

Overgang til lukkede oppdrettsanlegg i sjø – teoretisk beregning av endret arealbehov

Av Kristian Henriksen, Trond W. Roste, Bendik Fyhn Terjesen, Yngve Ulgenes og Ulf Winther

Kristian Henriksen, Trond W. Rosten og Ulf Winther er alle ansatt ved SINTEF Fiskeri og havbruk i Trondheim, Bendik Fyhn Terjesen er ansatt i Nofima, divisjon Akvakultur på Sunndalsøra og Yngve Ulgenes er ansatt i SINTEF Byggforsk, avdeling Vann og Miljø i Trondheim.

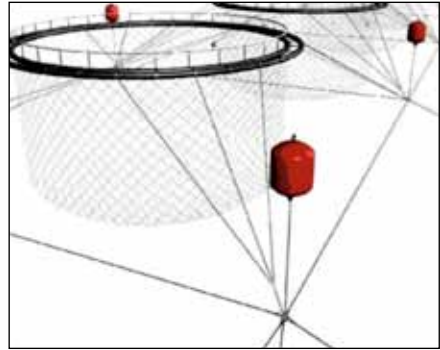
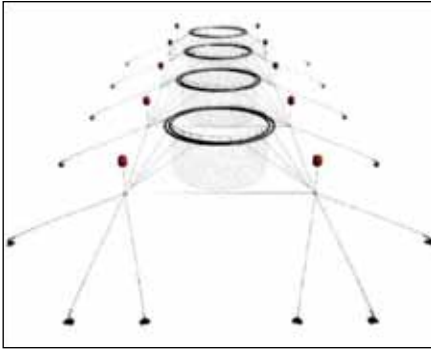
Summary

Norway's huge sea area within the territorial boarder is corresponding to 45 present of the Norwegian land area. Still, there's a battle for available areas along the coast. The aquaculture industry is under pressure from various holds, to change the production at sea, from open net cages to closed containment systems. The current commercial available closed containment systems have a much lower volume per unit available for farming fish, compared to the open net cage systems. A change of production strategy from open net cages to closed containment systems, will, given today's regulation, require an increase in the total amount of units. A consequence of this is an increase in the total area required by the aquaculture industry. The area needed will decrease if larger (volume) closed containment units are developed. An opening for higher densities of fish in

closed containment will have the same effect.

Sammendrag

Norge har et stort sjøareal innenfor territorialgrensen som tilsvarer 45 prosent av Norges landareal. Likevel er det kamp om arealene og da spesielt i de kystnære områdene. Fra enkelte hold har det kommet synpunkter på at oppdrettsnæringen må ta i bruk lukkede systemer for oppdrett av fisk i sjø. Dagens tilgjengelige typer av lukkede anlegg for oppdrett i sjø innehar i stor grad et mye lavere tilgjengelig oppdrettsvolum enn dagens åpne oppdrettssystemer med flytekrage med not. Et tenkt scenario med flytting av hele den norske oppdrettsproduksjonen av laks og ørret til lukkede flytende anlegg, vil derfor kreve en betydelig økning i antall oppdrettsenheter, gitt dagens forvaltningsregime. Areal-



Figur 1. Standard oppdrettsanlegg med flytekrage, not og rammefortøyning (Illustrasjon: SINTEF).

behovet med lukkede anlegg reduseres dersom høyere fisketetthet og større enheter muliggjøres. Artikkelen bygger på en forstudie utført av en forskergruppe fra SINTEF, Nofima og Veterinærinstituttet på vegne av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond i 2011.

