


**Asbjørn Bergheim, Asbjørn Drengstig
(AqVisor as), Jan Erik Jensen (AqVisor as),
Martin M. Jensen (Norske Shell) &
Steinar Del Otero (Norske Shell)**

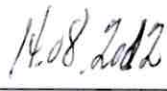
Utnyttelse av spillvarme fra Ormen Lange feltet til akvakultur

Rapport IRIS - 2012/116

Prosjektnummer: 794.1912
Prosjektets tittel: Utnyttelse av spillvarme fra Ormen Lange
Oppdragsgiver(e): A/S Norske Shell
Forskningsprogram:
ISBN: 978-82-490-0786-8
Gradering: Åpen

Stavanger, 15.08.2012


Asbjørn Bergheim
Prosjektleder


Sign.dato


Åge Molversmyr
Kvalitetssikrer


Sign.dato


Arild Johannesen
Forskningsleder


Sign.dato

Forord

Norske Shell kontaktet IRIS i april 2012 for å diskutere mulig utnyttelse av kjølevannsmengdene fra anlegget på Nyhamna i Aukra kommune til akvakultur. Etter innledende samtaler ble det avholdt møte på IRIS 26. april der Norske Shell med representantene Keith Roebuck (prosjektleder Shell) og Martin M. Jensen deltok, mens IRIS var representert ved Asbjørn Bergheim sammen med invitert samarbeidspartner fra firmaet AqVisor, Asbjørn Drengstig. Med bakgrunn i det avholdte møtet ble det så utarbeidet tilbud på gjennomføring av prosjektet og IRIS ble deretter tildelt oppdraget.

Rapporten er basert på et samarbeid mellom IRIS og AqVisor og vurderingen av den potensielle utnyttelsen av kjølevannet til produksjon av fisk bygger på tilsendte oppgaver over vannmengder og temperatursyklus fra Norske Shells representant, Martin M. Jensen.

Vi takker Norske Shell for tildeling av prosjektet og godt samarbeid.

Stavanger, 15. august 2012

Asbjørn Bergheim, prosjektleder

Innhold

Sammendrag.....	4
Summary	5
1 INNLEDNING	6
2 LOKALITET.....	7
2.1 Arealforhold.....	7
3 KJØLEVANN	7
3.1 Vannmengder og temperatur.....	7
4 PRODUKSJON AV LAKS.....	11
4.1 Krav til vannmiljø.....	11
4.2 Vekst og temperatur	13
4.3 Oksygen- og vannforbruk	14
4.4 Fisketetthet	15
4.5 Skisse produksjonsteknologi.....	16
4.6 Produksjonskapasitet.....	18
4.7 Produksjonskostnad	22
5 ANDRE ARTER	24
5.1 Hummer	24
6 KONKLUSJON	27
7 REFERANSER	28
VEDLEGG	30

Sammendrag

Rapporten vurderer utnyttelse av tilgjengelig energi i oppvarmet kjølevann ved anlegget for gassbehandling på Nyhamna i Aukra kommune til akvakultur. Kjølevannet representerer vannmengder med moderat temperaturøkning til hhv. 18 – 22 °C i dag som vil øke til 24 – 28 °C i 2016 etter utvidelse av landanlegget. I dag slippes kjølevannet ut i sjøen på 42 m dyp og holder da i gjennomsnitt 14,8 °C gjennom året.

Vurderingen er hovedsakelig basert på utnyttelse for produksjon av laks i basseng. Det er foretatt beregning av to alternative produksjonsregimer: 1) Produksjon av såkalt “super-smolt” i basseng etterfulgt av overføring til mærer i sjøen (Kombinert produksjon), og 2) Landbasert produksjon av slaktefisk fra vanlig smolt (Landbasert produksjon). Ved begge alternativ forutsettes anvendelse av 2-trinns varmeveksling for effektiv utnyttelse av tilgjengelig energi der kun oppumpet vann fra sjøen blir benyttet som produksjonsvann i bassengene. Hvis alt tilgjengelig kjølevann blir utnyttet for produksjon av laks ved 14 °C i bassengene etter varmeveksling, vil utløpsvannet fra oppdrettsanlegget holde 7 – 12 °C ved utslipp på 42 m dyp. I tillegg til en omfattende produksjon av laks er også miljøgevinsten bort i mot fullstendig da temperaturen ved utslippsstedet nesten er identisk med den normale sjøtemperaturen gjennom året.

I bassengene vil det bli gjennomført såkalt “delvis resirkulering” av vannet basert på tilsetning av oksygen uten bruk av biofilter for fjerning av ammonium/ammoniakk (full resirkulering inkluderer biofiltrering).

Kombinert produksjon med anvendelse av to basseng på hhv. Ø16 m og Ø20 m vil kunne produsere 500 000 “super-smolt” på 1 kg for utsett i sjøanlegg i løpet av 13 mnd. Ved en slik produksjonsform vil de to bassengene være grunnlag for en total produksjon av ca. 2100 tonn slaktefisk. Det maksimale vannforbruket til de to bassengene utgjør ca. 4 % av total tilgjengelig vannmengde før utvidelse av Shells anlegg og ca. 2 % etter utvidelsen i 2016. Dvs. at kombinasjonen produksjon av “super-smolt” på land – videre produksjon av slaktefisk i mærer potensielt vil kunne representere en total produksjon av slaktefisk på opp mot hhv. 50 000 og 100 000 tonn pr. år før – etter utvidelse av landanlegget.

Ensidig landbasert produksjon fra vanlig smoltstørrelse (100 g) til 4,8 kg ved anvendelse av til sammen åtte basseng med størrelse Ø16 – 20 m vil kunne produsere over 1700 tonn slaktefisk pr. år. Produksjonen er da basert på fire generasjoner av innsatt smolt pr. år i et Ø16 m basseng og videre overføring til større basseng gjennom vekstsyklusen (Ø18 - 20 m basseng). Produksjonstid pr. generasjon er beregnet til 11 mnd. Ved full utnyttelse av tilgjengelig kjølevann vil det kunne produseres totalt 8000 – 9000 tonn før utvidelse og 20 000 tonn slakteferdig laks årlig før – etter utvidelse av anlegget.

Kostnaden for produksjon av rund fisk til slaktestørrelse er beregnet til hhv. 19,11 NOK/kg ved kombinert land- og sjøbasert produksjon og 21,62 NOK/kg ved landbasert produksjon.

På basis av beregnet produksjonskapasitet og produksjonskostnad er kombinert oppdrett av “super-smolt” på land etterfulgt av videre oppdrett i mærer dermed det mest aktuelle alternativet for utnyttelse av anleggets kjølevann til oppdrett av laks.

De tilgjengelige kjølevannsmengdene vil også kunne utnyttes til produksjon av marine arter tilpasset høyere temperatur enn det naturlige nivået langs norskekysten. En slik art er hummer som har meget høy markedspris pga. sterkt redusert naturlig bestand. Denne arten har vært gjenstand for betydelig FoU for optimalisering av landbaserte oppdrettssystemer i løpet av de siste 10 årene. Intensivt oppdrett av hummer blir ansett for å ha et stort produksjonspotensial.

Piggvar er ikke tatt med i vurderingen. Årsaken er at markedsprisen på denne arten i dag er så vidt lav at det er vanskelig å etablere en konkurransedyktig produksjon under norske forhold.

Summary

The report deals with opportunities to utilize the cooling water from Norske Shell's gas processing plant at Nyhamna site, Aukra for aquaculture. A large water volume heated to 18 – 28 °C throughout the year represents big energy resources, i.e. 160 MW at present increasing to 289 MW in four years.

Production of Atlantic salmon is found to be the most relevant way to utilize the available cooling water flow for a profitable production. Tank based production of so-called "super smolt" of 1 kg for stocking in sea cages is the foremost alternative. Smolt production from 100 g to 1,000 g in Ø16 - 20 m tanks at 14 °C renders possible a total annual harvest from the stocked cage farms of 50,000 MT at present and 100,000 MT after the planned expansion of Shell's plant in 2016, respectively. The integrated production costs per kg of salmon at harvest are calculated to be lower than in cages stocked smolt of 100 g. Usage of a two-step heat exchanging system efficiently utilizes the available energy and thus eliminates the present temperature increase at the outlet in the sea.

Another assessed production regime is on-shore production of stocked 100 g smolt to slaughter size (5 kg) in tanks. This alternative is found to be less profitable compared to combined land based – cage production and the potential production volume would be reduced to c. 20%.

The assumed tank production is based on an intensified use of the water flow by adding oxygen but without introduction of complete recycling of water including system for biofiltration.

European lobster is an actual species for aquaculture especially due to a high market price. The species' optimum temperature for growth is 18 – 20 °C. A brief survey of the last decade's R&D for efficient production of lobster in intensively run systems is presented at the end of the report. Production of turbot is not assessed due to a rather low market price.

1 Innledning

Ved prosessanlegget på Nyhamna i Aukra kommune blir gass fra Ormen Lange feltet behandlet for videre transport via gassrør til UK. Denne prosessen krever kjøling. Sjøvann fra fjorden utenfor anlegget benyttes som kjølemedium, der vannet blir pumpet fra 80 m dyp og opp til prosessanlegget for anvendelse. Kjølevannet representerer store energimengder da den nåværende vannstrøm utgjør ca. 14 400 m³/time eller 240 m³/min som normalt oppvarmes 10 – 14 °C. Den tilførte energimengden fra kjøleprosessen tilsvarer altså anslagsvis 160 MW. Før oppvarming holder inntaksvannet fra 80 m normalt laveste temperatur i februar - mars på 5 – 6 °C, mens temperaturtoppen på omkring 12 – 13 °C gjerne inntreffer omkring 1. oktober. Dette innebærer at temperatursyklusen til kjølevannet på land varierer mellom 24 - 25 °C størstedelen av året med maksimum på 27 – 28 °C i oktober - november. I dag slippes kjølevannet ut på 42 m dyp i sjøen og oppgitt middeltemperatur gjennom året er da 14,8 °C. Mao. blir kjølevannet betydelig nedkjølt gjennom utløpsledningen som følge av lavere temperatur i sjøvannet som omgir ledningen.

