



RF – Rogalandforskning. <http://www.rf.no>

Erfaringer og resultater fra dyrkning av kamskjell yngel ved Kårstø

RF-2001/030



RF – Rogalandforskning. <http://www.rf.no>

Vår referanse: 654821	Forfatter(e): Harald Berland, Troels Jacobsen	Versjonsnr. / dato: Vers. 1 / 15.03.01
Ant. sider: 35	Faglig kvalitetssikrer: Odd Ketil Andersen	Gradering: Åpen
ISBN: 82-490-0094-3	Oppdragsgiver(e): NFR/Fylkeskommunen	Åpen fra (dato):
Forskningsprogram: REGINN	Prosjekttittel: Erfaringer og resultater fra dyrkning av kamskjell yngel ved Kårstø	

Emne:

Denne rapporten beskriver de erfaringer og resultater som ble oppnådd i driftsperioden ved pilot anlegget på Kårstø innen REGINN prosjektet: Matproduksjon i en energibasert synergikjede.

Prosjektet omfattet en oppbygging av skjellanlegget, innkjøring av anlegget, utføring av eksperimenter med kamskjell yngel og en storskala algeproduksjon på land.

Emne-ord:

Kamskjell yngel – alge dyrkning – spillvarme - vekstanlegg

RF - Rogalandforskning er sertifisert etter et kvalitetssystem basert på NS - EN ISO 9001

Prosjektleder
Troels Jacobsen

for RF - Rogalandforskning
Troels Jacobsen

Innhold

1	FORORD	I
2	INNLEDNING	II
3	SAMMENDRAG	1
4	BESKRIVELSE AV ANLEGGET.....	3
4.1	Alge dyrkning fasiliteter.....	4
4.2	Skjell anlegget	4
4.3	Andre forhold og fasiliteter	4
5	PROSEDYRER OG METODER	5
5.1	Algedyrking.....	5
5.2	Skjelldyrking	6
6	FORSØK/MÅLINGER	7
6.1	Temperaturmålinger	7
6.2	Dyrking av alger.....	9
6.3	Vekstforsøk for kamskjell	12
6.4	Skjell migrasjon.....	15
6.5	Erfaringer ved skjelldyrking ved Kårstø	16
7	APPENDIX	17
7.1	Medier/kjemikalier	17
7.2	Dimensjoneringsark skjell og algedyrking.....	19
7.3	Skjellvekst	20
7.4	Risiko punkter ved drift.....	22
8	REFERANSER OG LITTERATURSØK	26

1 Forord

Prosjektet ”Matproduksjon i en ernergibasert synergikjede” ble tildelt midler fra Norges Forskningsråd under REGINN-programmet. Prosjektet ble gitt projektnr. 126499.

Prosjektet har vært et samarbeid mellom offentlige etater, næringsliv og FoU miljøer i Rogaland. Helt fra innovasjonsanalysen startet i 1997 til prosjektavslutning i år 2000 har samarbeidet mellom over nevnte vært drivkraften bak det arbeidet som er blitt utført.

Rapport inneholder erfaringer fra driftsperioden og faglige resultater fra ulike forsøk som ble utført ved Skjellforsk (Kårstø).

Vi vil med dette takke alle prosjektdeltakere og styringsgruppen for den støtte som har blitt vist gjennom hele prosjektet. Øyvind Strand ved HI og Thorolf Magnesen ved UiB som har bidratt med verdifulle hjelp gjennom prosjektet. En spesiell takk rettes til Kurt Hølland Hervik, som har sørget for en profesjonell håndtering av den daglige driften ved anlegget.

Troels Jacobsen

Prosjektleder for driften

Mars 2001

2 Innledning

Rammene omkring prosjektet er beskrevet i en utvidet årsrapportering som ble sent til REGINN program styre i desember 2000. Denne rapport vil omhandle faglige resultater og ulike erfaringer som er blitt gjort i løpet av prosjektperioden

Det tok mindre enn 6 måneder fra pilot anlegget ble besluttet bygget til det stod ferdig. I denne fasen var det et tett samarbeid mellom Stiftelsen Polytec og RF omkring dimensjonering av anlegget. Prosjektledelsen ble under selve byggingen av anlegget foretatt av UMEO AS.

En fullstendig design rapport av anlegget er forfattet av Polytec. RF har i denne prosessen bidratt med bakgrunnsmateriell for ulike dimensjonerings. I tillegg finnes en dokumentasjonsperm for oppbygging av hele prosjektet som er forfattet av UMEO olje og gas.

Under design fasen var spesielt problemstillingene omkring varmeutnyttning og kontroll av anlegget en utfordring. Omfang av de tekniske løsningene for varmestyring av spillvarme fra Kårstø, ble av økonomiske årsaker besluttet å være enkelt utformet. Det ble derfor ikke investert i varme gjenvinning systemer og lignende. Dette skulle vise seg å få betydning for den fremtidige driften av anlegget.

Da yngel anlegget stod ferdig i januar 2000 var det tilgjengelig ca. 8 måneder til å utføre de planlagte forsøkene. Dette medførte store utfordringer fordi rutiner og tekniske løsninger måtte bli overprøvd i samme periode som anlegget mottok skjellpartiet med 250 000 yngel.

Prosjektet ble innledet med et litteraturstudie og besøk av anlegg i Trøndelag og i Irland. HI og Scalpro ble involvert som kvalitetssikrere av prosjektet.

3 Sammendrag

I løpet av januar måned ble det lagt vekt på å få frem en alge blandingskultur med dominans av diatomeen *Skeletonema*. Kulturen ble dyrket i utendørs kar på 25 og 50 m³, med kunstig belysning og under konstant lufttilførsel. Som dyrkningsmedium ble Rød Superb benyttet som næringssalt, mens Na-vannglass ble brukt som en kilde til silikat (Appendix 6.1). Dyrkingsmetoden med silikat favoriserer generelt diatomeer som bruker silikat i oppbyggingen av bokser som utgjør algenes cellevegg. Når også næringssalter og lys blir tilsatt i rett mengde vil overskuddet av silikat gjøre at disse algene dominerer kulturen med sin høye veksthastighet. Mediesammensetningen favoriserte veksten av algen *Skeletonema* til den dominerte blandingskulturen med en konsentrasjon på ca. 250 celler/μl. Fra fire 25 l plastposer som var inokkulert med sjøvann ble algene oppskalert til det gradvis ble oppnådd en stabil kultur på ca. 150 m³.

Skjellvalget ble i første omgang avgrenset til å omfatte stort kamskjell (*Pecten Maximus*). Et parti på ca. 250.000 kamskjellyngel ble fraktet fra Scallpro i Øygarden den 7.02.00 med båt ned til vekstanlegget ved Kårstø. Kamskjellene hadde en skjellhøyde på ca. 2 mm og ble fraktet til anlegget i 25 våte kaffe filter. Et antall på ca. 5000 skjell ble overført til skjellkasser med 0,5 mm netting i bunn.

De neste månedene ble brukt til innkjøring av anlegget, etablere rutiner og oppnå en stabil produksjon. Dette innebar bla. en gjennomgang av alarmsystemet for temperatur og vannivå i skjellrennene, innstilling av vannstrømsnivå, innstilling av alge resirkuleringsgraden i skjellrennene og etablere rutiner for røkting av skjell og alger. For algedyrkingsdelen omfattet røktingen overvåking av antall alger, alge sammensetning, vekstforløp og måling av pH og temperatur. Skjellveksten ble hele tiden registrert og en klar differensiering mellom skjell ble observert i skjellpartiet. Skjellene som vokste best oppnådde i denne perioden (feb-mar) en relativ daglig tilvekst på 2,8 % noe som tilsvarer det en kan forvente ved 15°C (Laing 2000). Tilveksten for skjell i størrelsesgruppen mindre enn 5 mm ble ikke registrert før etter sortering den 06.06.00 (tabell 2). I denne perioden inneholdt skjellpartiet mange små (<5 mm) skjell, noe som medførte at det var vanskelig å bedømme den totale dødligheten i partiet. På bakgrunn av det vi kunne observere, ble det antatt at dødligheten var liten i denne perioden.

Alt fra desember måned ble det montert flere temperaturfølere for kontinuerlig måling i inntaksvannet, i algekarene og i skjellrennene. Fra april til mai måned startet Statoil tilkoblingen av Åsgård feltet. Dette ble registrert som et temperaturfall og senere som hyppige temperatur variasjoner i inntaksvannet til skjellanlegget. Den automatisk temperaturloggeren registrerte en temperatursvingning som i løpet av et døgn kunne variere fra 15°C til ca. 25°C. En dialog for varsling av eventuelle forventede temperatursvingninger ble opprettet mellom Skjellforsk og Statoil, slik at tiltak mot store temperaturendringer kunne bli utført. I tillegg ble et av algekarene på 50m³ benyttet som et temperatur bufferkar. Statoil endret sine varslingsrutiner, slik at temperaturendringene som ville komme i inntaksvannet skulle bli varslet skjellanlegget på forhånd. Selv om det ble innarbeid rutiner for å holde vanntemperaturen stabil har

det i driftsperioden oppstått kritiske temperatursvingninger. Installering av temperaturfølere i anlegget var derfor til stor hjelp for å avdekke temperatursvingningene som forekom i løpet av Åsgard oppstarten (fig. 1).

I henhold til FOU biten ble det i perioden april-mai startet et vekstforsøk med ulike fôrregimer. Planen var at dette forsøket skulle strekke seg ut over hele veksttiden for skjellpartiet. Forsøket ble imidlertid avsluttet tidligere enn planlagt på grunn av temperatur variasjonene som forstyrret forsøket. Andre forsøk som "skjell migrasjon" ble også startet ut over sommeren, men ble etter kort tid avsluttet av samme grunn som vekstforsøket. Den relative daglige tilveksten sank raskt i denne perioden (april-mai) og endte etter temperaturfallet på 0,65% per dag (figur 7). Dette var imidlertid forventet ut fra en vanntemperatur som i perioden var 8-10 °C (Laing 2000). I perioden juni til august forble temperaturen ustabil med lengre perioder uten tilførsel av temperert vann. Tilveksten sank ytterligere og utover høsten var den lavere enn 0,2% per dag. En økt dødelighet ble observert i hele sommer perioden og skjellkassene måtte ofte rengjøres for å hindre at det oppstod dårlig vannkvalitet. For å ytterligere minske stressfaktoren ovenfor skjellene ble algemengden til skjellrennene redusert.

For å dekke det antatte plassbehovet ble det allerede tidlig samme vår bestilt to ekstra skjellrenner. Dobbeltrennen ble lagd i sjøvannsbestandig aluminium og var ca. 5m lang, 0,8m dyp og 1m bred. Slik forholdene var i slutten av juli ble imidlertid ikke disse rennene tatt i bruk til skjell dyrking.

Ut over høsten var fortsatt temperaturen i inntaksvannet ustabil og Statoil mente at dette ville vare til ut våren neste år. En gruppe av skjellene hadde da oppnådd en skjell størrelse på ~20-30mm (ca. 10.000 stk.) og det ble bestemt at skjellene skulle selges siden produksjonsvilkårene under disse temperaturforholdene var svært ustabile. Dette skjellpartiet ble i løpet av september overtatt av Myklabust Havbruk og plassert i mellomkultur. De resterende skjellene som var for små til mellomkultur ble destruert og anlegget ble vasket ned og stengt. Aktiviteten ved anlegget har siden vært begrenset til ettersyn og vedlikehold.

