

2020:01053 - Åpen

Rapport

Utgreiing av vekst hos dyrkede makroalger på en eksponert og en skjermet lokalitet i Møre og Romsdal

TAREAL 2

Forfattere

Jorunn Skjeremo, Ole Jacob Broch, Per Christian Endresen, Silje Forbord, Eivind Lona



Rapport

Utgreiing av vekst hos dyrkede makroalger på en eksponert og en skjermet lokalitet i Møre og Romsdal

VERSJON
1DATO
2020-11-10

FORFATTERE

Jorunn Skjermo
Ole Jacob Broch, Per Christian Endresen, Silje Forbord, Eivind Lona

OPPDRAGSGIVER(E)

Møre og Romsdal Fylkeskommune

OPPDRAGSGIVERS REF.

Rebekka Varne

PROSJEKTNR

302004476

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

28 + vedlegg

SAMMENDRAG

Overskrift sammendrag

I 2016 utførte SINTEF Ocean et oppdrag (TAREAL 1) for Møre og Romsdal fylkeskommune der matematisk modellering viste at betingelsene for dyrking av makroalger, og da spesielt sukkertare, ser ut til å være spesielt gode i relativt eksponerte områder langs kysten og i åpent hav. Som en videreføring utførte SINTEF Ocean i 2018-20 TAREAL 2, der målet var å gjennomføre dyrking av sukkertare i eksponerte havmiljøer for delvis å kunne verifisere de teoretiske betraktningene gjort i 2016. Det ble foretatt en lokalitetsvurdering i havområdet rundt Grip og en ny lokalitet, Klovningen, ble valgt og konsesjon for tare dyrking omsøkt. Vinteren 2020 ble det satt ut sjøanlegg med kimplanter av sukkertare på stedet, samt et tilsvarende anlegg ved Orstranda i Freifjorden. Registreringer av vekst viste en gjennomsnittlig biomasseutvikling på Orstranda fra 0,9 kg/m i april til 5,0 kg/m i juni, og fra 0,3 kg/m i april til 5,7 kg/m på Klovningen i juni. Taren vokste hurtigst i perioden fra 19.mai til 8.-12.juni. Da ble biomassen på Orstranda fordoblet mens den ute på Klovningen økte med en faktor på 7. Forsøket demonstrerte at dyrking av sukkertare i svært eksponerte omgivelser til havs er godt mulig og at dyrking til havs gir høyere biomasseproduksjon enn dyrking lengre inne på kysten, slik modellen i TAREAL 1 viste.

RAPPORTNR
2020:01053ISBN
978-82-14-06496-4GRADERING
ÅpenGRADERING DENNE SIDE
ÅpenUTARBEIDET AV
Jorunn SkjermoKONTROLLERT AV
Aleksander HandåGODKJENT AV
Gunvor Øie

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	3
2	English summary	4
3	Bakgrunn	5
4	Mål	5
5	Lokaliteter	5
5.1	Klovningen.....	6
5.1.1	Kriterier for vurdering av lokaliteten.....	6
5.1.2	Valg og vurdering av lokaliteten før oppstart.....	7
5.1.3	Simuleringer av strømforhold ved Klovningen.....	8
5.2	Orstranda	11
6	Anleggsutforming	11
7	Dyrkingsforsøk	12
7.1	Kimplanteproduksjon.....	12
7.2	Sjøforsøk	14
7.2.1	Utsett av anlegg og tareliner	14
7.2.2	Registreringer	16
7.2.3	Skade på sjøanlegget på Klovningen	16
8	Resultater	18
8.1	Miljøbetingelser	18
8.1.1	Temperatur, salinitet og nitrat	18
8.1.2	Strømmålinger	19
8.2	Vekt og størrelse	21
8.3	Oppsummering og anbefalinger	25
9	Konklusjoner	26
10	Referanser	27
A	Vedlegg	29
A.1	Snapshot fra videosurvey ved Klovningen utført av Abyss.....	29

1 Sammendrag

I 2016 skrev SINTEF Ocean en forskningsrapport på oppdrag fra Møre og Romsdal fylkeskommune der målet var å utrede potensialet for industriell dyrking av makroalger i fylket (TAREAL 1, Broch et al. 2016). Et av hovedresultatene fra forskningen var at betingelsene for dyrking av makroalger, og da spesielt sukkertare (*Saccharina latissima*), ser ut til å være spesielt gode i relativt eksponerte områder langs kysten og i åpent hav. Som en videreføring av dette forskningsarbeidet utførte SINTEF Ocean på oppdrag fra Møre og Romsdal fylkeskommune et prosjekt, TAREAL 2, der målet var å gjennomføre dyrking av sukkertare i eksponerte havmiljøer, for delvis å kunne verifisere de teoretiske betraktningene gjort i rapporten. Dette bidrar til å øke vår kunnskap om potensialet for makroalgedyrking og annen produksjon av lavtrofiske arter langs norskekysten.

Det ble foretatt en lokalitetsvurdering i havområdet rundt Grip og en ny lokalitet, Klovningen, ble valgt og konsesjon for tare dyrking omsøkt. Vinteren 2020 (3. februar) ble det satt ut sjøanlegg og tau med kimplanter av sukkertare, samt et tilsvarende anlegg ved Orstranda i Freifjorden. Gjennomsnittlig strømhastighet fra mars – juni på Klovningen var 12 – 13,7 cm/sek, men det ble målt over 40 cm/sek på 15 dager i løpet av måleperioden. Registreringer av vekst ble foretatt 23. april, 19. mai, og 8. og 12. juni (på henholdsvis Or og Klovningen) og disse målingene viste en gjennomsnittlig biomasseutvikling på Orstranda fra 0,9 kg/m i april til 5 kg/m i juni, og fra 0,3 kg/m i april til 5,7 kg/m på Klovningen i juni. Taren vokste hurtigst i perioden fra 19.mai til 8-12.juni, da biomassen på Orstranda doblet seg mens biomassen på Klovningen økte med en faktor på 7.

Dyrkingsforsøket dokumenterer at sukkertare kan dyrkes i eksponerte havmiljø og at tare dyrking sannsynligvis kan utføres mye lenger ut fra kysten enn det som er vanlig i dag her til lands. Dette kan åpne for tilgang til store arealer med mindre konflikter med hensyn på annen bruk, men forutsetter at det utvikles dyrkingsteknologi som tar hensyn til større dybder, sterkere strøm, høye bølger og større avstander til land, inkludert teknologi for fjernovervåking av anlegg og biomasseutvikling.

Prosjektet samarbeidet med AKAVLAB på anleggsutforming og strømmålinger, og med EU-prosjektet GENIALG på dyrkingsforsøket.



Figur 1. Taretau i sjøanlegget på Klovningen 23.04 (venstre) og 7 uker senere, 12.06 (høyre) (Foto: SINTEF Ocean).

2 English summary

In 2016 SINTEF Ocean did a study of the potential for large scale cultivation of macroalgae in the Møre and Romsdal county at the western coast of Mid-Norway in the project TAREAL 1, using the mathematical ocean model SINMOD. A main conclusion from this project was that the cultivation conditions for macroalgae, especially sugar kelp, *Saccharina latissima*, seem to be best and most stable in open, exposed oceanic waters, on and outside the continental shelf (Broch et al. 2016). As a continuation of this study SINTEF Ocean carried out a research project TAREAL 2 where the main objective was a cultivation experiment in exposed oceanic sea conditions, partly as verification of the theoretical considerations from the mathematical model but also to disclose whether *S. latissima* can be cultivated in extreme wave- and currents exposed conditions, thus enabling offshore farming. This question is highly interesting for the development of a new industry based on low-trophic aquaculture along the Norwegian coast.

The ocean areas at Grip outside Kristiansund were evaluated for a suitable site and a new license for cultivation at the very exposed locality Klovningen was applied for and granted in 2019. In winter 2020 a sea-farm was constructed and deployed, and sugar kelp seedlings on ropes planted out in the farm on the 3rd February. At this farm the average water current velocity from March to June was 12 – 13.7 cm/sec, but currents over 40 cm/sec was measured 15 days during the period. Seedlings were also deployed at a reference farm placed in sheltered conditions at Orstranda in the Freifjorden. Registrations on the 23rd April, 19th May, and 8th/12th June showed an average biomass development from 0,9 kg/m in April to 5 kg/m in June at Orstranda, and from 0,3 kg/m in April to 5,7 kg/m at Klovningen in June. The fastest growth was between 19th May to 8th/12th June when the biomass doubled at Orstranda and increased by a factor 7 at Klovningen. The water nitrate concentration and kelp growth rate at Klovningen suggest that the kelp was still in a phase of fast growth at the time of the last registration, suggesting a potentially bigger harvestable biomass after some more days or weeks. However, careful monitoring would be needed in this period to avoid detrimental biofouling of the biomass.

The study demonstrated that sugar kelp can be cultivated in extreme wave- and currents exposed conditions, enabling access to large cultivation areas farther from the coast and thus in less conflict with other kinds of utilisation of the sea areas at the near coast. At these more exposed conditions, the cultivation season probably can be prolonged for an enhanced exploitation of the biomass production potential of this species. To fully realize the great potential in offshore seaweed farming the development of seaweed farms suitable for larger depths, stronger water currents, higher waves and longer transportation distances is required, as well as tools for remote monitoring of the farms and the biomass development.

This project was a collaboration with AKVALAB on the design and construction of the sea-farm, and with the H2020-project GENIALG on the biological experiment.

3 Bakgrunn

På oppdrag fra Møre og Romsdal Fylkeskommune ble forskningsprosjektet "Potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal" (TAREAL) utført av SINTEF Ocean i 2016 med et mål om å utrede potensialet for storskala tare dyrking i havet utenfor fylket (Broch et al., 2016). En matematisk havmodell (SINMOD) for kysten av Møre og Romsdal og en matematisk vekstmodell for sukkertare ble brukt til å identifisere områder som gir god biomasseproduksjon av tare, og det ble gjort vurderinger av hvilke av områdene som er mest egnet for storskala dyrking med hensyn på å unngå arealkonflikter med annen aktivitet i området.

Resultatene viste at dyrkingsbetingelsene er best utenfor kysten, på og utenfor kontinentalsokkelen, på grunn av at betingelsene her er mer stabile med hensyn på sesongvariasjoner i temperatur og næringstilgang enn lengre inne mot land. Enkelte områder utenfor sokkelen pekte seg ut som spesielt gode, med en potensiell produksjon på over 200 tonn våtvekt per hektar. Her er det også svært store arealer tilgjengelig for dyrking. Innenfor grunnlinjen ligger produksjonspotensialet på 35-75 tonn per hektar og det er flere konfliktarealer, noe som kan begrense mulighetene for dyrking i store anlegg.

En hovedkonklusjon fra TAREAL var derfor at prosjektet burde følges opp med forskning på *offshore tare dyrking i Møre og Romsdal*. Dette bør omfatte både biologiske forsøk for å evaluere om tare tåler å bli dyrket i de eksponerte betingelser offshore dyrking vil representere, og utvikling av den nødvendige teknologien for å utføre denne type dyrking, inkludert anleggsutforming og logistikk. Denne forskningen vil kunne bidra med ny kunnskap og bygge ny kompetanse hos ulike aktører, og være en base som Møre og Romsdal kan bruke videre i utviklingen av en makroalgeindustri i fylket. Prosjektet TAREAL 2 ble derfor initiert for å gjennomføre dyrkingsforsøk med sukkertare i et eksponert miljø og evaluere hvorvidt denne arten faktisk er mulig å dyrke på lokaliteter med svært krevende strøm- og bølgeforhold.

4 Mål

Hovedmålet med TAREAL 2 var å forske på dyrking av tare i et eksponert havmiljø i Møre og Romsdal og å sammenligne denne med en skjermet dyrkingslokalitet.