Introduksjon

Artikkelen bygger på en forstudie utført av forskergruppen på vegne av Fiskeri- og havbruksnæringsforskningsfond i 2011; «Oppdrett av laks i lukkede anlegg: Forprosjekt», prosjekt nr 900615. For mer detaljer og referanseliste anbefaler vi å laste ned rapporten fra FHF sin hjemmeside, http://www.fiskerifond.no/files/projects/attach/sintef_rapport_oppdrett_av_laks_og_rrret_i_lukkede_anlegg_for_prosjekt.pdf

En av suksessfaktorene for norsk havbruksnæring har vært videreutviklingen av Grøntvedt-merden, som ble utviklet og tatt i bruk av Ove og Sivert Grøntvedt på begynnelsen av 1970-tallet (Andreassen et al. 2010). Denne muliggjorde intensiv

sjøbasert oppdrett. Systemet, bestående av flytekrage, not og fortøyningssystem, gav tilgang til et stort oppdrettsvolum per oppdrettsenhet med naturlig gjennomstrømning av vannmasser. Dagens sirkulære merder bygger på dette systemet og i stor grad på de samme prinsippene, figur 1.

Norges 24 000 km kystlinje med fjorder, øyer, holmer og skjær, som beskytter for bølger og vind fra det åpne havet, gir naturgitte forhold for oppdrett (Hersoug et al. 2012). I tillegg gir et egnet vannmiljø for laksefisk fra vest for Lindesnes i sør, til grensen mot Russland i nord, grunnlag for norsk oppdrettssuksess (Gullestad et al. 2011).

Fra Vest-Agder¹ til Finnmark har Norge et sjøareal innenfor grunnlinjen², på 76 410 km², noe som tilsvarer 24 % av det norske landarealet. Likevel er det

¹ For oppdrett av laksefisk er sjøarealet øst for Lindesnes regnet som uegnet.

² Grunnlinje er definert som rette linjer, geodetisk linje, mellom punkter på de ytterste nes og skjær langs kysten av Fastlands-Norge som stikker opp over havet ved lavvann.

kamp om arealet i kystsonen hvor både friluftsliv, fiskeri, sjøtransport med mer skal ha tilgang på egnet areal. Et gjennomsnittlig norsk oppdrettsanlegg har et synlig arealforbruk i overflaten på 59 daa (Andreassen et al. 2010). I 2010 produserte den norske oppdrettsnæringen over én million tonn laksefisk (Fiskeridirektoratet 2012). Dette ble produsert med et totalt arealbehov, inkludert for-tøyningssystemer, på 420 km², eller tilnærmet 5 promille av Norges totale sjøareal innenfor grunnlinjen (Hersoug et al. 2012). Oppdrettsnæringens arealbehov innenfor fiskeforbudssonen, figur 3, er med dagens driftsregime 194 km², fordelt på i underkant av 1000 lokaliteter (Hersoug et al. 2012). Til en hver tid er derimot kun tilnærmet halvparten av lokalitetene i aktiv drift (Fiskeridirektoratet 2012). Dette grunnet gjeldene driftsregimer med generasjonsskille og krav til brakklegging mellom hvert utsett.

Arealbehov med ulike oppdrettssystemer

Driverne for arealbehovet for oppdrettsanlegg er først og fremst oppdrettsvolum, fisketetthet og fortøyningssystemer. Dagens sirkulære flytekrager i plast muliggjør et stort oppdrettsvolum til relativt lave kostnader. Dette systemet har vært gjennom en rivende utvikling og gir i dag tilgang til et stort oppdrettsvolum per oppdrettsenhet. Tidlig på 1990-tallet ble det benyttet sirkulære flytekrager med en indre omkrets på omtrent 40 meter. I dag benytter oppdrettsnæringen flytekrager med en indre omkrets på 157



Figur 2. Utviklingen i størrelser på oppdrettsmerder fra 1990 til 2010 (Illustrasjon: Aqualine).

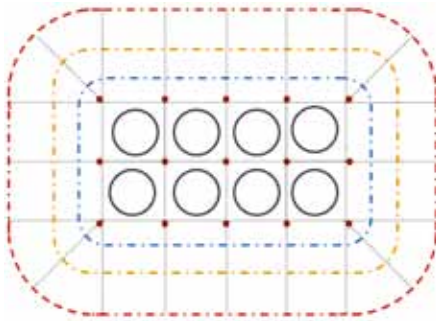
meter og driver uttesting av flytekrager med en omkrets på 200 meter. Ved å øke omkretsen på flytekragene, samt øke dybden på nøtene, har oppdrettsnæringen i løpet av en 25-årsperiode økt oppdrettsvolum per oppdrettsenhet med tilnærmet hundregangen. Denne økningen i oppdrettsvolum per enhet, har kun resultert i omtrent femten ganger mer synlig overflateareal per enhet, figur 2.

