

**RAPPORT MA 12-12**

Astrid K. Woll og Snorre Bakke

**Fangst, mellomagring og transport av  
levende håndplukkede kamskjell**

Identifisering av kritiske punkt og forbedring av  
disse



<b>Tittel</b>	Fangst, mellomlagring og transport av levende håndplukkede kamskjell – Identifisering av kritiske punkt og forbedring av disse.
<b>Forfatter(e)</b>	Astrid K. Woll og Snorre Bakke
<b>Rapport nr.</b>	MA 12-12
<b>Antall sider</b>	40
<b>Prosjektnummer</b>	54538
<b>Prosjektets tittel</b>	Optimalisering av kvalitet og markedstilpasning gjennom verdikjeden ved en helårlig omsetning av levende kamskjell
<b>Oppdragsgiver</b>	Norges Forskingsråd
<b>Referanse oppdragsgiver</b>	NFR prosjekt nr. 192504
<b>ISSN</b>	0804-54380
<b>Distribusjon</b>	Åpen
<b>Nøkkelord</b>	Kamskjell, <i>Pecten maximus</i> , fangsthåndtering, mellomlagring, transport, marked
<b>Godkjent av</b>	Inge Fossen
<b>Godkjent dato</b>	07.05.2012

### Sammendrag

Prosjektets mål har vært å bidra til å utvikle en lønnsom omsetning av levende håndplukkede kamskjell (*Pecten maximus*) med optimal kvalitet gjennom hele året. Prosjektet har hatt en biologisk/teknologisk del og en markedsdel. Resultatet fra markedsdelen presenteres i en egen rapport og tar for seg differensiering og tilpasning av norske håndplukkede kvalitetsskjell i det europeiske markedet. Den biologiske/tekniske delen omfatter forbedringer i forhold til fangst, mellomlagring og transport av voksne kamskjell. Rapporten presenterer kritiske punkt i alle ledd av verdikjeden, og forslag til forbedringer som kan bidra til å øke overlevelse og kvalitet på produktet. Analyse av kritiske punkt har vist at skånsom behandling av skjellene er viktig for å sikre overlevelse under mellomlagring og videre transport. Gjennomførte forsøk har vist at det under mellomlagring av skjell er viktig med riktige lagringsforhold, være seg stablehøyde av skjell i mellomlagringskar ( $\leq 30$  cm), «up-stream» vanntilførsel, og tilstrekkelig flow (0,14 l/min/kg skjell for sommer og 0,05 l/min/kg skjell på vinter). Under transport er det viktig med riktig pakkemetode, hvor gelis og treull i forsøk medførte bedre overlevelse sammenlignet med knust is. Generelt viser prosjektet at summen av påkjenningene som skjellet utsettes for er med å bestemme skjelllets evne til å tolerere videre transport.

© Forfatter/Møreforskning Marin

Forskriftene i åndsverksloven gjelder for materialet i denne publikasjonen. Materialet er publisert for at du skal kunne lese det på skjermen eller i fremstille eksemplar til privat bruk. Uten spesielle avtaler med forfatter/Møreforskning Marin er all annen eksemplarfremstilling og tilgjengelighetsgjøring bare tillatt så lenge det har hjemmel i lov eller avtale med Kopinor, interesseorgan for rettshavere til åndsverk.



## FORORD

Rapporten presenterer de viktigste resultatene fra den biologiske/tekniske delen av prosjektet «Optimalisering av kvalitet og markedstilpasning ved en helårsomsetning av levende kamskjell (*Pecten maximus*)». Delrapporter fra den biologiske/tekniske delen av prosjektet er tidligere presentert i Woll, A.K. & Bakke, S. 2009a og Woll, A.K. & Bakke, S. 2009b. Prosjektets markedsdel er beskrevet i rapporten: Fjørtoft, K. Myrseth, H. og Nystrand, B.T. 2012. Konkurransanalyse og differensieringsstrategier for håndplukkede kamskjell fra Seashell. Møreforskningsrapport MA 12-11.

Prosjektet er finansiert av Norges Forskningsråd (# 192504), og ved egeninnsats fra de samarbeidende bedriftene Seashell AS og Kvitsøy Edelskjell AS. Flere av forsøkene er foretatt på Seashell sitt anlegg på Frøya hvor Helge og Anniken Myrseth bisto både under forsøkene og med faglige innspill basert på lang erfaring med håndteringen av kamskjell. Stor velvillighet og hjelp fra bedriftens ansatte var til stor hjelp under forsøkene. Ved fangstanalysen var velvilligheten stor fra mannskapet ombord i dykkerfartøyet M/S Atlantic Maximus. Spesifikasjoner for oppjustering av lagringsanlegget for levende skalldyr ble foretatt av Artec Aqua AS.

En stor takk til alle!

Ålesund 10.05.2011

Astrid K. Woll  
(Prosjektleder) (sign.)



# INNHOOLD

---

OPPSUMMERING .....	7
SUMMARY .....	8
1 INNLEDNING .....	9
2 MATERIALE OG METODE .....	11
2.1 Analyse av bedriften.....	11
2.2 Målte parametere .....	11
2.2.1 Vitalitetsmål - levende vs. død .....	11
2.2.2 Skjellets styrke til overlevelse - stresstest.....	12
2.2.3 Oksygenforbruk og nødvendig flow .....	12
2.2.4 Vannkvalitet – Temperatur, salinitet og oksygen.....	13
2.3 Lagringsforhold (vanntilførsel, skjellhøyde, lagringsenheter).....	13
2.3.1 Lagringshøyde av skjellene .....	14
2.4 Spesielle forhold ved lagring av skjell i sommerhalvåret .....	15
2.5 Pakkemetode.....	15
2.6 Spesifisering av nytt levendelagringsanlegg ved Seashell.....	16
3 RESULTAT .....	17
3.1 Analyse av bedriften.....	17
3.1.1 Fangst.....	17
3.1.2 Lossing fra dykkerfartøyet til bedriften.....	17
3.1.3 Lagringsanlegget.....	17
3.1.4 Sortering og pakking.....	18
3.2 Forbedring av dagens lagringsenheter og vanntilførsel.....	19
3.2.1 Oksygenforbruk og beregning av nødvendig flow .....	19
3.2.2 Vanntilførsel i karene .....	21
3.2.3 Lagringshøyde av skjellene .....	22
3.3 Storskalaforsøk med kartype, lagringshøyde og lagringstid .....	23
3.4 Spesielle forhold ved lagring av skjell i sommerhalvåret .....	25
3.4.1 Observasjoner av gyting .....	28
3.5 Pakkemetode.....	29
3.6 Spesifikasjon for oppjustering av dagens anlegg .....	30
4 KONKLUSJON .....	33
5 REFERANSER .....	35

---





## OPPSUMMERING

Prosjektets mål har vært å bidra til å utvikle en lønnsom omsetning av levende håndplukkede kamskjell (*Pecten maximus*) med optimal kvalitet gjennom hele året. Prosjektet har hatt en biologisk/teknologisk del og en markedsdel. Resultatene fra markedsdelen av prosjektet presenteres i en egen rapport og tar for seg markedsutvikling, differensiering og tilpasning av norske håndplukkede kvalitetsskjell i det europeiske markedet. Gjennom ulike delmål har den biologiske/tekniske delen av prosjektet omfattet forhold knyttet til fangst, mellomlagring og transport av voksne kamskjell.

Gjennom analysen av logistikk i bedriften Seashell AS, ble kritiske punkt identifisert og forslag til forbedring foretatt. Skader på skjellkanten forekom hyppig i produksjonsprosessen, hvor det ble funnet en tydelig sammenheng mellom grad av fysisk påkjenning og antall skjell med skader på vekstkant. Laboratorieforsøk som ble foretatt viste at skjell som fikk røff behandling hadde betydelig redusert evne til overlevelse sammenlignet med skjell som var håndtert skånsomt.

En rekke forsøk ble gjennomført sommer og vinter for å undersøke hvordan lagringsforhold som kartype, stablehøyde av skjellene, vanntilførsel og lagringstid påvirket overlevelse og vitalitet hos kamskjellene. Tydelige variasjoner i konsentrasjon ble funnet i ulike deler av tanken ved bruk av henholdsvis «up-stream» og vanntilførsel på topp. Ved mellomlagring av skjell anbefales bruk av «up-stream» vannforsyning da dette viser seg å sikre en mer homogen spredning av vann og tilførsel av oksygen til lagrede skjell. Forsøk sommer (14 °C) og vinter (4,7 °C) viste et oksygenforbruk hos skjellene på hhv. 0,24 og 0,1 mg O<sub>2</sub> min<sup>-1</sup> kg skjell<sup>-1</sup>. Anbefalinger er derfor gitt som minimum flow på 0,14 L min<sup>-1</sup> kg skjell<sup>-1</sup> for vinter og 0,5 min<sup>-1</sup> kg skjell<sup>-1</sup> for sommersituasjon. Skjell som mellomlagres i kar etter fangst bør lagres med en stablehøyde lik eller lavere enn 30 cm. Ved høyere stablehøyder enn dette (50 cm) ble det i prosjektet funnet en betydelig økning i dødelighet hos skjell lagret i nedre del av biomassen. Kar med falsk bunn er å foretrekke da dette tillater oppsamling av skit og sand under den falske bunnen. Undersøkelsene viser at dersom skjell håndteres skånsomt, lagres i riktig stablehøyde (≤30 cm) og med riktig vanntilførsel («up-stream») og flow, er det mulig å oppnå minst 50 % forlengelse av mellomlagringstid både i sommer- og vinterhalvåret.

