskestørrelse og temperaturer, og fra egenevaluering fra flere oppdrettselskap om kvaliteten på de enkelte lokalitetene. I området dekket av Astafjordprosjektet fantes i 2015 59 lokaliteter fordelt på 10 selskap. Åtte av selskapene har benyttet EWOS som fôrleverandør, og sju av disse har gitt NGU tillatelse til å benytte data fra selskapenes lokaliteter i dette modelleringsforsøket. For 17 av oppdrettslokalitetene finnes en egenrangering fra eierselskapet om lokalitetens kvalitet.</p> <p>Ulike typer programvare har vært viktige i de forskjellige stegene i modelleringen. For å kalkulere terrengvariabler fra dybdedata har vi brukt GIS-programmet Landserf mens det statistiske modelleringsverktøyet Maxent ble brukt i innledende modelleringsforsøk og til å anslå viktigheten av de ulike variablene. Annen databehandling og analyse er gjort i ESRI ArcGIS.</p> <p>I arbeidet med rapporten ble det klart at de tilgjengelige dataene og metodene for å vurdere kvaliteten til ulike oppdrettslokaliteter ikke ga resultater som kunne brukes i romlig modellering med Maxent. Resultatene som presenteres her kan dermed ikke brukes til arealplanlegging, men er tatt med som eksempler på hvordan modelleringsverktøyet fungerer.</p> <p>NGUs konklusjon er likevel at Maxent-modellering kan være egnet til denne typen studie forutsatt at tilgjengelige inndata er gode nok. Ved en eventuell ny modellering av oppdrettslokaliteter i Sør- og Midt-Troms vil det være nødvendig med en mer solid statistisk metode for rangering av kvaliteten til et representativt utvalg av lokalitetene i området.</p>		
Emneord:	Optimale oppdrettslokaliteter	Modellering
Astafjordprosjektet	EWOS	Landserf
Maxent	ArcGIS	

INNHold

1. INNLEDNING.....	4
2. DATAGRUNNLAG	5
2.1 Dybdedata.....	5
2.2 Bunnsedimenter	6
2.3 Oseanografiske data.....	7
2.4 Godkjente oppdrettslokaliteter i studieområdet.....	8
2.5 EGI (EWOS Growth Index)	9
2.6 Oppdretternes rangering av lokaliteter	11
3. DATAANALYSE.....	11
4. MODELLERING MED MAXENT.....	12
4.1 Inndata	12
4.2 Modelling med respondentlokaliteter	13
4.3 Modelling med alle lokaliteter.....	17
4.4 Metodens svakheter	19
5. KONKLUSJON	21
6. REFERANSER	22

1. INNLEDNING

Astafjordprosjektet var et samarbeid mellom 12 kommuner i Sør- og Midt-Troms, Troms fylkeskommune, oppdrettsnæringsaktører og NGU, og resulterte i detaljerte *marine grunnkart* over havbunnsterreng, bunntyper, biotoper og oseanografiske forhold. Prosjektet ble påbegynt i 2002 og avsluttet i 2012, og i dag er studieområdet det best kartlagte kystnære sjøareal i Norge.

Denne rapporten beskriver en modell som kobler resultatene fra kartleggingen i Astafjordprosjektet opp mot erfaringsdata fra oppdrettsnæringen. Formålet med prosjektet var å se om det er mulig å påvise hva slags fysiske forhold som kjennetegner de beste oppdrettslokalitetene. Som verktøy vil en slik modell kunne hjelpe forvaltningen med å finne hvilke arealer som kan ha de beste forutsetningene for oppdrett av laksefisk.

Gode lokaliteter for oppdrett av fisk i sjø er et av de viktigste fortrinn Norge har som sjømatnasjon. Ytelsen og dermed kvaliteten på lokalitetene styres av naturgitte betingelser som vannkvalitet og beliggenhet. Erfaringer fra lokaliteter i drift viser at noen lokaliteter kan produsere bedre enn andre selv om man ser bort fra den menneskelige faktor knyttet opp mot driftsrutiner og forvaltningsmessige reguleringer.

På den optimale oppdrettslokalitet må det være generelt god vannkvalitet samt nok strøm til å skaffe fisken oksygen og til å spre avfall, bunnforholdene må sikre god forankring og anlegget må kunne ligge trygt i all slags vær. Med disse kravene som basis snevres de mulige arealene inn. I tillegg er det andre lover og forordninger som begrenser arealene ytterligere (for eksempel havne- og farledsloven, plass for drift og avstand med hensyn til smittevern). Med tanke på den ønskede vekstraten som er lagt til grunn for videre utvikling av oppdrett som næring er kampen om egnede arealer på kysten derfor i høyeste grad reell (Gullestadutvalget 2011, Hersoug og Johnsen (red.) 2012).

Gjennom Astafjordprosjektet har man nå for første gang en stor faktadatabase for en hel region, og dermed muligheter for å finne reelle sammenhenger mellom produksjonsdata for de enkelte anlegg og lokalitetens fysiske forhold. For å teste om slike sammenhenger lar seg påvise, og eventuelt utnytte for å modellere arealers egnethet, har NGU tatt kontakt med de oppdrettselskapene som var partnere i Astafjordprosjektet og fått tillatelse til å benytte produksjonsdata fra oppdrettsanlegg i en slik modellering.

Fôrprodusenten EWOS har ført statistikk over alle sine kunders resultater i mange år, og har utviklet en vekstindeks for fisk (EGI) som er ment å eliminere ytre påvirkninger som temperatur og lignende, og dermed kunne gi sammenlignbare resultater fra ulike oppdrettsanlegg. I tillegg til EWOS-indeksen har enkelte av oppdrettsaktørene i studieområdet levert en egevaluering med rangering av egne lokaliteter etter opplevd kvalitet.

Rapporten er stemplet fortrolig i ett år og er i dette tidsrommet kun tilgjengelig for de selskapene som har stilt data til rådighet for modelleringen.

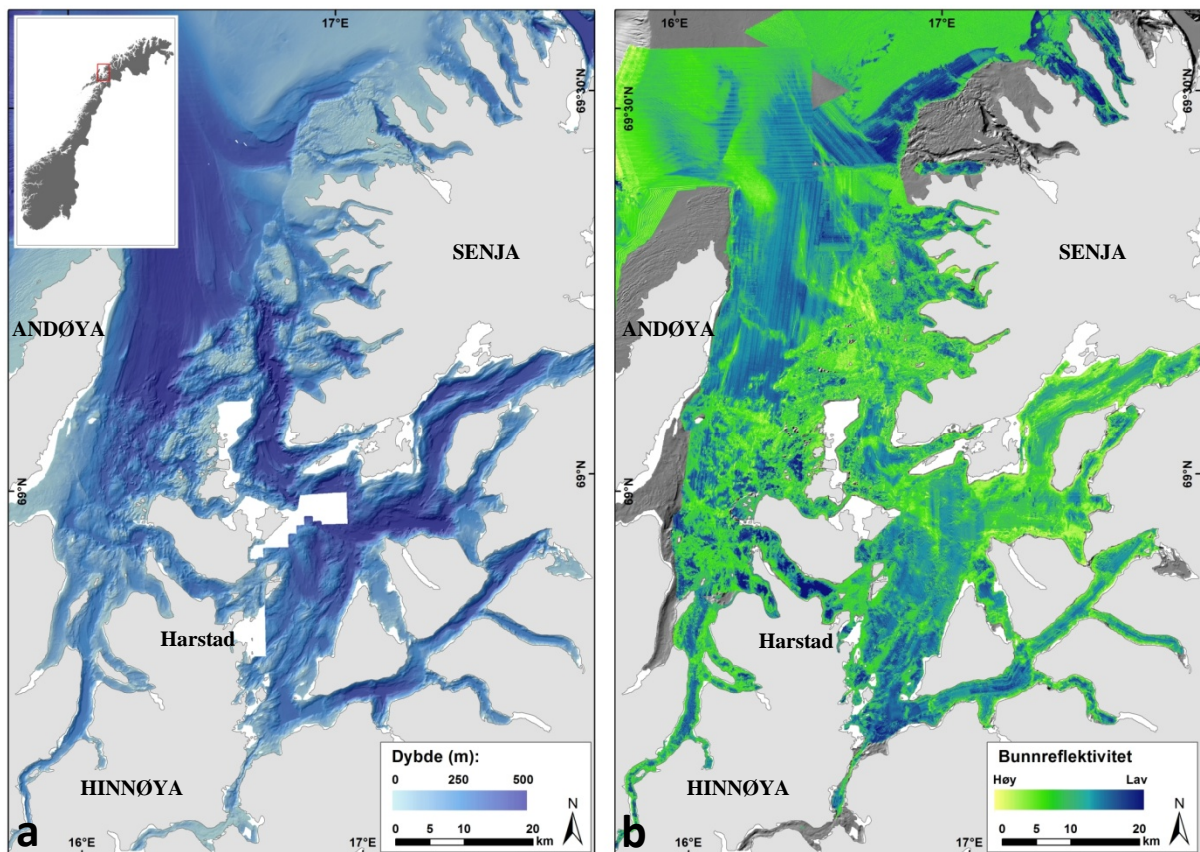
2. DATAGRUNNLAG

2.1 Dybdedata

I studieområdet har NGU, FFI og Statens Kartverk samlet inn dybdedata gjennom flere år og med flere forskjellige multistråleekkolodd, forskningsfartøyer og posisjoneringssystemer. Som følge av dette er de tilgjengelige dybdedataene fra Sør-Troms av varierende tetthet og kvalitet. I de fleste kartlagte områdene er både dybde- og bunnreflektivetsdata (*backscatter*) samlet inn. I noen tilfeller mangler imidlertid backscatterdata, som regel på grunn av utstyrsbegrensninger og/eller det opprinnelige formålet med kartleggingen.