Konklusjon; Ved anlegget ble det i den stabile driftsperioden oppnådd en tilfredstillende skjellvekst med diatomeer som fôr. En reduksjon av temperaturen i produksjonsvannet førte til en forventet reduksjon av skjellveksten. En antatt effekt av de ustabile driftsforholdene var en totalt økt skjell dødelighet i anlegget.

4 Beskrivelse av anlegget

Anlegget på Kårstø, også beskrevet som Skjellforsk, ble dimensjonert til å være et pilotanlegg som skulle demonstrere hvilke muligheter som ligger i dyrkning av østers- og kamskjell yngel i oppvarmet vann. Anlegget ble plassert i et egnet område utenfor gassterminalen på Kårstø. Området ble valgt på bakgrunn av et spillvarme uttak som opprinnelig skulle brukes i et jordoppvarmingsprosjekt. Spillvarmen var imidlertid ikke tatt i bruk da pilotanlegget ble planlagt.

Anlegget ble bygd med et utendørs alge produksjonsanlegg, en uisolert plastikk hall for dyrking av skjell og et oppholdsrom til mikroskopering, analyse- og kontorarbeid (figur 1). Anlegget ble bygd over to plan, med algeproduksjonsdelen ca. 1,5m over skjellhallen.



1. Figur 1. Anlegget sett fra sør vest. De runde tanke er alge karene med skjellrennene plassert i den grønne plast hallen. Barakkene inneholder kontor, laboratoriet og teknisk rom med luftblåser og vann fordelingsystemet.

En av forutsetningene ved starten av prosjektet var at anlegget skulle være rimelig enkelt og eventuelt flyttbart, siden det var konseptet med bruk av spillvarme til yngel oppdrett som skulle demonstreres. Det ble på bakgrunn av dette prioritert å benytte det naturlige vanntrykket fra Kårstø fremfor å installere pumper ol.

4.1 Alge dyrkning fasiliteter

Anlegget består i dag av utendørs tanker til dyrkning av alger (se fig. 1), et rørfordelings system mellom alge karene og skjellhallen, system for næringssalt dosering og et røroppsett til luftning og tilførsel av varmt vann. Alge karene består av 2 tanker på 50 m³ og 4 tanker på 25 m³. I tillegg er det et algedyrkingssystem i skjellhallen med plass til seks algeposer på 30 l, som kan brukes til dyrking av monokulturer.

4.2 Skjell anlegget

Skjelldyrkingsfasilitetene ligger i en plast hall som inneholder en avgassningsdel, et oppsamlingskar for inntaksvannet, slurrytank for alger, næringssalt tanker, doseringspumper, skjellrenner og noen algedyrkingsfasiliteter.

Skjellrennene ble bygd av vannfaste forskalingsplater i tre som var svært anvendelig til dette formålet. Størrelsen på rennene er 2 x 0,6 x 0,8 m (L:B:H). I den senere tid ble det også bygd en dobbel sjøvannbestandig aluminiumsrenne på 5 x 0,6 x 0,8 (L:H:B). I hver renne var det plass til 2-4 stabler med 8 skjellkasser på 0,6 x 0,6m i hver renne. Det ble til sammen bygd 4 dobbelrenner med en samlet kapasitet på ca. 170 skjellkasser.

4.3 Andre forhold og fasiliteter

Det oppvarmede sjøvannet blir ledet fra Kårstø anlegget via et 8'' rør til skjellanlegget. Inntaksvannet blir deretter fordelt til skjellhallen og til alge karene. Når vannet ankommer anlegget har det et overtrykk på ca. 0,6 bar. På bakgrunn av vanntrykket og bruk av rett rørdimensjon, var det mulig å transportere vannet rundt i anlegget uten bruk av pumper. Maksimal vannstrøm til et av algekarene ble målt til > 500 l/min.

I anlegget er det installert to luftblåsere som kan forsyne hele anlegget med luft. Luften ble brukt til å holde algekulturene i suspensjon og til å drive mammutpumpene (luft som løfter vann gjennom rør) som sørget for vannsirkulasjon i skjellrennene. Dette er en svær enkelt og effektiv måte, der vannstrømmen blir generert ved å løfte vannet noen centimeter v.h.a. luft.

I tillegg består anlegget av enkelte bolig barakker som ble brukt til kontor og laboratoriet. Et alarm system med en telefonsentral overvåker endringer i vanntemperatur, oksygen og trykk. Grunnlaget for hvilke alarmer som var ansett som viktig er beskrevet i appendix 7.4.

5 Prosedyrer og metoder

5.1 Algedyrking

5.1.1 Prosedyre for oppstart av nye algekulturer.

All algedyrking begynte med å pøde 25 l algeposer med inokkulum fra mindre 250 ml kolbe kulturer. Podingsvolumet ble i alle veksttrinnene holdt mellom 5-10 %.

Kolbene ble tilført steriltfiltrert sjøvann, næringsalter og eventuelt vitaminer før de ble inokkulert med en *Skeletonema* eller en *Isochrysis* kultur (Appendix 6.1). Kolbene ble tilført luft via en akvariepumpe og satt ovenfor lys (8*36 W) ved ca. 10°C. Inokkulumet for blandingskulturen med *Skeletonema* bestod av 250 µm filtrert sjøvann, mens *Isochrysis* g. kulturene ble inokkulert med en labbkultur fra Akvamiljø.

I det siste dyrkingstrinnet fra algeposer til algekar ble ikke kulturene forsøkt holdt som ”rene” algekulturer. Det ble istedenfor lagt vekt på å selektere for den riktige algen via ulike dyrkingsbetingelser. Organismer og partikler over 50µm ble imidlertid filtrert bort fra inntaksvannet. Algene ble med denne metoden dyrket til en minimumstetthet på ca. 100-1000 alger/µl..

5.1.2 Blandingskultur med *Skeletonema*.

Dyrking av *Skeletonema* var bassert på en naturlig alge oppblomstring og seleksjon ved hjelp av næringssalter (Rød Superb blomstergjødsel) og silikat (Na-vannglass). Ønsket blandingsforhold av N:Si:P var ca. 8:8:1 (Egge 1993), noe som gav en tilnærmet bruksløsningskonsentrasjon av næringssalter og silikat på henholdsvis 0,25/0,29 L/m³ (Appendix 7.1.1). Utskiftingsraten ble satt til 3 døgn (vann utskifting av et karvolum) i kar med god lufttilførsel og vann omrøring. Det ble normalt brukt to eller tre algekar til denne produksjonen.

5.1.3 Flagellater

Kulturer av *Isochrysis galbana* fra forskningscenteret Akvamiljø ble dyrket i algeposer på *Rhinomonas* kultur medium (Appendix 6.1). Deretter ble det benyttet Rød Superb, vitaminløsning og ca. 10% ferskvann (Appendix 6.1).

Det ble også forsøkt å dyrke flagellater på bakgrunn av en naturlig oppblomstring av fototrofe/heterotrofe flaggellater. Som inokkulum ble det benyttet en utgått *Skeletonema* kultur, foruten de betingelsene som ble brukt for dyrking av algen *Isochrysis galbana*. Det ble normalt brukt et algekar til denne produksjonen.

5.1.4 Daglig rutine og metode, alger

I tillegg til måling av pH, vanntemperatur og oksygen, ble antall alger og algenes kondisjon daglig registrert ved mikroskopering av algekulturene. Observasjonene ble loggført og innslag av andre alger registrert. Ved siden av å mikroskopere algene utviklet det seg raskt en erfaring angående algenes kondisjon og når kulturen måtte fornyes. Algekarene ble regelmessig rengjort før hver oppstart en ny algekultur "batch" (ca. hver 11 dag).

Ved oppstart av en ny "batch" ble vann fra en tidligere kultur podet over i et nytt kar, før en i løpet av 1 døgn lot karet bli fylt med vann. Næringsalter og silikat ble tilført kontinuerlig via doseringspumper i rett mengde mot utskiftingsraten (Appendix 7.1.2) eller tilsatt porsjonsvis manuelt.

5.2 Skjell dyrking

5.2.1 Utsett av kamskjell i skjellhallen

Kamskjellyngel ble overført til skjellkasser og fordelt i rennene med varsom børsting. Skjellrennene ble forberedt ved å senke den totale vanngjennomstrømningen til et minimum (ca. 15 l/min), slik at skjellene kunne feste seg. Hver skjellkasse ble tilført ca. 5000 skjell og plassert i stabler på 10 kasser, der den øverste og den nederste kassen var uten skjell. Skjellene ble plassert mørkt og ble ikke føret med alger før etter 1-2 døgn. Temperatur og saltholdigheten ble overvåket og justert med økende vannstrøm der dette var nødvendig.

5.2.2 Daglig rutiner skjell

Som for algene ble også pH, temperatur og oksygenivået kontrollert i skjellrennene. Gjennomstrømning og tilførsel av alger og varmtvann ble normalt justert slik, at vannsirkulasjonen var ca. 120 l/min, total vanntilførsel 90 l/min., gjennomstrømningshastighet 58 cm/min., algenivået på 20 alger/ μ l og temperaturen til ca. 15°C. Til føring ble det bare benyttet "friske" alger i oppadgående vekst (eksponensiell vekstfase) med antatt høyest næringsverdi innhold. Skjellkassene og rennene ble rengjort etter behov, normalt hver 7-14 dag. Kassene ble spylt forsiktig med vann fra rennene og plassert i vann til rennen var blitt rengjort.

De første sorteringene av skjellpartiet startet når en voksende skjellmengde hadde oppnådd en størrelse på 8-10 mm. Til dette ble det brukt en sikt for å separere 2-5 mm skjell fra skjell >8mm. Utover i sorteringsarbeidet ble de største skjellene håndplukket og lagt i egne kasser. Med utgangspunkt i ca. 5000 skjell pr. kasse fungerte sorteringsarbeidet som en fortykning. Antallet i hver kasse ble imidlertid forsøkt justert i forhold til skjellhøyden (Appendix 5.2). Innslag av døde/døende skjell ble regelmessig fjernet fra rennene.