Under sammenligning av skjell transportert med og uten klips (som hindrer åpning av skallet) ble det ikke funnet signifikante forskjeller i dødelighet etter 24 timer transport og deretter 3 dager revitalisering. Transportforsøk foretatt med ulike pakkemetoder viste at skjell som var transportert med våt treull og gelis på topp hadde en signifikant lavere dødelighet sammenlignet med skjell transportert direkte på knust is.

En spesifisering av mulig utforming og økonomisk kalkyle for en oppjustering av dagens anlegg for levendelagring ble foretatt av Artec Aqua AS. Et anlegg med mulighet for kjøling ved bruk av varmepumpe og vekslere hvor energien gjenvinnes ble valgt til dette formålet. I slike anlegg gjenbrukes vannet ikke i karene.

# SUMMARY

The project's goal has been to help develop a profitable market of live hand-picked scallops (*Pecten maximus*) with optimal quality throughout the year. The project has had a biological / technical section and a market section. The results of the market section are presented in a separate report, and focuses on market development, differentiation and branding of Norwegian hand-picked scallops to the European market. The biological/technical aspects of the project covered issues related to the capture, storage and transportation of adult scallops.

Through the analysis of logistics in the company Seashell AS, critical points were identified and suggestions for improvement made. Damage to the shell edge occurred frequently in the production process, where a clear correlation between the degree of physical strain and the number of shells with damage to the growing edge was found. Laboratory experiments showed that the scallops which were roughly treated had significantly reduced survival compared with gently handled scallops.

A series of experiments were carried out in summer and winter to investigate how storage conditions, tank type, stack height of the shells, water supply and storage time affected the survival and vitality of scallops. Significant variations in concentration were found in different parts of the tank by using an "up-stream" inlet and by having the inlet and outlet on the surface. During the temporary storage of shellfish, the use of an "up-stream" water supply is recommended as it gave a more homogeneous distribution of water and oxygen. The trials in the summer (14 °C) and winter (4.7 °C) showed an oxygen consumption of 0-24 and 0.1 mg O<sub>2</sub> min<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>, respectively. Recommendations are therefore given as the minimum flow of 0.14 L min<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup> scallops for summer and 0.5 L min<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup> scallops for winter situation. Scallops which are temporarily stored in tanks for harvesting should be stored with a stack height equal to or less than 30 cm. At higher stack heights there was a significant increase in mortality in scallops stored in the lower part of the tank. Tanks with a false bottom are preferable as it prevents the accumulation of dirt and sand at the bottom of the tank. The studies show that if the shells are handled carefully, stored at the correct stack height (<= 30 cm) and with proper water supply ("up-stream") and flow, it is possible to achieve at least 50% extension of storage time both in summer and winter.

Comparison of scallops transported with and without clips (which prevent the opening of the shell) showed no significant effect on the mortality after 24 hours transport and three days revitalization. Transport experiments performed with different packing methods showed that scallops transported with wet wood fibre and gel-ice on top had a significantly lower mortality compared with scallops transported directly on crushed ice.

A specification of the possible design and economic calculations for an upward adjustment of the current live holding facility was made by Artec Aqua AS. For cooling the water heat pumps and heat exchangers where the energy is recovered but the water is not reused in the tanks was selected for this purpose.

# 1 INNLEDNING

Fangst og omsetning av stort kamskjell er en forholdsvis ny næring i Norge med de første kommersielle fangstene høstet i Trøndelag på slutten av 80-tallet. De største forekomstene er registrert på dyp mellom 5 – 30 m, i Trøndelagsfylkene og Nordland. All høsting skjer ved dykking, rundt 90 % ved Frøya og Froan hvor bedriften Seashell AS omsetter en stor del av dette. Kamskjellene fra Norge omsettes nesten utelukkende levende. Dette lar seg gjøre da høsting ved bruk av dykkere er en skånsom metode hvor man unngår skader på skjellene under fangst. Etter fangst revitaliseres skjellene noen dager i tanker på land før pakking. For å oppnå god overlevelse og kvalitet i sluttmarkedet, begrenses revitaliseringstiden hos bedriften om sommeren til 3-5 dager, mens den om vinteren kan forlenges opptil 8-10 dager. Når skjellene transporteres tørt i isoporkasser, men nedkjølt og med stor luftfuktighet, tillater god logistikk en leveranse av levende kvalitetsskjell i deler av året hos sluttbruker i for eksempel Spania.

Priser og markedsetterspørsel på levende eller ferske skalldyr generelt og kamskjell spesielt er størst i vår- og sommersesongen samt til jul/nyttår. For å imøtekomme denne etterspørselen er det viktig at bedriften har en bufferkapasitet i form av lagrede skjell. For å sikre overlevelse og at disse skjellene har en god kvalitet når de når forbrukeren må man ha optimale lagringsforhold samt at skjellene må håndteres på en god måte i alle ledd av verdikjeden.

De teknologiske løsningene i forhold til mellomlagring av skjell må tilpasses den spesielle driftsformen, med høsting av villfangede skjell, og samtidig imøtekomme skjellenes fysiologi i forhold til ulike miljøparametrene. I forhold til oppdrett av kamskjell er det foretatt mange undersøkelser om storskala raceway system for å forbedre yngelproduksjon (Christophersen 2005; Magnesen et al. 2006; Magnesen and Christophersen 2007; Magnesen and Jacobsen 2012) (og om yngelens vekst og overlevelse i forhold til ulike behandlinger og larvesetlinger (Christophersen and Lie 2003; Christophersen et al. 2008). Man vet imidlertid per i dag for lite om hva som kreves for å holde de voksne villfangede skjellene levende og i god kvalitet. Dette gjelder både temperatur, temperaturforandringer, vannkvalitet og kunnskap om selve lagringsenhetene. Per i dag lagrer bedriften skjellene i tanker innendørs med gjennomstrømmende ufiltrert vann, hvor vanninntaket av praktisk årsaker er svært grunt, bare 15 meters dybde.

Erfaring ved bedriften har vist at kamskjellene trives bra i vinterhalvåret når skjellene har vært behandlet forsiktig under fangst, lagret beskyttet mot vær og vind ombord i fartøyet og lagret ved en sjøtemperatur lavere enn 8 - 10 °C i tankene på land. Skjellene kan da lagres flere dager i tankene og fremdeles være i god form. Ved lagring over flere uker øker imidlertid dødeligheten i tankene, også i vinterhalvåret. Bedriften mistenker at skader på skjellkanten, forårsaket under høstingen eller under lagringen, samt en ikke optimal vannkvalitet og utforming av lagringsenhetene kan være en eller flere av årsakene til dette. Problemer i forhold til den varme årstid har erfaringsmessig startet i april / mai. På denne tiden skjer det en temperaturøkning i overflatevannet og temperaturen på land kan til tider bli relativt høy. Skjell som fangstes og mellomlagres i denne perioden setter ofte i gang med en uønsket og

sannsynligvis framskyndet gyting i lagringstankene. Dødeligheten øker og lagringstiden for å oppnå en vellykket transport til markedet forkortes.

For Seashell AS er det aktuelt å vurdere ulike oppsett i forhold til lagringsenheter og vannforsyning hvor man tar hensyn til sommer- og vintersituasjon, revitalisering etter fangst versus lengre lagring, og forbehandling i forkant av videre transport. Det vil derfor være aktuelt for bedriften at deler av anlegget er tilknyttet et vannbehandlingsanlegg hvor man har full kontroll på vannkvaliteten. God og stabil vannkvalitet kan også oppnås ved dypere vanninntak og god filtrering. Beregninger og spesifikasjoner for oppjusteringer av dagens anlegg må ta hensyn til disse punktene.

### Hovedmål

Utvikle en lønnsom omsetning av levende kamskjell (*Pecten maximus*) med optimal kvalitet gjennom hele året.

### Delmål for levende lagringsdelen

- Analyse og evt. forbedring av kritiske punkt i logistikkdelen fra fangst til lagringsanlegget.
- Forbedring av dagens lagringsenheter og vanntilførsel.
- Finne optimale lagringstemperaturer i sommerhalvåret. Utprøving av 6, 8 og 10 °C.
- Teste ulike regimer over tid for å hindre gyting. Ut fra resultatene i punkt 1 og 4 å oppnå 50 % forlengelse av sommer- og vinterlagringstid.
- Basert på resultatene fra pkt. 2 til 4, spesifisere utforming og økonomisk kalkyle for en oppjustering av dagens anlegg.

Testing av ulike regimer over tid for å hindre gyting (pkt. 4) ble utelatt da gytetidspunktet så ut til å variere fra år til år. Istedenfor valgte man å fokusere mer på pakkemetoden da denne viste seg å være svært viktig i forhold til overlevelse ute i markedet. Observasjoner gjort i forhold til gyting diskuteres imidlertid kort og sees i sammenheng med resultatet fra andre studier.

## 2 MATERIALE OG METODE

### 2.1 Analyse av bedriften

En analyse av bedriften Seashell AS ble foretatt i februar 2009. Hvert ledd i bedriften ble gjennomgått fra høsting (dykking), lagring ombord, lossing, lagring på bedriften samt sortering og pakking. Vanntilførsel, pumpekapasitet og vannbehandling, samt flow ut til de enkelte lagringsenheter ble også vektlagt. Kritiske punkt ble bemerket samt potensial for forbedring i de ulike logistikdelene.