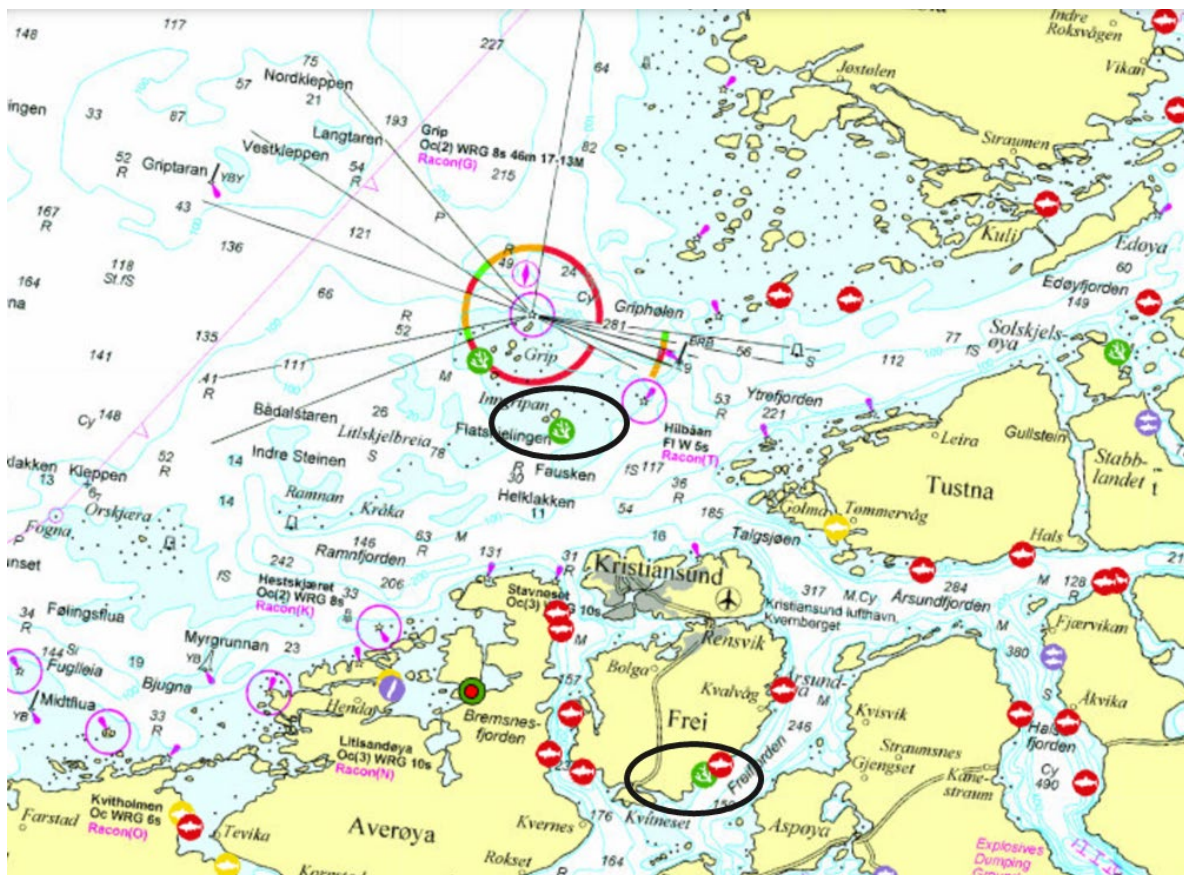
Prosjektet hadde videre som delmål å:

1. Forske på om eksponeringsgrad kan ha betydning for veksthastighet og høstbar biomasse hos dyrket sukkertare, samt om lokaliseringen (fjord/kyst) har betydning for mulig høstetidspunkt.
2. Spesifisere og sette opp et testanlegg i et eksponert havmiljø.

Med disse målene gir prosjektet også en økt generell kunnskap om dyrkingsteknologi og -betingelser for tare.

5 Lokalteter

Prosjektet la til rette for to ulike dyrkingsbetingelser ved å velge en lokalitet i eksponert forhold ved Grip og en annen i mer skjermede omgivelser ved Orstranda i Kristiansund. For sistnevnte lokalitet finnes allerede en dyrkingstillatelse som eies av Algea, som stilte lokaliteten til rådighet for prosjektet. For lokaliteten ved Grip måtte det først søkes om dyrkingstillatelse, og i den forbindelse ble det utført en lokalitetsvurdering.



Figur 2. De to lokalitetene (svarte sirkler) som ble brukt i dyrkingsforsøket i 2020. Klovningen ses sør for Grip midt på bildet mens Orstranda ses på sørsiden av øya Frei.

5.1 Klovningen

I forbindelse med konsesjonssøknad for dyrking på en eksponert lokalitet ute ved Grip ble det utført en lokalitetsvurdering som ble vedlagt søknaden til Fiskeridirektoratet. Søknaden ble innvilget 13.08.2019. Nedenfor beskrives hvorfor lokaliteten på Klovningen ble valgt.

5.1.1 Kriterier for vurdering av lokaliteten

De kriteriene som er lagt til grunn for vurdering av lokaliteten som søkes er beskrevet i Tabell 1. Det gis også en kort redegjørelse for hvordan vurderingen av hvert enkelt kriterium er gjennomført.

Tabell 1. Vurderingskriterier og tilhørende metodikk for valg av lokaliteten til tare dyrking.

Kriterium	Metodikk
Lokaliteten ligger utenfor kysten og er relativt eksponert.	Det er gjort en kvalitativ vurdering av dette.
Lokaliteten har godt potensial for tare dyrking, det vil si at lokaliteten er velegnet til formålet .	Metodikken og modellresultatene som beskrives i forskningsrapportene Broch et al., 2016 og 2020 er benyttet. Den koblede havmodellen SINMOD (www.sintef.no/sinmod) er brukt, koblet med en vekstmodell for sukkertare som beskriver veksten som en funksjon av ulike miljøbetingelser, tid og posisjon.
Bunndypet ved lokaliteten er mindre enn 50 m.	Dybdedata fra Kartverket (brukt til å etablere

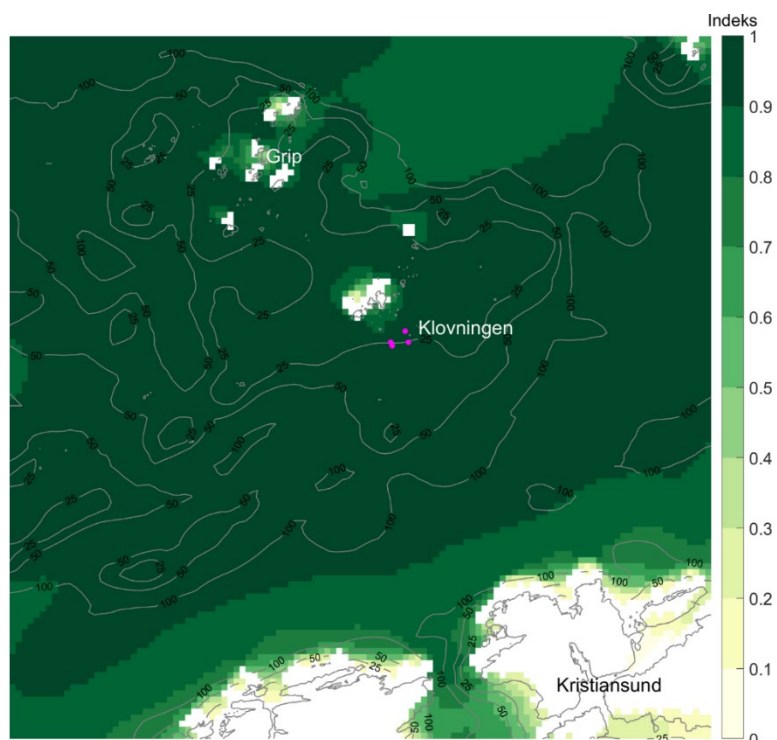
	havmodellområdene beskrevet i Broch et al., 2016 og (2020) samt Fiskeridirektoratets kartverktøy (https://kart.fiskeridir.no/akva) er benyttet.
Lokaliteten kommer ikke i konflikt med andre interesser som <ul style="list-style-type: none"> • Farled • Fiskerisoner • Annen akvakultur • Fyrsektorer • Arealplaner 	Det er benyttet åpen informasjon som er tilgjengelig via Fiskeridirektoratets kartverktøy (https://kart.fiskeridir.no/akva). Lokaliteten skal ligge innenfor et VKA område.

5.1.2 Valg og vurdering av lokaliteten før oppstart

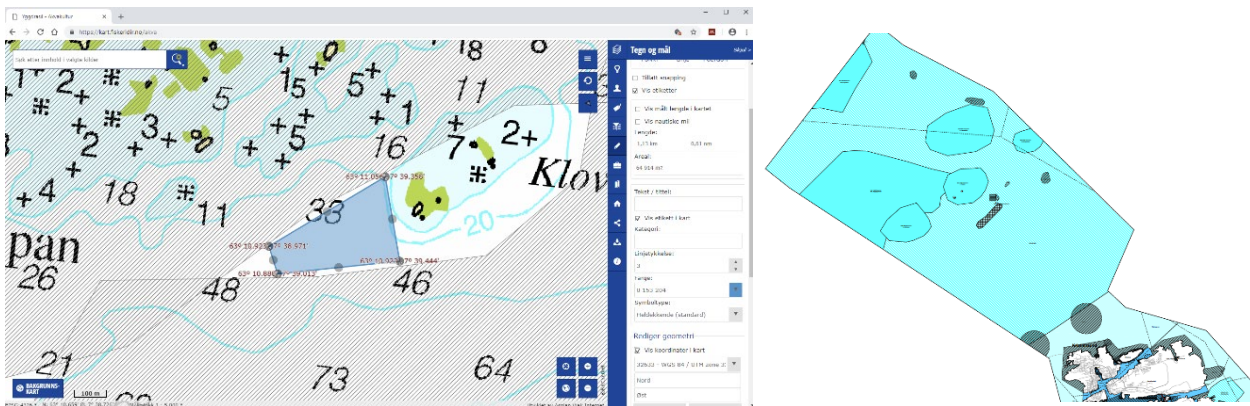
Det ble først søkt blant de lokalitetene som skårer best i indeksen i Figur 3 og som samtidig ligger utenfor kysten og er relativt eksponert. Dermed ble kriteriet for bunn dyp trukket inn. Videre ble den tilgjengelige informasjonen om andre interesser og arealplaner brukt. Lokaliteten det ble søket om er tegnet inn i Figur 2 (se også Figur 1). Koordinater og utstrekning av anlegget er angitt i Tabell 2.

Tabell 2. Oppsummering av informasjonen om lokaliteten

Hjørnepunkter/ytterpunkter i anlegg	63° 11,056' N; 7° 39,358' Ø 63° 10,923' N; 7° 39,444' Ø 63° 10,880' N; 7° 39,013' Ø 63° 10,923' N; 7° 38,971' Ø
Midtpunkt (sentroide) av anlegg	63° 10,944' N; 7° 39,198' Ø
Areal av anlegg	65 000 m ² tilsvarer 65 dekar tilsvarer 6,5 hektar
Konflikt med andre interesser	Ingen, basert på offentlig tilgjengelig informasjon. Det er ca. 4,5 km i luftlinje til en annen tarekonsesjon ved Grip.
Antatt produksjonskapasitet (øvre grense)	1000 tonn



Figur 3. Indeks over potensialet for tare dyrking i sjøområdene nord for Kristiansund. Denne indeksen er basert på resultatene fra Broch et al., 2016, der det også gis en detaljert beskrivelse av metodikken som er benyttet. Fargene antyder dyrkingspotensial fra 0 ("dårligst") til 1 ("best"). De grå kurvene er 25, 50 og 100 m dybdekoter. De lille prikkene antyder ytterpunktene av lokaliteten (ved Klovningen) det ble søkt tillatelse for.



Figur 4. Den nye lokaliteten på Klovningen med koordinater tegnet inn på Fiskeridirektoratets kartløsning (skjermdump) som viser akvakultur, fiskeriområder (her vist i skravert, grått), farled og verneområder inntegnet mot en bakgrunn av sjøkartet med fyrsektorer (venstre). Selve dyrkingsanlegget inkludert forankringer på sjøbunnen ble plassert innenfor disse punktene. Utsnitt av arealplan for Kristiansund kommune med lokaliteten Klovningen omtrent midt i det store, skraverte feltet midt i figuren (høyre). Dette arealet er avsatt til VKA_Kombinerte formål i sjø og vassdrag med eller uten tilhørende strandsoner.

5.1.3 Simuleringer av strømforhold ved Klovningen

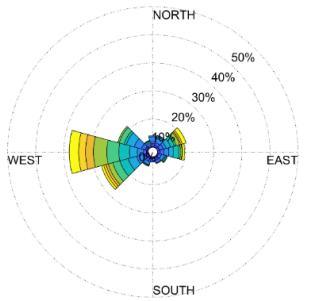
Det var ikke gjennomført strømmålinger ved lokaliteten før konsesjonen ble søkt og data fra simuleringer ble derfor brukt i søknaden. Nedenfor presenteres strømdata fra simuleringer med havmodellsystemet SINMOD (www.sintef.no/sinmod) for april, mai og juni 2016, som er perioden da biomassen i et tareanlegg normalt vil være størst. Strømdataene er hentet ut for midtpunktet i anlegget (Tabell 3).

De simulerte strømdataene presenteres i form av strømrøser (Figur 5-7) og tidsserier for strømfart (Figur 8-10). Strømforholdene ser ut til å endre seg lite fra måned til måned ved både 5 og 10 m dyp. Det er en tendens til litt høyere strømhastigheter i juni enn i april og mai ved begge dyp. Dette gjenspeiles i den gjennomsnittlige strømfarten (Tabell 3). Strømretning er hovedsakelig sør-vest/nord-øst og har betydning for plassering av anlegget. En sammenligning av modellresultater fra SINMOD med måledata for en oppdrettslokalitet utenfor Frøya er gjort i Broch et al. (2020).