Arealbeslag i forhold til interesseparter

Et oppdrettsanlegg sitt arealbeslag i sjø, må vurderes i forhold til andre interesseparters behov (f.eks. turistnæring, fiske- eller andre sjøbaserte næringsinteresser). Ved å se på arealbeslaget i et todimensjonalt perspektiv, kan en dele arealbeslaget i fire nivåer som illustrert i figur 3.

1. Oppdrettsanleggets fysiske areal i overflaten

2. Oppdrettsanleggets fysiske areal i overflaten, pluss ferdselsforbudssone³
3. Oppdrettsanleggets fysiske areal i overflaten, pluss fiskeforbudssone⁴
4. Oppdrettsanleggets totale arealbeslag. Herunder fysisk areal i overflaten og arealbeslag på havbunnen grunnet fortøyninger.



Figur 3. Skjematisk fremstilling over et oppdrettsanleggs arealbeslag. Nivå 1 er illustrert i med røde prikker/sirkler, nivå 2 er illustrert med blå stiplet line, nivå 3 er illustrert med gul stiplet linje og nivå 4 er illustrert med rød stiplet linje.

I de videre beregningene er nivå 4 sett bort i fra, da dette er avhengig av dypet på hver enkelt oppdrettslokalitet.

Fra enkelte hold er nå oppdrettsnæringen under press for å ta i bruk lukkede systemer for oppdrett av fisk. Dagens enheter for lukket oppdrett i sjø

innehar i stor grad ikke større totalt tilgjengelig oppdrettsvolum per enhet enn 3000 m³. (Rosten et al. 2011). En oppdrettsenhet bestående av flytekrage med 157 meters omkrets og 35 meters dyp not innehar et totalt tilgjengelig oppdrettsvolum på over 68 000 m³. Flytting av hele den norske oppdrettsproduksjonen av laks og ørret til lukkede flytende anlegg, vil derfor kreve en betydelig økning i antall oppdrettsenheter, gitt dagens forvaltningsregime. Dette vil være relevant informasjon for øvrige areal brukere.

På denne bakgrunn utledet vi en hypotese om at en overgang til lukkede anlegg i sjø, vil medføre et økt arealbehov for oppdrett av laksefisk, dersom en benytter dagens teknologiske løsninger for lukket anlegg. Vi antar videre at arealbeslaget for lukkede anleggstyper modifiseres av tillatt fisketetthet og volum i oppdrettsmerden.

Metode

Basert på innsamlede data og beregninger gjort av (Hersoug et al. 2012), har vi beregnet hvordan arealbehovet for norsk oppdrettsnæring teoretisk ville endret seg dersom den skulle vært gjort med lukkede enheter med et totalt tilgjengelig oppdrettsvolum på 3000 m³. For å kunne gjennomføre beregningene er det satt noen forutsetninger:

1. Det er forutsatt at alle oppdrettsanlegg har et standard arealbruk i overflaten på 59 daa. Total produksjon per oppdrettsanlegg er derfor avhengig av tilgjengelig produksjonsvolum og produksjonstetthet.

³ Jf. Akvakulturdriftsforskriften § 18 er det forbudt å ferdes nærmere enn 20 meter fra et oppdrettsanlegg. Avstanden måles fra en rett linje trukket mellom anleggets faktiske ytterpunkt i overflaten.

⁴ Jf. Akvakulturdriftsforskriften § 18 er det forbudt å drive fiske nærmere enn 100 meter fra et oppdrettsanlegg. Avstanden måles fra en rett linje trukket mellom anleggets faktiske ytterpunkt i overflaten.