Norske Shell opplyser for øvrig at kjølevannsmengden vil bli økt til ca. 17 200 m³/time fra 2016. Tilført varme fra anlegget vil også øke til 289 MW.

Den nåværende temperatursyklus/vannmengde på land gjennom året og etter utvidelse av anlegget er summert i Tabell 1.

Ved utnyttelse av energien til produksjon av fisk representerer kjølevannet enorme vannmengder med relativt moderate temperaturnivå gjennom det meste av året. Dermed er den mest aktuelle utnyttelsen av kjølevannet til produksjon av fiskearter med et temperaturoptimum som ikke avviker for sterkt fra eksisterende temperatur og som krever minst mulig ekstra energibehov. Produksjon av laks peker seg dermed ut fordi denne arten vil ha en effektiv utnyttelse av energien fra spillvarmen. Etter saltvannstilpasning, eller såkalt smoltifisering, ligger temperaturoptimum for vekst og fôrutnyttelse ved 13 – 15 °C. Dette betyr da at temperaturen til kjølevannet må reduseres til et lavere nivå og den åpenbare løsning her er å tilsette uoppvarmet sjøvann gjennom store deler av året. Denne løsningen vil da medføre at den tilgjengelige totale vannmengden med optimal temperatur vil være langt høyere enn kjølevannsmengden.

I en oversikt over tilgjengelig litteratur fremkommer det at veksthastigheten for laks mellom 100 og 1000 g er 70 og 200 % raskere ved 14 °C sammenlignet med ved hhv. 9 og 5 °C (Thorarensen & Farrell, 2011). Etter én måned vil således vekten bortimot fordobles ved 14 °C, økes med 40 % ved 9 °C, men kun ca. 15 % når temperaturen er ca. 5 °C. Ved utsett av vanlig smolt i mærer om våren, og særlig i Nord-Norge, er ofte ikke temperaturen mer enn omkring 5 °C i et par måneder som altså medfører liten vekst og nedsatt immunitet for sykdom (for eksempel vintersår).

En aktuell produksjonsform som er mye omtalt for tiden er produksjon av såkalt super-smolt på opp mot 1 kg størrelse før den overføres til store produksjonsmærer langs kysten eller i fjordområder. Den vanlige rutinen i dag er å produsere sjøvannsdyktig smolt i anlegg på land for deretter å overføre fisken til sjøen vår eller høst ved en størrelse på 70 – 150 g. I den senere tid har det vært mye fokusert på dødeligheten og sårbarheten til nylig utsatt smolt av denne størrelsen i merder i sjøen. Blant annet viste det seg at dødeligheten av 2009-generasjon ved anlegg i Midt-Norge i stor grad skyldtes dårlig smoltkvalitet, håndtering av fisken (f. eks. tiltak mot luseangrep) og forhold ved

lokaliteten, mens en liten del av den totale dødeligheten på ca. 16 % skyldtes sykdom (Tangen, 2012). Det er videre funnet at smolt av vanlig størrelse (70 – 150 g) er spesielt utsatt for skader/dødelighet den første tiden etter utsett i sjøen som følge av nedsatt smoltifisering, parasittangrep, særlig lakselus, samt bakterie og – virusykdommer (Fiskehelsesrapporten, 2011).

De unike mulighetene for effektiv produksjon av laks ved de tilgjengelige mengder med oppvarmet sjøvann er derfor åpenbare sammenlignet med tradisjonelt oppdrett basert på utsett av liten smolt i mærer der veksten er nedsatt i store deler av året pga. temperaturnivåer under optimum. For høye temperaturer på ettersommeren - tidlig høst i mærenivå vil også kunne være et problem år om annet i Sør-Norge (RF, 2003).

2 Lokalitet

En kartskisse over anlegget i målestokk 1 : 7500 på Aukra er vist under Vedlegg.

2.1 Arealforhold

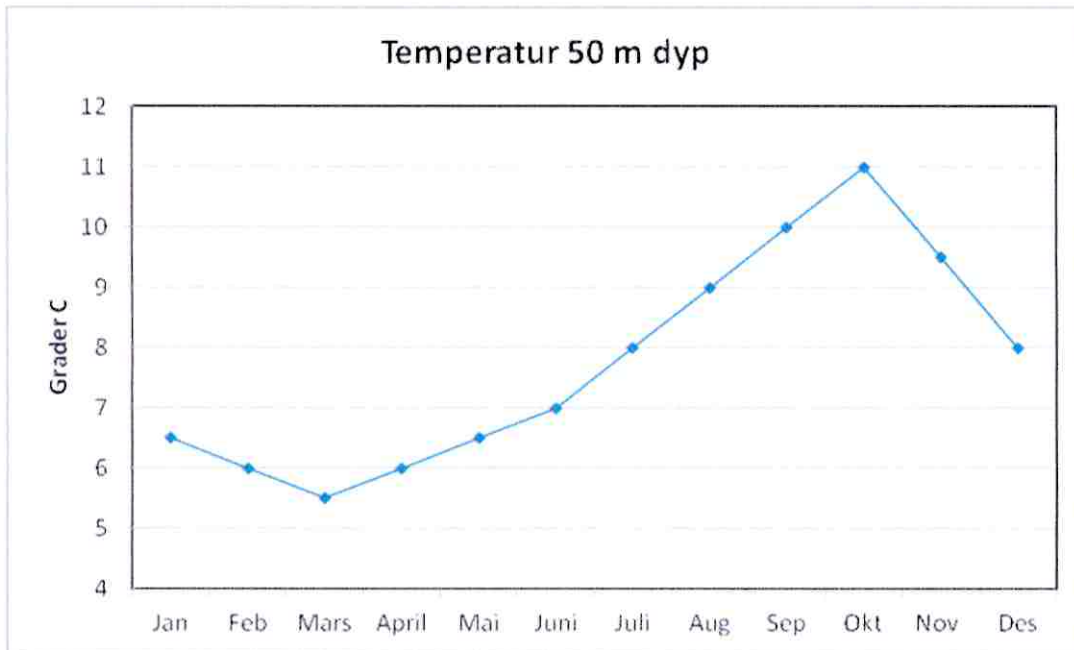
Landanlegget disponerer mellom 2 – 3 km² areal på Aukra der størstedelen er lavere enn 20 moh. I dag utgjør det utbygde anleggsområdet omkring 300 daa som ligger under høydekote 10 moh. Dette betyr at det potensielt er tilgjengelig rikelige arealer for utbygging av et eventuelt anlegg for oppdrett av fisk med bygning (-er) og bassenger også i nærheten av prosessanlegget. Utfra terrengforholdene ved prosessanlegget bør ikke løftehøydene/pumpekostnadene for utnyttelse av kjølevannet til oppdrett bli uoverkommelige.

3 Kjølevann

3.1 Vannmengder og temperatur

3.1.1 Temperaturvariasjon

Middeltemperaturen gjennom året på 50 m (Fig. 1) viser en variasjon mellom 5,5 °C i mars til 11 °C i oktober. Kurver fra 80 m dyp for 4-årsperioden 2007 – 2011, som altså er inntaksdyp for kjølevann til anlegget, viser samme svingningsnivå, men med betydelige variasjoner fra år til år (f. eks. 1 °C lavere minimumstemperatur i mars 2009 sammenlignet med målt minimumstemperatur i løpet av de øvrige årene). 50 m er som et utgangspunkt valgt som dyp for inntaksvann til justering av driftstemperaturen i oppdrettsbassengene, dvs. 14 °C gjennom året.



Figur 1. Månedlig middeltemperatur på 50 m dyp i sjøen utenfor Nyhamna (data fra Norske Shell).

3.1.2 Tilgjengelig kjølevann

De tilgjengelige mengdene kjølevann gjennom året justert til 14 °C, som er optimal produksjonstemperatur for laks, er beregnet både med og uten bruk av varmevekslere for maksimal utnyttelse av energitilgangen.

3.1.2.1 Uten varmeveksling

Som nevnt innledningsvis er det i dag svært store tilgjengelige kjølevannsmengder med temperatur gjennom året mellom 18 og 23 °C. Basert på oppgitte data fra Norske Shell er nåværende vannmengde gjennom året 14 400 m³/time som så vil utvides til 16 200 m³/time etter utvidelse av anlegget om fire år (Tab. 1). Samtidig vil også temperaturen på tilført kjølevann øke med 6 °C til 24 – 29 °C.

Det er benyttet følgende enkle beregninger for estimat av tilgjengelig vannmengde gjennom året (Tab. 1):

Q: totalt tilgjengelig vannmengde justert til 14 °C, m³/time

T: vanntemperatur i anlegg, 14 °C

Q₁: kjølevannsmengde før temperaturjustering, m³/time (14 400 - 16 200 m³/time)

T₁: temperatur kjølevann, °C

Q₂: oppumpet vannmengde fra 50 m dyp, m³/time

T₂: temperatur vann fra 50 m dyp, °C

Tilgjengelig vannmengde januar – desember (14 °C), m³/time:

$$Q = Q_1(T_1 - T_2)/(T - T_2)$$

$$[Q_2 = Q - Q_1]$$

Ved beregning av tilgjengelig vannmengde er det ikke tatt hensyn til varierende lufttemperatur gjennom året. Det vil trolig forekomme en viss nedkjølingseffekt i rør og

fiskebasseng gjennom vinteren. Som det framgår av Tabell 1 er den nåværende tilgjengelige vannmengde med ideell temperatur for produksjon av laks (14 °C) om lag 22 000 – 55 000 m³/time som så øker til 36 000 – 95 000 m³/time etter utvidelse.

Tabell 1. Anslåtte vannmengder og temperatursyklus for kjølevann fra Ormen Lange landanlegg på Aukra før – etter utvidelse av anlegget (data fra Norske Shell). Q tilgjengelig: estimert tilgjengelig vannmengde justert til 14 °C. NB: tilgjengelige vannmengder *uten* anvendelse av varmevekslere i oppdrettsanlegget.