For å få et objektivt mål på mulige årsaker til skader på skjellene, under håndteringen fra fangst til pakking, ble 17 skjell individmerket. De merkede skjellene ble fulgt og tilstanden dokumentert ved fotografering og beskrivelse av skader gjennom produksjonsprosessen etter fangst (på båt), etter lagring i ett døgn i 700 liter kar og ved pakking.

Skader på vekstkant ble også undersøkt hos et utvalg (ikke merkede) skjell like etter leveranse og etter 12 timer lagring i 1000 liter mellomlagringskar. Etter leveranse til anlegg ble skjell fra topp og bunn av lasterom på båt undersøkt. Det ble videre skilt mellom skjell som var lagret i nedre eller øvre del av fangstnettene. For skjellene som ble undersøkt etter 12 timer lagring i mellomlagringskar ble skjell både fra topp, midten og bunnen av karet undersøkt.

### 2.2 Målte parametere

#### 2.2.1 Vitalitetsmål - levende vs. død

- Skjell som aktivt åpnet og lukket seg samt skjell som tydelig filtrerte i vann ble karakterisert som levende.
- For gapende skjell ble en plastpinne benyttet til å trykke forsiktig på muskelen. Om skjellene da ikke lukket seg ble det registrert som døde.
- Ved gjenutsetting i vann ble evt. åpning og lukking av skjellet registrert. Noen skjell forble lukket. Skjell som ikke hadde åpnet seg etter 2 timer og/eller som hadde vond lukt, ble registrert som døde.
- Alternativt ble skjell åpnet og muskelrespons observeres ved å lage et snitt i lukkemuskelen med skalpell.
- Vond lukt og slim som rant ut av skjellet var sikre tegn på at skjellet var dødt.

### 2.2.2 Skjellets styrke til overlevelse - stresstest

Som et mål for skjellets styrke etter ulike forbehandlinger (lagringslengde, kartype, stablehøyde m.m.), ble det nyttet en stresstest. Som stresstest nyttet man simulert «tørr» og kjølig transport i 3 døgn (72 timer) med påfølgende registrering av overlevelse. Tre døgn ble valgt da dette er bedriftens lengste transporttid til markedene.

Skjellene ble pakket i 5 kg isoporkasser, 20 skjell i hver kasse. Skjellene ble klipset, og lagt med den konkave siden ned (Figur 2.1). Temperaturloggere (Ebro, serie EBI-20) ble lagt midt mellom skjellene.

Etter lagring på kjøll ble kassene åpnet, skjellene tatt ut og klipsen tatt av. Under den simulerte transporten var temperaturen lav (1-3 °C), noe som gjorde det vanskelig å vurdere hvorvidt skjellene var levende eller ikke etter uttak (sen eller ingen respons). Skjellene ble derfor overført til merkede østerskasser og satt i friskt gjennomstrømmende sjøvann (fra bedriftens vanninntak). Dødelighet ble deretter registrert 2 timer etter gjenutsettingen i vann. For en del av forsøkene ble også dødelighet registrert videre etter ett døgn og deretter hvert døgn frem til og med etter 5 døgn i vann. Døde skjell ble tatt ut ved hver registrering.

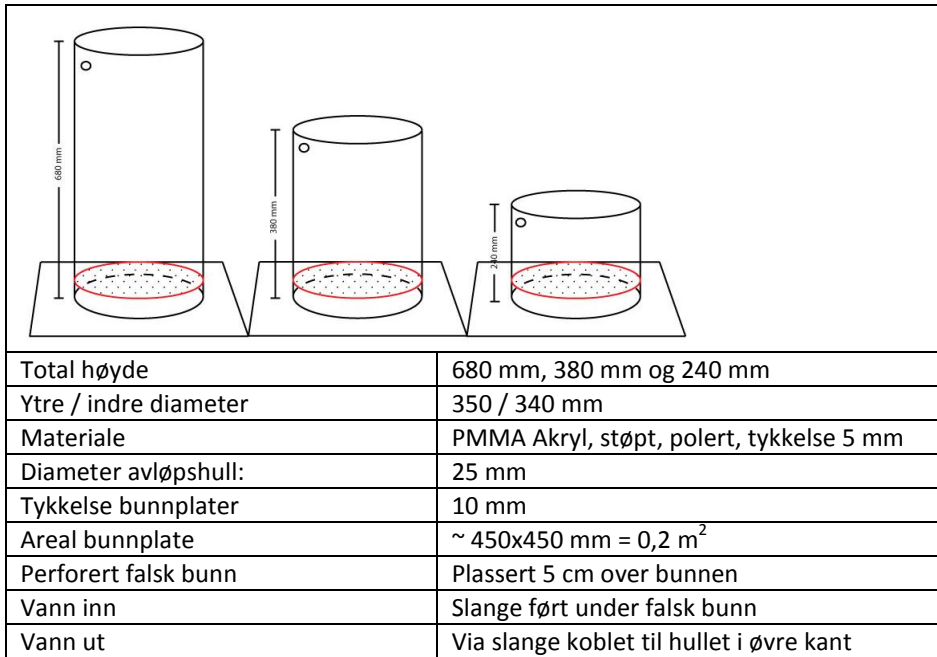


Figur 2.1 - Pakking av skjell for stresstest. Metode 1 med treull og gelis på toppen vist.

### 2.2.3 Oksygenforbruk og nødvendig flow

For å måle kamskjellenes respirasjon vinter/vår (4-5 °C) og høst (13.5 – 14.4 °C) ble det nyttet acryl sylindere i ulik høyde, modifisert som respirometere (Figur 2.2). Vann ble tilført under en falsk bunn, og utvannet gjennom en slange i toppen av sylindere. Effektiv stablehøyde av skjell i sylindere var 50, 30 og 15 cm for henholdsvis liten, middels og stor sylinder.

Ett nivåkar (200 L) tilført rikelig med sjøvann ble satt opp 1.5 m høyere og forsynte respirometrene med vann. En overskuddsslange i nivåkaret sørget for å drenere vekk overskytende vann slik at nivået var konstant. Oksygenkonsentrasjonen i nivåkaret og i utvannet fra hvert av respirometrene ble logget med Optode 383x (Aanderaa Data Instruments). Loggeintervallet var 10 minutt. Differansen i oksygenkonsentrasjon mellom ut- og inn-vann ble benyttet til å estimere forbruket til skjellene, målt som mg oksygen/minutt/kg skjell (helvekt). For å kompensere for forskjeller mellom oksygenoptodene ble de satt sammen i nivåkaret i en lengre periode for logging og beregning av differanseverdier.



Figur 2.2 - Mål på sylindrerne nyttet som respirometer

### 2.2.4 Vannkvalitet – Temperatur, salinitet og oksygen

Vannkvaliteten i alle forsøkene ble kontinuerlig overvåket ved at det ble foretatt daglige avlesninger av oksygenmetning og konsentrasjon (Aanderaa Optode/Temperature sensor 3830, AADI, Massachusetts), salinitet (Aanderaa Conductivity sensor 3919, AADI) og pH (pH 315i, WTW, Weilheim). Ved hjelp av spektrofotometriske målinger (Spectroquant® NOVA 60, MERCK KGaA, Darmstadt) det ble også foretatt regelmessige undersøkelser av ammonium i vannet (Spectroquant® Ammonium Cell Test, måleområdet 0,2 – 8,0 mg L<sup>-1</sup>, 20 °C reagenstemperatur). Temperatur, salinitet og pH i lagringsvannet ble satt inn i likevektsligningen: TAN = NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N + NH<sub>3</sub>-N og konsentrasjonen av NH<sub>3</sub> (ammoniakk) kalkulert.

## 2.3 Lagringsforhold (vanntilførsel, skjellhøyde, lagringsenheter)

Oksygenkonsentrasjonen ble undersøkt i ulike deler av et 1000 liters lagringskar med 300 kg skjell, dvs. en flow rundt 0,2 L min<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>. Tre ulike former for vanntilførsel ble sjekket for vurdering av oksygenets homogenitet, dvs. hvor god sirkulasjonen i karet var:

- Tilførsel (inn) med to slanger fra bunnen og overrenning (ut) over kar kanten
- Inn med to slanger på toppen av karet og overrenning (ut) over kar kanten
- Inn med en slange på toppen av karet og med overrenning (ut) som utløp

Ut fra erfaringene fra ovenfor nevnte forsøk ble det foretatt et storskalaforsøk for å sammenligne dagens lagringsmetode på bedriften med det man forventet var bedre alternativer for lagring. Tre ulike lagringsenheter ble testet:

### Kartype C

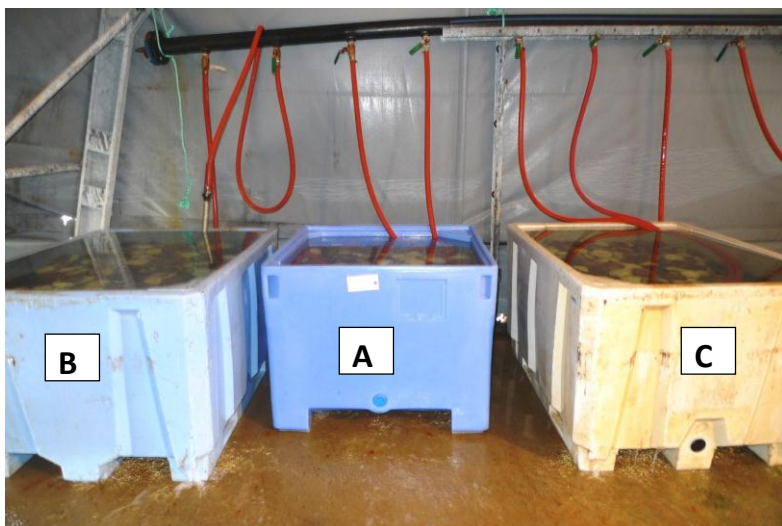
1000 liters plastkar (Nordic supply) som ordinært nyttes til lagring av kamskjell ved Seashell (**Feil! Fant ikke referanseilden.**, C). Vanntilførsel gjennom slange lagt på toppen av karet og ut ved overrenning ved karkanten.