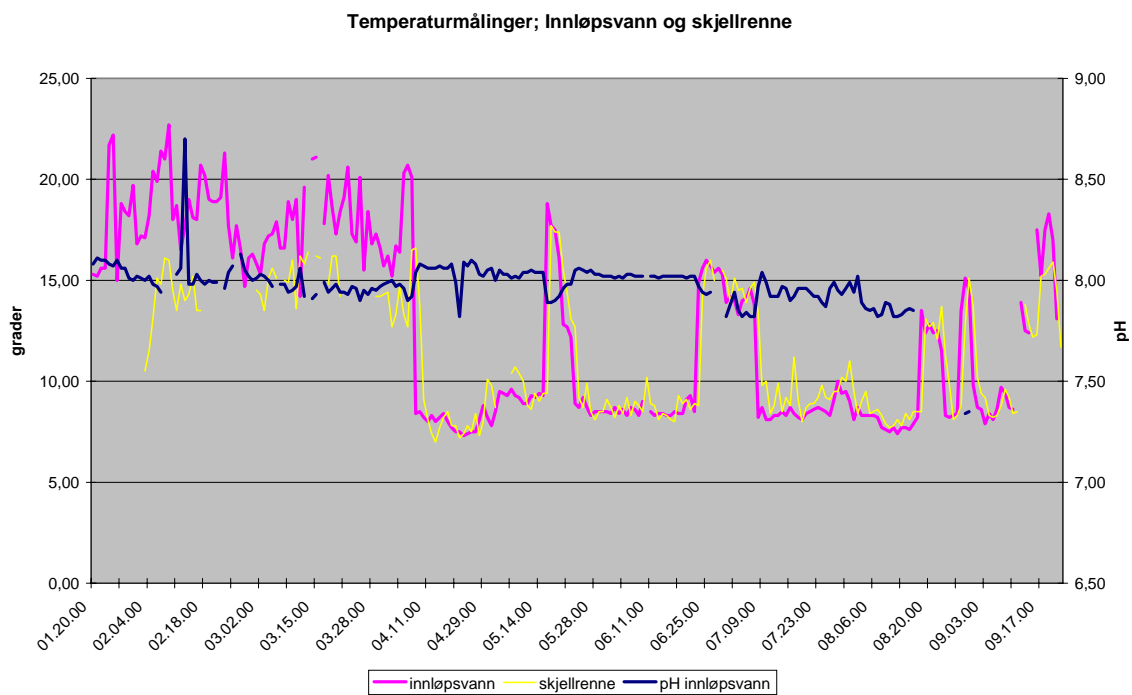
Tilstanden til skjellene ble forsøkt kartlagt ved å studere eventuelle endringer av skjellene under lupe. Ved endringer og ved økt dødelighet ble friske og dårlige skjell

fiksert på formalin eller plassert direkte i -20°C frys for en eventuell videre undersøkelse.

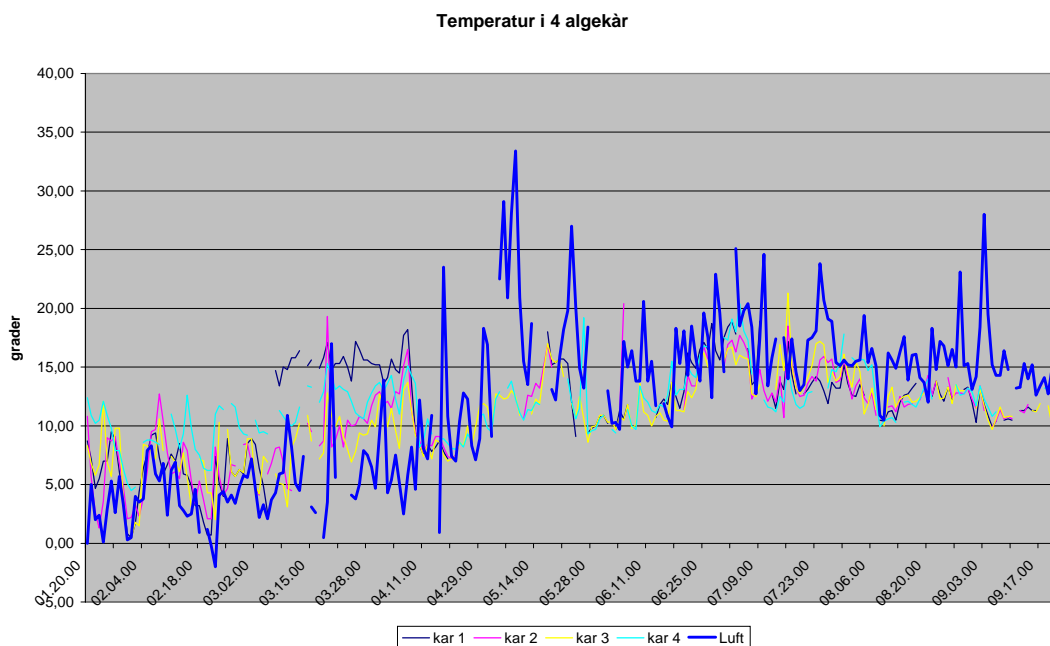
6 Forsøk/målinger

6.1 Temperaturmålinger.

Temperatur utgjør en viktig parameter for å kunne oppnå en optimal skjellvekst. Ved anlegget ble det derfor installert temperaturloggere som i tillegg til manuelle målinger overvåkte vanntemperaturen i skjellrennene, i inntaksvannet og i algekarene.



Figur 2. Daglig manuell måling av temperatur og pH over tid i skjellrennene og i inntaksvannet.



Figur 3. Automatisk logging av luft- og vanntemperaturen i fire algekår. Kar 1 og 2 på 50 m³ og kar 3 og 4 på 20 m³. Kar 4 er innebygd med plast. Måleintervall; per 20 minutt.

6.1.1 Resultat/diskusjon temperatur

Det viste seg raskt at temperaturen i inntaksvannet varierte betydelig ut fra ”normalt” 17°C. I midten av april ble det registrert et temperaturfall i innløpsvannet fra ca. 16°C til 8°C. Temperaturfallet var en indirekte konsekvens av oppstarten av Åsgård feltet (fig.2). Temperaturen holdt seg lav til ut sommeren og høsten, med bare kortere perioder med varmere vann. De kortere periodene som oppsto kunne i løpet av et døgn gi en variasjon av temperaturen på ca. 8°C på under 4 timer (ikke vist). I de tilfellene skjellanlegget ble varslet om dette på forhånd, ble det benyttet et alge bufferkar, slik at temperatursvingningene ble dempet og fordelt over tid. Svingningene førte allikevel til problemer, spesielt om sommeren da kjøling via luft og luftgjennomstrømning av bufferkaret gav liten effekt. Uten andre former for eksterne kjølemuligheter var det ikke mulig å unngå en temperaturøkning i skjellrennene.

Luftsystemet som ble brukt for å oppnå en vannsirkulasjon i algekarene førte i enkelte tilfeller til store endringer av vanntemperaturen (figur 3). Vannsirkulasjonssystemet førte spesielt til en effektiv nedkjøling av vannet i algekarene når lufttemperaturen var lav. Under en normal vannutskifting på 3 døgn var effekten av luftsystemet størst for de minste algekarene. Når lufttemperaturen oversteg 10°C, var temperatur effekten i alge karene svært liten.

Et av algekarene (kar 4) ble bygd inn for å undersøke om dette førte til en temperaturovinst som kunne benyttes. Effekten av tak over karet medførte en gevinst på 5°C for lufttemperaturer under 10°C. Karet ble senere benyttet til oppstartning av nye

”batcher”, spesielt ved kalde dager når vannutskiftingen ble satt lav for å unngå en utvasking av algene. Karet ble også benyttet til dyrking av den mer ”varme kjære” flagellaten *Isochrysis g.* når lufttemperaturen var lav.

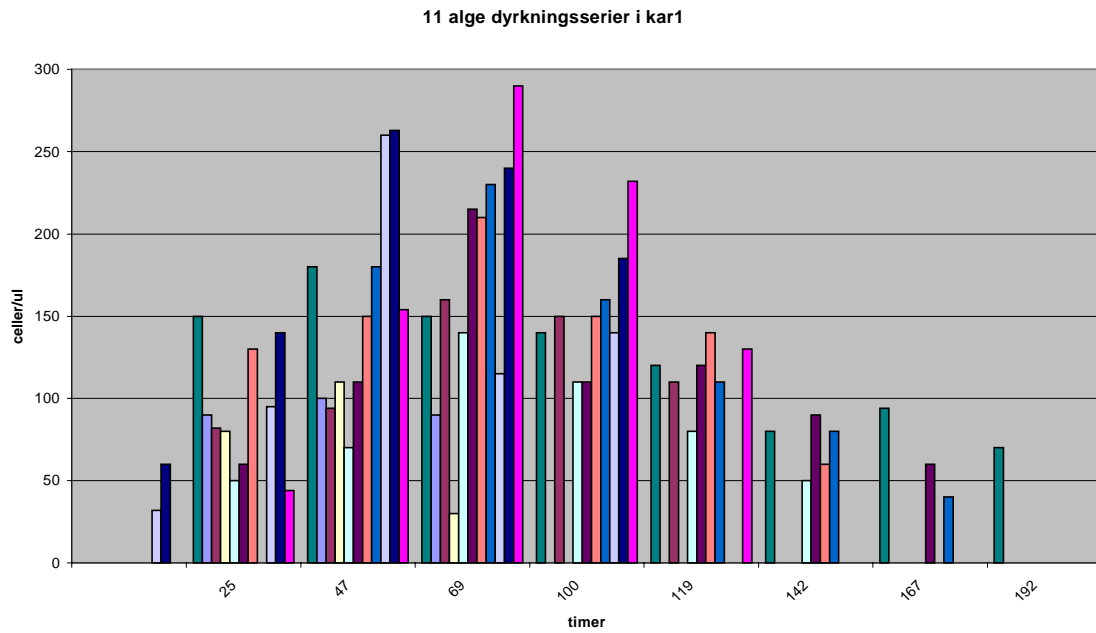
6.1.2 Erfaringer

Temperaturvariasjonene som skyldes oppstarten av Åsgård feltet ble ikke forespeilet oss før anlegget sto klar til drift. Det ble av denne grunn ikke satt av midler på budsjettet til noen form for automatisk eller manuell temperaturregulering av inntaksvannet ved anlegget.

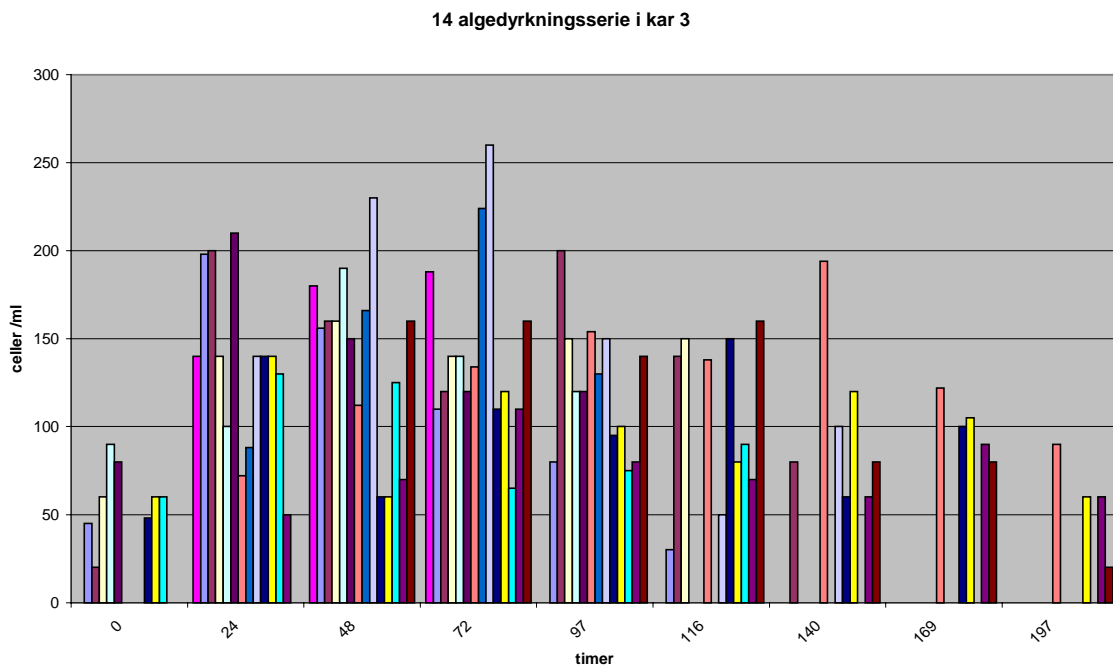
Som forventet endret temperatursvingningene vekstvilkårene til skjellene. De ustabile driftsforholdene medførte også at mer tid måtte brukes til røkting av skjellene. Temperatursvingningene medførte ingen betydelige endringer i driften av algedyrkingsdelen. Kulturene ble dyrket som før og seleksjonspresset mot andre alger ble opprettholdt.