Parameter	Jan	Feb	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Før utvidelse :												
Q, 1000 m³/time	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
Temperatur, °C	18,8	18,6	18,4	18,2	18,0	18,2	18,4	18,6	18,8	22,5	21,5	19,0
Q tilgjengelig, 1000 m³/time	23,5	22,7	21,9	22,0	22,1	23,0	25,0	27,6	31,5	55,2	38,4	26,4
Etter utvidelse :												
Q, 1000m³/time	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2
Temperatur, °C	24,8	24,6	24,4	24,2	24,0	24,2	24,4	24,6	24,8	28,5	27,5	25,0
Q tilgjengelig, 1000 m³/time*	39,5	37,7	36,0	36,9	37,8	39,8	44,3	50,5	59,9	94,5	64,8	45,9

*: se forutsetninger for beregning i Kap. 3.1.1

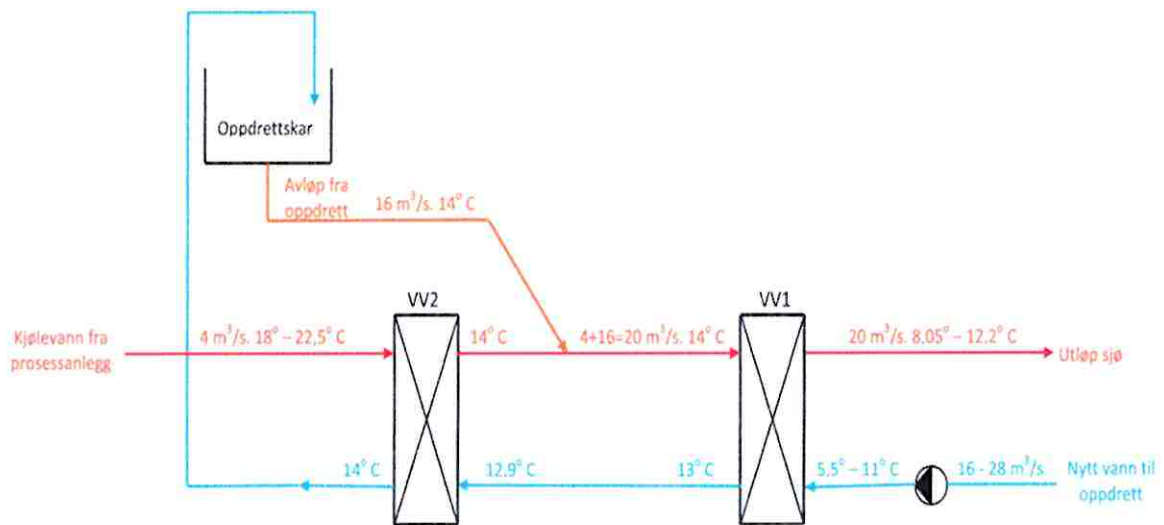
3.1.2.2 Med varmeveksling

Anvendelse av varmeveksling av utløpsvannet fra fiskebassengene for maksimal utnyttelse av tilgjengelig energi vil flerdoble den potensielle kapasiteten for produksjon av laks og samtidig redusere temperaturen i avløpet fra anlegget til sjøen (Tab. 2). Ved å sammenligne mot estimerte tilgjengelige vannmengder som holder 14 °C uten anvendelse av varmevekslere, dvs. kun blanding av oppvarmet kjølevann og oppumpet sjøvann (Tab. 1), vil varmeveksling medføre en økning på over 2 ganger og ca. 3 ganger etter utvidelsen av landanlegget i 2016. I forhold til de tilgjengelige kjølevannsmengdene vil de tilgjengelige mengdene driftsvann i fiskekarene økes med hhv. 4,4 og 9,7 ganger som gjennomsnitt over året. Som det fremgår av prinsippkissene i Figur 2a og 2b vil bruk av varmevekslere medføre at utløpsvannet til sjøen får en redusert temperatur til 7 – 12 °C. Dette er et vesentlig miljøbidrag og utslippstemperaturene vil ikke avvike mye fra den naturlige temperatursyklus i sjøen ved utslippsdypet på 42 m. I dag er som nevnt gjennomsnittstemperaturen til utslippsvannet på utslippsstedet ca. 14,8 °C. Anvendelse av varmeveksling medfører altså at prosessvannet kun anvendes som energikilde uten at det ledes gjennom fiskekarene.

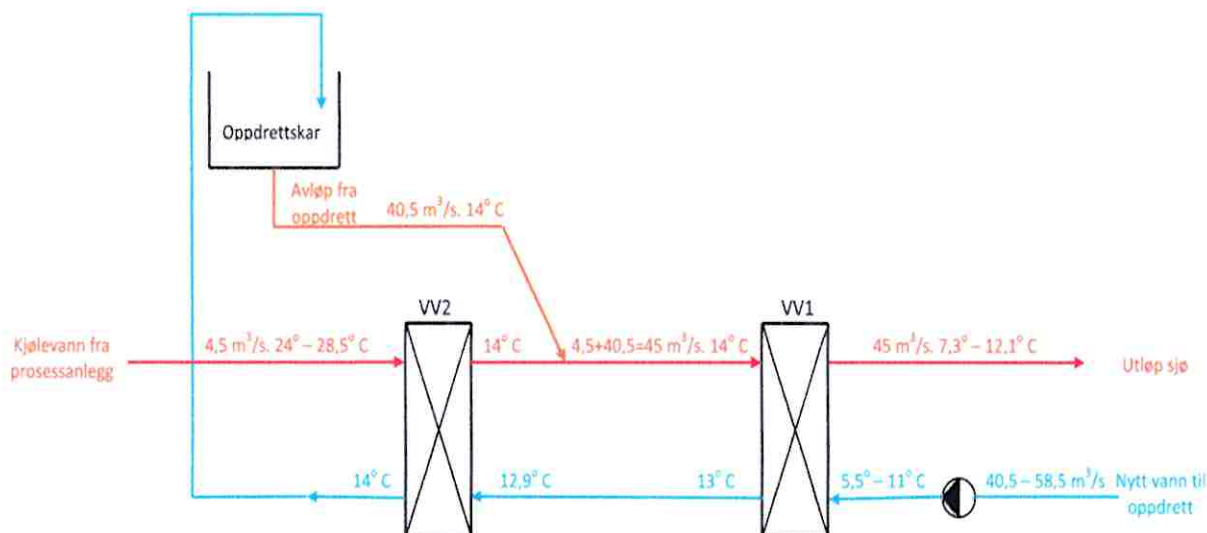
Type varmevekslere og effektfaktorer for energioverføring bygger på beste tilgjengelige teknologi og erfaringstall som basis for modellberegningene.

Tabell 2. Mengder kjølevann og disponible vannmengder med 14 °C i fiskebassengene gjennom året før – etter utvidelse av landanlegget på Aukra. Mengder som m³/sek.

	Før utvidelse, m ³ /sek		Etter utvidelse, m ³ /sek	
	Variasjon	Middel	Variasjon	Middel
Kjølevann	4	4	4,5	4,5
Uten varmeveksling	6 - 15	7,9	10 - 26	13,6
Med varmeveksling	16 - 28	17,7	40 - 59	43,5
Forhold disponibel vannmengde/kjølevann med varmeveksling	4 - 7	4,4	8,9 - 13,1	9,7



Figur 2a. Prinsippkisse av vannstrøm og – temperatur før utvidelse av landanlegget. Varmevexlere: VV1 og VV2



Figur 2b. Prinsippskisse av vannstrøm og – temperatur etter utvidelse av landanlegget. Varmervekslere: VV1 og VV2

3.1.3 Driftsavbrudd

Det kan inntreffe kortvarige driftsavbrudd ved anlegget. Som regel vil slike avbrudd, f.eks. pga. pumpevikt, være reparert i løpet av kort tid. Laks er generelt tolerant overfor relativt raske temperatursvingninger, og vanntilførsel til fiskebasseng med lavere temperatur (pumping av uoppvarmet vann) gjennom slike perioder vil kun medføre mindre negative effekter (nedsatt fôropptak, vekst).

3.1.4 Prognoser

I 2016 vil som nevnt mengden kjølevann øke fra 14 400 til 16 200 m³/time tilsvarende en energimengde fra nåværende 160 MW til bortimot en fordobling, 289 MW.

4 Produksjon av laks

4.1 Krav til vannmiljø

Laksefisk stiller generelt store krav til vannmiljøet og vil være sårbar når forholdene avviker fra optimale miljøbetingelser. For laks i intensivt oppdrett er det særlig faktorer som er direkte knyttet til fiskens metabolisme som kommer inn i bildet (Thorarensen & Farrell, op. cit):

- 1) Oksygennivå. Laks har generelt høyt oksygenforbruk og i intensivt oppdrett er det avgjørende at det tilføres nok oksygen til at oksygenkonsentrasjonen holdes på et høyt nivå gjennom hele oppdrettsfasen. Ved oksygennivå under 70 – 80 % av metningsnivå vil både veksthastighet og fôrutnyttelse avta. Dermed bør oksygenkonsentrasjonen holdes i nærheten av 100 % metning. Konsentrasjonen bør måles løpende i oppdrettsenhetene.

- 2) Som endeprodukter skiller fisk ut karbondioksid (CO_2) og ammonium ($\text{TAN} = \text{NH}_4\text{-N} + \text{NH}_3\text{-N}$). CO_2 bør ikke overstige 10 – 15 mg/l, men høye konsentrasjoner er et mindre potensielt problem i saltvann enn i ferskvann pga. saltvannets høye bufferevne og evne til å opprettholde pH-nivået. Det er likevel viktig ved intensivt oppdrett i lukkede enheter med kontinuerlig fjerning av produsert CO_2 . Ammoniakk (NH_3) er svært giftig for laks og dannes som endeprodukt fra proteinstoffskiftet. Mengdefordelingen mellom den relativt lite giftige ammonium (NH_4^+) og ammoniakk, NH_3 , er først og fremst bestemt av pH-nivået: i saltvann med pH 8,0 vil ca. 2,5 % av TAN foreligge som giftig NH_3 , mens tilsvarende ved pH 7,0 kun er ca. 0,02 %. Konsentrasjonen av ammoniakk bør ikke overstige 0,01 – 0,02 mg $\text{NH}_3\text{-N/l}$. Mao. bør ikke konsentrasjonen av ammonium (TAN) være høyere enn 1,0 mg/l i fiskekarene ved pH på i underkant av 8,0.