### Kartype B

Samme kartype som C, men med innlagt falsk bunn (**Feil! Fant ikke referanseilden.**, B). Vanntilførsel tilført under den falske bunnen gjennom et rør med dyser lagt midt på og på langs av karet. Ut vann rant over karkanten, dvs. «upstream».

### Kartype A

700 liters plastkar (Adriatec) med falsk bunn og innebygde kanaler (**Feil! Fant ikke referanseilden.**, A). Karet er spesialdesignet for lagring av levende skalldyr. Vanngjennomstrømming skjer gjennom spesialbygde kanaler. Inn-vannet ble tilført gjennom slange lagt på toppen. Vannet blir tvunget nedstrøm gjennom den falske bunnen, deretter opp gjennom innebygde kanalene i to diagonale hjørner, deretter ned via andre kanaler og ut i bunnen av karet.



Figur 2.3 - Lagringsenhetene testet i forsøket.

#### **2.3.1 Lagringshøyde av skjellene**

Forsøk ble foretatt i april og i september 2010 for vurdering av hvordan stablehøydene av skjellene påvirket overlevelse i lagringskarene. Triplikater ble benyttet for hver stablingshøyde (Tabell 2.1). I hver beholder ble skjellene lagt i naturlig liggstilling (konkav side ned). Minste beholder ble benyttet som kontrollgruppe.

Den store og middels sylindere ble delt inn tre deler; topp, midten og bunn. For å sikre at skjellene ble holdt i sine respektive lag, ble et benyttet en plastnetting til å skille lagene. Vitalitet og dødelighet hos skjellene ble undersøkt på ulike tidspunkt under lagringsperioden samt ved endt lagring (Tabell 2.1). Døde skjell ble fjernet og ikke brukt videre i lagringsforsøket. Etter undersøkelser ble skjellene lagt tilbake i sine respektive beholdere i samme rekkefølge som de ble tatt ut (skjell i bunn tilbake i bunn, osv).



Tabell 2.1 - Forhold for skjell under lagring (stableforsøk). Vannforsyning; temperatur; kontroll dødelighet; størrelse skjell.

Lagring sylindere	April 2010			September 2010		
	Stor	Middels	Liten	Stor	Middels	Liten
- Antall skjell	104	45	15	90	34	14
- Stablehøyde (cm)	48	30	10	47	31	10
- Vekt skjell tot. (kg)	22,9	9,9	3,3	22,5	8,5	3,5
- Flow (L/min/kg skjell)	0,21	0,2	0,27	0,36	0,59	0,55
- Størrelse skjell	10-12 cm			11-12,5cm		
- Lagringstid (dager)	18			8		
- Vannforsyning	Uten filtrering og UV			Med UV		
- Temperatur	4,5 - 5,5 °C			13,0 - 14,5 °C		
- Kontroll dødelighet	Etter 7, 14 og 18 dager			Etter 2, 5 og 8 dager		

## 2.4 Spesielle forhold ved lagring av skjell i sommerhalvåret

For å undersøke hvordan vanntemperatur (naturlig sjøvannstemperatur vs. stabilt kjølt vann) påvirket overlevelsen av kamskjell ble grupper av skjell lagret i 10-liter isoporkasser med tilførsel av ufiltrert sjøvann (flow through) eller i kasser forsynt med vann fra et resirkuleringsanlegg (6 °C, 5 % innblanding av nytt sjøvann). I forsøket ble skjell høstet ved Frøya benyttet. Etter ankomst (~36 timer transport med fly og bil, skjell lagret på våt avisopapir med fuktet treull og gelis på topp) ble skjellene tillatt en dag med restituering i ufiltrert sjøvann før registreringer av skallhøyde. For hvert forsøksoppsett (flow through eller resirkulering) ble skjellene fordelt i to størrelsesgrupper, hhv. skjell mindre enn 11 cm skallhøyde (10 – 11 cm) og skjell større enn 11 cm (11-12 cm).

Forsøket varte i 20 dager fra 19. mai (dag 0) til 8. juni 2009 (dag 20). Med unntak av 3 dager ble det gjennom hele perioden foretatt daglige registreringer av dødelighet. I de tilfeller hvor det forekom ble det også registrert om der var gyting i kassene. For en utvidet beskrivelse av metoder og forsøksoppsett, se delrapport Å0920 (Woll og Bakke, 2009)

## 2.5 Pakkemetode

Tre ulike pakkemetoder ble testet:

- Metode 1: Treull fuktet i sjøvann ble lagt over skjell som var klipset (klemme festet til skjellet som hindrer at det åpner seg) og med en 500 g gelispakke på toppen. Kassen ble deretter påsatt lokk.
- Metode 2: Knust is ca 1 kg ble lagt i bunnen med klipsede skjell direkte oppå isen. Kassen ble deretter påsatt lokk.
- Metode 3: Samme som metode 2, men skjellene uten klips.

## 2.6 Spesifisering av nytt levendelagringsanlegg ved Seashell

Det er planlagt utbygging av produksjonslokalene til Seashell AS i 2012. I den forbindelse er det planlagt 150 m<sup>2</sup> isolert lokale med 4m takhøyde til levendelagring av skalldyr. Sjøvannsinntaket er tenkt lagt på 25 m dyp og pumpekapasitet (samt UV-desinfisering) er beregnet til 80 m<sup>3</sup> pr time ( $80 * 1000 / 60 = 1333 \text{ L min}^{-1}$ ).

Lagringen er tenkt gjennomført med oppstrøms vannstrøm i 700 eller 1000 L plastkar type Nordic/Promens eller Adriatic. Det er ønskelig med kjøling i perioden juli – oktober (3 mnd) på minimum 50 % av biomassen i anlegget.

- ønsket temp er 6-8 °C
- muligheten til 3 °C på 8-10 m<sup>3</sup> pr time for nedkjøling før pakking

I kjølesammenheng, er resirkulering en utfordring ved at biofiltrene må jobbe ved lave temperaturer, noe som ikke er ideelt i forhold til optimal aktivitet av de nitrifiserende bakteriene. Varierende biomasse i anlegget gjennom sesongen vil også medføre at biofiltrene blir utsatt for varierende belastning, og dermed svekkes. Man ønsket derfor å få en spesifisering av et anlegg med bruk av varmepumpe og vekslere hvor energien gjenvinnes, men vannet ikke gjenbrukes i karene. Artec Aqua ble leid inn for å foreta spesifiseringen av utforming og økonomisk kalkyle for en oppjustering av dagens anlegg ut fra resultater funnet i prosjektperioden.

## 3 RESULTAT

### 3.1 Analyse av bedriften

Resultatet av bedriftsanalysen for produksjonsprosessen for kamskjellene fra fangst til pakking hos Seashell AS viste flere kritiske punkt. Disse er oppsummert nedenfor sammen med forslag til forbedringer. En mer detaljert beskrivelse er foretatt i en lukket arbeidsrapport (Woll and Bakke 2009)

#### 3.1.1 Fangst

##### *Kritiske punkt*

1. Fangstnettet kan slå mot skutesiden ved innlasting (Figur 3.1 a).
2. Etter hvert som nettene plasseres i lasterommet, får de nederste skjellene et trykk/slag.
3. Når luka på lasterommet ikke lukkes vil skjellene bli utsatt for trekk.
4. Ved last over 600 kg kan luka ikke lukkes. Skjellene bør da dekkes til.

##### *Mulige potensiale for forbedring*

1. Montere skumgummi på skutesiden der fangstnettene tas opp.
2. Legge skumgummi i bunnen av lasterom og/eller mellom fangstnettene.
3. Dekke skjellene med fuktig matte når lasteluka ikke kan lukkes.

#### 3.1.2 Lossing fra dykkerfartøyet til bedriften

##### *Kritiske punkt*

1. Skjellene får hard medfart når fangstnettene dumpes opp i lagringskarene på land (Figur 3.1 b).

##### *Mulige potensiale for forbedring*

1. Karene fylles med vann før skjellene lastes oppi.
2. Generelt mer forsiktig under tømmeprosessen.

#### 3.1.3 Lagringsanlegget

##### *Kritiske punkt*

1. Plassering av inntakspumpe på 5 m medfører store utfordringer, spesielt i sommerhalvåret, i forhold vannkvalitet (temperatur og saltholdighet).
2. Forsyningsrørens konstruksjon medfører at trykket (og dermed flow) til karene forandres i forhold til antall kar og flow per kar.
3. Vanntilførsel på toppen av karene med overrenning medfører at sirkulasjon er mangelfullt og fører til utilstrekkelig mengde oksygen i bunnen av karet (Figur 3.1 c).