2. For å kunne beregne totalt produksjonsvolum per oppdrettsanlegg på 59 daa, er det forutsatt at det benyttes sirkulære oppdrettsenheter med rammefortøyninger, figur 1. Videre er det på bakgrunn av intervjuer, forutsatt at oppdrettsenhetene er sikret til rammefortøyningene med haneføtter og at disse er fem ganger lengden på dybden til rammefortøyningen.
 3. Basert på informasjon fra intervjuer er dybden for rammefortøyningene satt til åtte meter i beregningene. Avstand mellom fortøyningsplatene i rammefortøyningene er fastsatt på bakgrunn av størrelsen på merden og lengden på haneføttene.
 4. Oppdrettsenhetene er fordelt på to sammenhengende rader.
 5. I beregningene for total produksjon er det forutsatt at enheter uten noen form for vannbehandling, har en tetthetsbegrensningen på 25 kg/m³. Dette er gjeldende tetthetsbegrensning begrensning jf. akvakulturdriftsforskriften § 46.
 6. For enheter med kontrollert vanntilførsel (lukkede anlegg), er tetthetsbegrensningen i beregningene satt til 80 kg/m³. Det er fra enkelte hold antatt at en kan produsere atlantisk laks med en tetthet på 80 kg/m³, uten at dette fører til redusert vekst eller økt dødelighet (Chadwick et al. 2010). Fullskala produksjon ved slike tettheter vil likevel kreve videre forskning før det kan realiseres (Rosten et al. 2011).
 7. Det er ikke hensyntatt at lukkede anlegg med kontrollert vanntilførsel til dels (avhengig av beliggenhet) kan styre vanntemperaturen i oppdrettsenhetene og dermed oppnå et annet tilvekstmønster enn i åpne merdssystemer.
 8. Lukkede anleggs oppdrettsvolum er satt til 3000 m³ i arealberegningene.
 9. Videre er det forutsatt at det lukkede anlegget kan fortøyes til lignende rammefortøyninger som dagens flytekrage og not.
 10. Kravet om maksimalt 200 000 fisk per oppdrettsenhet er sett bort fra.
 11. Det er forutsatt at de flytende lukkede enhetene gir samme tilvekst enn dagens åpne systemer (Rosten et al. 2011).
 12. Landbaserte lukkede anlegg med resirkuleringsteknologi (RAS) for produksjon av smolt eller postsmolt er ikke medtatt i vurderingene verken for innvirkning på produksjonstid i åpne merdanlegg eller i lukkede merd i sjø.
 13. Som en konsekvens av pkt. 11 og 12 har vi sett bort produksjonstid i sjø med ulike driftsopplegg.
 14. Innvirkning av generasjonsskille og brakklegging på arealbehov er forutsatt likt for begge systemer og sett bort i fra for å kunne sammenligne de to systemene på en teoretisk plattform.
- Avstanden mellom hver fortøyningsplate i rammefortøyningen, markert med et rødt punkt/sirkel (Nivå 1) i figur 3, er avhengig av størrelsen på flytekragen som benyttes, og arealbeslag per enhet i overflaten vil derfor variere etter størrelsen på

flytekragen. I undersøkelsen er det derfor beregnet arealbeslag per enhet, antall enheter per standard lokalitet og arealbruk per lokalitet. Videre er det beregnet oppdrettsvolum per enhet, maksimal teoretisk produksjon per enhet og maksimal teoretisk produksjon per oppdrettslokalitet.

Ved hjelp av de innsamlede data og forutsetningene fastsatt i denne undersøkelsen, er det teoretiske arealbehovet for produksjon av en million tonn laksefisk beregnet for fire ulike størrelser av åpne systemer, samt for et lukket anlegg med en tetthetsbegrensning på 25 kg/m^3 og et lukket anlegg med tetthetsbegrensning på 80 kg/m^3 .

I praksis vil produksjon per oppdrettslokalitet kunne bli større dersom en slakter ut fisk over en lengre periode og i så måte utnytter tetthetsbegrensningen maksimalt. Dette er ikke hensyntatt i beregningene. Investerings- og eller driftskostnader er heller ikke inkludert i denne sammenligningen.