De ulike dybdedatasettene fra studieområdet ble satt sammen til ett rasterdatasett med 10 x 10 meters oppløsning. For store deler av studieområdet var det også mulig å lage et backscatterdatasett med samme oppløsning. Figur 1 viser dekningsområdene til dybde- og backscatterdataene.

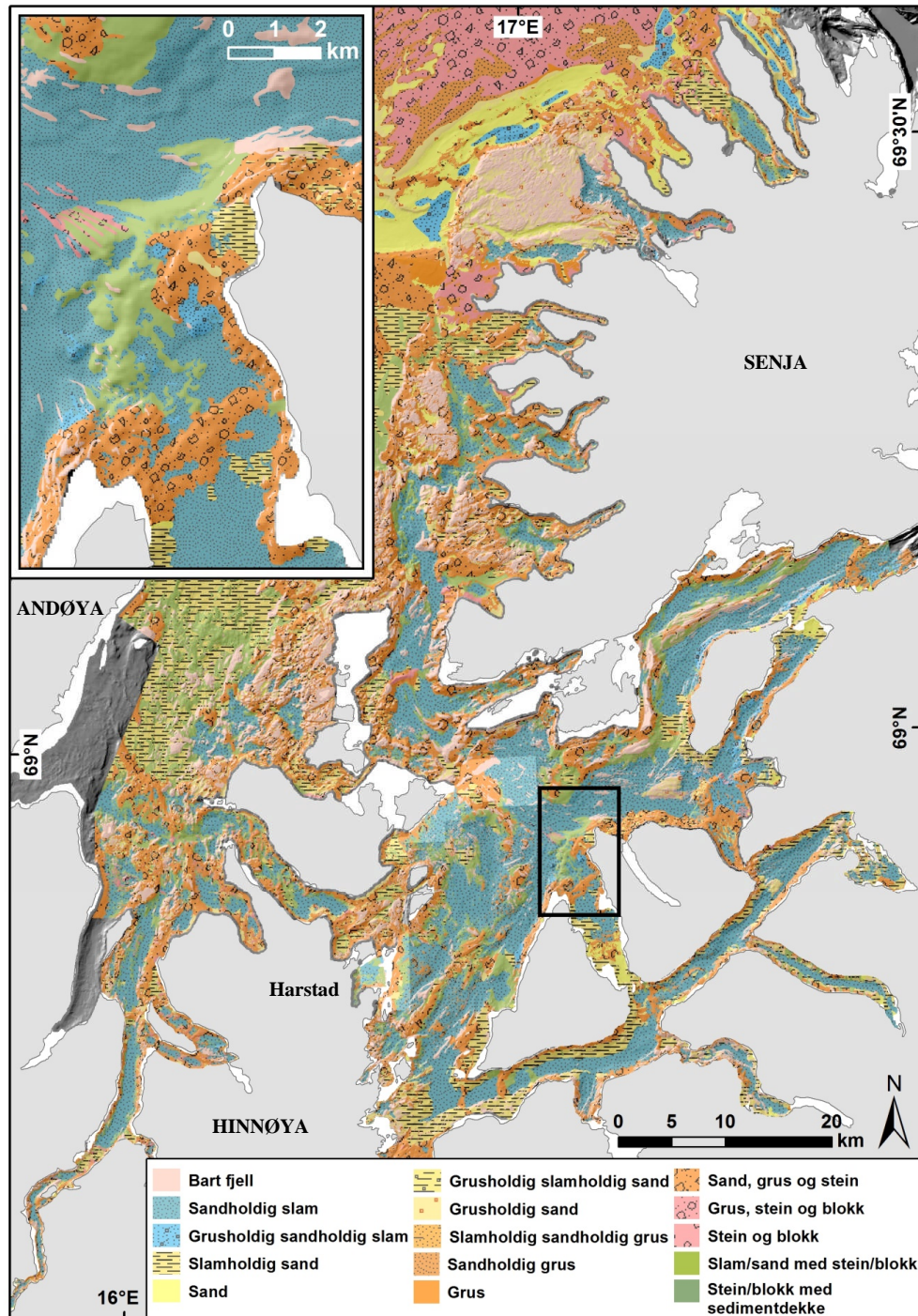
Multistråledataene fra studieområdet har god kvalitet og ville kunne brukes i høyere oppløsning, men 10 meter ble valgt for å holde datavolumet på et håndterbart nivå slik at modelleringen kunne foregå på en vanlig datamaskin.



Figur 1. Multistråledatadekning i studieområdet. (a) Dybdedata, (b) bunnreflektivitet (*backscatter*).

2.2 Bunnsedimenter

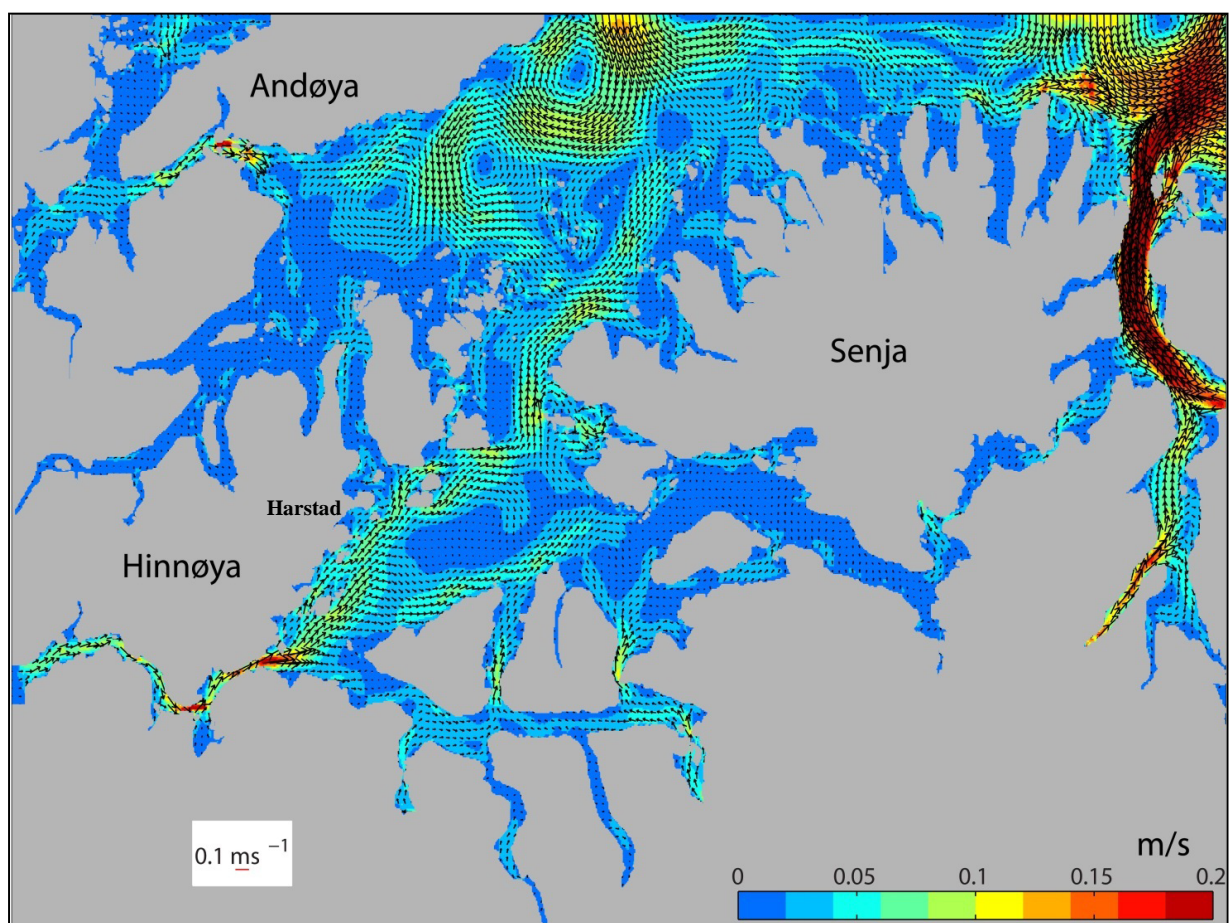
Kartet over bunnsedimenter (kornstørrelse) viser forskjellige kornstørrelsesklasser (www.ngu.no, Figur 2). Grunnlaget for kartet er nøyaktig tolkning av multistrålebatymetri og backscatterdata, verifisert ved hjelp av informasjon fra videoobservasjoner og prøvetaking. Prøvetakingen er gjort med grabb, og kornstørrelses-sammensetningen av bunnsedimentet er visuelt beskrevet på dekk. Et mindre antall prøver er senere kornfordelt i laboratoriet for kontroll. Kartet er tilpasset presentasjon i målestokk 1:20 000.