##### *Mulige potensiale for forbedring*

1. Loggefunksjon for temperatur bør installeres for bedre å ta forholdsregler.

2. Forsyningsrørene for vanntilførsel bør arrangeres i sirkel/sløyfe for å eliminere trykkforskjeller.
3. Vannsirkulasjonen i karene må forbedres, f.eks. med up-stream vannflow.
4. Falsk bunn i karene vil kunne samle opp skit og sand fra skjellene.
5. Lagringshøyde av skjell i karene bør reduseres i forhold til god levedyktighet ved ønsket lagringstid.

### 3.1.4 Sortering og pakking

#### Kritiske punkt

1. Tømming av skjellene er sannsynligvis en ny stressfaktor for skjellene (Figur 3.1 d).
2. De små skjellene går ofte gjennom denne prosessen flere ganger før evt. Pakking eller re-utsetting i sjø.

#### Potensial for forbedring

1. Mer vann under tømmeprosessen.
2. Eventuelt nedkjøling av skjellene på forhånd i den varme årstiden for å minske stressfaktoren.
3. Nedkjøling av skjellene vil muligens forbedre gel-isens holdbarhet under transporten.



Figur 3.1 - Kritiske faser i produksjonen ved Seashell AS. a) Opptak av fangstnettene. b) Tømming av fangstnettene i lagringskar. c) Vanntilførselen i lagringskarene. d) Tømming av karene på pakkelinja.

### **Vurdering av skjellskader gjennom produksjonsprosessen**

Skader var spesielt synlige på den nye voksekanten på skjellet som på denne tiden er tynn og har lett for å brette. Undersøkelser av de merkede skjellene viste at skader på vekstkanten forekom både under høsting, lagring på båt, mellomlagring på land og under sortering. Samtlige merkede skjell hadde betydelige skader på vekstkanten ved siste undersøkelse (under pakking). Slike skader ser derfor ut til å akkumulere seg fra høsting til pakking.

Undersøkelse av fangstnett som var lagret på topp av lasten, viste at ca. 15 % av skjellene i øverste del av nettet var uten skader i vekstkant. I nederste del av nettet var ca 8 % av skjellene uten skader. For skjell som var lagret i fangstnett i bunn av lasterom ble det ikke funnet individ uten skader i skjellkant.

Undersøkelsen av skjellene som ikke var merket, viste også at kun en liten del av skjellene var uten skader på vekstkanten. Etter mellomlagring i 1000 liters plastkar i ca. 12 timer hadde 10 % av skjellene i øvre del av karet ingen skader, mens det på skjellene i midten og i bunnen kun var 4 % og 2 % skjell uten skader.

Selv om det generelt ble funnet få skjell uten skader indikerer resultatet følgende:

- mengde skader på vekstkant av skjellene øker med økende vekt, slag og/eller press skjellene er utsatt for under transport fra høsting til lagring.
- skjell som ligger lenger nede i karene under mellomlagring, blir påført flere skader enn skjell som ligger på topp.

Å redusere slag og støt mot skjell er viktig for å redusere dødelighet. Et enkelt forsøk ble gjennomført hvor skjell ble utsatt for mindre støt ved at grupper på 10 skjell ble utsatt for 3 overføringer mellom tørre dunker, tilsvarende fall på 1 meter. Betydelige støt ble simulert ved at individuelle skjell ble utsatt for 3 dropp til hardt underlag fra 1,5 meters høyde. Støtpåkjenninger ga signifikant høyere dødelighet under mellomlagring sammenlignet med skjell om ikke ble utsatt for en slik påkjønning. For skjell som ble utsatt for betydelig støtpåkjønning var dødeligheten på 46 % etter en dag med revitalisering i vann og på hele 90 % etter 6 dager med revitalisering.

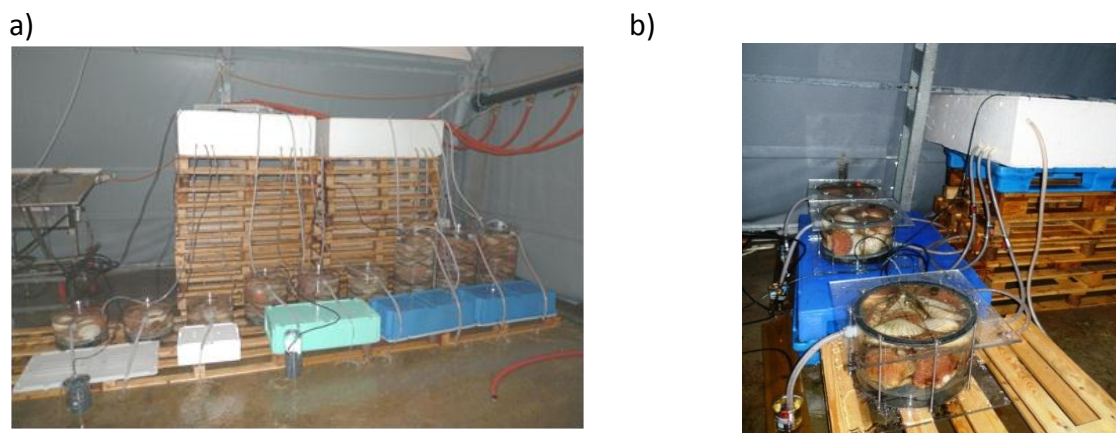
## **3.2 Forbedring av dagens lagringsenheter og vanntilførsel.**

### **3.2.1 Oksygenforbruk og beregning av nødvendig flow**

Oksygenforbruket ble beregnet i september 2010 da sjøtemperaturen ved Seashell sitt inntak (5 m) var på sitt høyeste (Tabell 3.1). Gjennomsnittlig forbruk i løpet av ett døgn ble beregnet for liten, middels og stor sylindere (Figur 3.2 a), og var henholdsvis 0,18, 0,28 og 0,27 mg min<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup> skjell. Gjennomsnittet for de tre sylindere var 0,24 mg min<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup> (± 0,06) (Tabell 3.1).

Det ble ikke benyttet lokk på sylindrene under oksygenloggingen. Dette medførte en pulsvise flow ut fra den minste sylindren. Dette kan være en medvirkende årsak til det noe avvikende verdien for den minste sylindres sammenlignet med de to andre.

I april 2011 ble oksygenforbruket beregnet ved laveste sjøvannstemperatur. Tre av de små sylindrene ble benyttet, nå med påmontert lokk som medførte en jevn strøm av utvannet (Figur 3.2 b). Gjennomsnittlig oksygenforbruk ble beregnet til  $0,10 \text{ mg min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$  ( $\pm 0,01$ ) (Tabell 3.1).



Figur 3.2 - Beregning av oksygenforbruk ved modifiserte respirometere og gjennomstrømmende vann. a) September 2010, målt for liten, middels og stor sylinder. b) 3 replikater for liten sylinder april 2011.

Ut fra beregnet oksygenforbruk ble tilstrekkelig flow beregnet utfra at oksygenkonsentrasjonen ikke skal synke under 80 % metning (april) og heller ikke lavere enn  $7,5\text{-}8 \text{ mg L}^{-1}$  (september).

- Oksygenforbruk målt i september 2010 ved  $13\text{-}14 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $0,24 \pm 0,06 \text{ mg min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ) tilsier en nødvendig flow på minst  $0,14 \text{ L min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ .
- Oksygenforbruket i april 2011 ved  $4\text{-}5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $0,01 \pm 0,01 \text{ mg min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ) tilsier en nødvendig flow på minst  $0,05 \text{ L min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ .

Tabell 3.1- Beregning av oksygenforbruk og nødvendig flow i de ulike sylindrene for at oksygenkonsentrasjonen ikke skal synke under 80 % metning (april) og heller ikke lavere enn  $7,5\text{-}8 \text{ mg L}^{-1}$  (september). Beregningen er for mellomlagring. Ved innsett av skjellene må det beregnes høyere flow da skjellene er stresset.