Resultat og diskusjon

Nedenfor viser vi hvilke resultater vi har kommet frem til når det gjelder arealbehov for produksjon av én million tonn laksefisk med de forutsetninger beskrevet i metodekapittelet. Dette er en ren teoretisk sammenligning der vi har sett bort i fra at generasjonsskille, brakklegging og ulike smoltstørrelser, samt flere utsett som vil påvirke det reelle behovet for lokaliteter. Det foreligger ikke kunnskap eller forvaltningspraksis for hvordan lukkede enheter i sjø skal driftes med tanke på disse forhold. Av denne grunn har vi

sett bort i fra disse momentene og sett på arealbehovet i to teoretiske systemer (åpne merdanlegg og lukkede medanlegg).

Arealbehov for produksjon av én million tonn laksefisk i ulike systemer

Arealbeslag, maksimalt antall oppdrettsenheter, samt maksimal produksjon (tonn) per oppdrettsenhet for merd med tradisjonell flytekrage av ulik størrelse er vist i tabell 1.

Med bakgrunn i forutsetningene satt for våre beregninger, vil produksjon av én million tonn laksefisk, i tradisjonell oppdrettsenhet med flytekrage og not, ha et lokalitets- og arealbehov som varierer fra 312 lokaliteter og 61 km^2 arealbeslag innenfor fiskeforbudssonen, ved bruk av flytekrage med 90 meters indre omkrets, til 84 lokaliteter og 20 km^2 arealbeslag innenfor fiskeforbudssonene, ved bruk av flytekrage med 157 meters indre omkrets, tabell 2.

Ved å legge de samme kriteriene til grunn for et lukket anlegg, vil en teoretisk kunne sammenligne arealbehovet for lukkede anlegg opp mot dagens tradisjonelle merder med flytekrage og not. Som figur 4 viser, vil produksjon i lukkede enheter med oppdrettsvolum på 3000 m^3 og en tetthetsbegrensning på 25 kg/m^3 gi et arealbehov på 235 km^2 innenfor fiskeforbudssonen. Arealbehovet øker på fordi man trenger flere enheter for produksjon av den samme totale mengde laksefisk. Hvor en 157 meters flytekrage med not teoretisk kan produsere 1710 tonn laksefisk, vil et lukket

anlegg på 3000 m³ kun kunne produsere 75 tonn per enhet. Gitt forutsetningen om maksimalt arealforbruk per oppdrettslokalitet på 59 daa vil lukkede enheter med oppdrettsvolum på 3000 m³ beslaglegge 12 ganger større areal, innenfor fiskeforbudssonen, enn dagens sirkulære merder med 157 meter i indre omkrets.

Behovet for antallet enheter går betydelig ned dersom en øker maksimal tilgjengelig fisketetthet. Ved en maksimal fisketetthet på 80 kg/m³ vil en teoretisk kunne produsere én million tonn laksefisk i lukkede enheter (3000 m³), innenfor et arealbehov på 73 km², i fiskeforbudssonen. Dette arealbehovet kan tilnærmet sammenlignes med arealbehovet en vil ha ved produksjon av en million tonn laksefisk i de tidligere

brukte 90 meters sirkulære flytekrage, tabell 2. Driftsmessige utfordringer, som for eksempel føring, smittepress og vannkvalitet i forhold til en produksjon med fisketetthet på 80 kg/m³ forutsettes løst og er derfor ikke hensynstatt i beregningene. Dette er også tidligere påpekt som et forskningsbehov (Rosten et al. 2011).