Figur 2. Kart over bunnsedimenter (kornstørrelse) i studieområdet, med detaljert utsnitt av en del av Vågsfjorden.

2.3 Oseanografiske data

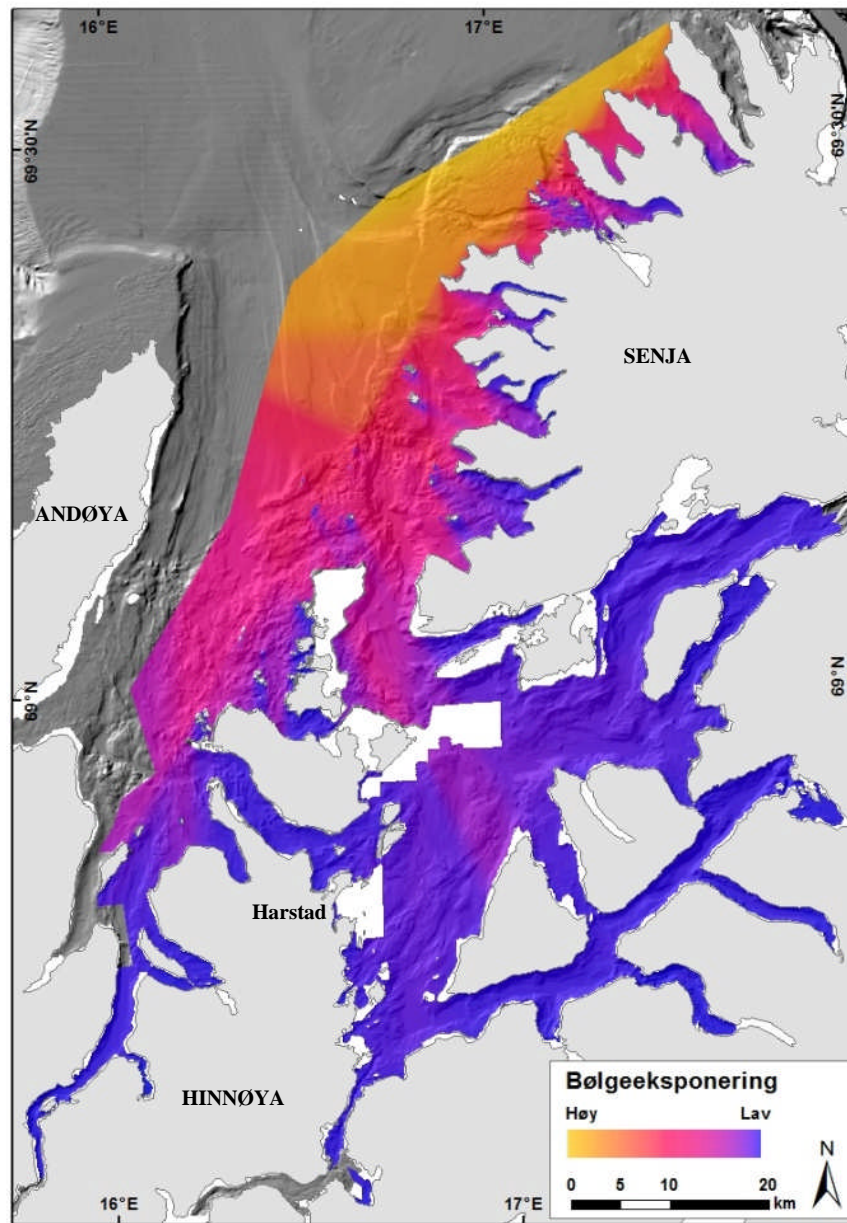
Oseanografiske data til bruk i modelleringen kommer fra SINTEFs 3D-havmodell SINMOD, som dekker kysten av Sør-Troms med en oppløsning på 160 x 160 meter. Vi har hatt tilgang til modeller kjørt for 2009 og 2012. Modellen for 2009 (Slagstad og Knutsen 2012) ble laget for Astafjordprosjektet og gir informasjon om strøm, saltholdighet og temperatur på opptil 31 ulike dyp. Modellen for 2012 er en forbedret utgave av kjøringen fra 2009 og ble kjørt for en gruppe oppdrettsselskap. Kleiva Fiskefarm AS har gitt NGU tilgang til dataene. Til modelleringen som beskrives i denne rapporten har vi hentet strømverdier fra SINMOD-resultatene fra 2012, med maksimal og gjennomsnittlig strøm fra overflate, 50 meters dyp og bunn. Bunntemperaturdata i modelleringen (maks-, middel- og minimumstemperatur) er hentet fra SINMOD-resultatene fra 2009. Verdiene gjelder i begge tilfeller hele det modellerte året. Figur 3 viser et eksempel på SINMOD-data fra studieområdet.



Figur 3 Simulert, årsmidlet strømhastighet i overflaten for 2009. Fargeskalaen angir midlere strømhastighet i m/s og pilene peker i strømmens retning. Lengden av pilene viser også hastigheten. De blå områdene har lav middelstrøm. Kilde: SINTEF, Slagstad og Knutsen (2012).

I tillegg til SINTEF-resultatene har NGU fått tilgang til en bølgeeksponeringsmodell fra NIVA (Figur 4). Her beregnes bølgeeksponering på havoverflaten ut fra avstand til land, vindstyrke og vindretning, med en oppløsning på 25 x 25 meter. Modellen ble opprinnelig

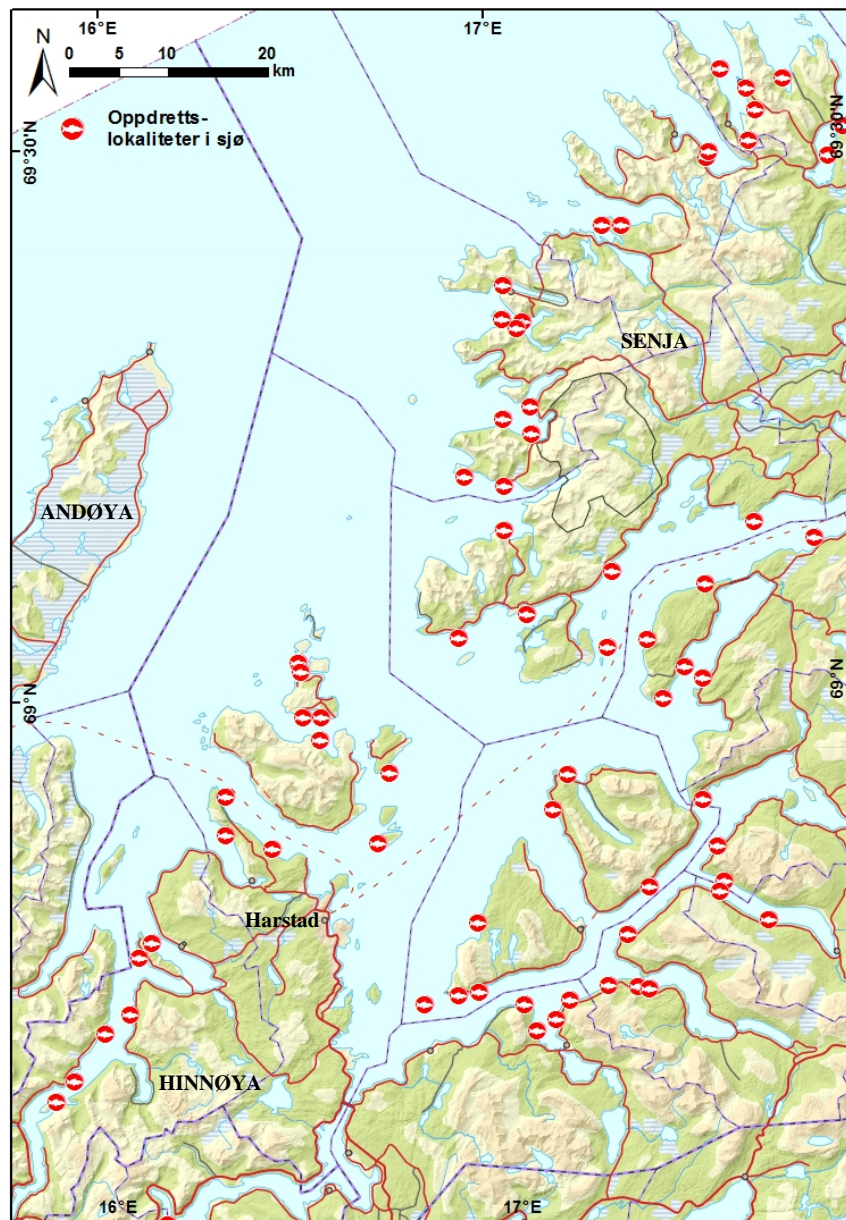
utviklet for Stockholms skjærgård (Isæus, 2004), og er tatt i bruk i flere studier (f. eks. Bekkby et al., 2009; Bekkby og Moy, 2011).