- 3) En oversiktstabell over anbefalte og kritiske nivåer samt toksisiteten til tungmetaller er referert i Tabell 3. Generelt avtar giftigheten til tungmetaller med økende alkalitet, men bruk av ferskvann-sjøvann som inneholder økte konsentrasjoner av metaller utover naturlige nivåer, f. eks. inntaksvann som er påvirket av industrivirksomhet, vil være uaktuelt ved produksjon av fisk. Dette gjelder også utfra hensynet til matvaresikkerhet.

- 4) Ved en eventuell anvendelse av kjølevannet på Nyhamna må det derfor gjennomføres omfattende analyser av kvaliteten til inntaksvannet.

Tabell 3. Optimale (anbefalte) og kritiske nivåer for utvalgte vannkvalitetsparametere til laks og ørret i ferskvann. Basert på Alabaster & Lloyd (1982) og Colt (2006).

Parameter	Anbefalte nivåer	Kritisk grenseverdi	Kommentarer
Temperatur, °C	2 – 18/20	-1 - 25	Avhengig av akklimatisert temperatur, men ørret tåler generelt ca. 2 °C høyere temperatur enn laks
Oppløst oksygen, mg/L	5/6 – 13/15 (60 – 120 % av metning)	< 3 & > 20	Avhengig av temperatur. Toleranse mot ekstreme DO nivåer blir redusert ved økende temperatur. Laks er mer sensitiv enn ørret
pH	5,5 – 8,5	< 5 & > 9	pH nivå påvirker giftighet av andre parametere (CO ₂ , ammoniakk, Al, etc.)
Ammoniakk (NH ₃), mg/L	< 0,025	> 0,1	Giftighet øker ved økende temperatur. Det er pH som hovedsakelig bestemmer dissosiasjonen: NH ₄ ⁺ = NH ₃ + H ⁺
Karbondioksid (CO ₂), mg/L	< 10	> 30	Andelen fritt oppløst CO ₂ er en funksjon av pH og temperatur
Oppløst stoff (SS), mg tørrstoff/L	< 50 - 100	> 1000	
Tungmetaller (enhet: µg/L):			
Sink (Zn)	< 30* – 300	> 500	Giftigheten reduseres ved økende alkalitet
Kopper (Cu)	< 3* – 10	>20	“
Kadmium (Cd)	< 2* – 10	>20	“
Krom (Cr)	< 100	-	“
Bly (Pb)	< 20 – 40	-	“
Nikkel (Ni)	< 10*	>2000	“
Kvikksølv (Hg)	< 1 - 3*	-	“
Jern (Fe)	< 100 – 200	-	
Aluminium (Al)	< 100 - 200	-	Ved pH > 6,0 forekommer ikke Al på giftig form

*: De laveste nivåene er generelt knyttet til bløtt vann med lave konsentrasjoner av kalsium og magnesium. Det finnes lite tilgjengelig litteratur for flere tungmetaller og deres potensielle negative effekter på salmonider

4.2 Vekst og temperatur

Ved gunstige miljøforhold og tilstrekkelig førtilførsel er det som nevnt innledningsvis først og fremst vanntemperaturen som avgjør veksthastigheten.

Den såkalte termiske vekstkoeffisient, TGC, er definert som (Thorarensen & Farrell, op. cit):

$TGC = 1000 * (V_2^{1/3} - V_1^{1/3}) / (T * t)$, der V_2 og V_1 er henholdsvis slutt- og startvekt, T er temperatur (°C) og t er vekstperioden angitt som dager.

I følge mange publiserte studier er TGC funnet å være ca. 3,0 for vektgruppa 100 – 1000 g (Thorarensen & Farrell, op. cit). TGC-verdiene varierer, men beregningene

videre i rapporten er basert på tallverdien 3,0. Tilveksthastigheten kan også uttrykkes som prosent vektøkning pr. døgn. Ved 14 °C vil det ta ca. 130 dager å oppnå en middelvekt fra 100 g til 1000 g eller i overkant av 4 måneder. Mao. kan det være snakk om å kunne produsere 2,5 – 3 generasjoner av 1000 g “super-smolt” ved bruk av temperaturtilpasset kjølevann på Nyhamna. Slik “super-smolt” vil så kunne settes ut for videre oppdrett til slaktestørrelse i tradisjonelle merdanlegg.

Ved tradisjonelt oppdrett med utsett av smolt på mellom 70 – 150 g i sjøen pr. 1. januar tar det normalt minimum 10 mnd. på Vestlandet og mer enn et år i Nord-Norge før laks når en middelvekt på 1000 g (Skretting, 2004).

Fôrfaktoren (FF), dvs. mengde fôr som forbrukes pr. kg produsert fisk viser i samme oversikt (Thorarensen & Farrell, op. cit) å variere mellom 0,8 og 1,0 kg/kg for den aktuelle fiskestørrelsen i tanker på land. For videre beregning benyttes en FF på 0,9.

4.3 Oksygen- og vannforbruk

Ved moderat intensiv drift, ved én gangs bruk av vannet eller ved såkalt kar-intern resirkulering av vannet, er det først og fremst fiskens oksygenforbruk som vil være bestemmende for vannforbruket. Oksygenforbruket er vanligvis uttrykt som mengde oksygen pr. vektenhet fisk pr. tidsenhet, f. eks. som mg O₂/kg/min. De faktorer som særlig avgjør oksygenforbruket er vanntemperaturen, fôropptak og fiskens aktivitet og stressnivå. Dessuten vil forbruket pr. vektenhet avta med økende fiskestørrelse, f. eks. er det “spesifikke oksygenforbruk” (mg O₂/kg/min) 70 – 100 % høyere for laks på 100 g sammenlignet med forbruket ved 1000 g størrelse (Thorarensen & Farrell, op. cit).

I den aktuelle vektgruppa ved utnyttelse av kjølevann på Nyhamna, 100 – 1000 g fisk, er det spesifikke oksygenforbruket ved 14 °C og normale oppdrettsbetingelser følgende:

	100 g	500 g	1000 g
Oksygenforbruk*, mg/kg/min	3,7	2,7	2,5
Strømhastighet, cm/sek	10	15	20

*: den forutsatt økte strømhastighet ved økende fiskestørrelse medfører at beregningene ikke reduserer spesifikt oksygenforbruk med 70 – 100 % når fiskestørrelsen øker fra 100 g til 1000 g som antydnet ovenfor

Beregningene bygger på modell utviklet av Forsberg (1995) basert på registreringer fra flere anlegg og oppdrettssituasjoner med post-smolt:

$$M \text{ (mg O}_2\text{/kg/min)} = 1,92 * V^{-0,27} * T^{0,63} * 10^{0,010C}$$

der V er vekt i g, T er temperatur (°C) og C er strømhastighet i cm/sek.

Vannforbruket basert på fiskens oksygenbehov vil kunne beregnes ut fra følgende enkle funksjon:

$Q_{min} = MO_2 / (O_{2inn} - O_{2ut})$, der Q_{min} er minste akseptable vannforbruk for opprettholdelse av optimale produksjonsforhold, MO_2 er fiskens oksygenforbruk (mg O₂/kg/min), mens $O_{2inn} - O_{2ut}$ er oksygenkonsentrasjonen hhv. inn og ut av karet (mg O₂/l).

Hvis vannet som føres inn i karene holder full oksygenmetning (100 %) og det forutsettes at 80 % oksygenmetning er laveste akseptable nivå i selve karene, betyr dette at det spesifikke vannforbruk på Nyhamna *kun basert på oksygennivået i inntaksvannet* bør holdes på følgende:

Fisk 100 g (strømhastighet kar 10 cm/sek): $3,7/(8,3 - 6,7) = 2,3$ l/kg/min

Fisk 500 g (strømhastighet kar 15 cm/sek): $2,7/(8,3 - 6,7) = 1,7$ l/kg/min

Fisk 1000 g (strømhastighet kar 20 cm/sek): $2,5/(8,3 - 6,7) = 1,6$ l/kg/min

I et intensivt drevet anlegg med karintern lufting/oksygenering av vannet er dette imidlertid et svært høyt vannforbruk *og det vil kunne være risikofritt å redusere det spesifikke vannforbruk til ca. 1/3-del av beregnet nivå forutsatt at oksygennivået i karene holdes under løpende kontroll* (utfra hensynet til forhøyede CO₂-nivå og påfølgende pH-fall samt ammonium-/ammoniakknivå). Mao. kan beregningene videre baseres på et vannforbruk som varierer mellom 0,8 og 0,5 l/kg/min for hhv. liten og stor fisk. Dette er fortsatt et relativt høyt vannforbruk i forhold til nevnte risikofaktorer (Forsberg, op. cit; Rosten *et al.* 2011). De store tilgjengelige vannmengdene medfører at det potensielle produksjonsnivået er høyt også ved så vidt moderat redusert spesifikt vannforbruk.

4.4 Fisketetthet

For høy fisketetthet vil gi negative effekter som nedsatt vekst og fôrutnyttelse, samt økt dødelighet etc., men det er få indikasjoner på at post-smolt atlantehavslaks gir stressrelaterte reaksjoner ved tettheter over 80 kg/m³ i landbaserte anlegg hvis vannmiljøet opprettholdes (Thorarensen & Farrell, op. cit). Imidlertid kan det være en utfordring å opprettholde gunstige oksygenivå (> 80 % av metning) og tilstrekkelig lavt CO₂-nivå ved så vidt høye tetthetsnivå, spesielt med liten fisk. Dessuten er jo som kort beskrevet stoffskiftenivået høyere hos mindre fisk slik at tettheten bør generelt holdes lavere hos laks på 100 g sammenlignet med på 1000 g størrelse.