Beregningene viser også at, dersom en klarer å utvikle større driftssikre lukkede enheter, med mulighet for fisketetthet på 80kg/m³ vil ikke det teoretiske arealbehovet for produksjon i lukkede enheter være større enn ved produksjon i dagens åpne merder. En lukket enhet med mulighet for fisketetthet på 80 kg/m³ trenger et oppdrettsvolum på tilnærmet 14 000 m³ for å kunne konkurrere med dagens åpne merder med tanke på tonn per enhet. Her er det altså en skala utfor-

Størrelse flytekrage	Dybde notpose (m)	Volum per enhet (m ³)	Arealbeslag per enhet inkludert fortøyning (daa)	Maks antall enheter per oppdrettslokalitet (59 daa)	Maksimal produksjon (tonn) per oppdrettslokalitet
90	20	12 851	5,72	10	3 213
120	25	28 557	6,78	8	5 711
140	30	46 643	7,54	7	8 163
157	35	68 435	8,22	7	11 976
Lukket anlegg 25 kg/m ³	-	3 000	5,10	11	875
Lukket anlegg 80 kg/m ³	-	3 000	5,10	11	2 799

Tabell 1. Arealbeslag i forhold til tilgjengelig oppdrettsvolum, ved ulike oppdrettsenheter

dring som må løses i tillegg til de biologiske utfordringene (Rosten et al. 2011).

Våre beregninger viser at et tenkt scenario med overgang til produksjon i lukkede enheter med et totalt tilgjengelig oppdrettsvolum på 3000 m³ og en tetthetsbegrensning på 25 kg/m³, kan medføre et arealbehov, innenfor fiskeforbudssonen, som er 12 ganger større enn ved bruk av dagens merder med 157 meters omkrets.

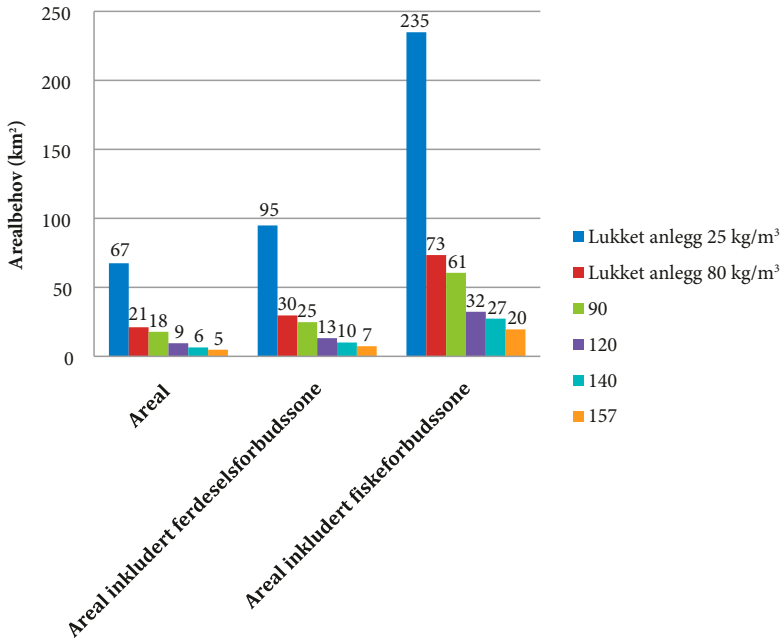
Vi understreker at dette er en ren teoretisk tilnærming. Erfaringsmessig vet man at på grunn av dagens praksis med generasjonsskille og brakklegging vil det reelle behovet for lokaliteter ligge langt høyere enn det teoretiske. Vi har antatt at dagens drift og forvaltningspraksis med generasjonsskille og brakklegging videreføres også i lukkede flytende oppdrettsanlegg. Dette er ikke nødvendigvis utfallet, da nye lukkede flytende lukkede anlegg i sjø kan ha andre muligheter og

utfordringer med tanke på drift en dagens tradisjonelle åpne merdanlegg. Andre konstruksjoner og materialer i oppdrettsanlegget (Rosten et al. 2011) gjør at nye prosedyrer med tanke på vask og desinfeksjon må etableres. Det er også antydnet at noen av de lukkede anleggstypene vil ha muligheter for å samle opp partikulært organisk materiale. Dette kan påvirke behovet for brakklegging med bruk av lukkede systemer, men det fortsatt usikkert da både tekniske og forvaltningsmessige løsninger mangler.