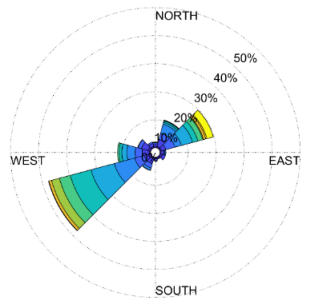
Tabell 3. Gjennomsnittlig simulert strømfart ved Klovningen i april, mai og juni 2016, ved 5 og 10 m dyp.

	April	Mai	Juni
5 m dyp	10,4 cm s ⁻¹	11,5 cm s ⁻¹	14,1 cm s ⁻¹
10 m dyp	7,6 cm s ⁻¹	8,4 cm s ⁻¹	9,6 cm s ⁻¹

Simulert strøm, Klovningen, Apr 2016, 5 m dyp



Simulert strøm, Klovningen, Apr 2016, 10 m dyp



Maks strømfart: 33.7 cm/s

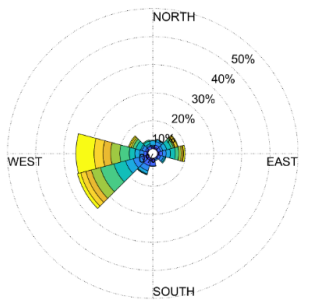
Retning ved maks strømfart: 79°

Maks strømfart: 30.2 cm/s

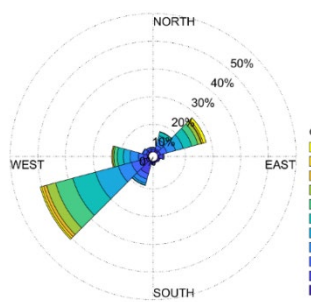
Retning ved maks strømfart: 56°

Figur 5. Strømroser for simulert strøm i april 2016 ved 5 (til venstre) og 10 (til høyre) m dyp.

Simulert strøm, Klovningen, May 2016, 5 m dyp



Simulert strøm, Klovningen, May 2016, 10 m dyp



Maks strømfart: 30.9 cm/s

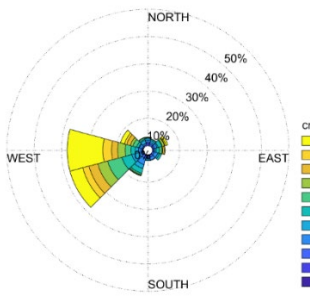
Retning ved maks strømfart: 259°

Maks strømfart: 27.1 cm/s

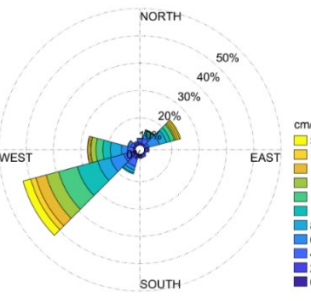
Retning ved maks strømfart: 54°

Figur 6. Strømroser for simulert strøm i mai 2016 ved 5 (til venstre) og 10 (til høyre) m dyp.

Simulert strøm, Klovningen, Jun 2016, 5 m dyp



Simulert strøm, Klovningen, Jun 2016, 10 m dyp



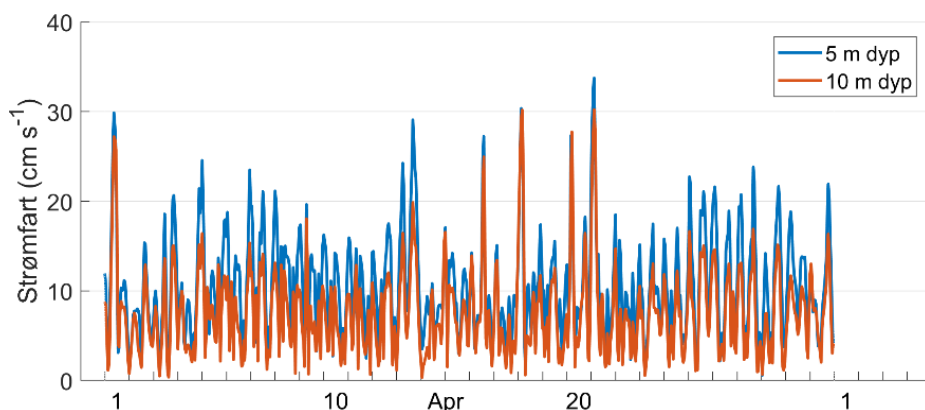
Maks strømfart: 33.3 cm/s

Retning ved maks strømfart: 259°

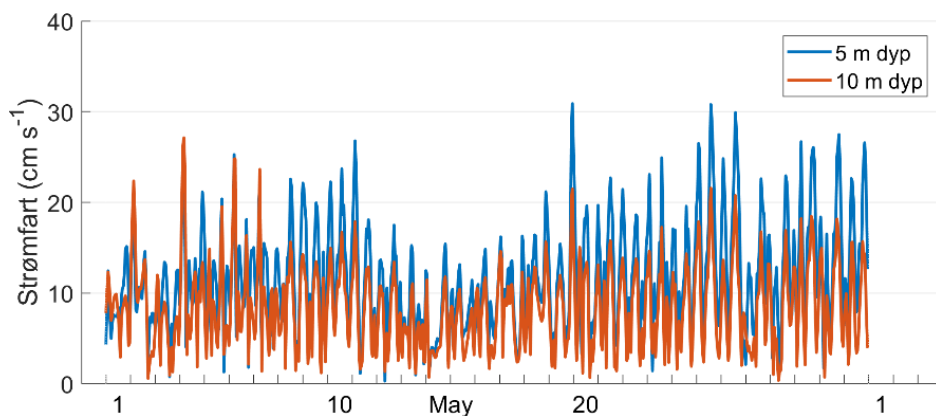
Maks strømfart: 27.8 cm/s

Retning ved maks strømfart: 52°

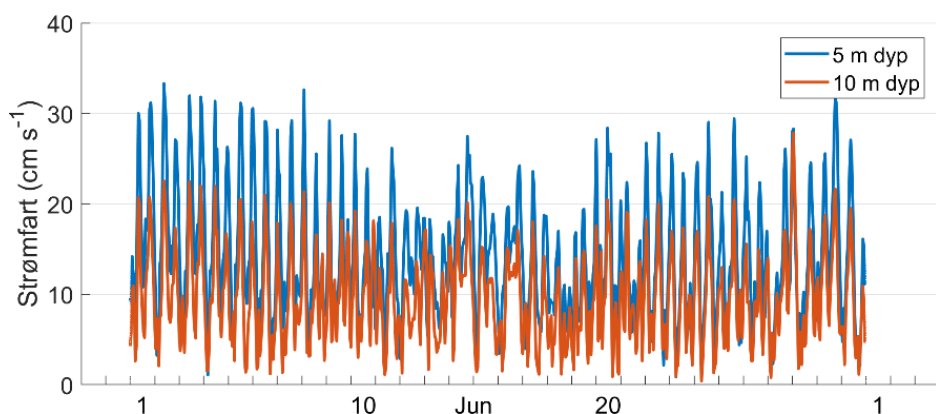
Figur 7. Strømroser for simulert strøm i juni 2016 ved 5 (til venstre) og 10 (til høyre) m dyp.



Figur 8. Simulert strømfart ved Klovningen i april 2016.



Figur 9. Simulert strømfart ved Klovningen i mai 2016.



Figur 10. Simulert strømfart ved Klovningen i juni 2016.

5.2 Orstranda

Som referanse for en skjermet lokalitet ble Orstranda 33817 brukt (Figur 11). Denne lokaliteten ligger på sør-østsida av Frei med koordinatene 63.0345 og 7.83515 for midtpunkt (Tabell 4) og eies av ALGEA AS.



Figur 11. Dyrkingslokaliteten Orstranda på sør-østsida av Frei.

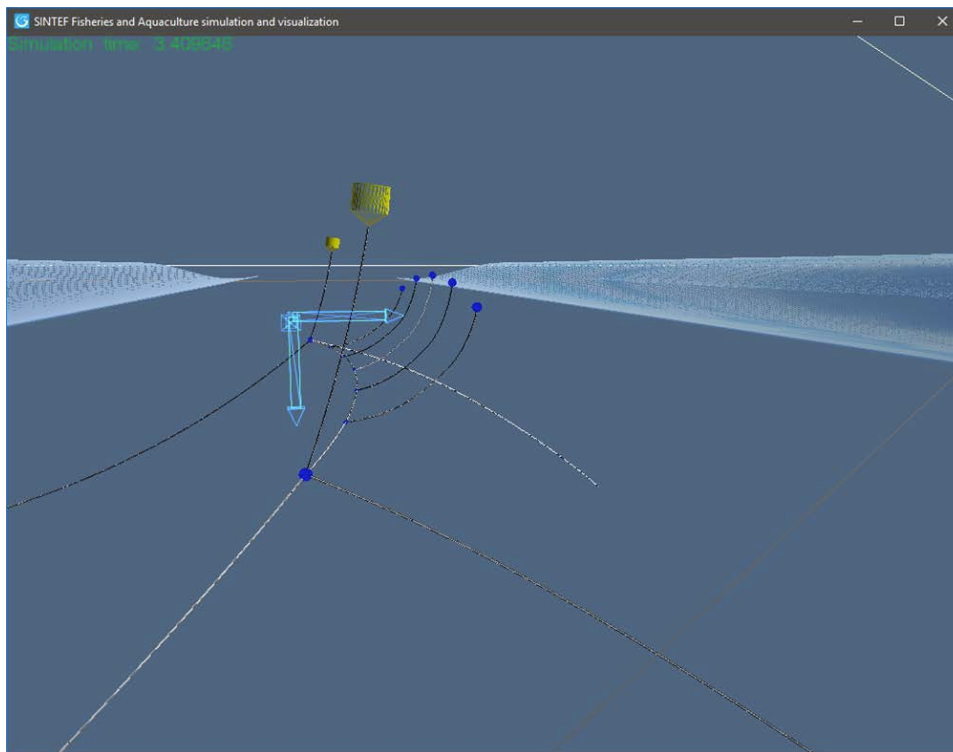
Tabell 4. Koordinater for sjøanlegget på Orstranda.

Hjørnepunkter for anker i anlegget	1. 63° 02,075' N; 7° 50,047' Ø 2. 63° 02,123' N; 7° 50,207' Ø 3. 63° 02,093' N; 7° 50,265' Ø 4. 63° 02,041' N; 7° 50,089' Ø
Bøyestrek	63° 02,073' N; 7° 50,132' Ø 63° 02,088' N; 7° 50,186' Ø

6 Anleggsutforming

Hensikten med dyrkingskonsesjonen på Klovningen er å forske på dyrking av tare i et eksponert havmiljø i Møre og Romsdal. I dette ligger teknisk spesifisering av et testanlegg for den eksponerte lokaliteten og uttesting av dette. Etter oppstart av TAREAL 2 ble også prosjektet AKVALAB initiert og anleggsutforming ble gjort i samarbeid med dette prosjektet. Den tekniske spesifiseringen av dyrkingsanlegget inkludert evaluering av ulike anlegg ved bruk av FhSim-analyser (www.fhsim.no), som er en programvare for simulering og visualisering av marine operasjoner og systemer, og er beskrevet i detalj i sluttrapporten for AKVALAB (Lona et al. 202).

Anlegget som ble valgt brukt i TAREAL 2 er basert på samme prinsipp som for Macroalgal Cultivation Rig (MACR) konstruert av Ocean Rainforest på Færøyane. Denne riggen er allerede i bruk på en svært værutsatt lokalitet på Færøyane, med signifikant bølgehøyde H_s opptil 4m og strømhastighet opptil 3 knop (Bak, 2019). Anlegget ble bygd som en 60 m lang line som ble ankret opp 10 m under havoverflaten og fortøyd til to kraftige bøyer. Til denne linen ble det festet 5 x 10 m lange dyrkingstau med tare, som ble holdt oppe av blåser (Figur 12). Det ble brukt like dyrkingsanlegg på Klovningen og Orstranda og dimensjoneringen av disse er beskrevet i den nevnte sluttrapporten for AKVALAB.



Figur 12. Simulering av hvordan dyrkingsanlegget på Klovningen vil oppføre seg ved ekstreme bølger. Taren vokser på de 5 tauene med blå blåser, og ved sterk strøm dukkes de under vannoverflaten og blir dermed mindre utsatt for de hydrodynamiske kreftene i overflaten. Anlegget er bygd etter samme prinsipp som MACR, som er konstruert av Ocean Rainforest. (Ill.: FhSim/SINTEF Ocean).

7 Dyrkingsforsøk

7.1 Kimplanteproduksjon

Dyrkingsforsøk med sukkertare ble utført på Klovningen og Orstranda i 2020. For å sikre lokalt genmateriale ble det samlet inn 15-20 fertile sukkertareplanter fra Grip i desember 2019. Dette var friske, fine planter med store og modne sporefelter (sorus). Taren ble klippet rene for stilk med vekstsone (meristem), tupp og ødelagt vev og oppbevart i tanker med 8 timer lys per dag, luftbobling og vanngjennomstrømming av kaldt dypvann frem til sporeslipp 2 uker senere. (Fig. 13).