Figur 4. Modellert bølgeeksponering i overflaten. Modelldata fra NIVA.

2.4 Godkjente oppdrettslokaliteter i studieområdet

Sør- og Midt-Troms er viktige områder for oppdrett av laksefisk. Totalt fantes det 59 aktive lokaliteter innenfor studieområdet i juni 2015 (Figur 5). Posisjon og annen informasjon om de ulike lokalitetene finnes på Fiskeridirektoratets nettsider (www.fiskeridir.no).



Figur 5. Oversikt over godkjente oppdrettslokaliteter for laks, ørret og regnbueørret. Data fra Fiskeridirektoratet, juni 2015.

2.5 EGI (EWOS Growth Index)

Astafjordprosjektet var et samarbeidsprosjekt hvor også ti matfiskoppdrettsselskap bidro både med data og finansiering. Av disse ti selskapene har åtte brukt fôrproduzenten EWOS som leverandør av fôr på permanent eller periodisk basis.

EWOS har utviklet vekst-indeksen EGI (EWOS Growth Index) som er ment å gi en nøytral produksjonsevaluering basert på veksthastighet/fôrutnyttelse uavhengig av fiskestørrelse og temperatur ved de ulike lokalitetene. For å kunne optimalisere sine produkter fører EWOS statistikk over produksjonsdata for de anlegg som de har levert til. Selskapet bruker erfaringene fra statistikken aktivt i utviklingen av fôr.

EGI-data fra oppdrettsnæringen burde derfor kunne brukes som input i en modell som rangerer de fleste av lokalitetene i studieområdet etter kvalitet, for slik å kunne finne ut om gode lokaliteter har fysiske parametre felles. NGU fikk skriftlig tillatelse fra sju av de aktuelle oppdrettsselskapene til å bruke statistiske data fra EGI i studien. EWOS har tilrettelagt og kvalitetssikret tall fra alle selskapene, og et eksempel er vist i Tabell 1. NGUs kontaktperson ved EWOS har vært Fredrik Fredriksen.

Tabell 1. Eksempel på data fra EWOS.

Site	Species	Region	First stocking	Last Status/Harves	Generation	Smolt type	EGI	EFI	EEL	Survival + missing	Stocking weight	Invest weight	FCRb	FCRe
	Salmon	North	15/06/2011	20/01/2013	2011	S1	110	103	107	16.09%	54	5,483	1.06	1.11
	Salmon	North	21/07/2003	11/01/2009	2003	S1	110	107	103	10.41%	73	5,698	1.11	1.16
	Salmon	North	20/04/2006	24/11/2013	2006	S1	107	106	101	6.64%	65	5,450	1.10	1.11

Etter kjøring av modellen med data fra EGI viser det seg at den er følsom for grunnleggende variabler som vårutsett/høstutsett og bemanning på det enkelte oppdrettsanlegg. En endring i disse variablene gir større variasjoner enn de fysiske kvalitetene for lokaliteten. Dette betyr at selv om EGI-dataene er viktige for utvikling av fôr, så kan ikke dette datasettet benyttes til å rangere oppdrettslokaliteter til bruk i vår modellering direkte.

Tabell 2. Egenrangering av oppdrettslokaliteter fra tre oppdrettsselskap i Sør- og Midt-Troms.

Selskap	Lokalitet	Rangering
Kleiva Fiskefarm AS og Gratangslaks AS	Ånderkleiva	1
	Skarbergvik	2
	Tjøtta	3
	Bjørnstein	4
	Kasteberga	5
	Gregusvika	
	Amundsvik	
Sør-Rollnesfisk/ Northern Light Salmon AS	Svartskjær	1
	Trollvika	2
	Ystevika	3
	Enkeltstein/Godvika	3
Wilsgård Fiskeoppdrett AS	Ytre Jøvika	1
	Ytre Lavollfjorden	2
	Husvika	3
	Finnstein	3
	Sylsnes	3
	Barbogen	
Nord-Senja Laks AS	<i>De rangerte lokalitetene fra denne produsenten ligger utenfor studieområdet til Astaffjordprosjektet og er ikke tatt med i modelleringen.</i>	

2.6 Oppdretternes rangering av lokaliteter

Siden EGI viste seg å ikke gi egnede data til NGUs modellering, tok vi kontakt med de enkelte oppdrettsaktørene og ba dem rangere sine lokaliteter basert på erfaringer med driften/resultater. Av de ni selskapene som hadde gitt klarsignal til å bruke EWOS-data lyktes vi med å få tilbakemelding fra fire (Tabell 2). Hos én av respondentene, Nord-Senja Laks A/S, ligger alle de rangerte lokalitetene utenfor studieområdet til Astafjordprosjektet. Det finnes dermed ikke detaljerte bunndata for disse, og lokalitetene er ikke tatt med i modelleringen.

Av de 59 lokalitetene som var aktive innenfor studieområdet i juni 2015 (Figur 5) har vi en egenrangering av 17 lokaliteter (Tabell 2).

3. DATAANALYSE

Hypotesen i denne studien er at steder med gunstige fysiske forhold for oppdrett kan identifiseres ut ifra kjennskap til 1) plasseringen av de beste oppdrettslokalitetene i et område og 2) den romlige variasjonen i fysiske forhold i området. I Sør- og Midt-Troms har arbeidet med Astafjordprosjektet resultert i svært detaljerte kart over terrengformer, bunntyper og oseanografiske forhold som dekker store sjøarealer. Det omfattende datagrunnlaget har tidligere blitt brukt til modellering av havbunnsbiotoper (Dolan et al. 2012). Basert på erfaringer med dette arbeidet hentet vi ut 27 ulike variabler som vi ville vurdere for bruk i modellering av mulige akvakulturlokaliteter. Tabell 3 gir en oversikt over disse variablene.

Tabell 3. Oversikt over variabler som er tilgjengelige for modellering av optimale lokaliteter for oppdrett i studieområdet.

Variabel	Opphav	Romlig oppløsning	Analysevindu (n=rasterpikslar)	Metode
Dybde	Multistråleekkolodd	10 x 10 m		Originaldata
Akustisk bunnreflektivitet*	Multistråleekkolodd	10 x 10 m		Originaldata
Skråning (2 variabler)	Dybdedata fra multistråleekkolodd	10 x 10 m	n= 3, 9	Landserf 3.2
Skråningens retning: Aspekt (2 variabler)	Dybdedata fra multistråleekkolodd	10 x 10 m	n= 3, 9	Landserf 3.2
Overflatekrumning: Gjennomsnittsprofil- og plankrumning (6 variabler)	Dybdedata fra multistråleekkolodd	10 x 10 m	n= 3, 9	Landserf 3.2
Variabilitet (fraktaldimensjon)	Dybdedata fra multistråleekkolodd	10 x 10 m	n= 9	Landserf 3.2
Bunntemperatur 2009: Maksimum/minimum/gjennomsnitt (3 variabler)	SINTEF-modellering	160 x 160 m		SINMOD 2009
Bunnstrøm 2009: Maksimums-/gjennomsnittshastighet (2 variabler)	SINTEF-modellering	160 x 160 m		SINMOD 2009
Bunnstrøm 2012: Maksimums-/gjennomsnittshastighet (2 variabler)	SINTEF-modellering	160 x 160 m		SINMOD 2012
Strøm ved 50 m 2012: Maksimums-	SINTEF-modellering	160 x 160 m		SINMOD 2012

/gjennomsnittshastighet (2 variabler)				
Overflatestrøm 2012: Maksimums-/gjennomsnittshastighet (2 variabler)	SINTEF-modellering	160 x 160 m		SINMOD 2012
Bølgeeksponering	NIVA-modellering	25 x 25 m		NIVA
Bunnsedimenter	Astafjordprosjektet	Ca. 10 x 10 m		Tolkning av multistråldata, video og sedimentprøver
Biotoper	Astafjordprosjektet	Ca. 25 x 25 m		Modellering av biologiske, geologiske og oseanografiske data

* Bunnreflektivitet mangler dekning i deler av studieområdet

Ulike typer programvare har vært viktige i de forskjellige stegene i modelleringen. For å kalkulere terrengvariabler (skråning, aspekt, krumning og variabilitet) fra dybdedata har vi brukt GIS-programmet Landserf (<http://www.landserf.org/>) mens det statistiske modelleringsverktøyet Maxent (Phillips et al., 2004) ble brukt i innledende modelleringsforsøk og til å anslå viktigheten av de ulike variablene. Annen databehandling og analyse er gjort i ESRI ArcGIS (ESRI 2015).

4. MODELLERING MED MAXENT

Maxent (Phillips et al. 2004, Elith et al. 2011) analyserer sammenhengen mellom observasjoner og miljøet de gjøres i (representert ved modellvariablene), og angir sannsynligheten for at modellobjektet skal finnes på andre steder i det modellerte området. Modellen oppgir også hvor viktig hver enkelt miljøvariabel ser ut til å være for utbredelsen av det som modelleres.