6.2 Dyrking av alger

Dyrking av alger som før til skjell er i mange tilfelle tidkrevende og krever en tett og kontinuerlig oppfølging. Det kreves derfor gode rutiner for å kunne opprettholde et stabilt algesystem i storskalaformat. Felles for alle er å opprettholde et størst mulig seleksjonspress mot andre alger enn de selekterte. I anlegget ble det av driftsmessige hensyn satset på å bruke en blandet algekultur med diatomeer som basis før til skjellyngelen.



Figur 4. Biomasse diagram for 11 vekstgrupper av en blandet algekultur av *Skeletonema*. Dyrket i 50m³ kar med >1000W kontinuerlig lystilførsel. Dyrkingsperiode 17.03-21.09.00.



Figur 5. Biomasse diagram for 11 vekstgrupper av en blandet algekultur av *Skeletonema*. Dyrket i 20m³ kar med >750W kontinuerlig lystilførsel. Dyrkingsperiode 17.03-21.09.00.

6.2.1 Resultater/diskusjon algedyrking

Ved å bruke en "semikontinuerlige" algedyrkingsteknikk med *Skeletonema* ble det etter 2-3 døgn oppnådd en maksimal algetetthet på ca. 450 alger/ μ l. Kulturene ble dominert av diatomeer med ca 60-70% innslag av *Skeletonema*. I de få tilfellene der diatomeene ikke dominerte algekulturen, ble hele kulturen forkastet fremfor å bruke algene som fôr til skjellene. Normalt ble en alge "batch" med diatomeer ikke dyrket lengre enn ca. 8-10 dager, litt avhengig lysforholdene.

6.2.2 Erfaring med algedyrking

Erfaringene fra dyrking av *Skeletonema* i blandingskultur er gode. Bare seleksjonspresset ble holdt oppe med overskudd av silikat, dominerte diatomeene algekulturen. Diatomeene var forholdsvis lett å holde ved like og bruk av Rød Superb og kunstig lys gav en tilfredstillende stabil algevekst.

Større utfordringer var det å holde en flaggellatkultur med *Isochrysis g.* stabil over tid. Kulturene krevde et rikere og mer avbalansert næringsmedium (appendix 7.1.3) og den var mer følsom ovenfor temperatursvingninger. Flagellatkulturene hadde en tendens til å vokse seint og det var vanskelig å opprettholde et høgt celletall (< 50 celler/ μ l). Et vanlig problem med flagellatkulturene var forurensing av andre og mer hurtigvoksende alger som diatomeer. For å favorisere vekst av flagellater ble inokkulumet holdt større enn vanlig (>20%).

Lettere var det å holde en blandingskultur av autotrofe og heterotrofe flagellater stabil. Disse krevde imidlertid et silikat utarmet medie (brukte en utgått *Skeletonema* kultur). Næringsverdien av denne kultur for skjellene var usikker og bakterieantallet i kulturen var høgt. Den ble derfor vurdert som uegnet som fôr til skjellene.

I løpet av våren og sommeren medførte den økende dagslengden til økt veksthastighet for de fototrofe algene. Dette medførte at det var vanskeligere å regulere utskiftingsraten til kulturene. En markant økning i alge veksten måtte hurtig kompenseres med økt vannutskifting og næringstilførsel, for å unngå en stagnasjon av kulturen. Som en sikkerhet ble det i denne perioden opprettholdt et ekstra sikringskar med alger i tilfelle noen kulturer skulle kolapse. Generelt kan en si at algekar med lite vannvolum kuliminerte raskere en kar med stort vannvolum. Om vinteren var ikke dette noe stort problem. Lysmengden var delvis konstant og vekstraten var stabil. I enkelte kuldeperioder ble det også benyttet et algekar med plasttak for å oppnå en noe raskere algevekst. I denne perioden ble det brukt et større inokkulum for å hindre innslag av andre uønskede alger.

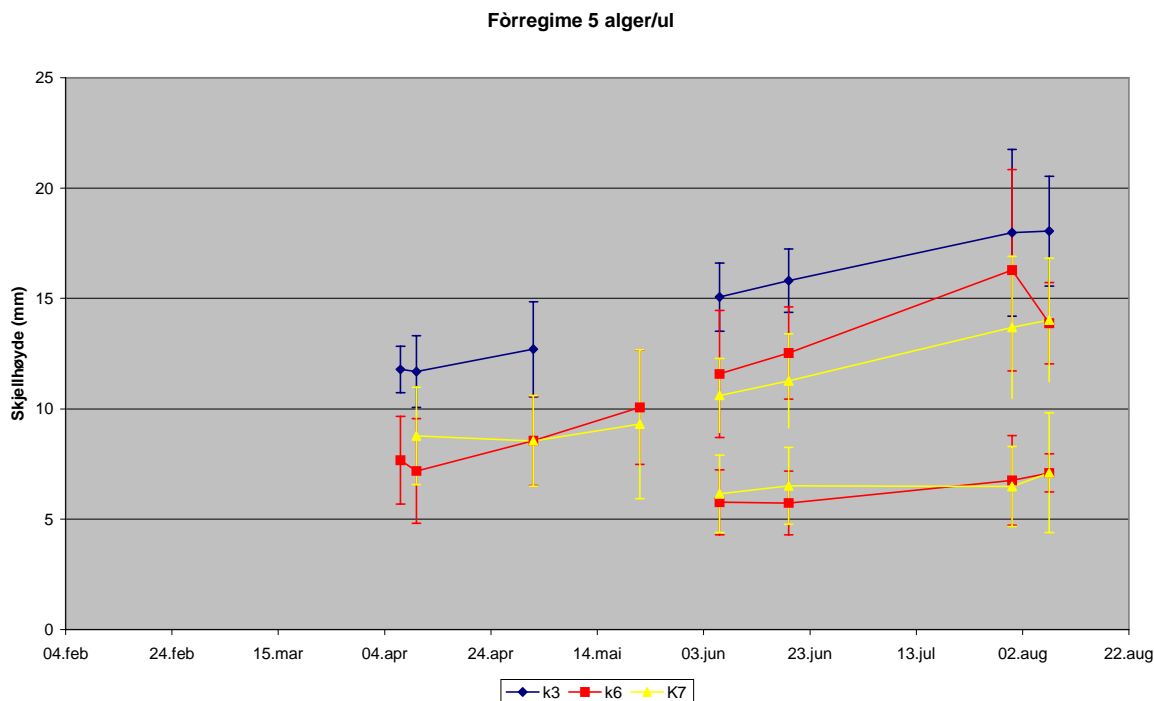
6.3 Vekstforsøk for kamskjell

Et vekstforsøk ble startet for å kartlegge vekstpotensialet til anlegget for kamskjell. Skjellveksten ble målt ved å fotografere skjellene for så å bestemme skjellhøyden via dataprogrammene Photoimpact 4 og Uthsca Image tool. Et utvalg på ca. 30 skjell fra hver kasse ble størrelsesevaluert. Metoden ble benyttet til å detektere skjellhøyder fra ca. 5mm.

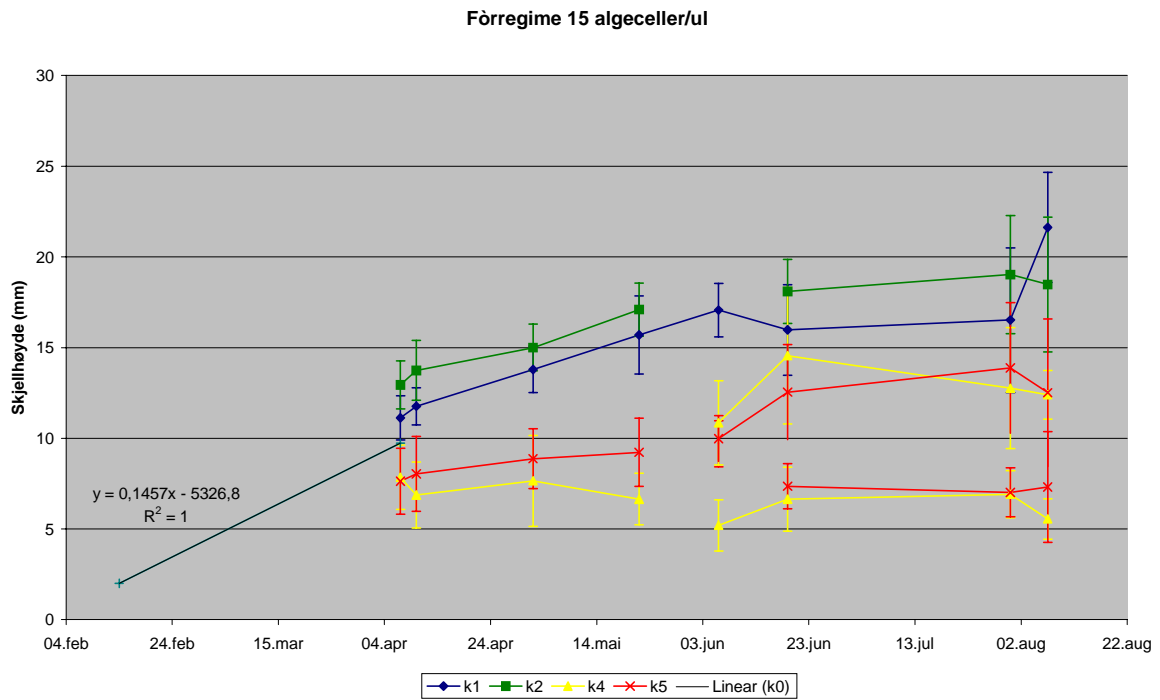
Forsøksoppsett: Skjellene er fordelt på to skjellrenner (volum 800 l).