For kimplanteproduksjonen ble fremgangsmåte beskrevet av Forbord et al. 2018 fulgt. Før sporeslippet ble sorus klippet ut, desinfisert i en klorløsning, skylt i sterilt sjøvann, tørket av med tørkepapir og lagt tørt i begerglass i kjøleskap ved 4°C (Fig. 14). Neste dag ble glassene satt på ristmaskin ved 10°C og sterilt sjøvann helt oppi slik at sorusbitene ble dekket av vann. Dette medførte at sporene ble sluppet og sporeløsningen var klar til bruk etter 30 min. Den ble filtrert gjennom 20 µm planktonduk og sprayet på 1,2 mm nylonsnor, som på forhånd var tvinnet på PE-rør (spoler). Spolene ble plassert i belyste 200-liters inkubatorer, og lett bobling og kontinuerlig vanngjennomstrømming med UV-behandlet vann fra 70 m dyp satt på etter 2 døgn (Fig. 14). Temperaturen var 10°C i hele perioden, både for oppbevaring av morplantene og for kimplanteproduksjonen. Veksten av kimplanter ble vurdert visuelt en gang i uken og etter 5 uker hadde kimplantene nådd størrelser som var tilstrekkelig for utsett i sjøanlegg (Fig.15).



Figur 13. Fertile "morplanter" av sukkertare hentet fra Grip. De mørke feltene er sorus og inneholder sporer. Stilk med meristem og tupp ble kuttet av før bladene ble oppbevart i 100-liters tanker med lys, bobling og vanngjennomstrømming frem til sporeslipp 2 uker senere (Foto: SINTEF).

Beregning av volum, antall sporer og meter line er vist i Tabell 5. Av denne fremgår også at det ble produsert kimplanter for utsett hos Algevekst AS på Tustna som delaktivitet i AKVALAB-prosjektet. Det ble produsert 20% mer line enn behovet tilsa, slik at kun de beste spolene ble brukt til spinning. Videre ble det spunnet ekstra tau som fungerte som reserve ved utsettene.

Tabell 5. Beregning av behov for sporeløsning, kimplanteliner og ferdig spunnet tau til utsett i de to anleggene på Klovningen og Orstranda, samt til Algevekst AS' anlegg på Tustna (AKVALAB).

Kimplanteproduksjon	Mengde
Tetthet i sporeslipp	500 000 sporer/ml
Volum sporeslipp	1 000 ml
Sporevolum pr spole (150 m)	100 ml
Antall spoler	10
Spinning av tau	
Produsert kimplanteline	1 500 meter
Taretau lengde som spinnes, inkl. 1 m innfestingslengde	11 meter
Antall taretau (11 m) til Tareal 2	12
Meter 16 mm taretau (2 anlegg, 5 tau + 1 reservetau per anlegg)	132 meter
Behov kimplanteline Tareal 2	165 meter
Meter 16 mm taretau til AKVALAB	1 068 meter
Antall 110 m lengder til AKVALAB	5



Figur 14. Sorus fra tare hentet inn fra Grip ble klippet rent og desinfisert før sporeslipp, sporeløsningen filtrert og sprayet på tareliner på spoler som ble plassert i 200-liters inkubatorer med lys, bobling og tilførsel av UV-behandlet, næringsrikt vann fra 70 m dybde (Foto: SINTEF).



Figur 15. Fra venstre: Kimplanteliner (1,2 mm tykkelse) på spoler etter 3, 4 og 5 ukers inkubering. Kimplantene observeres som bleke flekker etter 3 uker mens tett vekst ses etter 5 uker. Plantene var da 2-3 mm lange og klare til å settes ut i sjø (Foto: SINTEF).

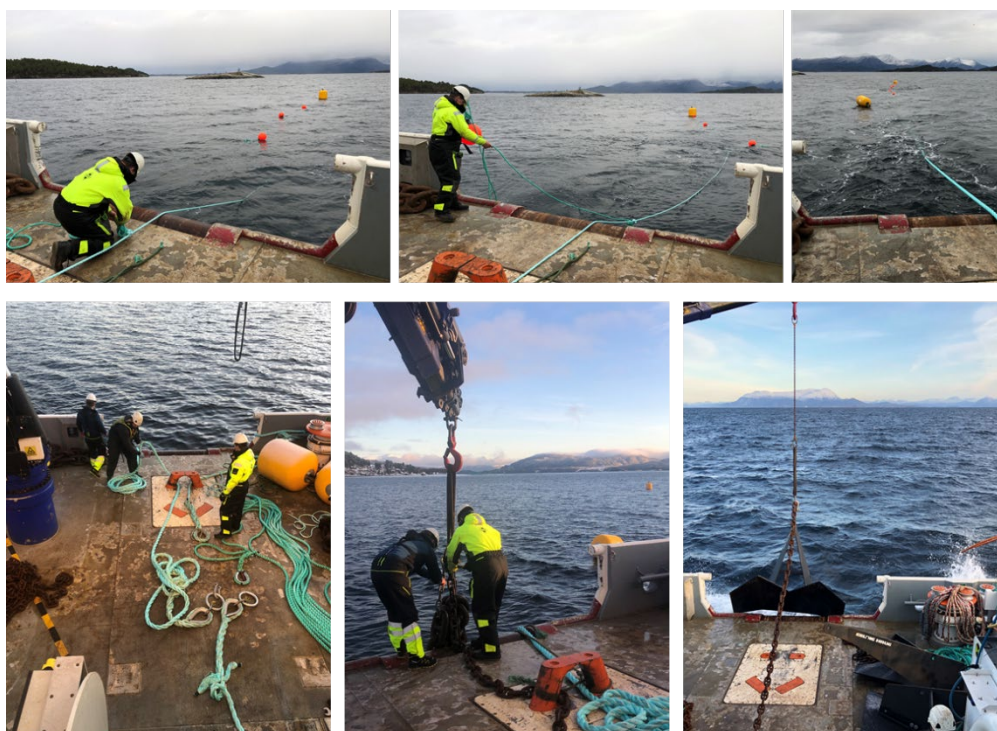
7.2 Sjøforsøk

7.2.1 Utsett av anlegg og tareliner

I slutten av januar ble kimplantelinene overført til 16 mm dyrkingstau ved bruk av en spinnemaskin som sikrer rask og tett tvinning (Fig. 16). Det ble laget 12 tau med 11 meters lengde, i tillegg ble det laget 5 tau med 110 meters lengde til Algevekst/Bjørn Søyset som ledd i AKVALAB-prosjektet. Tauene ble pakket direkte i stamper og transportert til Kristiansund samme ettermiddag. Her ble stamperne fylt opp med sjøvann og oppbevart kjølig før tauene ble festet ut i anleggene på Klovningen og Orstranda 4 dager senere (3. februar 2020) (Fig.17).



Figur 16. Spinning av taretau. Den tynne tarelinen (1.2 mm) ble tvunnet over på et kraftigere tau (16 mm) i en "spinnemaskin", utviklet av SINTEF Ocean og prototype bygd av M-TECH. Etter spinning ble tauene fraktet i stamper til Kristiansund, der stamperne ble fylt med sjøvann og oppbevart kjølig i 4 dager før utsettingen (Foto: SINTEF).



Figur 17. Fra utsett av tarenlegg og tareliner på Klovningen og Orstranda 3.februar 2020. Øverst vises innknytning av taretuene på den kraftige bærelinen og utsett av denne. Hvert taretau holdes oppe av en rød blåse. Nederst vises utsett av anker (Foto: SINTEF).

7.2.2 Registreringer

I løpet av vekstperioden fra april til juni ble det foretatt 3 registreringer av vekst ved å høste tare fra 50 cm av hvert tau og måle vekt, tetthet og størrelse på tareplantene. Taren ble høstet fra 20 cm under overflaten (blåsen) og nedover tauet, dvs. at i april ble det høstet på 20 -70 cm, i mai fra 70 -120 cm og i juni fra 120-170 cm på alle tauene. Taren ble skrapet av og lagt i plastsekker som ble transportert til SINTEF Sealab for gjennomføring av alle registreringene. En fjerde registrering ble utført i august for å vurdere effekten av å la anleggene stå over sommeren, samt av en delvis høsting foretatt i juni, som ledd i EU-prosjektet GENIALG. Fartøy ble leid av eSea Marine eller stilt til disposisjon av Bjørn Søyset i Algevekst AS.

Vekt: All tare fra 50 cm tau ble veid i plastbakke (april og mai) og i glassfiberpose (juni) og vekt av bakke og pose ble trukket fra. Individvekt ble beregnet ved å dele totalvekt på antall. Vekt presenteres som kg/m tau.

Tetthet: Antall tareplanter fra 50 cm tau ble telt.

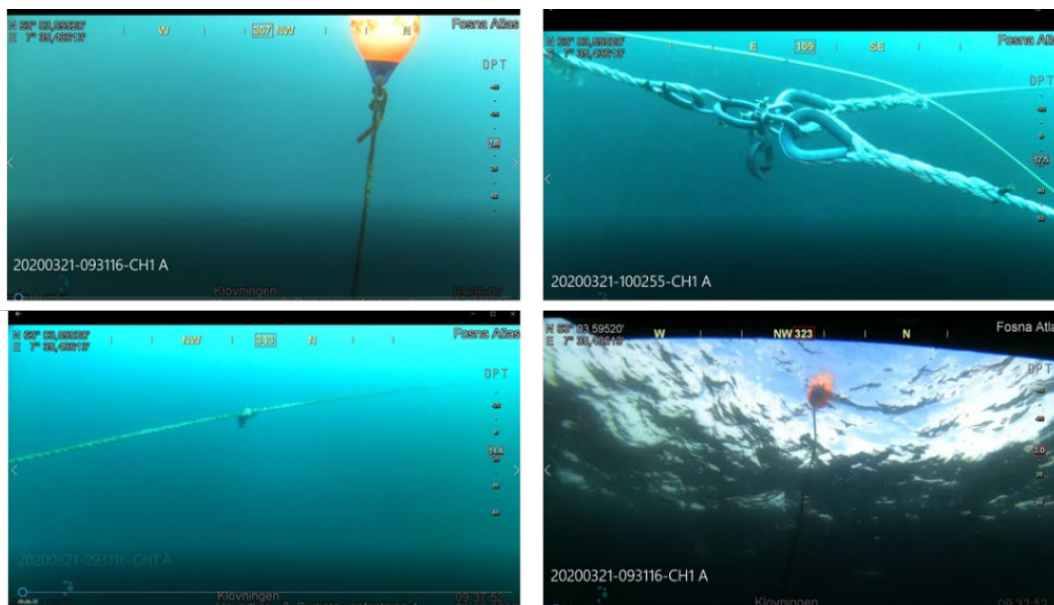
Størrelse: Lengde (L) og bredde (B) på 20 tilfeldig utvalgte planter ble målt og størrelse beregnet som areal: $L \times B \times 0,75$ (Broch et al., 2013; Foldal, 2018).

I mai, juni og august ble det også tatt vannprøver for måling av temperatur og salinitet med bruk av areometer med termometer (Fish Tech) og nitrat, som ledd i undervisningen på Kristiansund Videregående Skole. Vannprøvene ble frosset ned etter ankomst på land eller i laboratoriet, og analysert for nitrat av Analysesenteret i Trondheim.

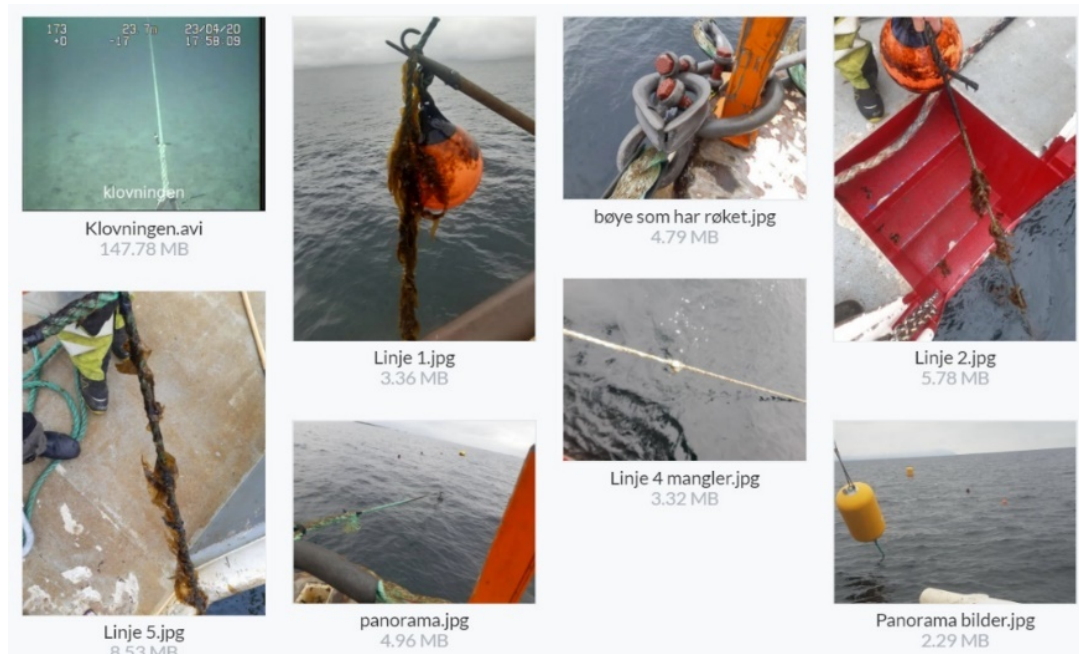
7.2.3 Skade på sjøanlegget på Klovningen

I forbindelse med en inspeksjon den 10.03.20 ble det observert at anlegget på Klovningen hadde vært utsatt for et havari og den ene forankringsbøya var forsvunnet. Abyss ble leid inn for å foreta en videoinspeksjon av anlegget 21.03.20 og det ble påvist større skader. På grunn av en manglende forankringsbøye var hele anlegget trukket delvis under vann slik at kun det innerste (tau 1) av de 5 opprinnelige taretauene fortsatt stod med riktig dybde (Fig.18). Ett taretau (tau 4) var også revet over like over innfestingsknuten. På de andre tauene var blåsene delvis (tau 2) eller helt under vann og det ytterste tauet (tau 5) stod 6 meter dypere enn opprinnelig. Videoene viste 2-3 cm lange tareplanter på tau 1 og antydninger til småplanter på tau 2 og 3. Flere foto fra videoen finnes i Vedlegg A.