Basert på nevnte vurdering foreslår vi følgende veiledende maksimale tettheter for laks på 100 g, 500 g og 1000 g:

Fisketetthet:	100 g	500 g	1000 g
Kg/m ³	30	60	80
Antall/m ³	300	120	80

Effektivt oppdrett basert på ulike karstørrelser og overføring av fisk til større kar gjennom vekstsyklusen vil bl.a. måtte baseres på veiledende fisketetthet. Den optimaliserte avveining mellom vannforbruk, strømhastighet og fisketetthet vil avgjøre hvor effektivt og sikkert anlegget kan planlegges og styres. En tetthet på 80 kg/m³ ved 1000 g fisk, og dermed overføring av fisken til merdanlegg, må anses som et absolutt maksimumsnivå i karene på land og bør trolig reduseres noe, f. eks. til 70 kg/m³, for gjennomføring av sikker produksjon.

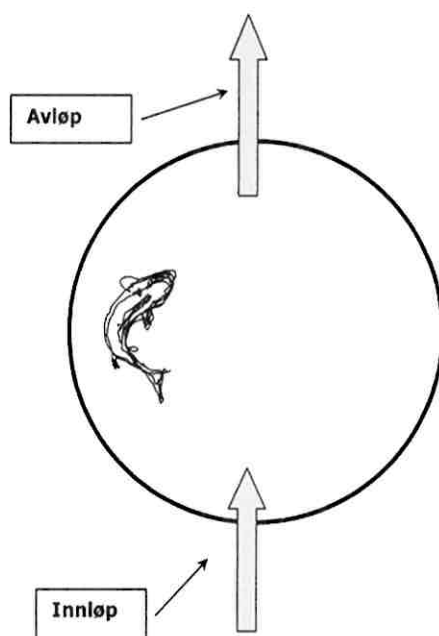
For laks over 1000 g vil tettheten kun økes noe over 80 kg/m³.

4.5 Skisse produksjonsteknologi

4.5.1 Enkel gjennomstrømning

Gjennomstrømningsanlegg er den enkleste form for produksjonsteknologi til fiskeoppdrett. Dette prinsippet krever ingen investeringer i vannbehandlingsutstyr og forutsetter at lokaliteten ikke har begrensinger i vannkvalitet eller vannvolum i forhold til ønsket produksjon.

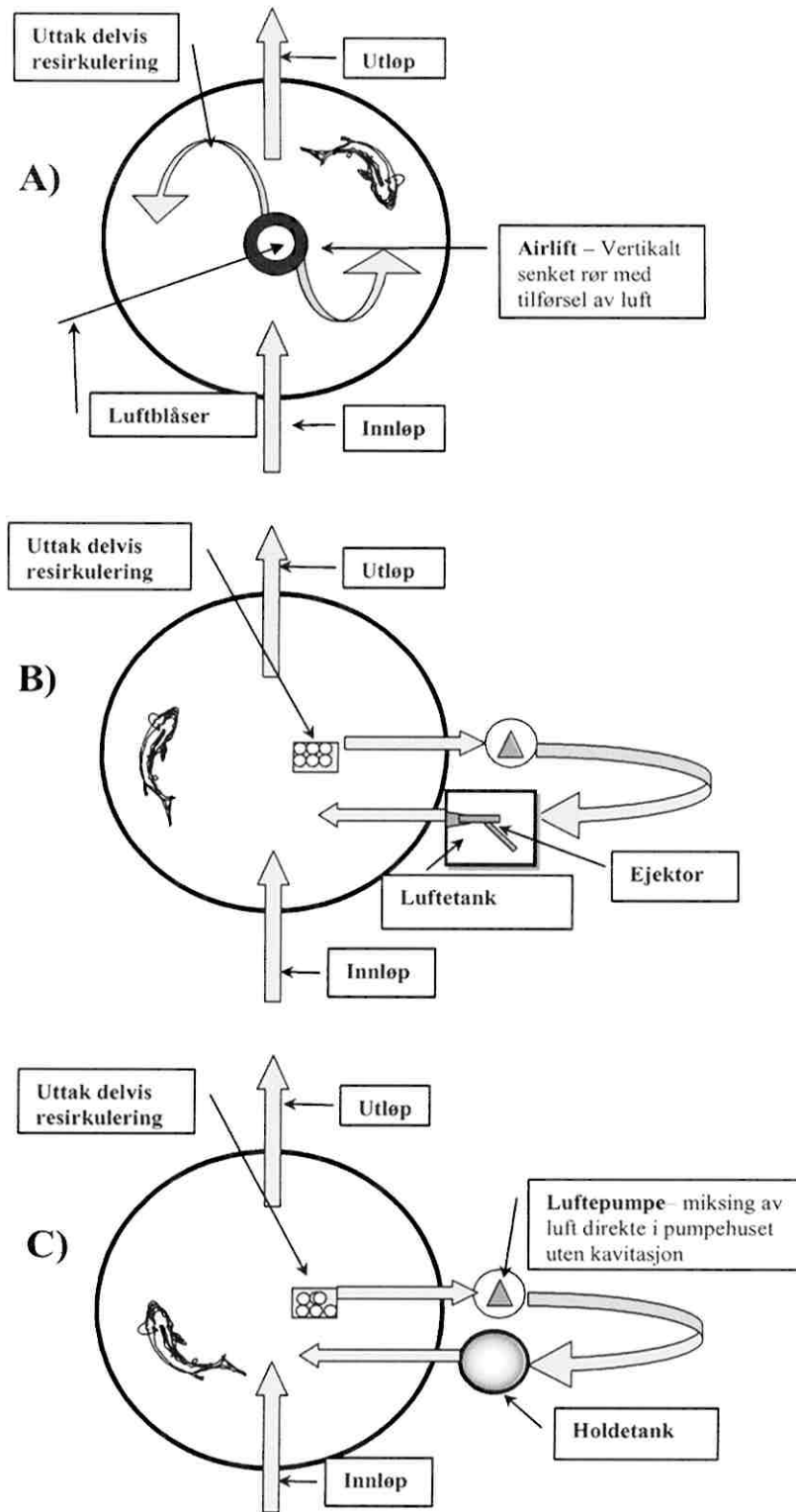
Tidligere var dette den vanlige oppdrettsteknologien i Norge, men anses i dag for å være lite konkurransedyktig på grunn av lav produktivitet, og teknologien er i dag betraktet som uaktuell for framtidig smoltproduksjon. Teknologien er imidlertid skissert i Figur 3.



Figur 3. Prinsipp-skisse av gjennomstrømningskar i settefiskproduksjon.

Det finnes i dag flere ulike metoder for å tilsette oksygen og å fjerne CO₂ fra oppdrettskar. De tekniske løsningene er imidlertid basert på de samme fysiske prinsipper for mekanisk lufting og fjerning av metabolske gasser. Det anbefales imidlertid her, at oksygen tilsettes i hovedrørstokken, og at det ligger mulighet for å tilsette ekstra oksygen direkte i oppdrettskaret dersom det blir nødvendig. For fjerning av CO₂ er det et generelt prinsipp at man oppnår større lufteeffekt ved å tilføre vann i luft enn omvendt, dvs. ved å tilføre luft i vannet. De vanligste teknologiene er bruk av såkalte airlifts, ejetorteknologi eller venturibaserte luftepumper (Fig. 3). Selv om de ulike teknologiene varierer i investerings- og driftskostnad, samt effektivitet, er det et generelt prinsipp at effektiviteten øker ved økende konsentrasjon av CO₂ i vannet. Det anbefales derfor at ulike typer kolonneluftere blir foretrukket ved valg av teknologi i basseng med delvis resirkulering.

4.5.2 Delvis resirkulering



Figur 4. Eksempler på de mest anvendte løsningene med delvis resirkulering i Norge.

Delvis resirkulering gjør det mulig å redusere vannforbruket og å øke fisketettheten (Fig. 4) uten bruk av såkalt biofiltrering for å oksydere ammonium/ammoniakk til nitrat. Det er benyttet tre anerkjente teknologiske løsninger for lufting av vannet i fiskekarene: A) Airlift, B) Ejektor og C) Luftepumpe. Kun ved å tilsette oksygen og å fjerne karbondioksid, kan opptil 70 % av det totale vannbehovet være resirkulert i sjøvannsanlegg (Yngve Ulgenes, SINTEF, pers. med.). For et fremtidig anlegg på Aukra vil ikke vanntilgang være en begrensende faktor. Slik teknologi vil også bidra til å redusere negative effekter på fisken ved brå endringer i sjøvannstemperaturen før oppvarming (temperatur "råvann" fra 80 m dyp) og ikke minst ved uforutsette eller planlagte driftsavbrudd. Videre vil begrenset resirkuleringsteknologi bidra til å stabilisere vannkvaliteten i oppdrettskarene, noe som igjen gjør det mulig å holde høyere tetthet av fisk.

4.6 Produksjonskapasitet

4.6.1 1000 g fisk ("super-smolt")

Produksjon av såkalt super-smolt i basseng ved 14 °C fra 100 til ca. 1000 g og deretter utsett i mæreanlegg langs kysten er framstilt i Tabell 4. Det vil kunne produseres nesten 5 generasjoner super-smolt pr. år (13 mnd.) med en middelvekt på ca. 1 kg (total produksjonstid pr. generasjon: 130 dager) ved først å benytte Ø16 m basseng fra 100 g til 375 gram og videre oppdrett i Ø20 m basseng til utsett i sjøen. Ved en maksimal tetthet på 64 kg/m³ er produksjonskapasiteten til de to bassengene (Ø16 m og Ø20 m) 100 300 smolt pr. generasjon eller over 500 000 smolt pr. år. Videre er altså det maksimale vannforbruket for de to bassengene totalt ca. 44,6 m³/min som da utgjør ca. 4 % av disponibel vannmengde før utvidelse av anlegget og under 2 % av vannmengden etter utvidelsen i 2016 (Tab. 2). Beregningene er videre basert på at oppdrettsvannet inneholder opp mot 180 % oksygenmetning og at konsentrasjonsnivåer av potensielt giftige gasser fra fiskens ekskresjon ligger innenfor anbefalte verdier (Tab. 3).