Før regime	5 algeceller/ μ l	15 algeceller/ μ l
Resirkulering (%)	75	75
Vannutskifting (l/min.)	35	35
Antall skjell pr. kasse.	Varierer etter størrelse ¹⁾	Varierer etter størrelse
Antall kasser	16	16
Skjellvekst målt i kasse nr.	K: 3, 6, 7 + 6a, 7a	K: 1, 2, 4, 5 + 4a, 5a

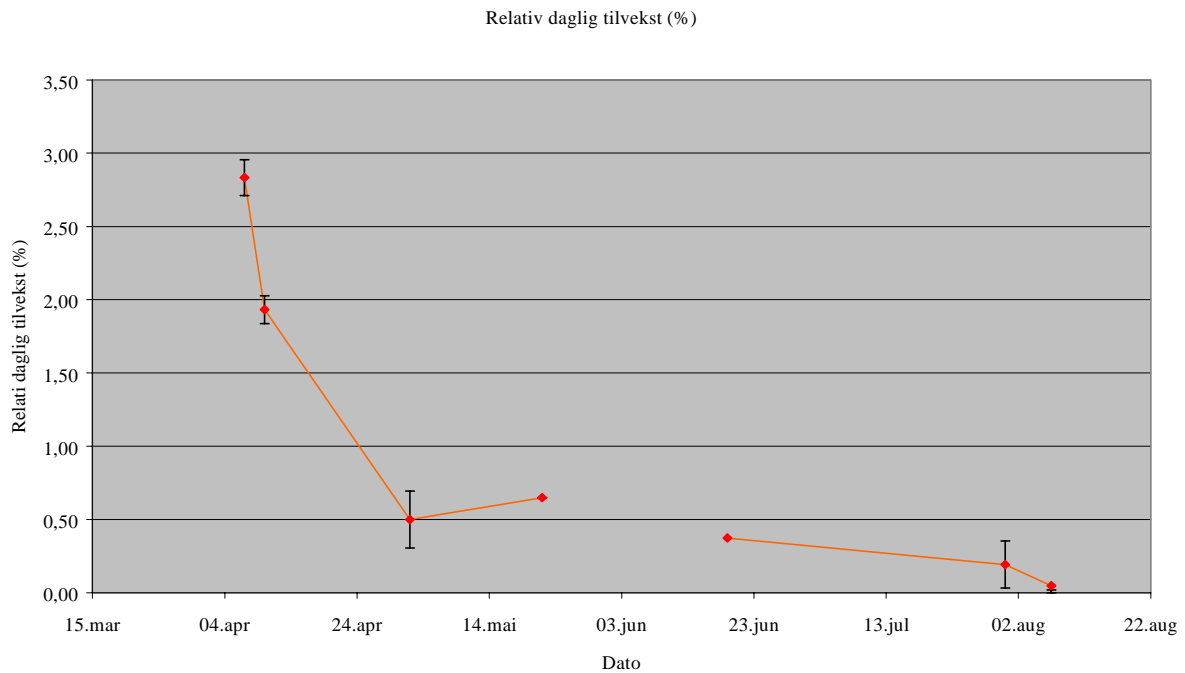
a= sortert dato: 06.06. Kasse 1, 2 og 3 var sortert før forsøkstart.1) se appendiks 7,2.



Figur 6. Skjellvekst i perioden 14. Februar til 7. August. Førregime 5 alger/ μ l for føringsgruppene; K3 sortert 20.03.00, K6 og K7 sortert 06.06.00.



Figur 7. Skjellvekst i perioden 14. Februar til 7. August. Førregime 15 alger/µl for føringsgruppene; K1 og k2 sortert 20.03.00, K4 og K5 sortert 06.06.00.



Figur 8. Den relative daglige tilveksten i de ulike periodene mellom 4. Apr til 7. Aug, n=1000 skjell.

Gjennomsnitt veksthastighet mm/dag og relativ tilvekst (%/dag) for ulike skjellgrupper					
Skjellgruppe	Før sortering (k4, k5, k6, k7)	Etter sortering (k4 ⁽¹⁾ , k5, k6, k7)		”Referanse” k1, k2, k3	Før temp. fall (k0) estimert
Sortert	Ikke sortert	06.06.00		20.03.00	
Tidsperiode	07.04-06.06	06.06-07.08		10.04-07.08	14.02-07.04
Skjell (n) per skjellkasse k.	~3000	2500	500	500	500-3000
Skjellhøyde	2-10mm	< 10 mm	> 10mm	> 10mm	2-10mm
Førregime 5 alger/μl	0,033 (0,37%)	0,018 (0,28%)	0,046 (0,37%)	0,050 (0,35%)	
Førregime 15 alger/μl	0,014 (0,16%)	-0,02 (-0,12%)	0,033 (0,29%)	0,066 (0,42%)	0,15 (3%)*

*Beregnet ut fra en skjellstørrelse fra starten på 2mm. (1; Sortert 22.05)

Tabell 2. Veksthastighet i mm/dag, relativ daglig tilvekst (%/dag), til kamskjell over perioden 14. Februar til 7. August. Temperaturfall den 06.04.00.

6.3.1 Resultat/diskusjon vekstforsøk kamskjell

Det kommer klart frem at veksthastigheten var høyere før temperaturfallet i inntaksvannet enn etter (tabell 2). En temperaturreduksjon på ca. 60% førte til en reduksjon av veksthastigheten på ca. 60-70%. Temperaturreduksjonen endret derfor forutsetningene for å kunne belyse vekstpotensialet til anlegget over en lengre periode.

Den estimerte gjennomsnittlige tilveksten før temperaturfallet på 0,15 mm/dag var overens med tidligere vekstmålinger for *Pecten Maximus* ved 12 °C (Laing, 2000). Ser vi bare på gruppe k2 har denne gruppen en veksthastighet på ca. 0,19 mm/dag (omregnet fra appendix 7.3). Ian Lang hadde en tilsvarende veksthastighet ved 15-16°C, der skjellene ble dyrket med en 1:1 blanding av *Chaetoceros ceratosporum* og *Pavlova lutheri* i et antall på 25-400 celler μl⁻¹. I den samme tidsperioden ble det innen samme skjellpartiet også observert svært seint voksende skjell. Tilveksten for denne gruppen ble ikke registrert og skjellene ville normalt blitt destruert. Dette viser imidlertid at en innen ett og samme parti har skjell med svært ulike veksthastigheter.

I perioden etter temperaturfallet (mai-juni) falt veksthastigheten for begge referansegruppene på 5 og 15 alger/μl (gruppe k1, k2, k3) til ca. 0,06 mm/dag. En temperaursenking fra 18°C til 8°C endret i Laing sitt forsøk veksthastigheten fra 0,22-0,04 mm/dag (nedgang på 80%). En økning i forfaktoren gav ingen kompensering for dette veksttapet (Laing, 2000). Dette kan være med å forklare hvorfor en økt førmengde fra 5 til 15 alger/μl ikke førte til noen signifikante vekst forskjeller mellom førgruppene. Resultatene fra vekstforsøket viser at ved 8°C var en førmengde på 5 alger/μl

tilstrekkelig for å oppnå høg skjellvekst. Dette understreker at optimal vanntemperatur er avgjørende for å oppnå en høg og stabil veksthastighet.

Det var forventet at en sortering av skjellene ville utgjøre en positiv effekt mot vekst, for både store og små skjell. Dette skjedde imidlertid ikke. I vekst forsøket var det bare skjell over 10mm som opprettholdt den forventede veksthastighet ved 8 °C etter sortering. Begge førgruppene som ble sortert den 06.06. hadde også noe mindre tilvekst enn referanse gruppen. Dette kan tyde på at en oppnår en bedre tilvekst viss en sorterer bort de største skjellene tidlig i produksjonen.

Igjennom hele dyrkingstiden ble dødligheten i partiet forsøkt klarlagt. Frem til april måned ble det ikke observert noe stort antall døde skjell. Etter denne perioden ble det observert en jevn økning i døde skjell med korte (uke) innslag av høyere dødelighet. I begynnelsen låg dødligheten rundt 3 %, men økte utover sommeren til 10-15%. Ved slutten av driftsperioden antar en at den totale dødligheten var nærmere 60-70%. Inkludert i dette er et antall mindre levende skjell som ikke viste noen tegn til å oppnå en størrelse over 5 mm.

6.4 Skjell migrasjon

Bakgrunnen med forsøket var å registrere om skjell beveger seg i skjellkassene etter at de har festet seg. Hypotesen var at skjell beveger seg mot strømretningen eller plasserer seg slik at mattilgangen øker. Dette vil være en forflytning som krever at skjellene bruker energi. Har skjellene ulike strategier med henhold til størrelse, kondisjon og mattilgang (fôrregime). Spørsmålet knyttes opp mot rengjøringsbetingelsene ved røkting. Er det viktig at skjellkassene blir plassert i samme skjellrenne og i samme retning i forhold til vannstrømmen?

6.4.1 Metode

Et antall på 32 skjellkasser ble snudd i forhold til opprinnelig plassering i forhold til vannstrømmen i skjellrennen. Majoriteten av skjellene som ble brukt var i hovedsak løse og ikke fastsittende skjell. Bevegelsen til skjellene ble registrert hver uke med et digitalt kamera (Canon Power shot 600) og bildene ble behandlet i dataprogrammene Photoimpact 4 og Uthscsa Image tool. Vekst migrasjon og eventuelt dødelighet registreres.

6.4.2 Resultat

I løpet av de 14 dagene eksperimentet varte gav det ingen entydig svar på skjellenes strategi når strømforholdene endrer seg. Det ble observert en hvis migrasjon, men ikke alltid mot eller med strømretningen. Denne migrasjonen ble også observert i skjellkasser som ikke var blitt snudd i forhold til strømretningen. I sammen med økt dødelighet (observert) i kassene kan den generelle migrasjonen være et tegn på endrede forhold i skjellrennene.

Totalt sett var det i dette forsøket flere skjell som ikke flyttet på seg under de endrede strømforholdene enn skjell som migrerte. Forsøket ble endelig avsluttet den 15.08 pga. økt skjell dødelighet.

6.5 Erfaringer ved skjell dyrking ved Kårstø

Det meste av tiden ved anlegget ble brukt til røkting av skjell og alger. Rengjøring av skjellrenner og kasser må utføres ofte, spesielt når skjellene fortsatt ligger på 1mm duk. Etter at skjellene er kommet over ca. 8 mm ble duken fjernet og kassene ble rengjort normalt per 14. dag.

En forskningsassistent som passet anlegget og forsøkene brukte i gjennomsnitt ca. 4 timer/dag i tillegg til vakt ordninger i helgene.

Tilvekst og overlevelse var parametere som lett kunne registreres, verre var det med skjellkvalitet og den egentlige forutnyttelsen. Lupe og mikroskop var gode hjelpemidler, men en krever mer spesifikke indikasjoner/metoder for å bestemme et skjells kondisjon og kvalitet. En får imidlertid en aning når noe ikke er som det skal.

Det er fra oppdrettsmiljøet kjent at bruk av bare en algekultur som *Skeletonema* ikke er tilfredstillende i skjell dyrkingssammenheng. Vi benyttet en blandet kultur av *Skeletonema* som hovedfôr. Det er vel lite trolig at denne algekulturen gav optimal skjellvekst over hele dyrkingsperioden. Resultatene tyder imidlertid på at algekulturen gav en tilfredstillende skjellvekst under de driftsforholdene som var ved anlegget. Skjell på 30mm ble oppnådd med denne algekulturen.

7 Appendix

7.1 Medier/kjemikalier

7.1.1 Næringsalter og Silikat

Na. Vannglass(3,25) 38/40.

Stamløsning; 25ml/L. Bruksløsning; 0,29L/m³.

Rød Superba 7-4-21 (Fellesjøpet).

Stamløsning; 180g/L. Bruksløsning; 0,25L/m³.