På grunn av dårlige værforhold ute ved Grip var det ikke mulig for Abyss å gå ut for å rette opp anlegget, som dermed ble stående for dypt frem til det kunne repareres og de 4 gjenværende tauene heves til riktig dybde den 23.04.20, over 6 uker etter at skaden ble oppdaget. Denne operasjonen ble også utført av Abyss (Fig. 19). Etter dette stod anlegget som planlagt ut forsøksperioden.



Figur 18. Snapshots fra videundersøkelse av anlegget 21.03.2020. Øverst fra venstre, med klokka: Taretau trukket under vann, bruddsted ved koblingsring på ankerlinen der bare kause henger igjen, manglende taretau, taretau i riktig posisjon (Foto fra video: Abyss).



Figur 19. Inspeksjon av dyrkingstauene i forbindelse med reparasjon av anlegget på Klovningen 23.04.2020. Foto viser at taren har vokst en del på tau 1, 2 og 5 ("Linje 1", "Linje 2", "Linje 5"), men at tau 2 ser ut til å ha felter uten vekst (Foto: Abyss).

8 Resultater

8.1 Miljøbetingelser

På begge lokalitetene ble det målt temperatur, salinitet og nitratkonsentrasjon på tre dybder i forbindelse med feltarbeid, mens strømmålinger kun ble foretatt på Klovningen.

8.1.1 Temperatur, salinitet og nitrat

Sukkertare vokser optimalt ved temperaturer mellom 10 and 17 °C (Druehl 1967; Fortes og Lüning 1980) og ved en saltholdighet på 30-35 psu (Kerrison et al., 2015), forhold som er vanlig å finne langs norskekysten.

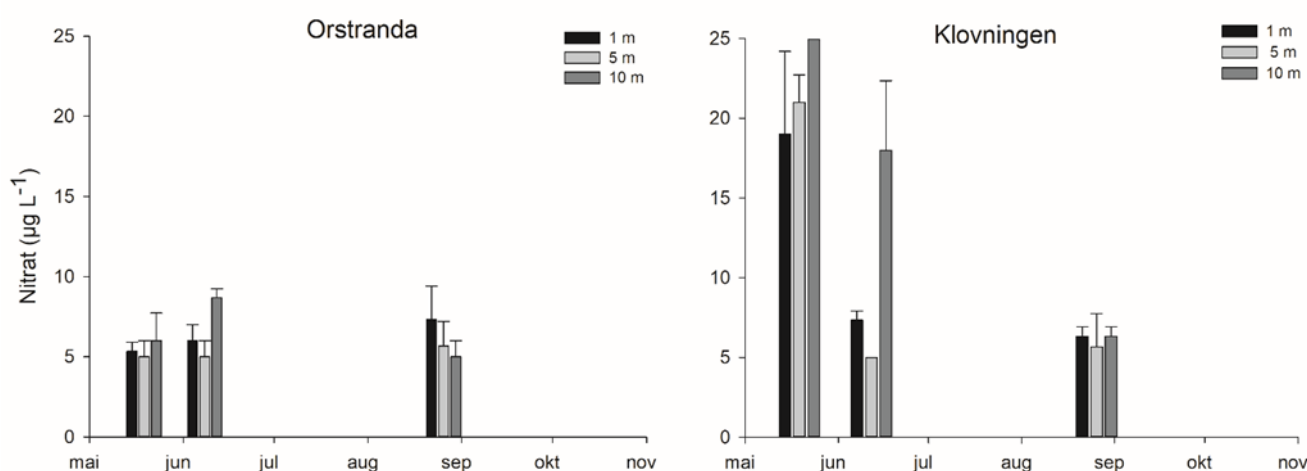
Temperatur og salinitet i sjøvann er presentert i Tabell 6 og viser at temperaturen var høyere og saliniteten lavere på Orstranda enn på Klovningen på alle dybder, både i mai og juni. I august lå temperaturen på 15°C på begge de to lokalitetene, men Klovningen hadde noe høyere salinitet.

Tabell 6. Temperatur og salinitet i sjøvann på 1, 5 og 10 m dybde i tareanleggene på Orstranda og Klovningen i mai og juni.

Lokalitet	Dato	Dybde, m	Temperatur, °C	Salinitet, ppt
Orstranda	19.05.2020	1	8	26
Orstranda	19.05.2020	5	8	27
Orstranda	19.05.2020	10	7	28
Klovningen	19.05.2020	1	7,5	32
Klovningen	19.05.2020	5	6	32
Klovningen	19.05.2020	10	7	32
Orstranda	08.06.2020	1	10,5	24
Orstranda	08.06.2020	5	10	28
Orstranda	08.06.2020	10	10	30
Klovningen	12.06.2020	1	14	29
Klovningen	12.06.2020	5	11	31
Klovningen	12.06.2020	10	10	32
Orstranda	26.08.2020	1	15	28
Orstranda	26.08.2020	5	15	30
Orstranda	26.08.2020	10	15	30
Klovningen	26.08.2020	1	16	29
Klovningen	26.08.2020	5	15	30
Klovningen	26.08.2020	10	15,5	32

Nitrogen (inkl. nitrat) ansees som det mest begrensende næringsstoffet i vann for algevekst, både globalt og langs norskekysten (Hanisak, 1983; Ibrahim et al. 2014), og med maksimale dypvannsverdier som kan nå opp mot 140 µg/L i Norge (Forbord et al. 2012). Nitratmålingene i vann fra mai og juni viser at nitratkonsentrasjonen på begge lokalitetene var lave, noe som er naturlig for denne tiden på året da våroppblomstringen akkurat er ferdig og det meste av nitraten dermed er brukt opp. Konsentrasjonen var høyest i de dypeste vannprøvene og Klovningen hadde betydelig høyere nitratkonsentrasjon enn Orstranda. I juni var nitratkonsentrasjonen fortsatt relativt høy på 10 meters dyp ute på Klovningen (Fig. 20), mens det i august var liten forskjell mellom dyp og lokaliteter.

Samlet viser disse målingene at miljøbetingelsene på de to lokalitetene var ulike og at Klovningen er påvirket av mer næringsrikt vann fra kyststrømmen og havet utenfor, mens Orstranda er en mer typisk fjordlokalitet påvirket av elver og smeltevann, noe som kan påvirke sukkertareveksten negativt (Forbord et al., 2020a). Dette ble også vist ved matematisk modellering i TAREAL 1. På begge lokalitetene var nitratkonsentrasjonene lave, noe som er naturlig for årstiden, men man kan spesielt merke seg at nitratkonsentrasjonen ute på Klovningen både var mye høyere enn ved Orstranda og at den holdt seg relativt høy lenger utover våren, noe som kjennetegner miljøbetingelser lengre ute til havs.



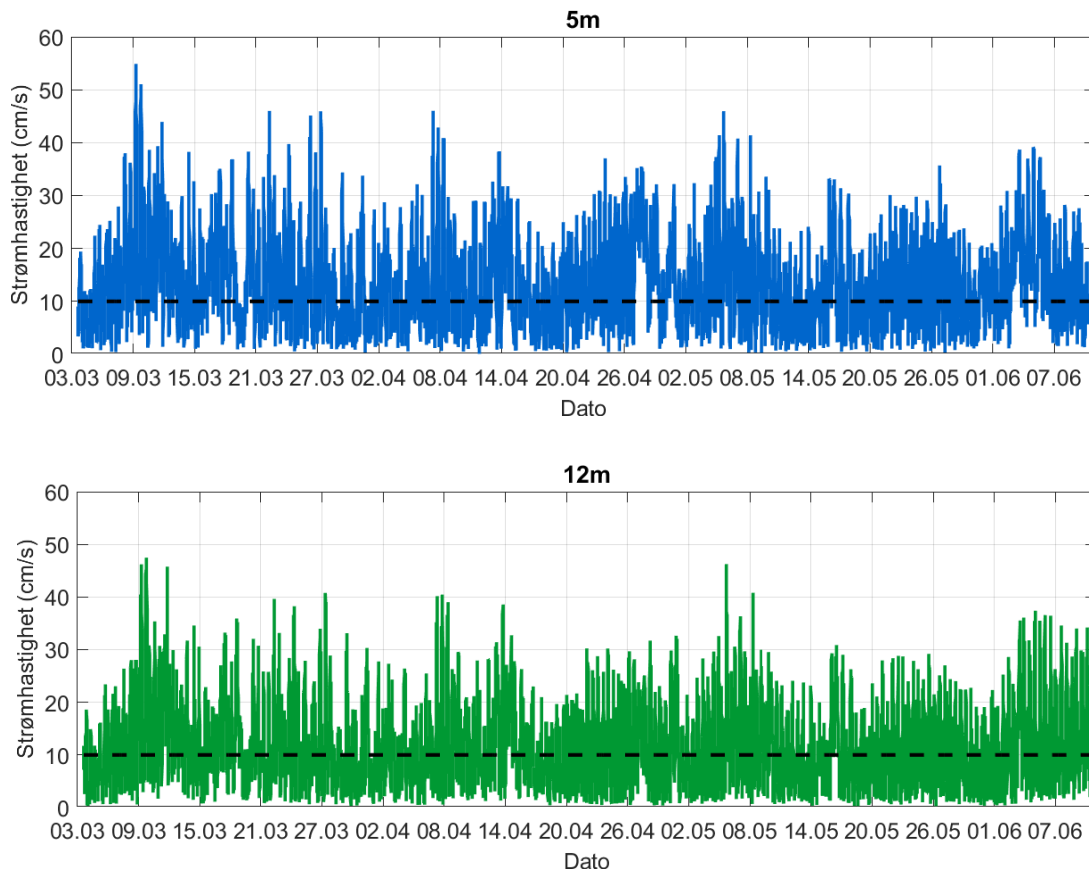
Figur 20. Nitrat i vann fra 1, 5 og 10 m dyp (\pm Standard avvik) i dyrkingsanleggene på Orstranda (venstre) og Klovningen (høyre) over dyrkningsperioden.

8.1.2 Strømmålinger

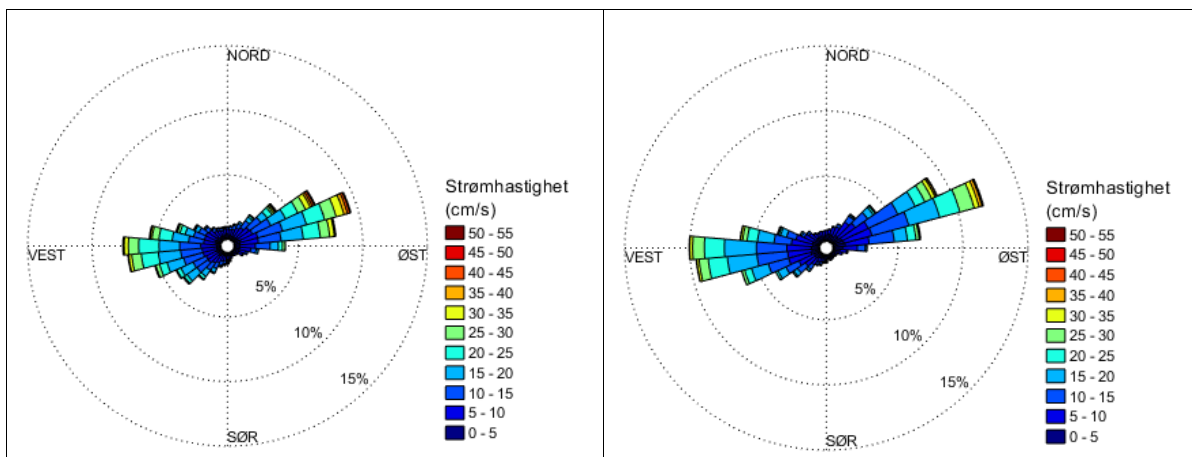
Åkerblå utførte strømmålinger på Klovningen i til sammen 99 dager, fra 03.03.2020 til 10.06.2020 (Åkerblå, 2020). Her gjengis en oppsummering av strømhastigheter (Tabell 7 og Fig. 21) og strømretninger (Fig. 22). Merk at strømsimuleringene gjengitt i avsnitt 5.1.3 dekker en annen tidsperiode enn målingene, slik at målinger og simuleringer ikke kan sammenlignes direkte. Gjennomsnittlig strømhastighet på mellom 12 – 13.7 cm per sek, men det ble målt over 40 cm per sek på 15 dager i løpet av måleperioden (på 5 m dyp).