Hver generasjon av super-smolt fra to Ø16 og Ø20 m basseng utsatt i mæreanlegg gir altså grunnlag for en beregnet produksjon på 421 - 429 tonn slaktefisk med 5 kg størrelse i løpet av en total produksjonstid (100 – 5000 g) på ca. 15 mnd. Normal produksjonstid ved utsett av 1-årig vårsnolt på ca. 100 g i merdanlegg langs kysten er minimum 18 - 19 mnd. til 4 kg og dermed opp mot 2 år for 5 kg fisk (www.skretting.no). Ved utsett av høstsmolt i merdanlegg i Troms – Finnmark vil produksjonstida til 5 kg bli lenger.

Tabell 4. Produksjonsplan som bygger på kombinert oppdrett av "super-smolt" fra 100 g til ca. 1 kg i Ø16 og Ø20 m basseng og videre oppdrett til slaktestørrelse i mæreanlegg langs kysten. Landanlegg: Norske Shell, Aukra.

Generasjon land- og sjøanlegg	Antall kar stk.	Diameter kar m	Vann-nivå kar m	Volum kar m ³	Dato Inn	Dato Ut	Ant. fisk inn stk.	Størrelse inn gram	Ant. fisk ut stk.	Størrelse ut gr	Biomasse ut kg	Maks. tetthet kg/m ³	Maks. vannforbr. l/min	Maks. O ₂ tilført kg/time	Maks. O ₂ -metn. %	Høyeste CO ₂ nivå mg/l	Høyeste NH ₄ -N nivå mg/l	Førtilførsel Sum kg/generasjon	Energi Sum kWh
Generasjon 1:																			
Smolt land	1	16	4,0	804	1.jan.12	4.mar.12	107 000	100	103 700	375	38 921	48	16 085	5,2	167 %	13,2	0,98	26 025	107 663
Smolt land	1	20	5,0	1 571	4.mar.12	10.mai.12	103 700	375	100 301	1 005	100 816	64	28 560	11,7	180 %	14,8	0,98	57 709	214 712
Påvekst sjø					10.mai.12	4.apr.13	100 301	1 005	84 979	5 012	425 905							336 364	
Generasjon 2:																			
Smolt land	1	16	4,0	804	7.mar.12	9.mai.12	107 000	100	103 700	375	38 921	48	16 085	5,2	167 %	13,2	0,98	26 025	107 663
Smolt land	1	20	5,0	1 571	9.mai.12	15.jul.12	103 700	375	100 301	1 005	100 816	64	28 560	11,7	180 %	14,8	0,98	57 709	214 712
Påvekst sjø					15.jul.12	24.jun.13	100 301	1 005	84 334	5 029	424 149							334 023	
Generasjon 3:																			
Smolt land	1	16	4,0	804	12.mai.12	14.jul.12	107 000	100	103 700	375	38 921	48	16 085	5,2	167 %	13,2	0,98	26 025	107 663
Smolt land	1	20	5,0	1 571	14.jul.12	19.sep.12	103 700	375	100 301	1 005	100 816	64	28 560	11,7	180 %	14,8	0,98	57 709	214 712
Påvekst sjø					19.sep.12	2.sep.13	100 301	1 005	84 162	5 001	420 907							324 755	
Generasjon 4:																			
Smolt land	1	16	4,0	804	17.jul.12	18.sep.12	107 000	100	103 700	375	38 921	48	16 085	5,2	167 %	13,2	0,98	26 025	107 663
Smolt land	1	20	5,0	1 571	18.sep.12	24.nov.12	103 700	375	100 301	1 005	100 816	64	28 560	11,7	180 %	14,8	0,98	57 709	214 712
Påvekst sjø					24.nov.12	29.okt.13	100 301	1 005	84 549	5 004	423 092							322 552	
Generasjon 5:																			
Smolt land	1	16	4,0	804	21.sep.12	23.nov.12	107 000	100	103 700	375	38 921	48	16 085	5,2	167 %	13,2	0,98	26 025	107 663
Smolt land	1	20	5,0	1 571	23.nov.12	29.jan.13	103 700	375	100 301	1 005	100 816	64	28 560	11,7	180 %	14,8	0,98	57 709	214 712
Påvekst sjø					29.jan.13	9.des.13	100 301	1 005	85 624	5 008	428 827							327 162	

4.6.2 5000 g fisk (slaktestørrelse)

Et alternativ til kombinert produksjon på land og i mæreanlegg langs kysten er gjennomføring av hele oppdrettssyklusen fra 100 g til slaktestørrelse i basseng på land (Tab. 5). Ved å anvende til sammen syv Ø16 – 20 m basseng vil det kunne produseres 432 – 434 tonn slakteferdig laks pr. generasjon innsatt smolt (100 000 stk.) i løpet av 11 mnd. Den optimale temperaturen på 14 °C medfører at produksjonstiden blir redusert fra totalt ca. 15 mnd. ved kombinert land- og sjøbasert oppdrett (Tab. 4). De fire generasjonene innsatt smolt pr. år vil da utgjøre en total produksjon på ca. 1730 tonn laks. Maksimal tetthet i bassengene er < 70 kg/m³ for smolt og 92 kg/m³ for slaktefisk.

Ved full produksjon i de syv bassengene er det maksimale vannforbruket beregnet til totalt ca. 220 m³/min. Forbruket utgjør da ca. 21 % av tilgjengelig vannmengde før utvidelse av anlegget og ca. 8,5 % av vannmengden etter utvidelsen. Mao. kan den dimensjonerende tilgang på kjølevann etter varmeveksling anslås å gi grunnlag for en produksjon på minimum 8000 – 9000 tonn og 20 000 tonn slaktefisk hhv. før og etter utvidelse av landanlegget på Aukra.

Tabell 5. Produksjonsplan som bygger på oppdrett av smolt fra 100 g til slaktestørrelse på ca. 4,8 kg i Ø16 m, Ø18 m og Ø20 m basseng på land, Norske Shell, Aukra.

Generasjon	Antall kar stk.	Diameter kar m	Vann- nivå kar m	Volum kar m ³	Dato Inn	Dato Ut	Ant. fisk inn stk.	Skørrelse inn gram	Ant. fisk ut stk.	Skørrelse ut gr	Biomasse ut kg	Maks. tetthet kg/m ³	Maks. vannforb l/min	Maks. O ₂ tilført kg/time	Maks O ₂ -metn. %	Høyeste CO ₂ nivå mg/l	Høyeste NH ₄ -N nivå mg/l	Førtulf. Sum kg/generasjon	Energi Sum kWh
Generasjon 1:																			
Smolt	1	16	4,0	804	1.jun.12	25.mar.12	107 000	100	102 608	538	55 160	69	20 106	7,0	168	13,3	0,98	41 083	163 463
Vekstfase 1	2	18	4,5	1 145	25.mar.12	18.jun.12	102 608	538	98 345	1 526	150 122	66	41 640	15,8	179	14,6	0,99	89 227	349 906
Vekstfase 2	2	20	5,0	1 571	18.jun.12	11.sep.12	98 345	1 526	94 258	2 981	281 012	89	64 114	26,5	181	14,8	0,75	125 903	602 253
Matfisk	3	20	5,0	1 571	11.sep.12	4.des.12	94 258	2 981	90 386	4 805	434 315	92	94 248	36,9	181	14,9	0,61	151 366	875 239
Generasjon 2:																			
Smolt	1	16	4,0	804	28.mar.12	2.jun.12	107 000	100	102 556	546	56 009	70	20 106	7,1	169	13,4	0,98	41 872	166 299
Vekstfase 1	2	18	4,5	1 145	2.jun.12	14.sep.12	102 556	546	98 295	1 541	151 471	66	41 640	16,0	180	14,8	0,99	89 721	350 143
Vekstfase 2	2	20	5,0	1 571	14.sep.12	7.des.12	98 295	1 541	94 258	2 981	281 012	89	64 114	26,5	181	14,9	0,75	124 620	594 187
Matfisk	3	20	5,0	1 571	7.des.12	28.feb.13	94 258	2 981	90 432	4 781	432 374	92	94 248	36,8	181	14,9	0,61	149 422	863 193
Generasjon 3:																			
Smolt	1	16	4,0	804	24.jun.12	17.sep.12	107 000	100	102 556	546	56 009	70	20 106	7,1	169	13,4	0,98	41 872	166 299
Vekstfase 1	2	18	4,5	1 145	17.sep.12	10.des.12	102 556	546	98 345	1 526	150 122	66	41 640	15,9	180	14,8	0,99	88 438	344 626
Vekstfase 2	2	20	5,0	1 571	10.des.12	3.mar.13	98 345	1 526	94 354	2 941	277 512	88	64 114	26,2	181	14,8	0,75	122 497	585 579
Matfisk	3	20	5,0	1 571	3.mar.13	27.mai.13	94 354	2 941	90 432	4 781	432 374	92	94 248	36,8	180	14,8	0,61	152 827	886 705
Generasjon 4:																			
Smolt	1	16	4,0	804	20.sep.12	13.des.12	107 000	100	102 608	538	55 160	69	20 106	7,0	168	13,4	0,98	41 083	163 463
Vekstfase 1	2	18	4,5	1 145	13.des.12	6.mar.13	102 608	538	98 445	1 497	147 401	64	41 640	15,6	179	14,7	0,99	86 643	338 883
Vekstfase 2	2	20	5,0	1 571	6.mar.13	30.mai.13	98 445	1 497	94 354	2 941	277 512	88	64 114	26,2	180	14,7	0,74	125 081	601 701
Matfisk	3	20	5,0	1 571	30.mai.13	23.aug.13	94 354	2 941	90 432	4 781	432 374	92	94 248	36,8	180	14,8	0,61	152 827	886 705

4.7 Produksjonskostnad

Kostnadene for produksjon av de to alternativene, 1) Kombinert produksjon av “super-smolt” i landbasseng med påfølgende utsett i merdanlegg langs kysten, og 2) Landbasert oppdrett i basseng på land til slaktestørrelse er framstilt i Tabell 6.