7.1.2 Doseringspumper

Ved 3 døgn vannutskifting ble silikat og næringsalter doser i mengd:

Kar 20m³ (utskifting 277L/min.) NaSi/Rød Superb; 1,3\1,16 ml/min.

Kar 50m³ (utskifting 700L/min.) NaSi/Rød Superb; 3,3/2,9 ml/min.

7.1.3 Rhinomonas kulturmedie

Rogalandforskning, SOP no. EA/5-004:01

Working solution main nutrients.

EDTA (Na₂EDTA*2H₂O) 22,5g

Nitrate NaNO₃ 50g

Boron H₃BO₃ 16,8g

Phospate NaH₂PO₄H₂O 11,5g

Manganese MnCl₂*4H₂O 0,18g

Iron FeCL₃*6H₂O 0,65g

Trace elements Stock solution 0,5ml

Distilled water to 500ml. Autoclave at 121°C for 20 min. 1ml per liter final culture medium

Trace elements (Stammløsning)

Zink $ZnCl_2$	0,21g
Cobalt $CoCl_2 \cdot 6H_2O$	0,20g
Molybdenum $(NH_4)_6MO_7O_{24} \cdot H_2O$	0,09g
Copper $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0,20g

Distilled water to 100ml. Autoclave at 121°C. Working solution; 1ml/L.

Working solution vitamins

Thiamin dicloride (Vit. B ₁)	1g
Biotin (Vit. H)	5mg
Cyanocobalamin (Vit. B ₁₂)	5mg

Distilled water to 500ml. Sterile filterd. Dosage 1ml/L final culture medium.

Final culture medium

For preparation of 1L medium.

Sea water	900ml
Main nutrients and trace elements	1ml
Vitamins working solutions	1ml

Distilled sea water to 1L (included 10% fresh water)

7.2 Dimensjoneringsark skjell og algedyrking

Start antall	størrelse mm	skjell overflate cm ²	Dekning med skjell %	Antall lag av kurver	Dekning med kurver %	total areal for dyrkning m ²	Total lengde renner m	Antall kasser	Overlevelse %	Overlevelse % akkumul	Alge tetthet cells/ul	Alge volum liter	Antall skjell per kurv
150 000	2	0,03	50 %	8	50 %	0	0	3	100 %	100 %	10	149	57325
120 000	5	0,20	50 %	8	50 %	1	2	13	80 %	80 %	10	1 244	9172
105 000	10	0,79	50 %	8	50 %	4	6	46	88 %	70 %	10	6 425	2293
90 000	15	1,77	40 %	8	50 %	10	15	110	86 %	60 %	10	15 559	815
75 000	20	3,14	40 %	8	50 %	15	23	164	83 %	50 %	10	27 091	459
67 500	25	4,91	40 %	8	50 %	21	32	230	90 %	45 %	10	43 181	294
66 000	30	7,07	35 %	8	50 %	33	51	370	98 %	44 %	10	67 352	178
64 500	35	9,62	30 %	8	50 %	52	80	574	98 %	43 %	10	97 689	112
63 000	40	12,56	30 %	8	50 %	66	101	733	98 %	42 %	10	134 328	86
61 500	45	15,90	25 %	8	50 %	98	150	1086	98 %	41 %	10	177 306	57
60 000	50	19,63	20 %	8	50 %	147	226	1635	98 %	40 %	10	226 570	37

Dette regneark ble brukt som grunnlag til dimensjonering av areal behov utfra at vi ønsket å dyrke skjellene opp til ca. 4 cm lengde.

7.3 Skjellvekst

Gjennomsnitt skjellhøyde (mm). Skjellkasser (k), a-verdiene er kasser etter sortering med skjell >10mm.

Skjellkasser

Dato	k1	k2	k3	k4	k5	k6	K7	4a	5a	k6a	k7A	K0
14.feb												2
07.apr	11,12	12,94	11,78	7,85	7,63	7,67						
10.apr	11,76	13,74	11,69	6,87	8,03	7,19	8,78					9,83
02.mai	13,79	15,00	12,70	7,65	8,87	8,56	8,55					
22.mai	15,69	17,09		6,64	9,23	10,07	9,31					
06.jun	17,06		15,06	5,2		5,77	6,15	10,85	9,98	11,58	10,61	
19.jun	15,97	18,09	15,81	6,64	7,35	5,74	6,51	14,55	12,54	12,53	11,27	
31.jul	16,51	19,02	17,98	6,91	7,01	6,76	6,49	12,76	13,88	16,28	13,69	
07.aug	21,62	18,47	18,05	5,55	7,31	7,1	7,1	12,4	12,51	13,88	14,02	

Relativ daglig tilvekst (%) og tilvekst/dag (mm/dag) for hver skjellkasse. Tidsperiode (14.02-07.08).

	k1	k2	k3	k4	k5	k6	K7
Rel.tilv./dag (%)	0,54	0,29	0,35	-0,10	0,42	0,60	0,14
<10mm				-0,23	-0,01	0,33	0,23
>10mm				0,22	0,36	0,29	0,45
Tilv. (mm/dag)	0,086	0,045	0,051	-0,027	0,036	0,053	0,013
< 10mm				0,031	-0,025	0,021	0,015
> 10mm				0,025	0,041	0,037	0,055

Relativ daglig tilvekst (%) for hver føringsgruppe. Tidsperiode (14.02-07.08).

Relativ daglig tilvekst (%)

Gruppe	K1, k2	K3	K4, k5	K6, k7	K0
før sort.			0,16	0,37	3,0
5celle/ul <10mm				0,28	
>10mm		0,35		0,37	
15celle/ul <10mm			-0,12		
>10mm	0,42		0,29		

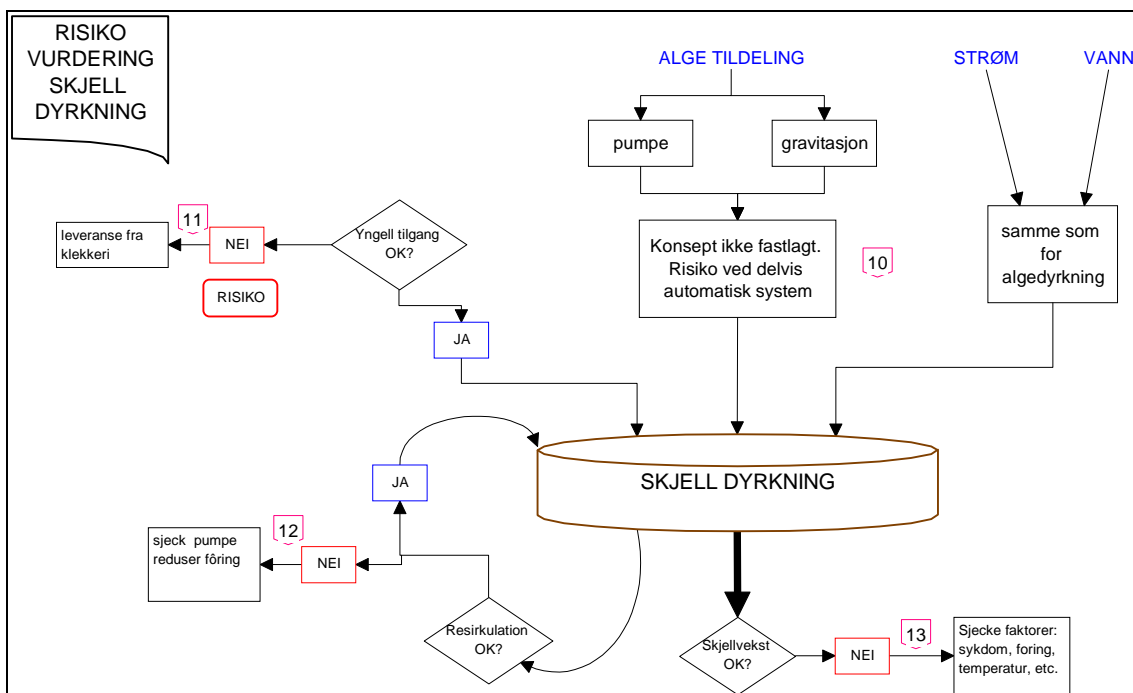
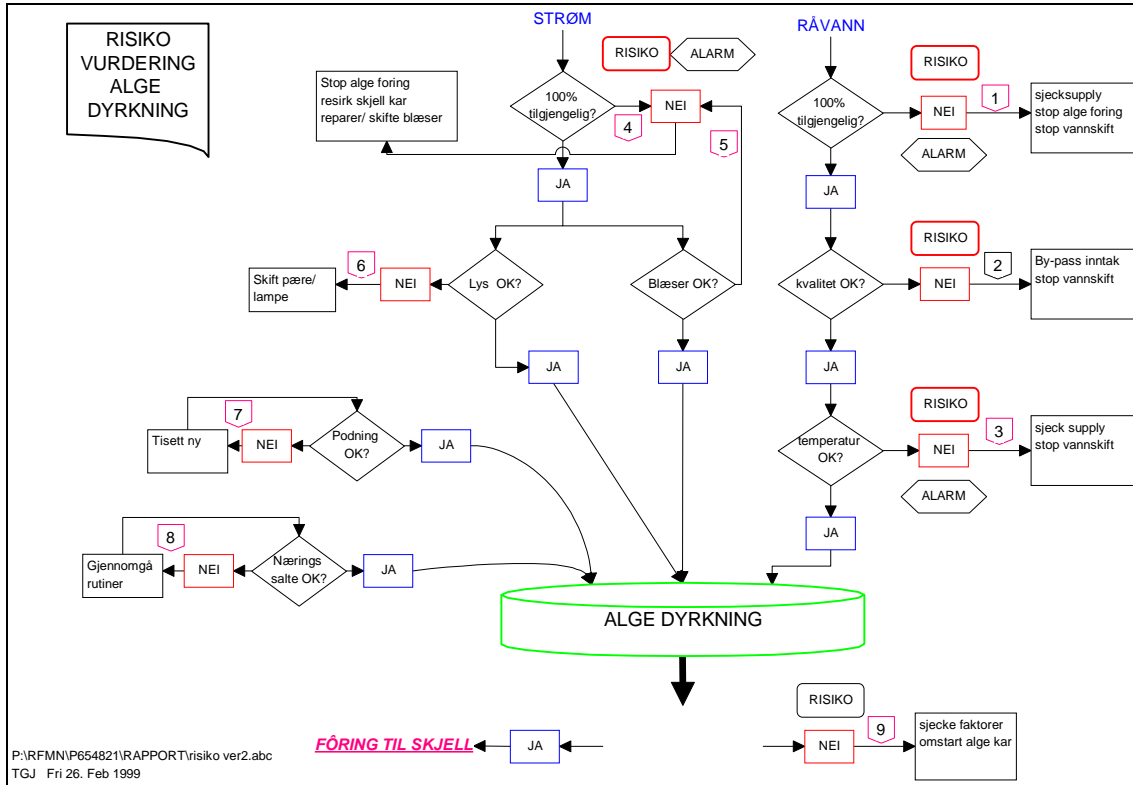
Tilvekst/dag (mm/dag) for hver føringsgruppe. Tidsperiode (14.02-07.08).