Tabell 7. Strømdata fra målinger utført fra 03.03.2020 til 10.06.2020 på 5 og 12 m dybde ved Klovningen (Rettighet: Åkerblå).

Strømhastighet	5 m	12 m
Maksimum (cm/s)	54.9	47.5
Gjennomsnitt (cm/s)	13.7	12.0
Minimum (cm/s)	0.1	0.3



Figur 21. Tidsdiagram av strømhastighet på 5 m (blå) og 12 m (grønn) dybde på Klovningen. Strømhastighet er indikert på stående akse og tid på liggende akse (Rettighet: Åkerblå).



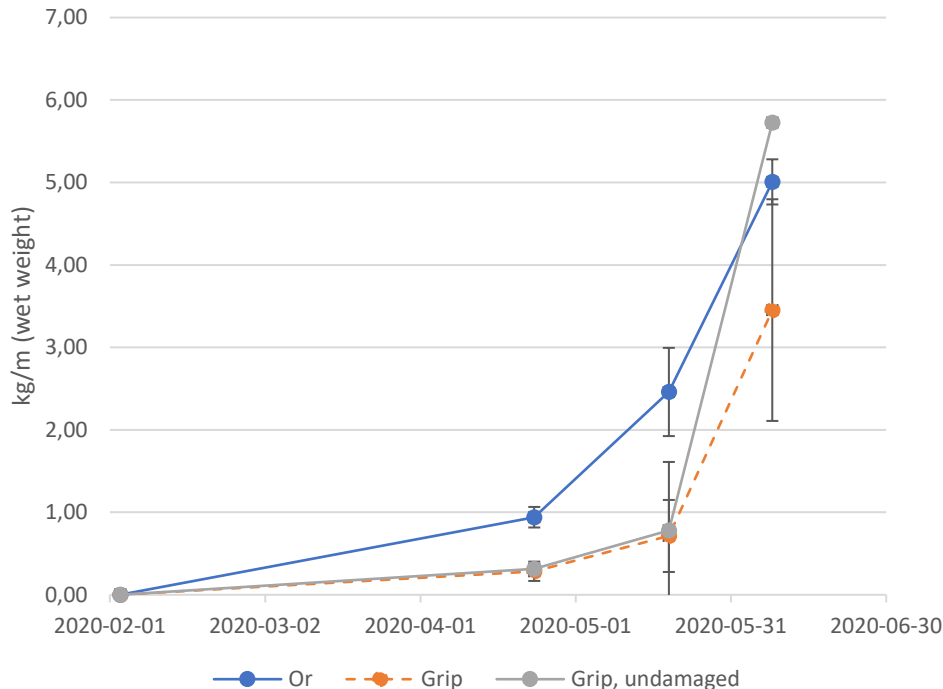
Figur 22. Strømrøser på 5 m (venstre) og 12 m (høyre) dybde på Klovningen. Strømrøsene viser strømhastighet og -retning under hele måleperioden. Strømrøsene viser hvor stor andel av målingene som er registrert for hver 10°-sektor, vist som prosentandel i figurene, og hvilken strømhastighetsklasse som er registrert i de ulike sektorene. Strømrøser gir en indikasjon på om strømmen har en dominerende retning eller ikke. (Rettighet: Åkerblå).

8.2 Vekt og størrelse

Tareanleggene på Orstranda og Klovningen hadde en høstbar biomasse på henholdsvis 5,01 og 3,45 kg per meter tarettau 8-12.06.20 (Fig. 23). I snitt for alle tau oppnådde anlegget på Orstranda den høyeste biomassen, mens anlegget på Klovningen var preget av svært stor variasjon mellom de ulike tauene (Tabell 8). Veksten på begge lokalitetene var høyest mellom 19.05 til 8-12.06.20. I denne ca 3 uker lange perioden ble det en fordobling i vekt på Orstranda mens tarebiomassen på Klovningen økte i vekt med en faktor på 7. Dette er rimelig sett i sammenheng med nitratmålingene, som viste høyere nitratkonsentrasjoner ute på Klovningen (Fig. 20).

På grunn av havariet i starten av forsøket er det hensiktsmessig å også se på vekt-data på de enkelte tauene på Klovningen, og ikke kun gjennomsnittsverdiene for de aktuelle registreringsdatoene. Dette er det derfor tatt hensyn til på figurene for vekt og størrelser, der data for de to uskadde tauene er presentert som "Grip, undamaged". Det var for eksempel tydelig at de to tauene på Klovningen som hadde stått dypest fram til hevingen 23.04.20 hadde en dårligere biomasseutvikling enn de to øverste tauene, videre at det ene av de uskadde tauene hadde den klart høyeste biomassen, noe som tyder på at havariet hadde en effekt for resultatet. Ser man kun på biomassen på de to uskadde tarettauene var høstbar biomasse i snitt 5,73 kg per meter tau på Klovningen. Dette viser altså at til tross for sub-optimale dyrkingsforhold over en lengre periode, så klarte taren på Klovningen å ta igjen veksten mot slutten av dyrkingsforsøket.

De bratte vekstkurvene (Fig. 23, 24 og 25) og et fortsatt noe forhøyet nitratkonsentrasjon ute på Klovningen (Fig. 20) tyder på at taren sannsynligvis var i god vekst enda og at denne veksten trolig fortsatte enda en tid utover sommeren.

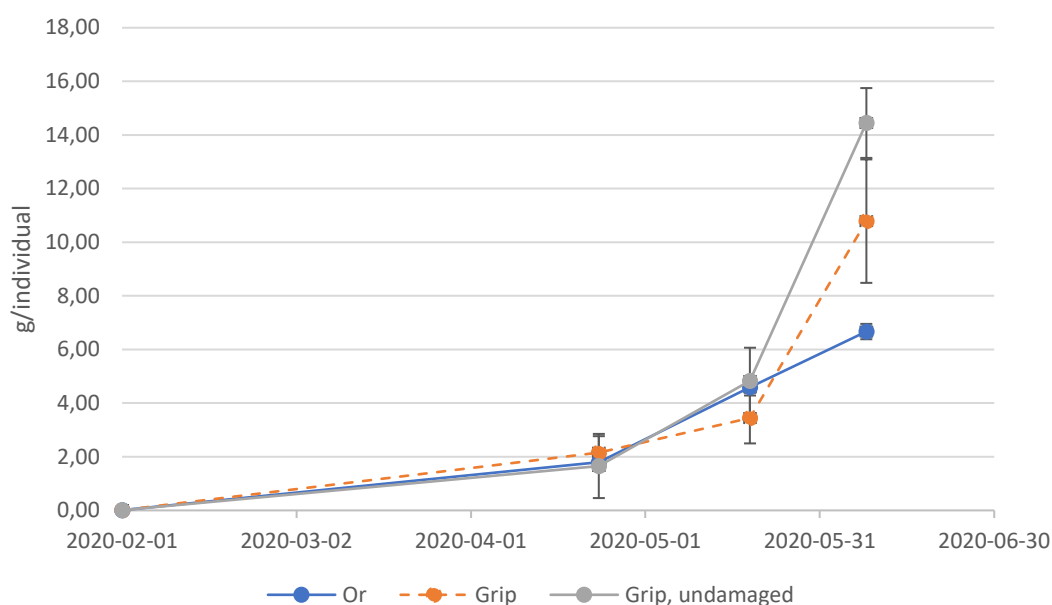


Figur 23. Vekt av sukkertare dyrket på Orstranda ("Or") og Klovningen ("Grip") i 2020. Grafene viser gjennomsnittet \pm SEM av henholdsvis 5 og 4 replikate tau. På grunn av havari som medførte at to av tauene på Klovningen stod for dypt fram til 23.04.2020 er data for de to uskadde tauene også gjengitt som egen graf "Grip, undamaged".

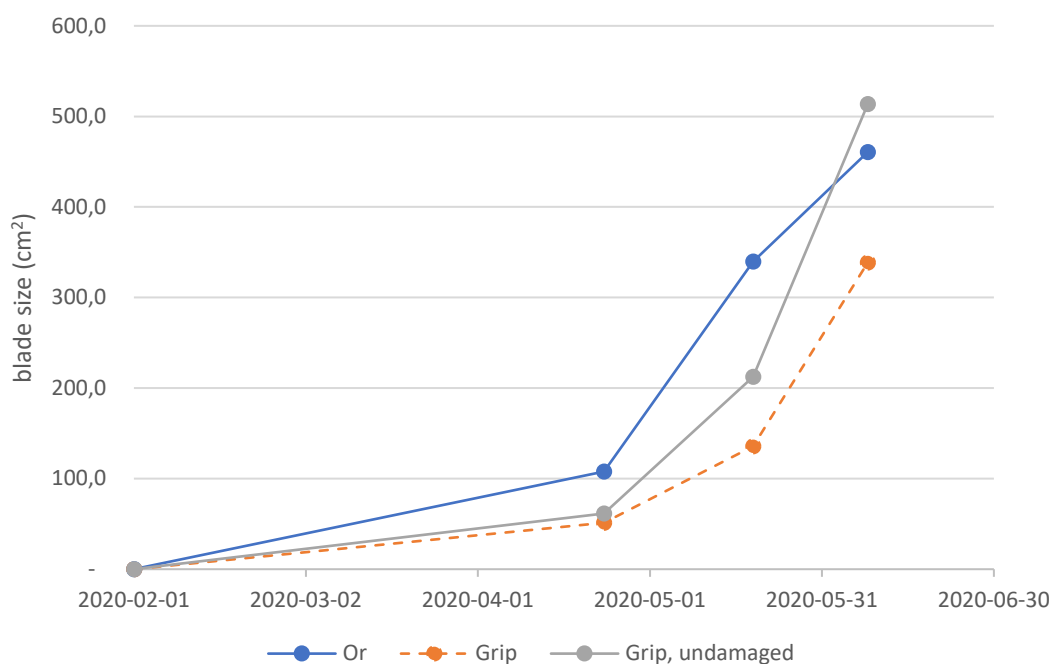
Biomassen må ses i sammenheng med at plantene hadde stått i sjø i 18 uker, noe som er en kort periode for dyrking av sukkertare, men som ble valgt for å unngå et dyrkingsforsøk som pågikk under høststormene ute ved Grip. I tillegg stod altså anlegget på Klovningen under sub-optimale betingelser i 6 uker eller mer i tiden før registreringene startet, dvs. minimum en tredjedel av dyrkingsperioden.

Man kan nok forvente et betydelig høyere utbytte ved å sette ut kimplantene tidligere, for eksempel i september høsten før. I TAREAL 1 viste simulerte produksjonsdata for Midfjordfallet utenfor Kristiansund et biomasseutbytte på 63-80 tonn per hektar for en dyrkingsperiode fra februar til juni, mens en dyrkingsperiode fra september til juni gav mellom 92-129 tonn per hektar.

Dyrkingsforsøk fra 2017 (Forbord et al., 2020a) med en like lang dyrkingsperiode (februar – juni) på Frøya, dvs. på samme breddegrad som i dette forsøket (63°N), gav imidlertid mye høyere produksjonsutbytte, noe som demonstrerer betydningen av lokalitetsvalg, men også at dyrkingsforholdene sannsynligvis vil variere mellom år. Denne års-variasjonen fremgikk også i de matematiske simuleringene i TAREAL 1. Sannsynligvis bør dyrkingsperioden ute til havs være noe lenger utover sommeren enn det som var tilfellet i dette forsøket.



Figur 24. Individvekt av sukkertare dyrket på Orstranda ("Or") og Klovningen ("Grip") i 2020. Grafene viser gjennomsnittet \pm SEM av tare på henholdsvis 5 og 4 replikate tau. På grunn av havari som medførte at to av tauene på Klovningen stod for dypt fram til 23.04.2020 er data for de to uskadde tauene også gjengitt som egen graf "Grip, undamaged".



Figur 25. Bladstørrelse på sukkertare dyrket på Orstranda ("Or") og Klovningen ("Grip") i 2020. Grafene viser areal beregnet som gjennomsnittlig lengde x gjennomsnittlig bredde x 0.75 for 20 planter fra henholdsvis 5 og 4 replikate tau. På grunn av havari som medførte at to av tauene på Klovningen stod for dypt fram til 23.04.2020 er data for de to uskadde tauene også gjengitt som egen graf "Grip, undamaged".