De nye typene semilukkede flytende oppdrettsanlegg er foreløpig i hovedsak tiltenkt en forlenget smoltproduksjon (Lyngøy 2012). Det diskuteres om en postsmoltfase der smolten oppdrettes i lukkede systemer opp til en kg før fisken settes i åpne merder. En slik endring i produksjonsplanene vil åpenbart kunne redusere behovet for areal i åpne merd-

Størrelse merd	Antall lokaliteter for produksjon av 1 000 000 tonn	Arealbehov innenfor ramme- fortøyninger (km²)	Arealbehov inkludert ferdse- forbudssone (km²)	Arealbehov inkludert fiske- forbudssone (km²)
90 m	312	18	25	61
120 m	175	9	13	32
140 m	123	6	10	27
157 m	84	5	7	20
Lukket anlegg 25 kg/m ³	1 212	67	95	235
Lukket anlegg 80 kg/m ³	379	21	30	73

Tabell 2. Teoretisk behov for antall lokaliteter og arealbeslag ved produksjon av én million tonn laksefisk.



Figur 4. Teoretisk arealbehov for produksjon av 1 000 000 tonn laksefisk med ulike oppdrettsenheter (lukket anlegg volum satt til 3000 m³/enhet).

anlegg og samtidig bidra til økt produksjon på samme antall konsesjoner. Dette var blant annet tema for konferansen ”Fremtidens smoltproduksjon” som ble avholdt av Nofima på Sunndalsøra, 23.-24. oktober 2012. Det er forventet at dette vil være et tema som vil behandles både av næringen selv og av forvaltningsorganene.

Konklusjon

Beregningene viser at den mest utslagsgivende faktoren i forhold til arealbehov, er behovet for antall enheter. Ved overgang til oppdrett av laks og ørret i dagens kommersielt tilgjengelige lukkede anlegg,

vil behovet for areal øke betraktelig. Man skal være forsiktige med tallfeste det økte arealbehovet siden beregningen sammenligner to teoretiske scenarios, men resultatet av vår sammenligning peker klart i retning av at større enheter (volum) som muliggjør flere tonn fisk per enhet, vil gi bedre areal utnyttelse. En videreutvikling av dagens lukkede enheter, med fokus på økt volum per enhet og mulighet for økt tetthet per enhet, vil kunne gjøre lukkede enheter mer konkurransedyktig med tanke på areal, sett opp mot dagens åpne merder. Nye driftsopplegg vil også kunne modifisere arealbruken i begge systemer.

Referanser

Andreassen, O. (2010) Framtidig lakseoppdrett – plass til alle, eller noen? Foredrag presentert under TEKMAR 2010, Trondheim.

Chadwick, M.P., Boumy Sayavong, G. J. P (EDS) (2010). Evaluation of Closed-containment Technologies for Saltwater Aquaculture – Appendices. NRS Research Press.

Fiskeridirektoratet (2012) Statistikk for akvakultur, fra <http://www.fiskeridir.no/fiskeridir/statistikk/akvakultur/statistikk-for-akvakultur>

Gullestad, P., Bjørge, S., Eithum, I., Ervik, A., Gudding, A., Hansen, H., Johansen, R., Osland, A. B., Rødseth, M., Røsvik, I. O., Ssandersen, H. T., Skarra, H. (2011)

Effektivt og bærekraftig arealbruk i havbruksnæringen.

Hersoug, B., Johnsen. J. P. (2012). Kampen om plass på kysten. Universitetsforlaget.

Lyngøy, C. (2012) Hvordan vil smolt- og postsmoltproduksjonen se ut i fremtiden? I sammendrag av presentasjoner “Smoltproduksjon i fremtiden: Andre konferanse om resirkulering av vann i akvakultur” p 1. 23.-24. oktober 2012. Sunndalsøra

Rosten, T., Ulgenes, Y., Henriksen, K., Terjesen, B.F., Biering, E., Winther. U. (2011). Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg – forprosjekt. SINTEF Fiskeri og havbruk