4.7.1 Kombinert land- og sjøbasert produksjon

Det er her beregnet at produksjon av stor smolt (“super-smolt”) i basseng fra 100 g til 1005 g koster 26,84 NOK/fisk (Tab. 6). Beregningen bygger på at anskaffelse av smolt på 100 g for rekruttering i bassengene koster 10,32 NOK/fisk (inkl. dødelighet), mens førkostnaden er 7,67 NOK, lønnskostnad og strømforbruk utgjør 5,52 NOK og øvrige kostnader 3,30 NOK/fisk.

Ved utsett i merder vil da rekruttering av stor smolt utgjøre 6,32 NOK/kg produsert fisk (33 %), mens altså kostnaden for førforbruket er 7,50 NOK/kg fisk (39 %) og den totale produksjonskostnaden utgjøre 19,11 NOK/kg produsert fisk fra 1 kg til 5 kg.

4.7.2 Produksjon på land

Den totale produksjonskostnaden er 21,62 NOK/kg fisk til slaktestørrelse fordelt med 11,4 % til anskaffelse av smolt, 41,3 % til fôr og 21,2 % til forbruk av strøm. Øvrige utgifter til lønn, drift, finansiering og forsikring av fisk utgjør da til sammen 26,2 % av produksjonskostnaden.

Med andre ord vil kombinert produksjon i land- og sjøanlegg komme ut med lavere produksjonskostnad – 19,11 NOK/kg – sammenlignet med landbasert produksjon til slaktestørrelse beregnet til 21,62 NOK/kg. Forskjellen er altså 2,51 NOK/kg eller ca. 12 %.

Ved tradisjonelt oppdrett basert på utsett av smolt i mærer på ca. 100 g til slaktestørrelse var den gjennomsnittlige produksjonskostnaden av rund fisk i Norge i 2010 20,00 NOK/kg (www.fiskeridirektoratet.no).

Tabell 6. Beregnet produksjonskostnad for slakteferdig laks på 4,8 – 5,0 kg ved 1) Kombinert produksjon av “super-smolt” (1 kg) på land og videre oppdrett i mærer, og 2) Landbasert produksjon fra smolt på 100 g til slaktefisk. Landanlegg: Norske Shell, Aukra.

Type kostnad	Kombinert land- og sjøbasert oppdrett		Landbasert oppdrett	
	Enhetskostnad	Kostnad, NOK/kg produsert fisk	Enhetskostnad	Kostnad, NOK/kg produsert fisk
Smolt	26,84 NOK/fisk*	6,32	10,00 NOK/fisk**	2,46
Fôr	9,50 NOK/kg	7,50	9,50 NOK/kg	8,92
Forsikring		0,15		0,15
Lønn	500 000 NOK/årsverk	1,69	500 000 NOK/årsverk	1,15
Strøm	-	-	1,00 NOK/kWt	4,58
Avskrivning		1,16		1,92
Øvrig driftskostnad		2,00		1,00
Netto finanskostnad		0,29		1,44
Totalt		19,11		21,62

*: “Super-smolt” levert fra basseng på Shells anlegg. Beregningsgrunnlag: se tekst

** : Smolt 100 g satt ut i basseng

- : inkludert i produksjonskostnad for smolt

5 Andre arter

De dominerende oppdrettsartene i Norge er laks og regnbueørret, men det har i de senere år vært et økende fokus på nye arter slik som torsk, kveite, piggvar, kråkeboller og hummer. Kommersiell produksjon av hummer er helt i startfasen og er en av de nye artene det er knyttet stor interesse til. Hummer har alltid vært sett på som en av de store delikatessene fra sjøen og dette bidrar til å øke interessen for intensiv produksjon. Da denne arten har et relativt høyt temperaturoptimum og omsettes for svært høy markedspris, omtales kun hummer i dette kapittelet.

5.1 Hummer

Hummerfisket har tradisjoner tilbake på 1600-tallet og ble tidligere høstet i stort antall. Hummerfisket var en lukrativ handelsvare og fikk stor betydning i kystområdene, særlig på Vestlandet og Sørlandet. Hard beskatning og feil forvaltning i norske farvann medførte imidlertid til at hummerbestanden kollapset og er i dag er på et minimum. Fangstene avtok dramatisk etter 1960-tallet og på begynnelsen av 1990 - tallet var de nede i et historisk lavmål på rundt 25 - 30 tonn per år (Agnalt, 2008). I 1996 utgjorde den norske fangsten bare 1 % av den totale fangsten i Europa, samtidig som det øvrige totale fangstkvantumet var relativt stabilt. Sammenbruddet i bestanden har ført til at hummer i dag vurderes som en utrydningstruet art. Det finnes ingen enkel forklaring på hummerens negative fangst- og bestandsutvikling, men trolig er det en kombinasjon av sterkt fiskepress og feil forvaltningsstrategi, sammen med mulige forandringer i miljøforholdene som kan ha påvirket rekrutteringen negativt. Norge ligger helt nord i hummerens utbredelsesområde, og lave vanntemperaturer om sommeren kan også ha ført til redusert larveproduksjon.

Kultivering av europeisk hummer ble først prøvd i Frankrike omkring 1865 (Herrick, 1911), mens det har blitt klekt og produsert amerikansk hummer i USA siden 1885. Hummeren er meget hardfør, den har en enkel og kort larveperiode, spiser naturlig og kunstig produsert fôr og veksten øker betydelig i oppvarmet vann. Den har god resistens mot sykdommer og er akseptert som gourmetmat stort sett over hele verden. Alle disse egenskapene gjør det interessant å kultivere hummer. Interessen for å styrke bestanden av hummer har ført til at det er blitt satt ut hummerlarver og yngel i Norge i mer enn 100 år, og det viser seg at utsatt hummer overlever og bidrar i betydelig grad til det lokale fisket (van der Meeren, 2000). I 1970 startet Tidemanns Tobaksfabrikker et samarbeid med SINTEF oppdrett av ettårig yngel til utsetting og bestandsstyrking (Borthen *et al.* 1998). I 1981 ble det bygget et hummerklekkeri på Kyrksæterøra i Hemne, og frem til 1988 ble nesten 200 000 yngel produsert og satt ut langs norskekysten. På grunn av manglende oppfølging og merking har ingen klare svar kommet ut av dette. I 1989 ble derfor klekkeriet på Kyrksæterøra overtatt av Havforskningsinstituttet, og fra 1990 og til 1994 var virksomheten finansiert av Program for Utvikling og Stimulering av Havbeite (PUSH).

I naturen klekkes hummeren normalt på sommeren, men den kan klekkes i anlegg nesten året rundt ved hjelp av lysmanipulering av dag - natt syklus og endringer i vanntemperatur. Det er en tilnærmet lineær sammenheng mellom inkubasjonsperioden til hummeregg og summen av gjennomsnittlig månedlig vanntemperatur (Branford, 1978 a,b). Det har blitt estimert at ved en temperatur på 10,4 °C tar det ca. 335 dager før

klekking (ca. 3480 døgngrader). Ved en temperatur på 20 °C vil det da kun ta ca. 5,7 mnd før klekking, men forsøk har vist at det oppnås en høyere overlevelse og bedre kvalitet på yngelen etter klekking dersom mordyrene gjennomgår en periode med lave temperaturer (Wickins & Lee, 2002). Overlevelse og vekst av hummerlarver påvirkes av en rekke miljøparametere slik som temperatur, oksygenkonsentrasjon, salinitet og lys. Temperaturen er likevel den parameteren som påvirker veksten mest og dermed også frekvensen av skallskifter. Høyest vekst er registrert ved temperaturer mellom 18 – 20°C, men en ytterligere økning av temperaturen medfører lavere overlevelse. Hummer er derfor en god kandidat for oppdrettsproduksjon knyttet til spillvarmekilder som Aukra representerer.



Figur 5. Kvitsøyhummer klekket samtidig, men oppdrettet i ulikt vannmiljø (venstre) og anvendt produksjonsteknologi (høyre) (foto: Norwegian Lobster Farm AS).

Oppdrett av hummerlarver ved høy temperatur og med tilstrekkelig mengde fôr med riktig næringsmessig innhold kan forbedre vekst og overlevelse i stor grad. Tiden det tar å nå 4. stadium (bunnslått hummeryngel) er sterkt knyttet til temperaturen. I naturen trenger hummerlarvene omkring 30 dager for å nå 4. stadium ved temperaturer som er lavere enn 15 °C, mens det i et intensivt dyrkningssystem tar 10 - 15 dager å nå dette stadiet ved optimal fôring. Startfôring av hummerlarver foregår på forskjellige måter, men det er vanlig er å holde larvene i det samme systemet frem til 4. stadium. Larvene er da ca. 15 - 20 mm lange og klare for bunnslåing og en bentisk tilværelse (Uglem, 1995). Hummeren er kannibal og det er mest gunstig å holde larvene i separate rom under hele produksjonsprosessen. Vanligvis blir imidlertid larvene produsert i store enheter hvor et stort antall larver er sammen. I et slikt system brukes enten kraftig lufting eller sterk vannsirkulasjon, samt at det overføres for å begrense kannibalisme. Etter bunnslåing, dvs. når larvene har nådd 4. stadium blir de overført til enkeltkammer.