Det ble også observert at til tross for liten størrelse (areal) på plantene på Klovningen i midten av mai, som var 212 cm² mot 340 cm² på Orstranda, så hadde disse en formidabel vekst i de tre ukene fram til 12.juni og oppnådde større bladstørrelse (513 cm²) og individvekt (15,8 g) sammenlignet med taren på Orstranda (460 cm² og 6,7 g, respektivt) (Fig. 24 og 25). Ved registreringen i mai ble det observert mye avrevne tupper blant prøvematerialet fra Klovningen og det må antas at lengdemålene, og dermed størrelse, kan være noe underestimert.

Mot slutten av dyrkingsforsøket hadde plantene på Klovningen et mindre bladareal, men en større individvekt enn plantene på Orstranda (Fig. 24 og 25). Plantetettheten var betydelig lavere på Klovningen, også i april (Tabell 8). Dette viser at plantene kom senere i gang med veksten ute på Klovningen og videre at de individene som startet opp først fikk bedre vekstvilkår, sannsynligvis på grunn av at lavere tetthet gir bedre tilgang på lys og næring. En teori kan da være at plantene får mindre behov for å utvikle svært lange blader for å fange opp lys og næring, og i stedet utvikler tykkere og kraftigere planter. Det er mulig at dette er en gunstig strategi for sukkertaren når den vokser under svært strø- og bølgeutsatte betingelser. At tettheten på tauene øker kan virke ulogisk siden det ikke kommer til nye kimplanter etter utsetting i sjøen, men dette skyldes at sporofyttene ikke telles før de når en viss størrelse (10 cm).

Tabell 8. Laveste og høyeste målte verdier for vekt og tetthet på de to lokalitetene. Hvert tau er en replikat og det var 5 replikater på Orstranda og 4 på Klovningen. Merk at biomasse i august ikke er ren tare, men inneholder mye begroingsorganismer som påvirker vekten.

Parameter	Orstranda	Klovningen
Høstbar biomasse i juni, g/m	4316-5820	478-5784
Biomasse i august, g/m	< 500	360-2640
Tetthet i april, antall/m	420-660	50-204
Tetthet i juni, antall/m	680-860	90-440

I juni (8.06.20 og 12.06.20) var taren på begge lokalitetene av god kvalitet med hensyn på synlige begroingsorganismer og høstklar (Fig. 26). Det var antydninger til noen mosdyr-kolonier på begge lokaliteter, spesielt på Orstranda (Fig. 27), men det antas at mengdene var for små til å innvirke på biomassevekten. Bladene hadde lite eller ingen begroing av epifyttiske trådalger. Anvendelsen av biomassen er avgjørende for om taren bør høstes på dette tidspunktet. Skal taren brukes til for eksempel menneskeføde bør det ikke være synlige mosdyrkolonier eller annen begroing på bladene, men for annen bruk bør den stå noe lengre for å vokse enda mer. Begge anleggene var fortsatt i god vekst på dette stadiet og innhøsting noen uker senere ville sannsynligvis gi et enda større utbytte, men også mer utviklet begroing og sannsynlig risiko for kvalitetstap. Observasjonene stemmer godt overens med Forbord et al. (2020a) for denne delen av kysten.

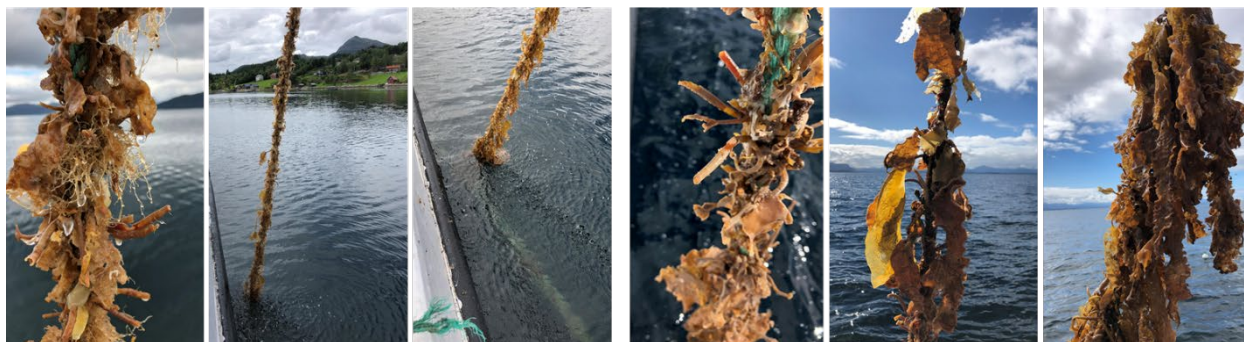
I august var taren dekket av begroingsorganismer som mosdyr og hydroider, og det vokse sjøpung på tauene innimellom stilkene. Det meste av taren hadde enten falt av eller den hadde løsnet i forbindelse med oppløfting av taretauene med vinsj, på grunn av at vevet hadde blir stivt og sprøtt av mosdyr-belegget. Denne observasjonen var som forventet. Fig. 28 viser at det fortsatt var tare på tauene ute på Klovningen, men kvaliteten på denne var selvsagt sterkt begrensende for hvilken anvendelse denne taren kan ha.



Figur 26. Tareanlegg med sukkertare dyrket på skjermet lokalitet ved Orstranda (venstre) 8.06.20 og på eksponert hav-lokalitet ved Klovningen (høyre) 12.06.20 (Foto: SINTEF).



Figur 27. Begynnende begroing på sukkertaren på Orstranda (venstre) og Klovningen (høyre) i juni, synlig som små kolonier av mosdyr på tarebladene. Under vann vises de som lyse flekker. Taren bør høstes inn før mosdyrkoloniene får utvikle seg, spesielt om den skal brukes til menneskeføde (Foto: SINTEF).



Figur 28. Sukkertare i dyrkingsanleggene på Orstranda (3 foto til venstre) og Klovningen (3 foto til høyre) i august. Både tare og tau er delvis eller helt overgrodd av mosdyr, sjøpung og hydroider, og mye av taren har allerede løsnet eller falt av under opptrekking av tauene på grunn av at vevet er sprøtt og ødelagt (Foto: SINTEF).

8.3 Oppsummering og anbefalinger

Oppsummert kan man si at dyrkingsforsøket viste god vekst av sukkertare både på Orstranda og Klovningen, men at tekniske problemer påvirket resultatet på Klovningen negativt. Hvis man ser bort fra de skadde tauene på Klovningen ble biomasseutbyttet større der enn på Orstranda. Det er sannsynlig at veksten på Klovningen fremdeles var i full gang i andre uke av juni og at den fortsatte med samme høye hastigheten enda noen dager eller uker, inntil effekten av næringsmangel og begroingsorganismer medførte stans i

biomasseutviklingen. Både de bratte vekstkurvene, knapt synlig begroing i juni og en fortsatt relativt høy nitratkonsentrasjon i vannet på den dypeste delen av anlegget tyder på dette.

Inspeksjon av anlegget i slutten av august viste tydelig hvordan biomassen hadde blitt ødelagt på grunn av begroing, men siden det ikke ble gjort flere inspeksjoner av anlegget i juni eller i juli vet man ikke akkurat når biomassen var på sitt største, når veksten begynte å avta og når begroingsorganismene begynte å gjøre uopprettelig skade. Videre forskning på tare dyrking til havs bør derfor ta høyde for at dyrkingssesongen kan vare lengre utover sommeren der ute, enn nærmere land og i fjordene. Det er heller ikke kjent hvorvidt dette vil være situasjonen hvert år, eller om det var en engangsobservasjon denne sesongen.

Bruk av kimplanter dyrket opp på tynne tareliner for deretter å spinnes på tau som kan transporteres og oppbevares i flere dager fungerte svært godt og er en robust metode som egner seg ved dyrking i havanlegg. Metoden muliggjør dessuten en kvalitetsvurdering og utvelgelse av materialet som skal settes ut. En alternativ metode for utsett av kimplanter er å lime kimplanter fra dyrkingskulturer direkte på tauene i forbindelse med utsetting (Forbord et al., 2020b). Denne metoden brukes i Nordsjøen og på Færøyene og bør testes ut under eksponerte havbetingelser langs Norskekysten.

Til tross for et grundig forarbeid ved valg av dyrkingsanlegg og dimensjonering av dette for den gitte lokaliteten ute på Klovningen, demonstrerte forsøket behov for mer kunnskap om utforming av tarenlegg til havs og for fjernovervåking av anlegg. Fjernovervåking bør utvikles både for å sikre anlegget bedre mot havari og for å kunne følge utviklingen av taren, som hvor mye den vokser, når den blir begrodd og når den er høstklar, uten å være avhengig av at personer må dra ut med båt på åpent hav for å gjøre slike undersøkelser. Dette vil være nyttig, ikke bare i forskningssammenheng, men også ved industriell dyrking.

9 Konklusjoner

1. Sukkertare kan dyrkes til havs og gir et godt biomasseutbytte med lite begroing.
2. Perioden med maksimal biomasseproduksjon kom noe senere om våren på havlokaliteten enn inne på fjordlokaliteten, men det er ikke klart om dette er årvisst.
3. Dyrking til havs gir høyere biomasseutbytte enn lengre inne på kysten, men vil kreve utvikling av teknologiske løsninger for dyrkingsanlegg tilpasset sterkt strøm- og bølgeeksponerte lokaliteter og større dybder, samt for fjernovervåking av anlegg og biomasse.

10 Referanser

- Bak, U. G. 2019. Seaweed cultivation – company experiences from the Faroe Islands. SIG Seaweed 5 Conference. Trondheim.
- Broch, O. J., Ellingsen, I. H., Forbord, S., Wang, X., Volent, Z., Alver, M. O., Handå A., Andresen K., Slagstad D., Reitan K. I., Olsen Y., Skjermo J. 2013. Modelling the cultivation and bioremediation potential of the kelp *Saccharina latissima* in close proximity to an exposed salmon farm in Norway. *Aquacult. Environ. Interact.* 4, 187–206.
- Broch OJ, Skjermo J, Handå, A, Potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal. 2016. SINTEF rapport A27869, ISBN: 978-82-14-06099-7, <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2446958>
- Broch OJ, Tiller R, Skjermo J, Handå, A, Potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag. SINTEF rapport OC 2017 A-200, ISBN: 978-82-7174-319-2, <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2457837>
- Broch, OJ, Alver, MO, Bekkeby, T, Gundersen, H, Forbord, S, Handå, A, Skjermo, J, Hancke, K. 2019. The kelp cultivation potential in coastal and offshore regions of Norway. *Frontiers in Marine Science*, section Marine Fisheries, Aquaculture and Living Resources Article. *Front. Mar. Sci.*, 5: 529
- Broch OJ, Klebert P, Michelsen FA, Alver MO. 2020. Multiscale modelling of cage effects on the transport of effluents from open aquaculture systems. *PLoS ONE* 15(3): e0228502
- Druehl LD. 1967. Distribution of two species of *Laminaria* as related to some environmental factors. *J Phycol* 3 (2):103-108
- Foldal, S. 2018. Morphological relations of cultivated *Saccharina latissima* at three stations along the Norwegian coast (In Norwegian). Master's thesis in Marine Coastal Development, Norwegian University of Science and Technology.
- Forbord S., Skjermo J., Arff J., Handå A., Reitan K.I., Bjerregaard R., Lüning K. 2012. Development of *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) kelp hatcheries with year-round production of zoospores and juvenile sporophytes on culture ropes for kelp aquaculture. *J Appl Phycol.* 24, 393-399
- Forbord, S., Steinhovden, K. B., Rød, K. K., Handå, A., Skjermo, J. 2018. Cultivation protocol for *Saccharina latissima*. In: Charrier, B., Wichard, T. & Reddy, C. R. K. (eds.) *Protocols for Macroalgae Research*. U.S.A.: CRC Press, Taylor & Francis Group, p. 37-59.
- Forbord S, Matsson S, Brodahl GE, Bluhm BA, Broch OJ, Handå A, Metaxas A, Skjermo J, Steinhovden KB, Olsen Y. 2020a. Latitudinal, seasonal and depth-dependent variation in growth, chemical composition and biofouling of cultivated *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) along the Norwegian coast. *J Appl Phycol.* 32:2215-2232
- Forbord S, Steinhovden KB, Solvang T, Handå A, Skjermo J. 2020b. Effect of seeding methods and hatchery period on sea cultivation of *Saccharina latissima* (Phaeophyceae): a Norwegian case-study. *J Appl Phycol.* 32 (4):2201-2212
- Fortes MD, Lüning K. 1980. Growth rates of North Sea macroalgae in relation to temperature, irradiance and photoperiod. *Helgolander Meeresun* 34 (1):15
- Hanisak M (1983) The nitrogen relationships of marine macroalgae. In: Carpenter EJ, Capone DG (eds) *Nitrogen in the Marine Environment*. Academic Press, New York, pp 699-730
- Ibrahim A, Olsen A, Lauvset S, Rey F. 2014. Seasonal variations of the surface nutrients and hydrography in the Norwegian Sea. *International Journal of Environmental Science and Development* 5 (5):496
- Kerrison PD, Stanley MS, Edwards MD, Black KD, Hughes AD. 2015. The cultivation of European kelp for bioenergy: Site and species selection. *Biomass Bioenergy* 80:229-242