Et datasett med punkter som representerer gode oppdrettslokaliteter vil kunne brukes på samme måte som et datasett med artsobservasjoner. Hvis mye av kvaliteten til en lokalitet avgjøres av de fysiske forholdene, og de viktigste fysiske forholdene er representert i materialet som har blitt framstilt gjennom Astafjordprosjektet, så vil Maxent-modellering kunne peke ut eventuelle andre områder i Sør-Troms som har gode fysiske forutsetninger for oppdrett.

4.1 Inndata

Av de 27 tilgjengelige miljøvariablene i Tabell 3 ble fire utelatt fra videre modellering:

- Akustiske bunnreflektivitetsdata mangler for deler av studieområdet (Figur 1b). Maxent gir bare modellresultat fra områder der det finnes data for alle miljøvariabler, og for å sikre best mulig modelldekning ble ikke bunnreflektivitet tatt med blant de utvalgte variablene. Informasjonen fra bunnreflektivitetsdataene er bevart i den tolkede utbredelsen av bunnsedimenter, siden denne bygger direkte på bunnreflektivitet der slike data finnes, og på andre data i øvrige områder.

- I SINTEFs modellering fra 2012 er det brukt flere harmoniske konstanter i tidevannsberegningen, og simuleringen antas å være av bedre kvalitet enn de tilsvarende dataene fra 2009. Strømdataene fra 2012 erstatter dermed strømdataene fra 2009 i modelleringen (to variabler). Vi har imidlertid ikke hatt tilgang til temperaturdata for 2012, og har derfor valgt å beholde temperaturdataene fra 2009 som miljøvariabler.
- Utbredelsen av havbunnsbiotoper fra Astafjordprosjektet er allerede et direkte resultat av Maxent-modellering med tilnærmet samme variabler som er tilgjengelige for modellering av akvakulturlokaliteter. En biotop-variabel vil dermed ikke kunne tilføre noen ny informasjon til denne modelleringen.

Før Maxent-modelleringen ble øvrige variabler konvertert til ASCII-rasterdata med oppløsning på 10 x 10 meter.

Posisjonene til oppdrettslokalitetene ble hentet fra Fiskeridirektoratets oversikt (<http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Registre-og-skjema/Akvakulturregisteret>). Det er totalt 59 lokaliteter som ligger helt eller delvis innenfor studieområdet, og for 17 av disse foreligger det en kvalitetsvurdering fra eierselskapet. Vurderingen er fra høsten 2014. Responsen fra selskapene er ikke enhetlig, siden spørsmålet om rangering er blitt besvart på ulik måte. Alle de tre respondentene vi bruker egnevaluering fra, har likevel identifisert en "beste" og en "nest beste" lokalitet.

Ikke alle oppdrettslokaliteter ligger i områder som dekkes av alle miljøvariabel-datasett. Dette gjelder først og fremst terrengvariablene skråning, aspekt, krumning og fraktaldimensjon med 9-pikslers analysevindu, siden de fleste oppdrettsanlegg ligger relativt nært land og Landserfs analysemetode fører til datatap langs datasettets grenser (se eksempler på dette i Dolan 2012). Tre lokaliteter rammes av dette. For disse lokalitetene, som alle ligger < 20 m fra grensen til de nevnte rasterdatasettene, ble omtrentlige verdier fastslått ved å bruke gjennomsnittsverdiene fra et analysevindu på 9 x 9 piksler (*ArcGIS Spatial Analyst, Focal Statistics, Mean*).

Fem andre lokaliteter ligger i områder der det ikke foreligger tolkning av bunntype, og det var i de fleste tilfeller vanskelig å bestemme med tilstrekkelig sikkerhet hva bunntypen i området kunne være. Maxent-modelleringen ble gjennomført uten bunntypeinformasjon for disse lokalitetene, hvorav tre var respondentlokaliteter (én av disse rangert som beste lokalitet).

4.2 Modellering med respondentlokaliteter

Maxent har ingen nedre grense for antall punktobservasjoner som må til for å få fram et modellresultat, og det finnes eksempler på at tilfredsstillende resultater har blitt oppnådd med færre enn ti punkter (Elith et al. 2011). Imidlertid er det ønskelig å ha så gode inndata som mulig i en modell. Maxent tillater at en gitt andel av punktene holdes utenfor modelleringen og brukes som kvalitetskontroll, men dette vil svekke modellen hvis det totale antall observasjonspunkter er lavt.

I studieområdet har vi svært begrenset informasjon om hvilke oppdrettslokaliteter som kan være bedre enn andre. Respondentmaterialet gir opplysninger om tre "beste"-lokaliteter (Tabell 1, rangering 1), noe som er et svakt grunnlag for statistisk analyse, og selv om vi

inkluderer de tre ”nest beste”-lokalitetene (Tabell 1, rangering 1 og 2) vil vi fortsatt ha for få punkter til å kunne holde noen utenfor med tanke på kvalitetskontroll.

Modelleringsforsøk med henholdsvis 3 og 6 lokaliteter (”beste” og ”beste/nest beste”) og alle 23 variabler gir resultater som vist i Tabell 4a og b. Det er all grunn til å være skeptisk til disse resultatene, spesielt de som framkommer ved å kjøre modellen med bare 3 inn-punkter (Tabell 4a). Her er for eksempel bunnsedimenter tilsynelatende den klart viktigste miljøvariabelen, men det er høyst sannsynlig at dette skyldes at to av de tre lokalitetene har samme type bunnsedimenter, mens sedimenttypen for den tredje lokaliteten er ukjent. Ved modellering med 6 punkter er derimot to sedimenttyper representert, og da er ikke denne variabelen lenger den viktigste for modellresultatet.

Tabell 4. Maxents rangering av miljøvariabler og deres betydning for modellresultatet. a) Modellering av de 3 lokalitetene rapportert som ”best”. b) Modellering av de 6 lokalitetene rapportert som ”best” eller ”nest best”.

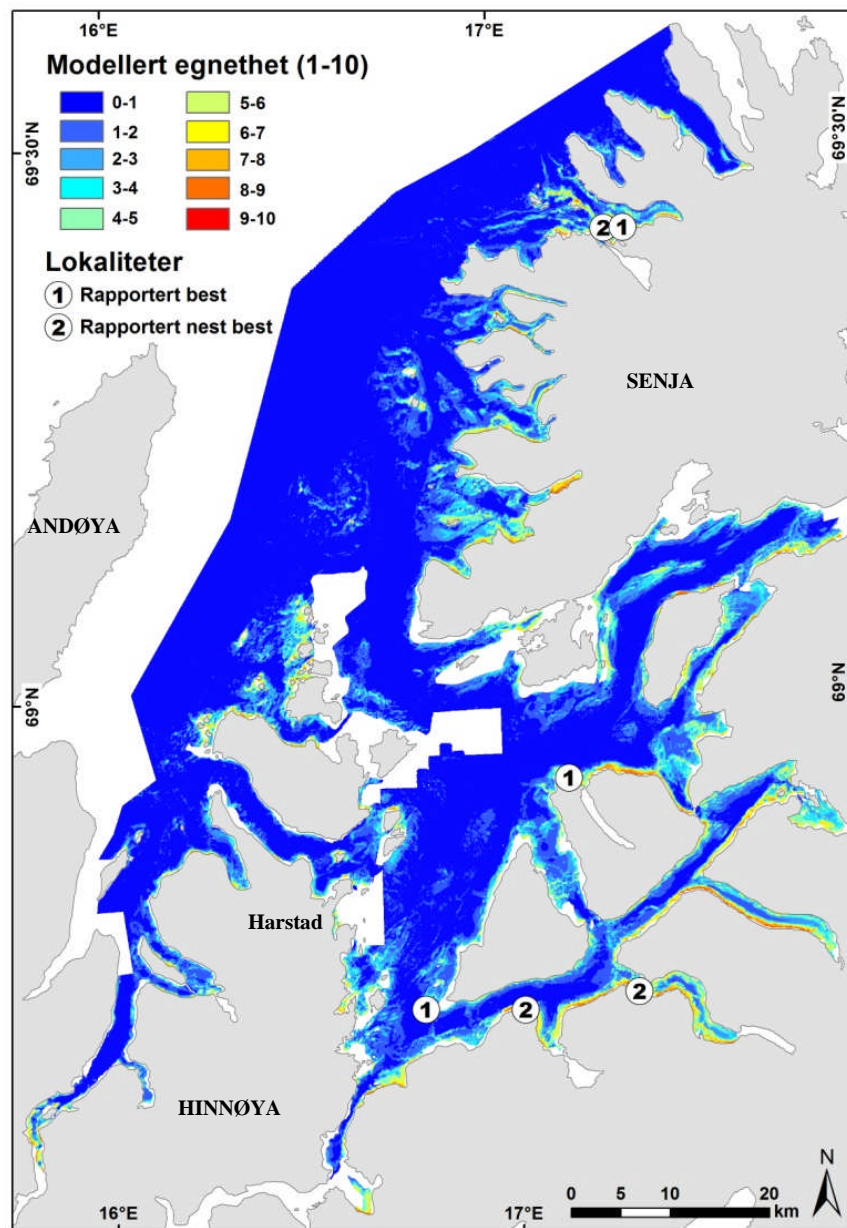
a) 3 lokaliteter (”best”)		b) 6 lokaliteter (”best” og ”nest best”)	
Variabel	Bidrag til modellen (%)	Variabel	Bidrag til modellen (%)
Bunnsedimenter	41,7	Maksimal bunnstrøm	24,5
Bølgeeksponering	37,2	Maksimal overflatestrøm	23,5
Dybde	10,7	Dybde	17,8
Maksimal overflatestrøm	5,9	Bølgeeksponering	12,5
Minimumstemperatur	3,7	Bunnsedimenter	12
Skråning, 9x9 piksler	0,6	Skråning, 9x9 piksler	5,9
Profilkrumning, 9x9 piksler	0,2	Maksimumstemperatur	3,7
Øvrige 16 variabler	0	Øvrige 16 variabler	0