Dato	t $^\circ\text{C}$	100 % $\text{O}_2$ $\text{mg L}^{-1}$	Replikat	Timer logget	$\text{O}_2$ (Snitt $\pm$ SD) $\text{mg min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$	Flow $\text{L min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$
02.09.2011	14	8,5	3	24	$0,24 \pm 0,06$	0,14
03.04.2011	4,7	10,2	3	17	$0,10 \pm 0,01$	0,05

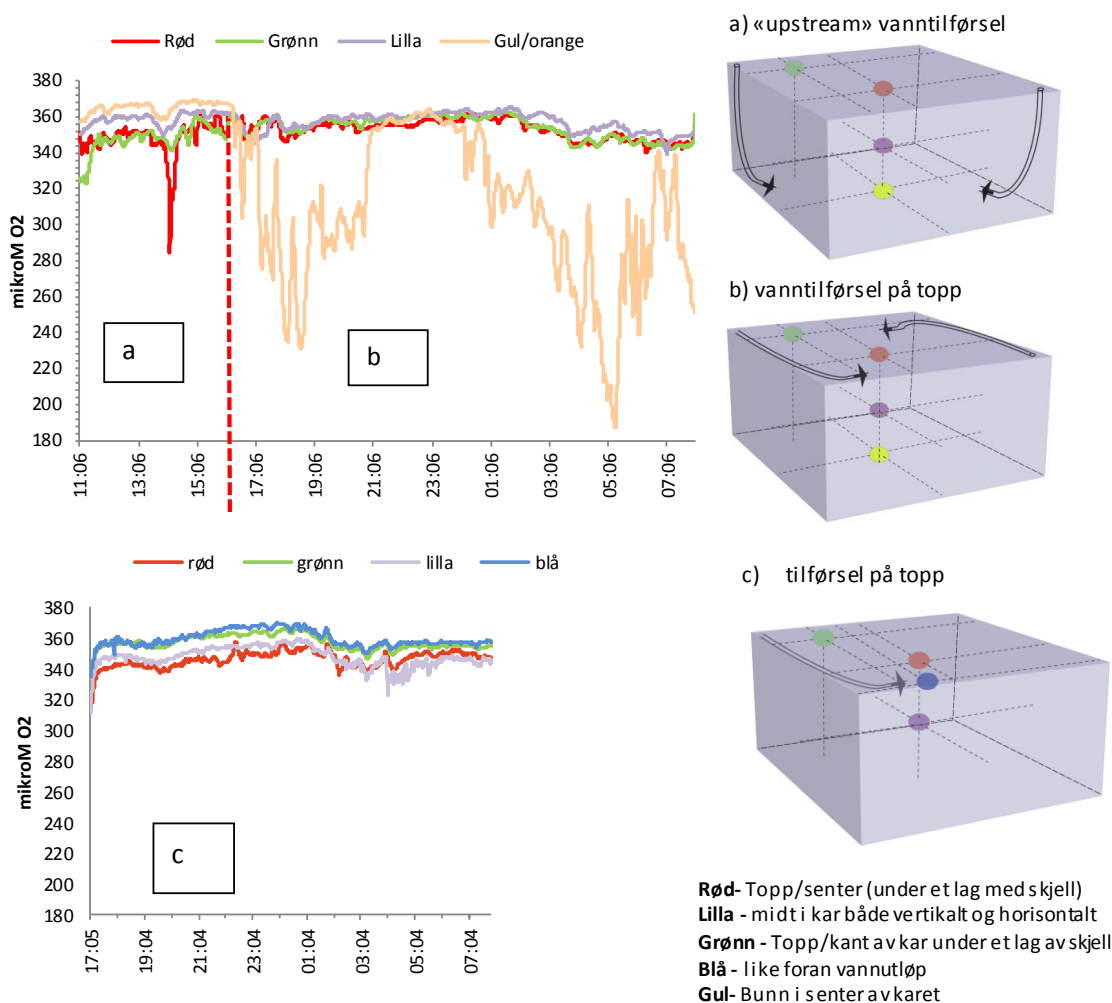
Beregnet flow var noe høyere enn referert i ScalQual prosjektet (Magnesen et al. 2003) hvor tilstrekkelig flow ved  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  var anbefalt til  $0,065 \text{ L min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ . Duncan (1993) beregnet flow ved  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  til  $0,074 \text{ L min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ . Det er sannsynlig at tilstrekkelig vanntilførsel vil variere med karutforming, hvordan vannet tilføres og høyden på lagret skjell i karene. Disse parameterne er ikke oppgitt i de to nevnte referansene.

### 3.2.2 Vanntilførsel i karene

Oksygenkonsentrasjonen i vannet i ulike områder av mellomlagringstankene ble undersøkt i mars 2009 ved:

- Vanntilførsel (inn) med to slanger fra bunnen og overrenning (ut) over kar kanten
- Inn med to slanger på toppen av karet og overrenning (ut) over kar kanten
- Inn med en slange på toppen av karet og med overrenning (ut) som utløp

Ved «upstream» vanntilførsel (Figur 3.3 a) varierte konsentrasjonen med 20-25  $\mu\text{M}$ , tilsvarende ca.  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  for de ulike målepunktene. Verdiene var høyest for målepunktet i bunnen. Ved flytting av slangene til toppen av karet (Figur 3.3 b), fikk man to kraftige dropp i konsentrasjonen ved målepunktet på bunnen, tilsvarende en nedgang på  $4,5 \text{ mg L}^{-1}$ . I de tre målepunktene på toppen av karet var konsentrasjonen høy, relativt stabil og med minimal variasjon mellom målepunktene. Ved vanntilførsel med en slange på toppen (Figur 3.3 c), var konsentrasjonen i samtlige målepunkt på toppen mellom 340-360  $\mu\text{M}$ , dvs. tilnærmet det samme som i a) og b). Dette gjaldt også målepunktet plassert ca 25-30 cm ned i biomassen, midt i karet.



Figur 3.3 - Oksygenkonsentrasjoner i ulike områder av et 1000 L kar i mars 2009, sjøtemperatur  $4,7 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\sim 90 \text{ L min}^{-1}$ ); a) vanntilførsel fra to slanger under skjellene («upstream»); b) fra to slanger på topp av skjellene; c) fra en slange på topp.

### 3.2.3 Lagringshøyde av skjellene

#### *April*

5-6 timer etter innsett i beholderne hadde skjellene i de øverste 20 - 30 cm begynt å filtrere. De nederste skjellene så ut til å forbli lukket. Samme trend kunne observeres gjennom hele forsøket.

Figur 3.4 a) viser registrert dødelighet av skjell etter 7, 14 og 18 dager i de ulike sylindertyperne. Generelt økte dødeligheten gjennom perioden for alle gruppene. Liten dødelighet ble registrert etter 7 dager og ingen signifikant forskjell i mellom gruppene (ANOVA;  $p > 0.05$ ). Ingen signifikant forskjell i dødelighet ble funnet mellom liten sylinder og middels sylinder etter dag 14 og 18. For stor sylinder på disse dagene ble det funnet en signifikant høyere dødelighet sammenlignet med de andre gruppene (ANOVA; 14 dg:  $p = 0,001$  og 18dg:  $p = 0,006$ ).

Figur 3.5 a) viser hvordan dødeligheten fordeler seg i de ulike lagene; bunn, midten og topp av stor sylinder. En trend til høyere dødelighet i bunnen av sylindere sammenlignet med topp ble funnet etter 7 dager (ANOVA;  $p = 0.08$ ). Dødeligheten i bunnen av sylindere var signifikant høyere enn både midten og toppen av sylinder etter 14 dager (ANOVA;  $p = 0,0015$ ) og 18 dager (ANOVA;  $p = 0,0007$ ). Forskjeller i dødelighet mellom ulike lag i middels beholder ble undersøkt, men ingen statistiske forskjeller ble funnet for noen av dagene.

#### *September*

Som for forsøk 1 (april), kunne man også i dette forsøket observere at skjellene aktivt filtrerte under lagring i liten sylinder, samt toppen av stor og middels sylinder.

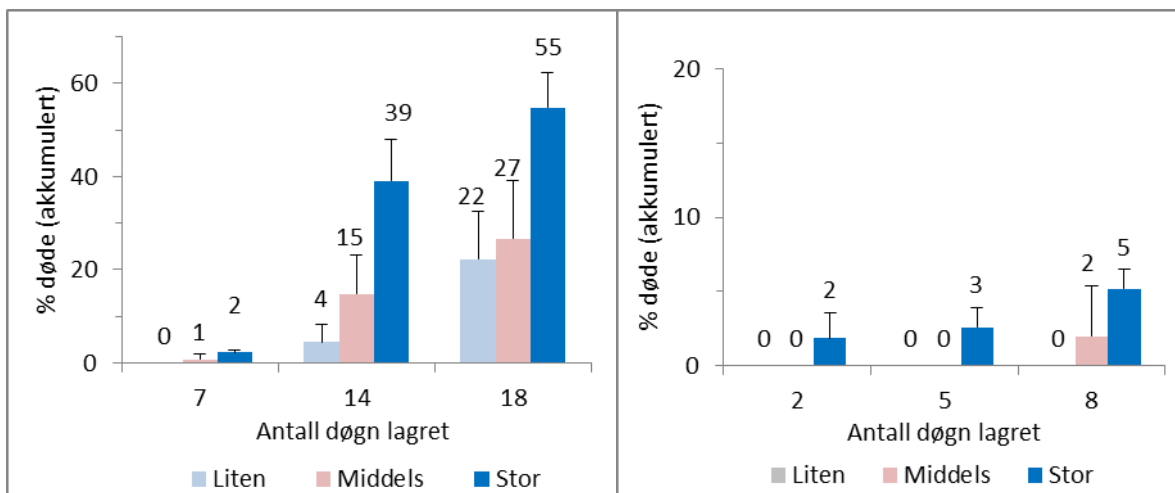
Skjellene lengre nede i stor og middels sylinder forble lukket, mest sannsynlig som følge av vekten av overliggende skjell. Figur 3.5 b) viser registrert dødelighet i de ulike beholderne (stor, middels og liten) etter 2, 5 og 8 dager lagring. Med maksimum 5 % dødelighet etter 8 dager var overlevelsen av skjell god. Ingen dødelighet ble funnet i liten beholder under perioden, og dødelighet i middels beholder ble først registrert ved siste uttak på slutten av forsøket (8 dager). Statistisk ble det for øvrig kun funnet høyere dødelighet for skjell i stor beholder etter 5 dager sammenlignet med liten og middels sylinder (ANOVA;  $p = 0,007$ ). En trend mot statistisk høyere dødelighet i stor sylinder sammenlignet med liten ble også funnet etter dag 8 (ANOVA;  $p = 0,059$ ). Døde skjell i stor beholder ble først og fremst funnet i bunnen av sylindere.