Tilvekst (mm/dag)

Gruppe	K1, k2	K3	K4, k5	K6, k7	K0
før sort.			0,014	0,033	0,15
5celle/ul <10mm				0,018	
>10mm		0,050		0,046	
15celle/ul <10mm			-0,02		
>10mm	0,066		0,033		

7.4 Risiko punkter ved drift

De to skisse tegninger skal vise hvordan risiko ble evaluert. Nummer som står i figuren brukes i diskusjonen under.



1. *Råvann ikke 100% tilgjengelig.*

Årsak: brudd på rør eller inne på anlegget, drift på Kårstø unormal.

Effekt: vannskift i skjell kar kan ikke etterfylles og alger til føring kan ikke erstattes.

Tiltak: stoppe alge føring, stoppe vannskift i skjell kar, temperatur effekt om vinteren?

Back-up: ingen løsning anses som realiserbar innen for de økonomiske rammer av prosjektet

Vurdering: høy sikkerhet i vannforsyning, derfor antas som liten sannsynlig. **RISK:** høy, **SANSYNN:** lav

2. *Kvalitet ikke OK*

Årsak: Det kan være flere årsaker som at det tilsettes kjemikalier inne på Kårstø, at rørsystemet utskiller et eller annet kjemikalie eller utilsiktet organismer kommer inn med inntaksvannet.

Effekt: En uønsket vannkvalitet vil for det meste først bli oppdaget etter at det har en negativ effekt. Ødelegger alge kulturen, dødelighet hos skjell, langsiktige negative effekter på dyrkingen

Tiltak: Finne årsak, analysere vann både organisk (kjemikalier og alge sammensetning) og uorganisk, stoppe vanntilførsel til alge kar, stoppe alge føring, stoppe vannskift i skjell kar, temperatur effekt om vinteren?

Back-up: ingen løsning anses som realiserbar innen for de økonomiske rammer av prosjektet, men se under generell nedenfor

Vurdering: inntaksdybden skal sikre sjøvann av stabil og god kvalitet og derfor utelukke at driften på Kårstø skal tilsette noe i vannet derfor antas det som liten sannsynlig at kvalitet skulle forringes i forhold til inntakskvaliteten. **RISK:** høy, **SANSYNN:** lav

3. *Temperatur ikke OK*

Årsak: endringer i driftsrutiner på Kårstø eller svikt på anlegget.

Effekt: En uønsket temperatur (høy sommeren/lav vinteren) kan bli oppdaget raskt vha temperatur alarm føler.

Tiltak: Finne årsak. Vurdere stopp av vanntilførsel til alge kar og alge føring, vurdere andre tiltak som temperatur effekt på skjell mm. utføres når anlegget er i drift.

Back-up: ekstra varmeelement i beredskap. Løsning med automatisk tilkopling skal vurderes.

Vurdering: lav temperatur i skjell kar om vinteren er mest kritisk. Teknisk back-up kan settes opp. Denne risiko vurderes som overkommelig. **RISK:** medium, **SANSYNN:** lav

4. *Strøm stans - generell*

Årsak: strøm stans fra leverandør, sikring eller annet som er gått inne på anlegget

Effekt: Blåser går i stå, resirkuleringspumper går i stå, ingen lys, ingen varmeveksling, alger kan evt. føres hvis gravitasjon ellers ingen føring.

Tiltak: Finne årsak. Igangsette nødstrøms aggregat. Vurdere varighet og reguleringstiltak som vanntilførsel til alge kar og alge føring, endringer i vann temperatur. Det må vurderes om det er økonomisk å ha en automatisk tilkopling av nødstrøm aggregat.

Back-up: Nødstrøms aggregat.

Vurdering: RISK: høy, SANSYNN: medium

5. *Luftblåser virker ikke*

Årsak: defekt, hvis det er strøm stans kommenteres det under punkt 4.

Effekt: Alge sedimentere i alge kulturene, hvis det brukes mammut pumper ved skjell karene gå resirk i stå.

Tiltak: Sette inn nød blåser.

Back-up: Ekstra luftblåser i reserve

Vurdering: RISK: høy, SANSYNN: medium

6. *Lys til alger virker ikke*

Årsak: defekt, hvis det er strøm stans kommenteres det under punkt 4.

Effekt: Ringere alge vekst når lys brukes utenfor sommeren

Tiltak: Skifte pærer.

Back-up: flere pærer

Vurdering: RISK: lav, SANSYNN: lav

7. *Oppstart av alge kulturer ikke god*

Årsak: sjøvann til å starte kulturene av dårlig kval. andre?

Effekt: Dårlig alge vekst, dårlig sammensetning, feil ernæring til skjell

Tiltak: Rense kar og starte opp ny kultur med filtrert sjøvann

Back-up: ingen

Vurdering: RISK: lav, SANSYNN: lav

8. *Næringsalte*

Årsak: dårlig produkt fra leverandør eller feilaktig rutiner

Effekt: Dårligere alge vekst feil sammensetning, feil ernæring til skjell

Tiltak: endring i rutiner

Back-up: ingen

Vurdering: RISK: lav, SANSYNN: lav

9. *Utilfredsstillende/dårlig algesammensetning*

Årsak: en kombinasjon av mesteparten av de punkter som er nevnt tidligere i tillegg til daglige rutiner/kunnskap om ikke er gode nok.

Effekt: Dårligere alge vekst feil sammensetning, feil ernæring til skjell

Tiltak: endring i rutiner, starte nye alge kar, sende prøver til analyse, evt. innhente ekstern hjelp

Back-up: ekstern kvalitetssikrere til prosjektet.

Vurdering: Dette punkt er blant de mest kritiske i hele prosjektet og blir fulgt nøye.

RISK: høy, SANSYNN: høy

10. *Automatisk alge tildeling feiler*

Først må det presiseres at konseptet er ikke fastlagt, men at vi i utgangspunktet går for gravitasjon tildeling, dvs at bunnene av algekarene er over toppen på skjell karene og at algesuppen kan renne fra det algekarene til skjellkarene uten bruk av pumper. Dette punkt vil bli vurdert videre når et detaljert konsept fremstår.

Årsak: oppstår en propp, slange/rør/kran sprekker eller stopper til, alge karet er gått tom.

Effekt: alge føring stopper eller brukes for fort med dårlig utnyttelse som resultat.

Tiltak: løsne tilstopping, bruke annet kar, regulere kran

Back-up: dette burde fanges opp av daglig ettersyn

Vurdering: RISK: lav, SANSYNN: medium

11. *Yngel tilgang*

Etter samtale med Scalpro kan det bekreftes følgende: 2 mm skjell yngel kan leveres fra februar til begynnelsen av juli og igjen fra november. Østers kan leveres på noenlunde samme tidspunkter. Det betyr at det ikke kan regnes med yngel om sommeren juli-august-september hvor prosjektet var tiltenkt å starte. Det antall som det snakkes om i prosjektet er ikke noe problem å levere.

Et alternativ til mangel på tilgang om sommeren kan være å anskaffe litt større skjell (8-10 mm) men som selvfølgelig blir dyrere. Dette er dog et alternativ som bør vurderes for å komme rask igang.

12. *Feil i resirkulasjon*

Kar design og resirkulasjon er ikke helt fastlagt enda.

Årsak: pumpe eller blåser går i stå

Effekt: manglende vannskift omkring skjell som kan skape stress med dødelighet til følge.

Tiltak: teknisk reparasjon, bytte pumpe, reduser alge føring

Back-up: evt. pumpe eller blåser (se punkt 5)

Vurdering: RISK: lav, SANSYNN: medium

13. *Skjellvekst OK*

Dette måles hovedsakelig ved dødelighet og vekst på skjellene. Den daglige røkting skal gi indikasjon om gode forhold. Jevnlige måleprogram (ref. FoU program for prosjektet) skal gi indikasjon om resultater.

Punkter som skal utløse alarm:

- Strøm stans
- råvann forsyning stans
- lav temperatur i råvann

Generell:

Oppnå en god dialog med driftansvarlige på Kårstø som skal sørge for en orientering av endringer i rutiner på vanninntak som kan påvirke prosjektet.

Den daglige røkting vil oppfange de små endringer som skal rettes opp og bidra til å redusere det generelle risiko bilde.

Ekstern påkjenning som resultere i brudd på installasjon/sabotasje og lignende er ikke vurdert her, men et hegn rundt anlegget må påregnes.

8 Referanser og litteratursøk

- AbuRezq, T. S., AlShimmari, J. and Dias, P. (1997). Live food production using batch culture and chemostat systems in Kuwait. *Hydrobiologia*: **358**: 173-178.
- Albentosa, M., PerezCamacho, A., Labarta, U. and FernandezReiriz, M. J. (1996). Evaluation of live microalgal diets for the seed culture of *Ruditapes decussatus* using physiological and biochemical parameters. *Aquaculture*: **148**: (1) 11-23.
- Armstrong, E., McKenzie, J. D. and Goldsworthy, G. T. (1999). Aquaculture of sponges on scallops for natural products research and antifouling. *Journal of Biotechnology*: **70**: (1-3) 163-174.
- Belkoura, M., Benider, A. and Dauta, A. (1997). Effects of temperature, light intensity and growth phase on the biochemical composition of *Chlorella sorokiniana* Shihira & Krauss. *Annales de Limnologie International Journal of Limnology*: **33**: (1) 3-11.
- Borowitzka, M. A. (1997). Microalgae for aquaculture: Opportunities and constraints. *Journal of Applied Phycology*: **9**: (5) 393-401.
- Bricelj, V. M. and Shumway, S. (1991). Physiology: Energy Acquisition and Utilisation. In *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. p.305-346. S.E., S. [Eds]. Elsevier Science.
- Cigarria, J., Fernandez, J. and Magadan, L. P. (1998). Feasibility of biological control of algal fouling intertidal oyster culture using periwinkles. *Journal of shellfish research*: **17**: (4) 1167-1169.
- Claereboudt, M. R., Bureau, D., Coté, J. and Himmelman, J. H. (1994). Fouling development and its effect on the growth of juvenile giant scallops (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture. *Aquaculture*: **121**: (4-1) 327-342.
- Coté, J., HIMMELMAN, J. H., CLAEREBOUTD, M. and BONARDELLI, J. C. (1993). Influence of density and depth on the growth of juvenile sea scallops (*placopecten-magellanicus*) in suspended culture. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*: **50**: 1857-1869.
- Cruz, P., Ramirez, J. L., Garcia, G. A. and Ibarra, A. M. (1998). Genetic differences between two populations of catarina scallop (*Argopecten ventricosus*) for adaptations for growth and survival in a stressful environment. *Aquaculture*: **166**: (3-4) 321-335.
- De Pauw, N. (1981). Use and production of microalgae as food for nursery bivalves. *International Workshop on Nursery culturing of bivalve molluscs*, Ghent, Belgium, european mariculture society.
- Douglas, D. J., Kenchington, E. R., Bird, C. J., Pocklington, R., Bradford, B. and Silvert, W. (1997). Accumulation of domoic acid by the sea scallop (*Placopecten magellanicus*) fed cultured cells of toxic *Pseudo-nitzschia multiseries*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*: **54**: (4) 907-913.