I tillegg til å rangere miljøvariabler kan Maxent plote modellresultatene i form av rasterkart, der hver piksel i kartet får en verdi mellom 0 og 1 som angir hvor godt de fysiske forholdene egner seg for modelleringsobjektet. Figur 6 viser kartresultatet fra en modellering av de 6 rapporterte beste og nest beste lokalitetene, der bare de miljøvariablene som har vist seg å ha relevans for modellen (Tabell 4b) er brukt som inndata. Rangeringen av disse variablene er vist i Tabell 5, og den skiller seg noe fra rangeringen i Tabell 4b.

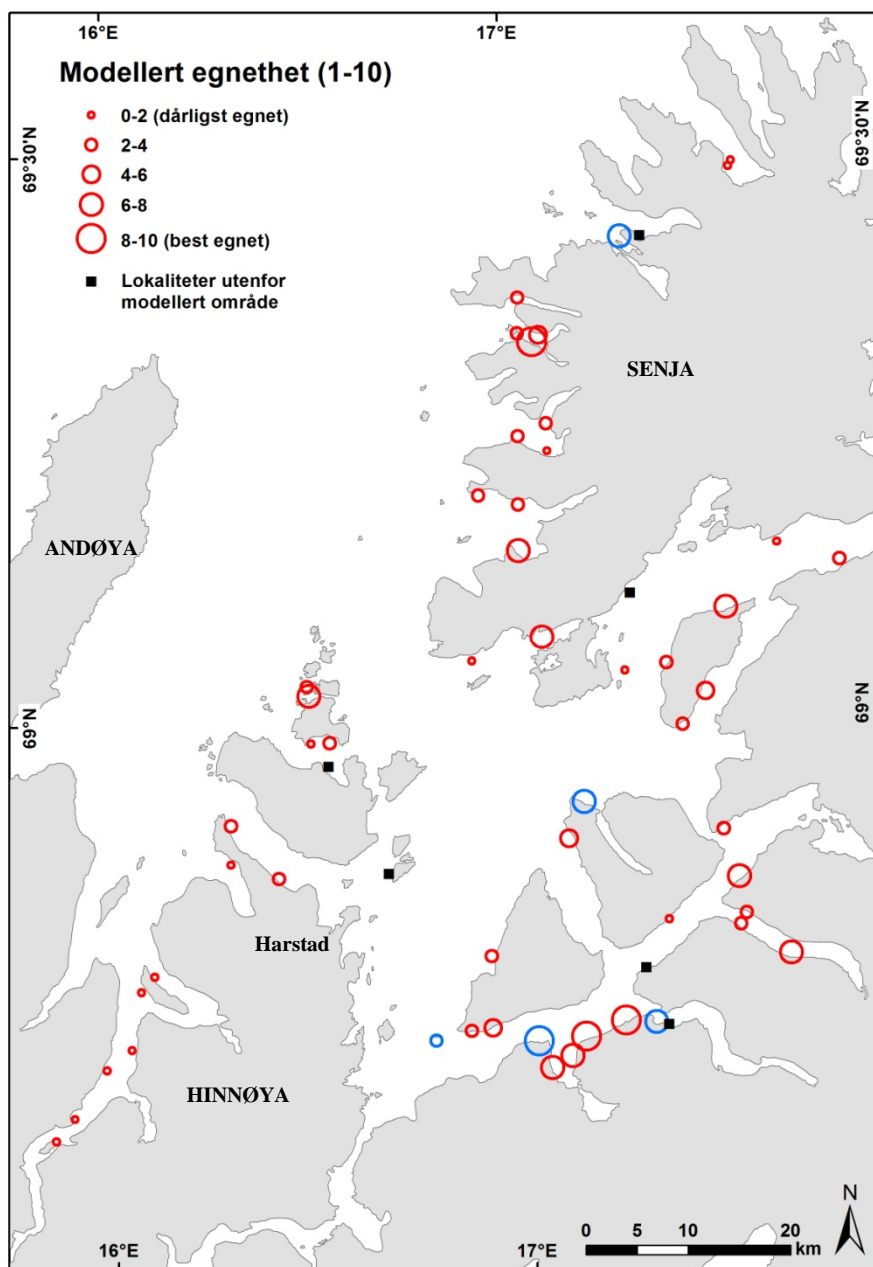
Ved hjelp av ArcGIS (Spatial Analyst, Extraction) kan vi finne ut hvilke lokaliteter som ifølge Maxent-modellen skal ligge mest gunstig plassert, det vil si der de fysiske forholdene er mest mulig like forholdene ved de lokalitetene som antas å være gode. Figur 7 viser et forsøk på å klassifisere alle lokaliteter i henhold til modellresultatet vist i Figur 6, der Maxents inndata er de 7 utvalgte variablene fra Tabell 5 og de 6 rapportert beste/nest beste lokalitetene i studieområdet. Siden Maxent-resultatet er avgrenset til områder som dekkes av alle miljøvariabler, vil noen akvakulturlokaliteter falle utenfor (se 4.1). For å få resultater fra så mange lokaliteter som mulig, har vi benyttet et filter på 9 x 9 piksler som jevner ut rasterresultatet og utvider grensene tilstrekkelig til å fange opp de fleste lokalitetene langs kanten (ArcGIS Spatial Analyst, Focal Statistics, Mean). Filtringen har liten påvirkning på rangeringen av de øvrige lokalitetene.

Tabell 5. Maxents rangering av 7 utvalgte miljøvariabler ved modellering av de 6 lokalitetene rapportert som "best" og "nest best". En romlig visualisering av modellresultatet er vist i Figur 6.

Variabel	Bidrag til modellen (%)
Maksimal overflatestrøm	24,1
Maksimal bunnstrøm	23,5
Dybde	19,1
Bølgeeksponering	12,6
Bunnsedimenter	11,9
Skråning, 9x9 piksler	5,4
Maksimumstemperatur	3,4



Figur 6. Kartresultat fra Maxent-modellering av 6 rapporterte beste/nest beste lokaliteter, med utvalgte miljøvariabler (Tabell 5). Vær oppmerksom på at dette er et modellresultat som utelukkende er tatt med for å illustrere metoden, kartet er uegnet til arealplanlegging og lignende.



Figur 7. Alle oppdrettslokaliteter klassifisert i henhold til resultatet av Maxent-modellering av 6 rapporterte beste/nest beste lokaliteter (blå). Noen av lokalitetene, inkludert én av innlokalitetene i Maxent-modelleringen, ligger for langt utenfor modellområdet (mangler en eller flere miljøvariabler) til å kunne klassifiseres (svart). Store sirkler markerer beste modellerte forhold, små sirkler dårligste. **Vær oppmerksom på at dette er et modellresultat som utelukkende er tatt med for å illustrere metoden, kartet er uegnet til arealplanlegging og lignende.**

4.3 Modellering med alle lokaliteter

Et alternativ til å gjennomføre Maxent-modellering med et lite antall respondentlokaliteter er å bruke alle de 59 oppdrettslokalitetene i studieområdet som inndata. Her vil vi ikke kunne rangere lokalitetene på forhånd, men må anta at alle er like gode.

Tabell 6a og b viser Maxents rangering av miljøvariablene i to modelleringsforsøk. I det første er alle 23 tilgjengelige miljøvariabler brukt, mens 25 % av punktene i datasettet har blitt holdt tilbake for å teste hvor godt modellen fungerer (se Philips et al., 2006). Siden testingen viste tilfredsstillende resultat både med alle miljøvariabler og med et utvalg på 10 viktige variabler, ble et endelig forsøk gjennomført med 10 variabler og med alle 59 lokaliteter uten testgruppe (Tabell 6b). Vi ser at rangeringen av miljøvariabler er noe ulik i de to tabellene, og at variabelenes bidrag til modellen også endres.