Figur 3.5 b) viser dødelighet av skjell under revitalisering ved uttak og en dag etter simulert transport. Ved uttak ble det funnet signifikant høyere dødelighet hos skjell fra bunn av stor sylinder sammenlignet med topp av stor sylinder (ANOVA;  $p = 0,04$ ), og en tendens til høyere dødelighet sammenlignet med skjell fra liten sylinder (ANOVA;  $p = 0,069$ ).



a) April - sjøtemperatur  $5,0 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

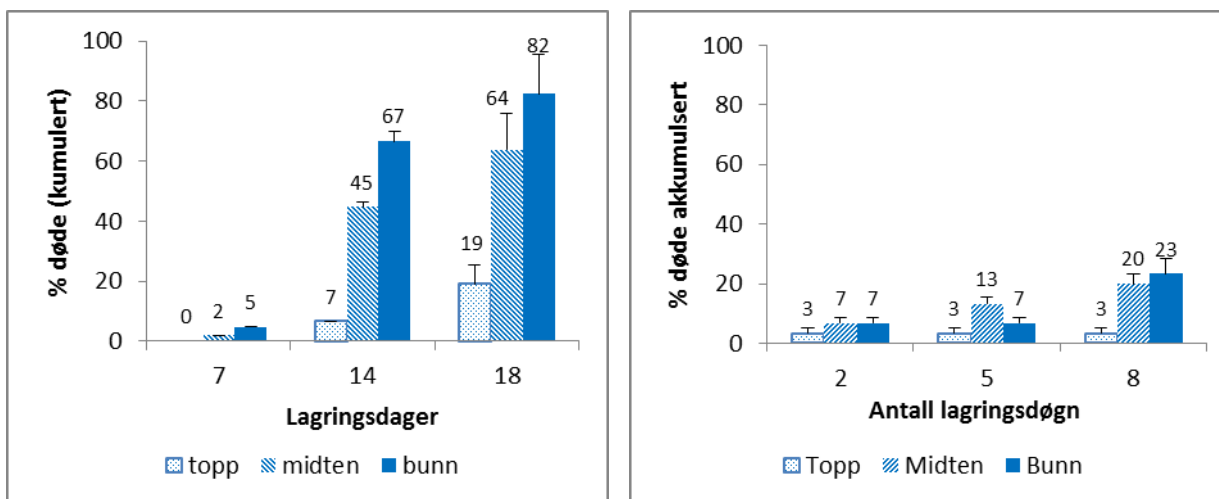
b) September - sjøtemperatur  $13,7 \pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$



Figur 3.4 - Dødelighet i stor, middels og liten sylinder etter ulike lagringstider; a) april og b) september.

a) April - sjøtemperatur  $5,0 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

b) September - sjøtemperatur  $13,7 \pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$



Figur 3.5 - Dødelighet i topp, midten og bunn av stor sylinder; a) april og b) september.

### 3.3 Storskalaforsøk med kartype, lagringshøyde og lagringstid

Storskalaforsøk ble foretatt i september 2011, hvor man nyttet erfaringer fra tidligere forsøk med vanntilførsel og høyde på skjellene.

To alternative lagringseheter ble testet opp mot bedriftens ordinære kar, se avsnitt 2.3 og **Feil! Fant ikke referansekilden.** Skjellhøyden i samtlige kar var 30 cm, som tidligere funnet akseptabelt i forsøk med sylindere (se avsnitt 3.2.3). Skjellene var plukket ved Smøla samme dag som de ble levert på bedriften. Alle kar ble fylt med ønsket mengde skjell etter hvert som skjellene ble losset. I løpet av en time var samtlige av prøvekarene fylt, 3 ulike kar til korttidslagring (36 t) og 3 til langtidslagring

(5 døgn tilsv., 116 t). Sjøtemperaturen i september lå mellom 13,5 og 14,5 °C på innvannet, dvs. en tøffere situasjon for skjellene enn forsøket i mars 2009.

Etter 36 timer som regnes som en revitalisering av skjellene, ble ett kar av hver type sortert og pakket. Ingen døde skjell ble registrert (Tabell 2.1).

**Tabell 3.2 - Dødelighet ved kort- og lang forhåndslagring av kamskjell i tre ulike kartyper høsten 2011.**

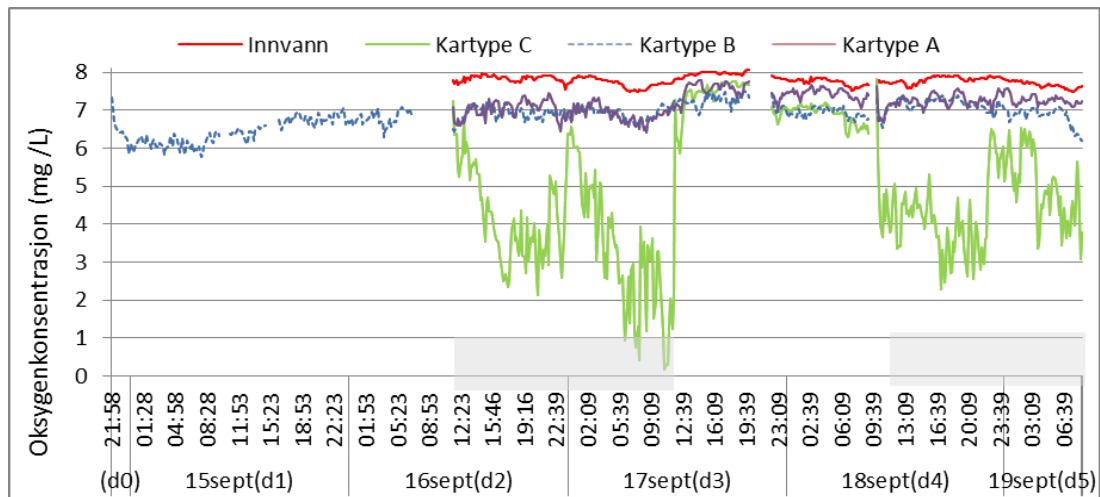
Lagring (timer)	Skjell-høyde	Kar type	Biomasse (kg)	Flow snitt (0-36 t)	Flow snitt (36-116t)	Lukt v/slutt	Døde ant	Døde (% kg)
36 t	30 cm	C	175	0.25	-	-	0	0
		B	170	0.25	-	-	0	0
		A	131	0.28	-	-	0	0
116 t	30 cm	C	170	0.20	0.35	Mye	37	4.7
		B	181	0.23	0.32	-	6	0.7
		A	131	0.25	0.39	-	8	1.4

\* Flow: L min<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>

For skjellene som var lagret i 5 døgn, var dødeligheten i kar C på 4,7 %, dvs. over 3 ganger så høyt som i kar A og over 6 ganger så høyt som i kar B (Tabell 1). Det var også en sterk ammoniakk lukt da kar C ble tømt på sorteringsbordet. Dette skyldes bl.a. en del skjell som til dels hadde gått i oppløsning og luktet sterkt. Disse skjellene hadde sannsynligvis vært døde i en lengre periode av langtidslagringen. En medvirkende årsak til lukten var sannsynligvis vannkvaliteten i bunnen av karet.

Oksygenlogging ble foretatt vekselvis på topp og bunn av karene. Loggingen i bunnen ble foretatt ett døgn fra kl. 12 på dag 2, og fra kl. 12 på dag 4 og inntil karene ble tømt for pakking (Figur 3.6). Før loggingen på bunnen startet, ble karene tømt, loggerne plassert på bunnen, og nytt vann fylt opp i karene.

Loggingen på bunnen viste betydelig redusert oksygen for kar C (Figur 3.6). Videre viste prøver av bunnvannet i dette karet total ammoniakk på 0,2 mg L<sup>-1</sup> da karet ble tømt etter endt lagringstid. Ammoniakk i bunnvannet var under deteksjonsgrensen i de to andre karene.



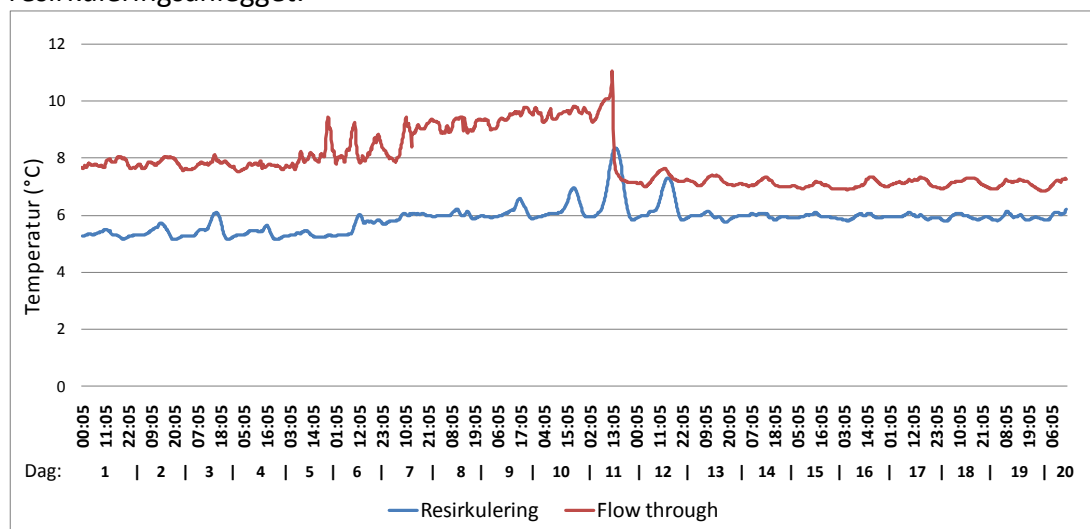
Figur 3.6 - Oksygenkonsentrasjon (mg/L) ved langtidslagringen av kamskjell. De første 36 timer målt kun i kar B (topp). Deretter vekselvis på toppen og i bunnen av alle karene, samt i inn-vannet. Måling i bunnen av karene markert med grått på tidsaksen.