5.1.1 Kontrollert intensiv produksjon av porsjonshummer

Høye og fortsatt økende hummerpriser og ny teknologi for resirkulering og rensing av sjøvann, gjør at oppdrett av hummer til matstørrelse kan ha muligheter til å bli en lønnsom næring. Porsjonshummer er definert i lengde og vekt til ca. 250 - 300 g og 18 - 20 cm. Minstemålet for fangst av villhummer er i dag 25 cm, og porsjonshummer representerer derfor et nytt sjømatprodukt i markedet. Det har siden 2000 vært jobbet

med å klarlegge potensialet for produksjon av porsjonshummer i resirkulert sjøvann på Kvitsøy i Rogaland (i.e. Kristiansen *et al.* 2004; Drengstig *et al.* 2009). Resultatene er lovende, men viser at god lønnsomhet utelukkende er betinget av den teknologiske løsningen som velges i produksjonen. Også ut fra beregninger gjennomført av KPMG (2003), vil landbasert oppdrett av porsjonshummer utvilsomt kunne bli lønnsom industri. Dette forutsetter at de nødvendige tiltakene blir gjennomført i en prioritert og riktig rekkefølge, samt at kommersialisering/industrialisering først skjer når næringen besitter nødvendig erfaring og kunnskap (trinnvis oppbygging). Til tross for å være en biologisk robust og relativt enkel art i oppdrett, er hummeren kannibal og må drettes opp i enkeltbur. Hummer setter derfor store krav til teknologisk design på oppdrettskonseptet. Hummer krever også et optimalt og stabilt oppdrettsmiljø (vannkvalitet, vanntemperatur, fôr, etc.) for å oppnå god vekst. Lønnsomhet i landbasert oppdrett av hummer forutsetter en høyest mulig produksjon innenfor en gitt investeringsramme for faste eiendeler. Å satse på rett anleggsløsning og en god produksjonsplan er i så måte viktig for å lykkes med oppskalering av produksjonen. På den andre siden kan det være nødvendig å starte i liten skala for å skaffe seg de nødvendige erfaringer med arten.

5.1.2 Økonomi

Selskapet Norwegian Lobster Farm AS er fremst i verden når det gjelder kompetanse og produksjonserfaring knyttet til industriell produksjon av hummer. Det er foretatt omfattende økonomiske beregninger knyttet til lønnsomhet for oppdrett av porsjonshummer i landbaserte systemer. Det har imidlertid vært utfordrende å skaffe til veie nok risikokapital for utbygging av kommersielle anlegg i Norge. Likefullt representerer arten et betydelig verdiskapingspotensial dersom offentlig regelverk og øvrige betingelser i Norge hadde stimulert til denne type radikale innovasjoner innenfor nye marine arter. Nedenfor er et enkelt budsjett presentert for en årlig produksjon av 120 tonn porsjonshummer, dvs. totalt 11 oppdrettskar hvorav åtte kar produserer porsjonshummer, to kar produserer yngel 2 og ett kar produserer yngel 1 (Tabell 7).

Beregningene bygger på følgende forutsetninger:

Årlig produksjonskapasitet vil da være:

- 120 tonn porsjonshummer
- Inntil 96 000 yngel 1 i overskudd
- Inntil 147 000 yngel 2 i overskudd

Budsjettet legger til grunn en konservativ utsalgspris for porsjonshummer på 300 kr/kg. Basert på salgserfaringer med porsjonshummer, er det rimelig å anta at salgsprisen inkl. frakt vil ligge på 500 kr/kg + mva. Små forbedringer i førsammensetning kombinert med seleksjon av stamdyr, kan redusere produksjonstiden med ca. 30 %. Redusert produksjonstid og høyere kilopris vil øke driftsinntektene og resultatmargin tilsvarende. I budsjettet er det også lagt inn at overskuddsyngel selges for ca. 100 kr/kg. Totalt investeringsbehov inklusiv driftskapital frem til første salg av porsjonshummer er kalkulert til i underkant av 90 MNOK.

Fra år 3 og videre utover er inntjeningen uendret da anlegget vil ha en jevn produksjon. Ytterligere utvidelser kan skje gjennom organisk vekst eller ved å gjennomføre nye

kapitalutvidelser. Tidsrammen fram til ønsket produksjonsvolum er nådd avhenger derfor i stor grad av hvilken finansieringsmodell som velges.

Tabell 7. Forenklet kalkyle over Inntekter – Kostnader – Driftsresultat ved produksjon av porsjonshummer og yngel (se forutsetninger over). Enhet: NOK.

	År 1	År 2	År 3	År 4
Inntekter:				
Salg Yngel 1	24 080	48 160	48 160	48 160
Salg Yngel 2	0	737 453	737 453	737 453
Salg Porsjonshummer	0	0	36 175 360	36 175 360
Øvrige driftsinntekter	2 500 000	1 800 000	1 000 000	1 000 000
Sum	2 524 080	2 585 613	37 960 973	37 960 973
Variable driftskostnader:				
Yngel	78 568	78 568	78 568	78 568
Lønn	2 000 000	2 500 000	3 500 000	3 500 000
Fôr	229 013	1 845 423	2 180 895	2 180 895
Energi	1 671 062	1 671 062	1 671 062	1 671 062
Salg og markedsføring	100 000	300 000	500 000	500 000
Frakt og distribusjon	0	0	1 700 000	1 700 000
Uforutsett	300 000	300 000	550 000	550 000
Sum	4 378 643	6 695 053	10 180 525	10 180 525
Dekningsbidrag	-1 854 563	-4 109 440	27 780 447	27 780 447
Faste kostnader:				
Vedlikehold	400 000	700 000	1 200 000	1 200 000
Uforutsett	480 000	480 000	1 480 000	1 480 000
Sum	880 000	1 180 000	2 680 000	2 680 000
Driftsresultat (før avskrivninger)	-2 734 563	-5 289 440	25 100 447	25 100 447
Avskrivninger:	5 968 000	5 968 000	5 968 000	5 968 000
Sum	-8 702 563	-11 257 440	19 132 447	19 132 447

6 Konklusjon

Oppdrett av stor smolt av laks ("super-smolt) til ca. 1 kg størrelse for videre utsetting i merder i sjøen gir det høyeste produksjonspotensialet og de laveste produksjonskostnadene. Ved anlegget på Aukra, vil anvendelse av varmeveksling og tilsetning av oksygen i basseng på land utnytte den tilgjengelige energien i kjølevannet mest effektivt og gi grunnlag for en produksjon på hhv. 50 000 og 100 000 tonn slaktefisk. Produksjonskostnadene er lavere enn gjennomsnittlig for tradisjonelt oppdrett i merder langs kysten.

En hel produksjonssyklus fra 100 g smolt til 5 kg slaktefisk i basseng på land reduserer produksjonsvolumet til om lag 1/5 del og medfører høyere produksjonskostnader.

Varmeveksling av kjølevannet vil eliminere den nåværende oppvarming av vannet ved utslippsstedet på 42 m i sjøen.

Hummer har meget høy markedspris og en optimal produksjonstemperatur på 18 – 20 °C. Intensiv produksjon av hummer basert på nyutviklet teknologi kan derfor også være en alternativ utnyttelse av deler av den tilgjengelige energien.

7 Referanser

- Agnalt, A.-L. 2008. Stock enhancement of European lobster (*Homarus gammarus*) in Norway; Comparisons of reproduction, growth and movement between wild and cultured lobster. Dr. scient. thesis, Department of Biology, University of Bergen, Norway.
- Alabaster, J.S. & R. Lloyd. 1982. Water Quality Criteria for Freshwater Fish. 2nd Edition. Butterworths. 361 p.
- Borthen, J., Agnalt, A. L., Nøstvold, E. M & J. Sørensen. 1998. Havbeite med hummer. Artsrapport, PUSH-programmet. Norges Forskningsråd.
- Branford, J. R. 1978a. Incubation period for the lobster *Homarus gammarus* at various temperatures. *Mar. Biol.* 47, 363-368.
- Branford, J. R. 1978b. The influence of day-length, temperature, and season on the hatching rhythm of *Homarus gammarus*. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 58, 639-658.
- Colt, J. 2006. Water quality requirements for reuse systems. *Aquacult. Eng.* 34, 143-156.
- Drengstig, A., Drengstig, T., Agnalt, A.-L., Jørstad, K. & E. Farestveit. 2009. Utvikling av metoder for stabil produksjon av hummeryngel med gode vekstegenskaper. 42 s. (<http://www.rup.no/downloadfile.aspx?type=process&file=932>)
- Fiskehelserapporten. 2011. Helsesituasjonen hos laksefisk (red.: Anne Berit Olsen). Veterinærinstituttet, Oslo, 1. mars. 2012.
- Forsberg, O.I. 1995. Farming of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in land-based flow-through tanks: studies of fish growth, metabolic rates, water quality and optimal production strategies. Dr. philos. Thesis, Univ. of Bergen. 215 pp.
- Herrick, F. H. 1911. Natural history of the American lobster. *Bull. U.S. Comm. Fish.* 29: 149-408.
- KPMG. 2003. "Planmessig igangsetting av nye arter i oppdrett". (http://www.regjeringen.no/upload/kilde/fid/rap/2003/0004/ddd/pdfv/181729-nye_arter_kpmg.pdf)
- Kristiansen, T. S., A. Drengstig, A. Bergheim, T. Drengstig, R. Svensen, I. Kollsgård, E. Nøstvoll, E. Farestveit & L. Aardal. 2004. Development of intensive farming methods for the European lobster (*Homarus gammarus* L.) in recirculated seawater. Results from experiments conducted at Kvitsøy Lobster Hatchery from 2000 to 2004. *Fisken og Havet, 6 – 2004, Institute of Marine Research, Bergen, 52 pp. ISSN 0071 – 5638.*
- RF. 2003. Hydrographical monitoring emphasising dissolved oxygen in Norwegian and Canadian cage farms 2002 (authors: Bergheim, A., Gausen, M., Næss, A., Hølland, P.M., Molversmyr, Å. & Ø. Tvedten). *Report RF – 2003/031.*
- Rosten, T., Y. Ulgenes, K. Henriksen, B. Fyhn Terjesen, E. Biering & U. Winther. 2011. Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg – forprosjekt. *Rapport SINTEF, A 21169. 76 s.*

Skretting, 2004. Veksthastighet for oppdrettslaks i Norge. (forfatter: Øyvind J. Korsøen).

Tangen, K. 2012. Prosjekt overlevelse fisk. *Norsk Veterinærtidsskrift*, 3/2012.

Thorarensen, H. & A. P. Farrell. 2011. The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture*, 312, (1-4),1-14.

Uglen, I. 1995. Håndbok i hummeryngeloppdrett, Havforskningsinstituttet, Bergen, Norway. 68 s.

van der Meeren, G. I. 2000. Predation on hatchery-reared lobsters released in the wild. *Can. J. Fish. Sci.* 57, 1794-1803.

Wickins, J. F. & Lee, D'O. 2002. *Crustacean Farming – Ranching and Culture*. Blackwell Science.

Vedlegg