- Duerr, E. O., Molnar, A. and Sato, V. (1998). Cultured microalgae as aquaculture feeds. *Journal of Marine Biotechnology*: **6**: (2) 65-70.
- Egge, J.K. (1993). Nutrient control of phytoplankton growth: Effects of macronutrient composition (N, P, Si) on species succession. Dr. Scient thesis. Department of fisheries and marine biology. University of Bergen, Norway.
- Emerson, C. W., Grant, J., Mallet, A. and Carver, C. (1994). Growth and survival of sea scallops *Placopecten magellanicus*: Effects of culture depth. *Mar.Ecol.Prog.Ser.*: **108**: (0171-8630) 119-132.
- Enright, C. (1993). Control of fouling in bivalve aquaculture. *World Aquaculture*: **24**: (4) 44-48.
- Enright, C. T., Elner, R. W., Griswold, A. and Borgese, E. M. (1993). Evaluation of crabs as control agents for biofouling in suspended culture of European oysters. *World Aquaculture*: **24**: (4) 49-51.
- Fabregas, J., Morales, E. D., Lamela, T., Cabezas, B. and Otero, A. (1997). Mixotrophic productivity of the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* cultured with soluble fractions of rye, wheat and potato. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*: **13**: (3) 349-351.
- Fernandez, F. G. A., Camacho, F. G., Perez, J. A. S., Sevilla, J. M. F. and Grima, E. M. (1997). A model for light distribution and average solar irradiance inside outdoor tubular photobioreactors for the microalgal mass culture. *Biotechnology and Bioengineering*: **55**: (5) 701-714.
- Fernandez, F. G. A., Camacho, F. G., Perez, J. A. S., Sevilla, J. M. F. and Grima, E. M. (1998). Modeling of biomass productivity in tubular photobioreactors for microalgal cultures: Effects of dilution rate, tube diameter, and solar irradiance. *Biotechnology and Bioengineering*: **58**: (6) 605-616.
- Freites, L., Cote, J., Himmelman, J. H. and Lodeiros, C. J. (1999). Effects of wave action on the growth and survival of the scallops *Euvola ziczac* and *Lyropecten nodosus* in suspended culture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*: **239**: (1) 47-59.
- Gonzalez, M. L., Lopez, D. A., Perez, M. C., Riquelme, V. A., Uribe, J. M. and LePennec, M. (1999). Growth of the scallop, *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819), in southern Chile. *Aquaculture*: **175**: (3-4) 307-316.
- Grima, E. M., Camacho, E. G., Perez, J. A. S., Fernandez, E. G. A. and Sevilla, J. M. F. (1996). Growth yield determination in a chemostat culture of the marine microalga *Isochrysis galbana*. *Journal of Applied Phycology*: **8**: (6) 529-534.
- Grima, E. M., Camacho, F. G., Perez, J. A. S., Fernandez, F. G. A. and Sevilla, J. M. F. (1997). Evaluation of photosynthetic efficiency in microalgal cultures using averaged irradiance. *Enzyme and Microbial Technology*: **21**: (5) 375-381.

- Grima, E. M., Perez, J. A. S., Camacho, F. G., Sevilla, J. M. F. and Fernandez, F. G. A. (1996). Productivity analysis of outdoor chemostat culture in tubular air-lift photobioreactors. *Journal of Applied Phycology*: **8**: (4-5) 369-380.
- Grobbelaar, J. U., Nedbal, L. and Tichy, V. (1996). Influence of high frequency light/dark fluctuations on photosynthetic characteristics of microalgae photoacclimated to different light intensities and implications for mass algal cultivation. *Journal of Applied Phycology*: **8**: (4-5) 335-343.
- HernandezLlamas, A. (1997). Management strategies of stocking density and length of culture period for the Catarina scallop *Argopecten circularis* (Sowerby): A bioeconomic approach. *Aquaculture Research*: **28**: (3) 223-229.
- Hiroshi, I. (1991). Fisheries and Aquaculture - Japan. In *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. p.1017 - 1055. S.E., S. [Eds]. Elsevier Science.
- Hu, Q., Hu, Z. Y., Cohen, Z. and Richmond, A. (1997). Enhancement of eicosapentaenoic acid (EPA) and gamma-linolenic acid (GLA) production by manipulating algal density of outdoor cultures of *Monodus subterraneus* (Eustigmatophyta) and *Spirulina platensis* (Cyanobacteria). *European Journal of Phycology*: **32**: (1) 81-86.
- Ibarra, A. M., Cruz, P. and Romero, B. A. (1995). Effects of inbreeding on growth and survival of self-fertilized Catarina scallop larvae, *Argopecten circularis*. *Aquaculture*: **134**: (1-2) 37-47.
- Ibarra, A. M., Ramirez, J. L., Ruiz, C. A., Cruz, P. and Avila, S. (1999). Realized heritabilities and genetic correlation after dual selection for total weight and shell width in catarina scallop (*Argopecten ventricosus*). *Aquaculture*: **175**: (3-4) 227-241.
- Knauer, J. and Southgate, P. C. (1996). Nutritional value of a spray-dried freshwater alga, *Spongiococcum excentricum*, for Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) spat. *Aquaculture*: **146**: (1-2) 135-146.
- Laing I. (2000). Effect of temperature and ration on growth and condition of king scallop (*Pecten maximus*) spat. *Aquaculture* 183 (2000); 32
- Laudien, J. and Wahl, M. (1999). Indirect effects of epibiosis on host mortality: Seastar predation on differently fouled mussels. *MARINE ECOLOGY-PUBBLICAZIONI DELLA STAZIONE ZOOLOGICA DI NAPOLI I*: **20**: (1) 35-47.
- Lu, Y. T. and Blake, N. J. (1997). The culture of the southern bay scallop in Tampa Bay, an urban Florida estuary. *Aquaculture International*: **5**: (5) 439-450.
- Ma, X., Chen, K. W. and Lee, Y. K. (1997). Growth of *Chlorella* outdoors in a changing light environment. *Journal of Applied Phycology*: **9**: (5) 425-430.
- Nell, J. A., Smith, I. R. and Sheridan, A. K. (1999). Third generation evaluation of Sydney rock oyster *Saccostrea commercialis* (Iredale and Roughley) breeding lines. *Aquaculture*: **170**: (3-4) 195-203.

- Nicolas, J. L., Corre, S., Gauthier, G., Robert, R. and Ansquer, D. (1996). Bacterial problems associated with scallop *Pecten maximus* larval culture. *Diseases of Aquatic Organisms*: **27**: (1) 67-76.
- O'Connor, S. J., Heasman, M. P. and O'Connor, W. A. (1999). Evaluation of alternative suspended culture methods for the commercial scallop, *Pecten fumatus* Reeve. *Aquaculture*: **171**: 237-250.
- Otero, A. and Fabregas, J. (1997). Changes in the nutrient composition of *Tetraselmis suecica* cultured semicontinuously with different nutrient concentrations and renewal rates. *Aquaculture*: **159**: (1-2) 111-123.
- Otero, A., Garcia, D. and Fabregas, J. (1997). Factors controlling eicosapentaenoic acid production in semicontinuous cultures of marine microalgae. *Journal of Applied Phycology*: **9**: (5) 465-469.
- Otero, A., Garcia, D., Morales, E. D., Aran, J. and Fabregas, J. (1997). Manipulation of the biochemical composition of the eicosapentaenoic acid-rich microalga *Isochrysis galbana* in semicontinuous cultures. *Biotechnology and Applied Biochemistry*: **26**: 171-177.
- Pazos, A. J., Roman, G., Acosta, C. P., Abad, M. and Sanchez, J. L. (1997). Seasonal changes in condition and biochemical composition of the scallop *Pecten maximus* L from suspended culture in the Ria de Arousa (Galicia, NW Spain) in relation to environmental conditions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*: **211**: (2) 169-193.
- Persooone, G., Morales, J., Verlet, H. and De Pauw, N. (1980). Air-lift pumps and the effect of mixing on algal growth. In *Algae Biomass - Production and Use*. p.505 - 522. Shelef, G. and Soeder, C. J. [Eds]. Elsevier.
- Picquimil, R. N., Figueroa, L. S., Contrras, O. C. and Avendano, M. (1991). Fisheries and Aquaculture - Chile. In *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. p.1001-1015. S.E., S. [Eds]. Elsevier Science.
- Pushparaj, B., Pelosi, E., Tredici, M. R., Pinzani, E. and Materassi, R. (1997). An integrated culture system for outdoor production of microalgae and cyanobacteria. *Journal of Applied Phycology*: **9**: (2) 113-119.
- Qiang, H., Faiman, D. and Richmond, A. (1998). Optimal tilt angles of enclosed reactors for growing photoautotrophic microorganisms outdoors. *Journal of Fermentation and Bioengineering*: **85**: (2) 230-236.
- Robert, R. and Gerard, A. (1999). Bivalve hatchery technology: The current situation for the Pacific oyster *Crassostrea gigas* and the scallop *Pecten maximus* in France. *Aquatic Living Journal*: **12**: (2) 121-130.
- Robert, R. and Trintignac, P. (1997). Substitutes for live microalgae in mariculture: a review. *Aquatic Living Resources*: **10**: (5) 315-327.

- Roman, G., Campos, M. J., Acosta, C. P. and Cano, J. (1999). Growth of the queen scallop (*Aequipecten opercularis*) in suspended culture: influence of density and depth. *Aquaculture*: **178**: (1-2) 43-62.
- Sheridan, A. K. (1997). Genetic improvement of oyster production - A critique. *Aquaculture*: **153**: (3-4) 165-179.
- Su, H. M., Su, M. S. and Liao, I. C. (1997). Collection and culture of live foods for aquaculture in Taiwan. *Hydrobiologia*: **358**: 37-40.
- Suminto and Hirayama, K. (1997). Application of a growth-promoting bacteria for stable mass culture of three marine microalgae. *Hydrobiologia*: **358**: 223-230.
- Taylor, J. J., Southgate, P. C. and Rose, R. A. (1997). Fouling animals and their effect on the growth of silver-lip pearl oysters, *Pinctada maxima* (Jameson) in suspended culture. *Aquaculture*: **153**: (1-2) 31-40.
- Tredici, M. R. and Zittelli, G. C. (1998). Efficiency of sunlight utilization: Tubular versus flat photobioreactors. *Biotechnology and Bioengineering*: **57**: (2) 187-197.
- Valero, S. G., Tresguerras, T. F. and S., A. A. (1981). Large-scale outdoor algal production for rearing seed oysters and clams to juvenile stage. International Workshop on Nursery culturing of bivalve molluscs, Ghent, Belgium, European mariculture society.
- Ventilla, R. F. (1982). The scallop industry in Japan. *Advances in Marine Biology*: **20**: 309-382.
- Watanabe, Y. and Saiki, H. (1998). CO₂ utilization technology - Photosynthetic production of microalgae in the photobioreactors. *Nippon Nogeikagaku Kaishi Journal of the Japan Society for Bioscience Biotechnology and Agrochemistry*: **72**: (4) 523-527.
- Zhu, C. J., Lee, Y. K., Chao, T. M. and Lim, S. H. (1997). Diurnal changes in gross chemical composition and fatty acid profiles of *Isochrysis galbana* TK1 in outdoor closed tubular photobioreactors. *Journal of Marine Biotechnology*: **5**: (2-3) 153-157.