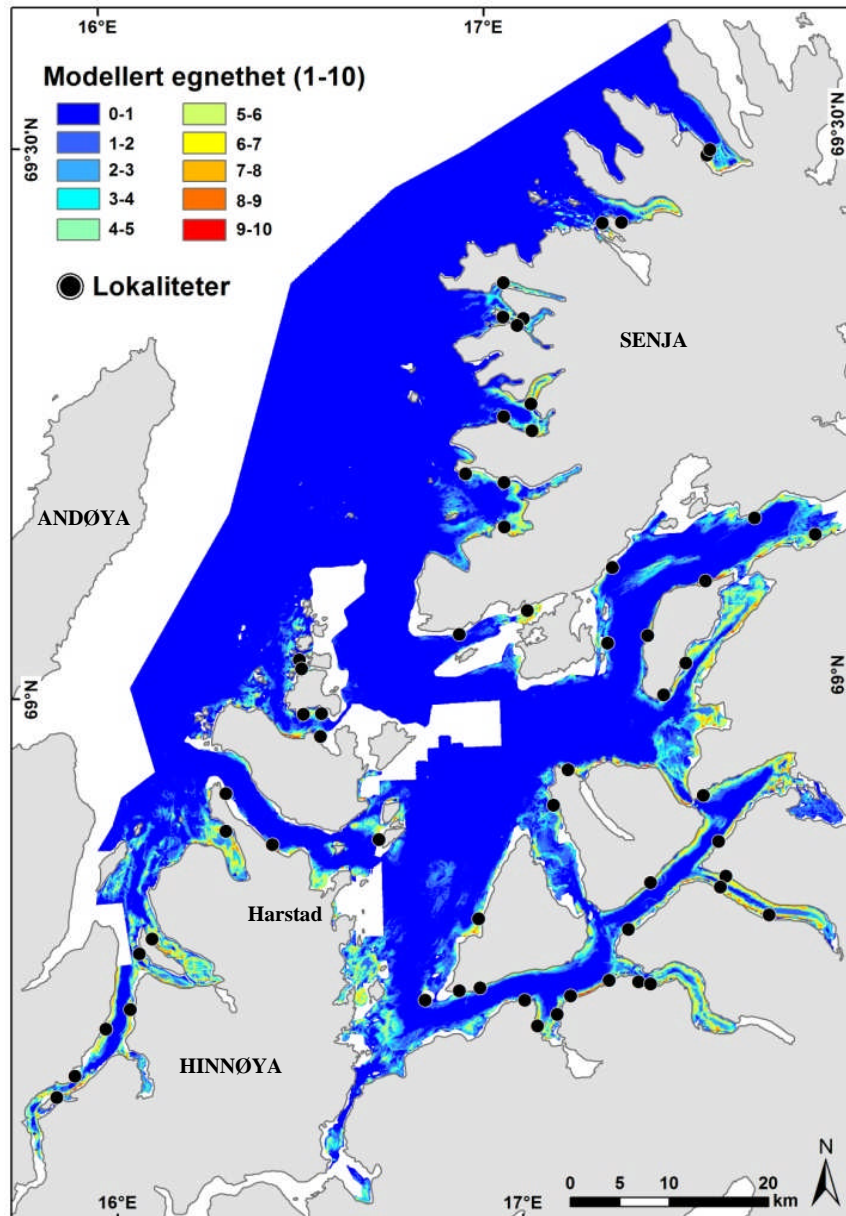
Tabell 6. Maxents rangering av miljøvariabler og deres betydning for modellresultatet ved bruk av alle oppdrettslokaliteter som inndata. a) Resultat av modellering med alle 23 miljøvariabler. b) Resultat av ny modellering med bare variabler som bidro med mer enn 2 % til modellen i a).

a)	
Variabel	Bidrag til modellen (%)
Bølgeeksponering	32.8
Dybde	17.5
Maksimal strøm ved 50 m	14.5
Maksimal bunnstrøm	6.5
Skråning, 9x9 piksler	6
Gjennomsnittsstrøm ved 50 m	4.5
Profilkrumning, 9x9 piksler	3.6
Fraktaldimensjon, 9x9 piksler	2.7
Bunnsedimenter	2.7
Maksimumstemperatur	2.1
Gjennomsnittlig bunnstrøm	1.8
Gjennomsnittlig overflatestrøm	1.6
Plankrumning, 3x3 piksler	1.6
Aspekt, 3x3 piksler	1.2
Skråning, 3x3 piksler	0.3
Gjennomsnittstemperatur	0.2
Aspekt, 9x9 piksler	0.1
Maksimal overflatestrøm	0.1
Øvrige 5 variabler	0

b)	
Variabel	Bidrag til modellen (%)
Bølgeeksponering	35.3
Maksimal strøm ved 50 m	27.4
Dybde	17.3
Bunnsedimenter	5.8
Maksimal bunnstrøm	5.3
Skråning, 9x9 piksler	4.1
Profilkrumning, 9x9 piksler	2
Maksimumstemperatur	1.4
Fraktaldimensjon, 9x9 piksler	0.9
Gjennomsnittsstrøm ved 50 m	0.6

Rasterkartet vist i Figur 8 er en visualisering av modelleringsforsøket med alle 59 oppdrettslokaliteter og 10 utvalgte miljøvariabler (Tabell 6b). En sammenligning av Figur 8 og Figur 6 viser at begge modellene anslår at forholdene for oppdrett av laksefisk er best i kystnære strøk, men at modellen med 59 lokaliteter (Figur 8) gir betydelig lavere utslag i eksponerte områder. Dette kan forklares med at bølgeeksponering er den klart viktigste variabelen i denne modellen (Tabell 6 b), mens både strøm og dybde er viktigere miljøvariabler i modellen med 6 utvalgte lokaliteter (Tabell 5).

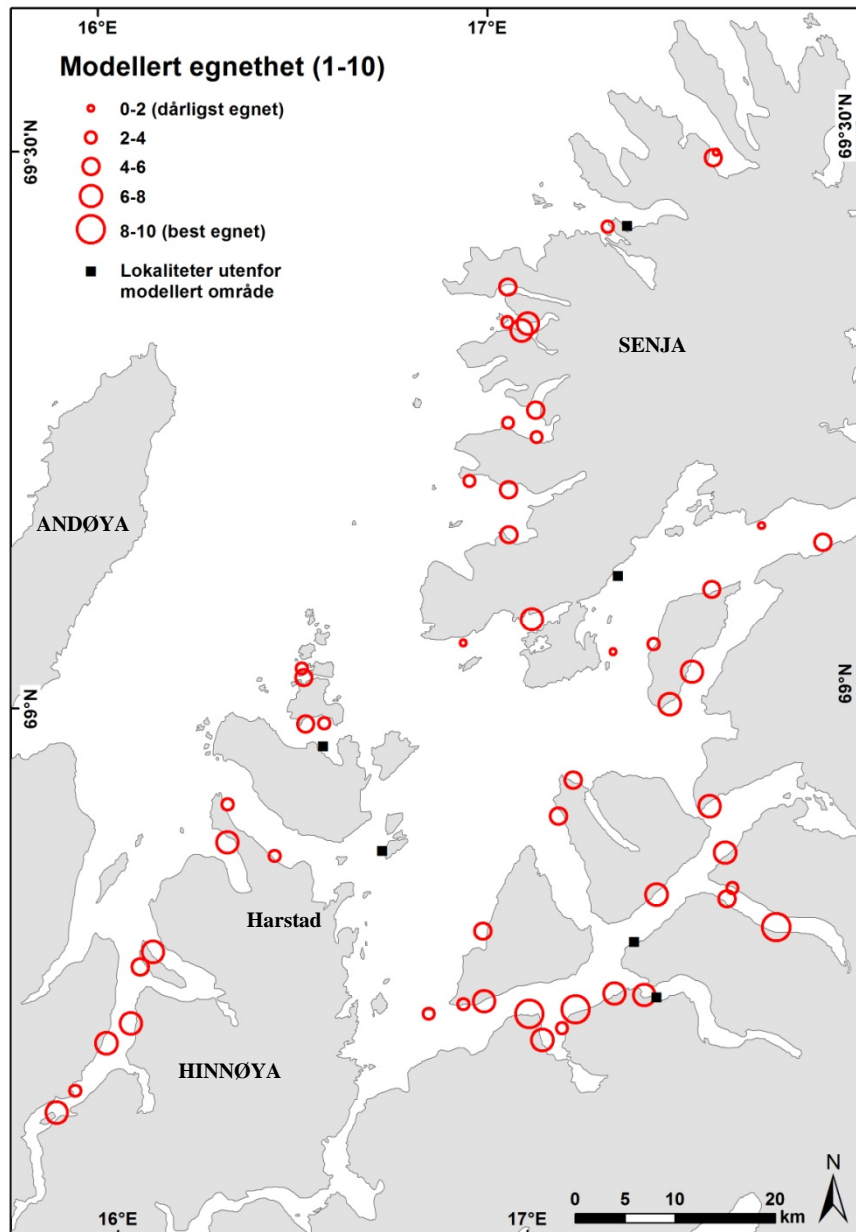
Selv om Maxent-modelleringen gjennomføres med alle lokaliteter som inndata, vil ikke modellen nødvendigvis gi beste egnethets-score til områdene rundt hvert inndatapunkt. Som i eksempelet med bare 6 datapunkter (Figur 8) kan vi klassifisere oppdrettslokalitetene etter hvor gunstig Maxent-modellen anslår at de er plassert. Figur 9 viser resultatet av dette (basert på filtrerte modelldata som beskrevet i 4.2), og ved å sammenligne Figur 7 og 9 får vi et inntrykk av forskjellen på de to modellene. Det største avviket ser ut til å være i Kvæfjorden sørvest i studieområdet, der modellen med seks datapunkter gir mye lavere score. I dette



Figur 8. Kartresultat fra Maxent-modellering av alle 59 lokaliteter, med utvalgte miljøvariabler (Tabell 6 b). Vær oppmerksom på at dette er et modellresultat som utelukkende er tatt med for å illustrere metoden, kartet er uegnet til arealplanlegging og lignende.

området ligger det ingen respondentlokaliteter, og i modellsammenheng betyr det at hvis de fysiske forholdene i Kvæfjorden skiller seg fra forholdene der respondentene har sine anlegg, så må nødvendigvis Maxent anta at Kvæfjorden er dårligere egnet enn andre områder. Uten

mer informasjon om lokalitetene i Kvæfjord kan vi ikke vite om dette stemmer eller om det bare er et resultat av respondentenes geografiske fordeling.