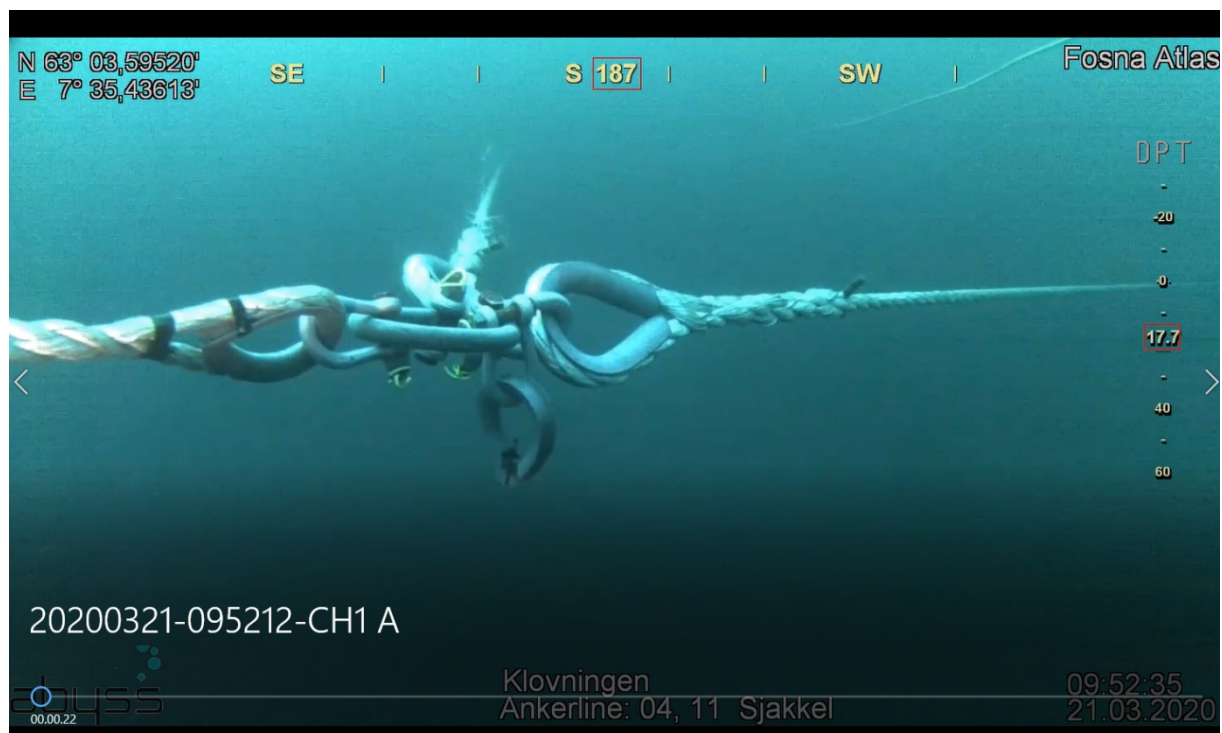
Lona, E., Endresen, P. C., Skjermo, J., Tsarau, A., Stefanakos C. & Broch, O. J. 2020. Akvalab - Project Summary Report, Evaluation of seaweed cultivation technology for weather exposed locations. SINTEF report 2020:00593, ISBN: 978-82-14-06514-5

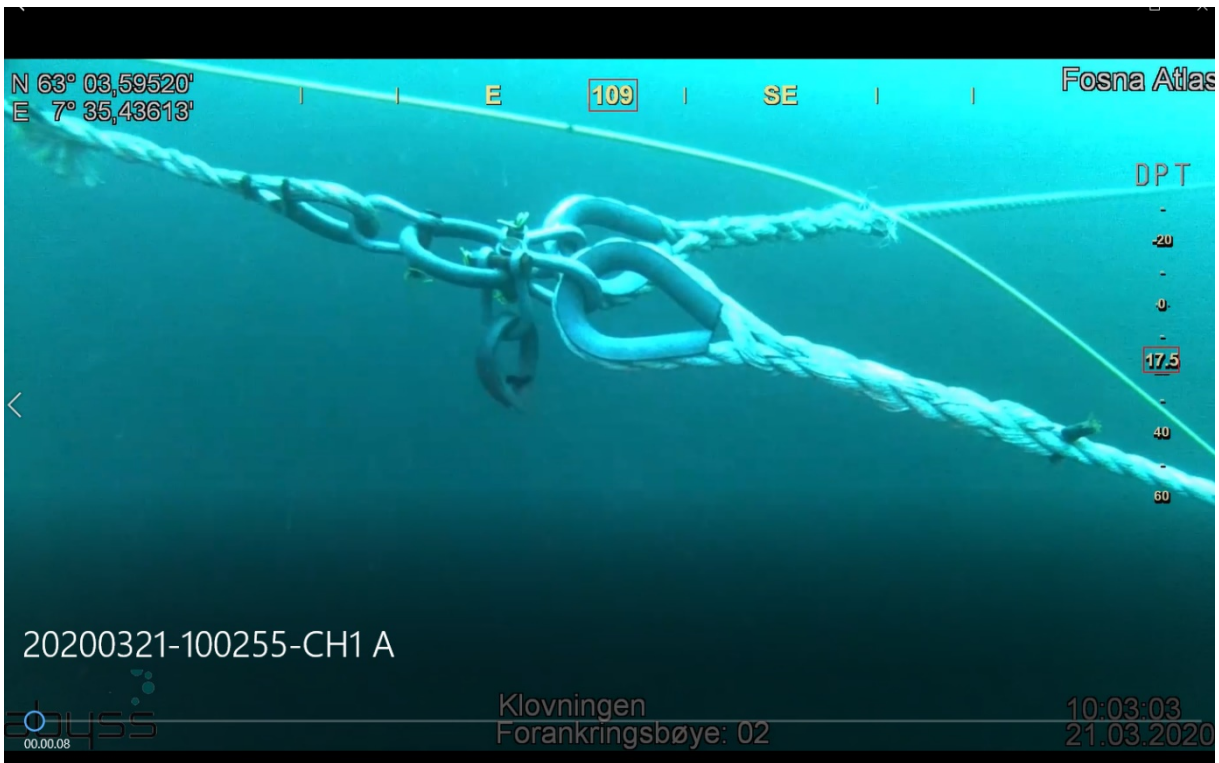
Åkerblå AS. 2020. Vurdering av strømforhold ved Griptaren. SR-M-04420-Griptaren0720-ver01.pdf.

A Vedlegg

A.1 Snapshot fra videosurvey ved Klovningen utført av Abyss.

Bruddsted ved koblingsring, bare kause henger igjen:





Slik skulle det ha sett ut:



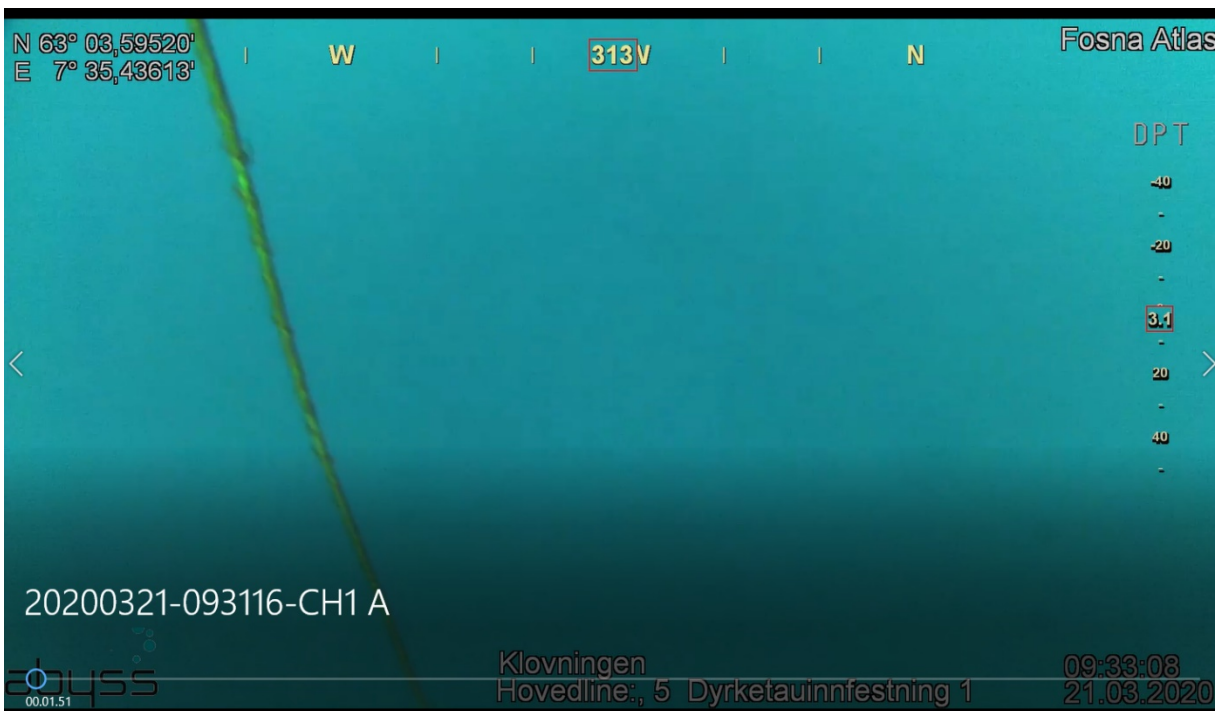
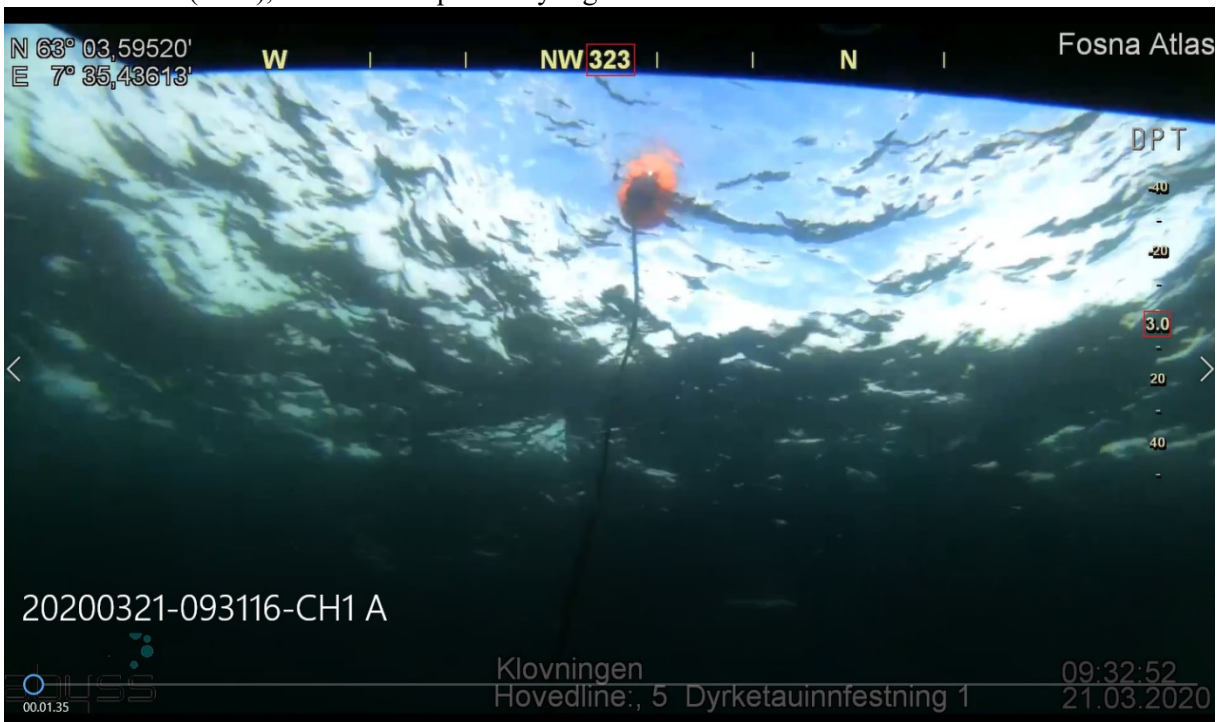
Manglende tarettau:



Tarettau:



Uskadd taretau (tau 1), med små tareplanter synlige.



Tau 3, blåse trukket under vann. Små tareplanter synlige som begroing på tauet.



Mye begroing på bæretau også:



Ploganker 1-4, god penetrering i sandbunn for alle anker:







Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no