Figur 9. Alle akvakulturlokaliteter klassifisert i henhold til resultatet av Maxent-modellering av alle 59 lokaliteter. Noen av lokalitetene ligger for langt utenfor modellområdet til å kunne klassifiseres (svart). Store sirkler markerer beste modellerte forhold, små sirkler darligste. Vær oppmerksom på at dette er et modellresultat som utelukkende er tatt med for å illustrere metoden, kartet er uegnet til arealplanlegging og lignende.

4.4 Metodens svakheter

Uten et objektivt mål på kvaliteten til alle de forskjellige oppdrettslokalitetene må vi velge enten å modellere med et utvalg lokaliteter som er for lite til å gi et pålitelig resultat (4.2) eller å anta at alle lokaliteter er like godt plassert (4.3). De to tilnærmingene har ulikt utfall, og

feilkildene knyttet til modellering vil variere med inndata-typen. For vårt forsøk med 6 rapporterte beste/nest beste lokaliteter (4.2) er de følgende metodiske problemene vesentlige:

- 6 punkter er i vårt tilfelle ikke nok til å frembringe et pålitelig modellresultat. Utvalget blir sårbart for tilfeldigheter, som for eksempel når ett av modellpunktene viser seg å falle utenfor området som dekkes av rasterdata. Med bare 6 punkter er det heller ikke mulig å holde av noen for bruk i Maxents interne kvalitetskontroll.
- Den geografiske spredningen til respondentlokalitetene er ujevn, med 10 av 15 lokaliteter i Astafjord-kommunene Ibestad, Gratangen og Skånland blant respondentene og med 5 respondentlokaliteter i to fjordsystemer på Senja (Bergsfjorden og Torskfjorden). Uten noen informasjon om kvaliteten til lokalitetene i resten av studieområdet kan ikke en modell vurdere egnethet over hele regionen.
- Siden rangeringen av respondentlokaliteter er svært subjektiv, kan vi ikke være sikre på at de rapportert beste lokalitetene faktisk er bedre enn de øvrige. Hvis den oppgitte ”trede beste” lokaliteten til én respondent er objektivt bedre enn alle lokalitetene til en annen respondent, burde utvalget av lokaliteter som brukes som inndata bli tilsvarende justert. Det er ikke noen løsning å inkludere flere lokaliteter (for eksempel alle beste, nest beste og tredje beste) i inndata-utvalget, ettersom respondentene ikke har rangert sine lokaliteter på samme måte (Tabell 2).

Hvis vi velger å modellere med alle lokaliteter i studieområdet møter vi andre problemer:

- Uten noen rangering av lokalitetene må modellen gå ut fra at alle ligger på egnede steder. Når de ”egnede stedene” er svært forskjellige med tanke på for eksempel strømforhold og sedimenttype, må utbredelsen forklares med andre miljøvariabler, i dette tilfellet bølgeeksponering. NIVAs modell over bølgeeksponering (Figur 4) er svært generell, og hvis modellen hovedsakelig baserer seg på denne variabelen får vi neppe fullt utbytte av de detaljerte dataene vi har fra Astafjordprosjektet.
- Det er liten overensstemmelse mellom hvilke lokaliteter som rapporteres som gode og hvilke som får best score i Maxents modell basert på alle lokaliteter. Dette tyder på at modellresultatet ikke er særlig pålitelig, noe som kanskje først og fremst skyldes vektleggingen av bølgeeksponering som viktigste parameter. Flere av de rapportert beste lokalitetene ligger i områder med høy modellert bølgeeksponering.

Flere problemer er også felles for de to tilnærmingene:

- En del av oppdrettslokalitetene ligger utenfor det området der det eksisterer data fra alle miljøvariabler. Her kan ikke Maxent gi noe modellresultat.
- Store variasjoner i Maxents utvalg og rangering av miljøvariabler kan skyldes små variasjoner i inndata, for eksempel hvorvidt lokalitetene som faller utenfor grensene til rasterdatasettene blir gitt verdier basert på interpolering eller ikke. Dette er mer fremtredende ved små utvalg av modelleringslokaliteter, og gjør at vi ikke kan feste lit til rangeringen. Under arbeidet med rapporten ble det eksperimentert med å bruke Maxent-rangering som utgangspunkt for manuell vektning og klassifisering av miljøvariabler i ArcGIS, men så lenge rangeringen ikke er sikker vil heller ikke en

manuell romlig ArcGIS-modell kunne bli pålitelig. Resultatene av dette forsøket er ikke vist her.

5. KONKLUSJON

I arbeidet med å modellere egnede områder for oppdrett av laksefisk i Sør- og Midt-Troms har NGU hatt metodiske problemer knyttet til kvalitetsvurdering av eksisterende oppdrettslokaliteter. Uten en enhetlig rangering av alle lokaliteter blir det tilgjengelige materialet lite egnet til å behandles av et statistisk modelleringsverktøy som Maxent. De største problemene skyldes at rangerte lokaliteter er få og ujevnt fordelte, og at urangerte lokaliteter ikke kan brukes til å identifisere de beste områdene. Vi har likevel vist at metoden med Maxent-modellering kan fungere i studier som denne, forutsatt at tilgjengelige inndata er gode nok.

En eventuell videreføring av dette prosjektet vil måtte kreve et mer solid statistisk materiale, aller helst en objektiv rangering av alle lokaliteter. I mangel av dette ville en subjektiv rangering fra hvert enkelt eierselskap kunne danne grunnlag for modellering, selv om dette vil medføre større risiko for feilkilder.

Et modellresultat vil aldri være bedre enn dataene modellen er basert på. Selv om Maxent-modelleringen i denne studien har produsert resultater som kan visualiseres på kart og brukes til rangering av akvakulturlokaliteter, vil vi advare mot å se på resultatene som noe mer enn eksempler på hvordan modelleringsverktøyet fungerer. Detaljerte tabeller over modellenes rangering av akvakulturlokaliteter er ikke tatt med i denne rapporten.

6. REFERANSER

Bekkby T, Rinde E, Erikstad L, Bakkestuen V (2009) Spatial predictive distribution modelling of the kelp species *Laminaria hyperborea*. ICES J Mar Sci 66: 2106–2115

Bekkby, T. og Moy, F. 2011. Developing spatial models of sugar kelp (*Saccharina latissima*) potential distribution under natural conditions and areas of its disappearance in Skagerrak. Estuarine, Coastal and Shelf Science 95: 477-483.

Dolan, M. F. J., Elvenes, S., Plassen, L., Lepland, A., Selboskar, O. H., Rasmussen, T., Michelsen, H., Longva, O., Arvesesen, B. (2012). Marine grunnkart i Sør-Troms: Rapport om biotopmodellering. NGU-rapport 2012.070, 31 s.

Dolan, Margaret F.J., 2012. Calculation of slope angle from bathymetry data using GIS - effects of computation algorithm, data resolution and analysis scale. NGU-rapport 2012.041, 44 s.

Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., Yates, C.J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions 17, 43-57.

ESRI 2015. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Gullestadutvalget 2011. Effektivt og bærekraftig arealbruk i havbruksnæringen. Rapport fra et ekspertutvalg oppnevnt av Fiskeri- og kystdepartementet.
https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fkd/vedlegg/rapporter/2011/effektiv_og_baer_ekraftig_arealbruk_i_havbruksnaeringen.pdf.

Hersoug, B. og Johnsen, J. P. (red.) 2012. Kampen om plass på kysten: interesser og utviklingstrekk i kystsoneplanleggingen. Universitetsforlaget.

<http://www.landserf.org/>

Isæus, M., 2004. Factors structuring *Fucus* communities at open and complex coastlines in the Baltic Sea. Doctoral thesis at the Naturvetenskapliga Fakulteten, 165 pp. Dept. of Botany, Stockholm University. URL:
www.aquabiota.se/publications/pdf/Avhandling_Isaeus.pdf.

Phillips, S. J. et al. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning. ACM Press, New York, pp. 472-486.

Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 190, 231-259.
<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>

Slagstad, D., Knutsen, Ø., 2012. Modellering av strøm og vannslektskap i Sør-Troms (Malangen-Sør). SINTEF rapport A23092.



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
Nettside www.ngu.no