### Konklusjon

Ved lagring av skjellene i 30 cm høyde ble det ikke registrert dødelighet i noen av kartypene under revitalisering (36 timers lagring). Ved lagring utover dette, ble betydelige oksygensvikt i bunnvannet registrert i karet med Seashell sin ordinære lagringsmetode, dvs vannslange på toppen og ut vannet over kanten.

## 3.4 Spesielle forhold ved lagring av skjell i sommerhalvåret

Ingen tekniske problemer oppsto under lagringsforsøket juni 2009. Både for flow through og resirkuleringsanlegget viste målinger at vannkvaliteten var god (>95 % O<sub>2</sub>, Salinitet ~32 ‰, pH ~8.2). Vanntemperaturen for de to forsøksoppsettene (flow through og resirkulering) er vist i Figur 3.7, hvor rød linje viser temperaturforløpet for skjell lagret i flow through anlegg og blå linje viser temperaturen i resirkuleringsanlegget.



Figur 3.7 - Temperatur gjennom forsøksperioden fra 20. mai til 8. juni 2009.

Fra dag 7 ble det observert en gradvis økning i temperaturen for flow through fra ca 8 °C til over 10 °C på dag 11. På grunn av tekniske årsaker ble vanntilførselen til flow through systemet på dag 11 forandret slik at vann ble pumpet fra et større dyp (50 meter mot 19 m tidligere), noe som medførte en betydelig nedgang i temperaturen. Den resterende tiden av forsøksperioden holdt temperaturen seg stabil rundt 7 °C i flow through systemet.

Etter dag 5 ble temperaturen i resirkuleringsanlegget (blå linje, Figur 3.7) justert opp (til 6 °C) da det viste seg at kjøleren ga større effekt enn ønsket. Bortsett fra dette holdt temperaturen seg forholdsvis stabil i resirkuleringsanlegget frem til dag 10. På dag 10, 11 og 12 ble det målt betydelige døgnvariasjoner i temperatur, med en økning på over 2 °C på dag 11. Det var mye sol disse dagene og døgntemperaturene var relativt høye noe som mest sannsynlig har forårsaket en oppvarming av forsøkslokalitetene hvor resirkuleringsanlegget var lokalisert. Fra dag 12 og resten av forsøksperioden holdt temperaturen seg stabil rundt 6 °C i resirkuleringsanlegget.

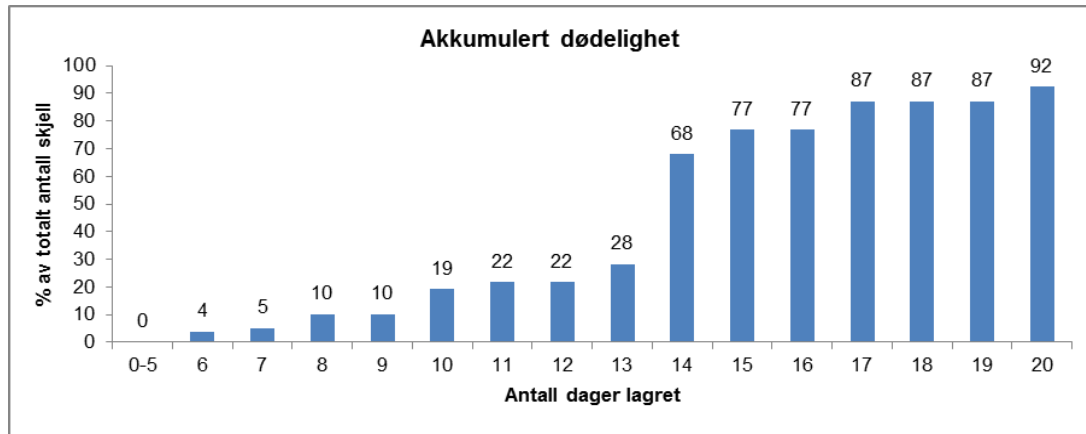
### Dødelighet

Det ble ikke registrert noen dødelighet for skjell som ble lagret i flow through systemet gjennom lagringsperioden. Ved dag 9 ble det observert gyting av flere skjell i en isoporkasse i flow through systemet og på dag 11 ble det også observert gyting av flere skjell i en annen kasse.

Frem til og med dag 5 ble det ikke observert noen dødelighet for skjell lagret i resirkuleringsanlegget. Fra dag 6 og videre ut forsøksperioden ble det forøvrig ved hver undersøkelse funnet døde skjell. Ved endt forsøk var mindre enn 10 % av skjellene fortsatt i live (Figur 3.9). Hos alle de døde skjellene ble det observert at kapperanden hadde trukket seg tilbake og var ofte løs fra skallet (Figur 3.8). Det ble ikke registrert noen tilsynelatende forskjeller mellom skjell under 11 cm og skjell over 11 cm med hensyn på dødelighet. På dag 14 ble det observert rognrester i en isoporkasse i resirkuleringsystemet. Generelt var vannet ganske grumsete i alle kasser denne dagen noe som indikerte at det hadde foregått gyting (av melke) også i andre kasser (Mason 1958).



Figur 3.8 - Dødt kamskjell lagret i resirkuleringsanlegg.



Figur 3.9 - Akkumulert dødelighet gjennom forsøksperioden fra 20. mai til 8. juni 2009 for skjell lagret i resirkuleringsanlegg (6 °C). Dag 12, 16, 18 og 19 ble dødelighet ikke registrert.

Grunnen til den store dødeligheten resirkuleringsanlegget er ikke kjent. På grunn av en noe høyere effekt av kjøleanlegget enn beregnet lå temperaturen de første fem dagene av forsøket ned mot 5 °C. Dette er tilsvarende temperaturer som tidligere har vist økende dødelighet hos yngel og juvenile kamskjell (Strand et al. 1993; Brynjelsen and Strand 1996). Selv om voksne kamskjell vanskelig kan sammenlignes med juvenile skjell er det mulig at den lave temperaturen kan ha påvirket overlevelsen av skjellene som ellers hadde vært utsatt for flere påkjenninger (høsting, håndtering og «tørr» transport) dagene forut for innsett.

En annen mulighet kan være opphopning av avfallsstoffer i resirkuleringsanlegget. Det ble ikke foretatt målinger av ammoniakk den første uken av forsøket. Målinger foretatt på dag 7 viste for øvrig verdier langt under hva som kan anses som dødelig for skjell (0,003 – 0,004 mg/L NH<sub>3</sub>) (Epifanio and Srna 1975; Widman et al. 2008; Zhang et al. 2009) Det kan imidlertid ikke utelukkes at nivået av ammoniakk har vært høyere tidligere dager, da biofilteret i resirkuleringsanlegget trenger tid for å etablere nitrifiseringsprosessen.

En tredje mulighet er at skjellene i resirkuleringsanlegget ikke fikk tilstrekkelig med næring, ettersom det resirkulerte vannet ble rensert og dermed ikke hadde noen partikler (alger, organiske stoff) som ga føde for skjellene. Som en forlengelse av forsøket ble skjell som hadde vært i flow through systemet satt i resirkuleringsanlegget i en uke, men ingen dødelighet ble observert på disse skjellene. Dette indikerer at mangel på næring ikke ser ut til å være en isolert årsak til den observerte dødeligheten. Årsaken til den høye dødeligheten kan med andre ord være forårsaket av enkelte eller summen av flere faktorer, og viser at det er forbundet en del utfordringene med å benytte resirkuleringsanlegg i mellomlagring av kamskjell (j.fr. **Feil! Fant ikke referansekilden. Feil! Fant ikke referansekilden.**).

### 3.4.1 Observasjoner av gyting

I Norge er det funnet geografiske forskjeller i både tid og temperatur for gyting hos kamskjell (Strand and Nylund 1991; Duinker and Nylund 2002; Magnesen and Christophersen 2008), hvor det i Trøndelag har blitt sagt at gyting forekommer i juni ved en temperatur på mellom 7-9 °C.

Gjennom prosjektperioden har man gjort en del observasjoner i forhold til gyting, og også her sett at temperatur er viktig. I forbindelse med lagringsforsøket i juni 2009 (Se 3.4 Spesielle forhold ved lagring av skjell i sommerhalvåret) ble det observert gyting hos flere kamskjell i flow through systemet i en periode med temperaturstigning fra 8 til mellom 9 og 10 °C. Det ble også observert en viss form for synkronitet i gytingen ved at flere skjell i samme kasse gytte samtidig. Dette har trolig sammenheng med at skjell som gyter har vist å kunne stimulere andre skjell til å gyte (Barber and Blake 2006).

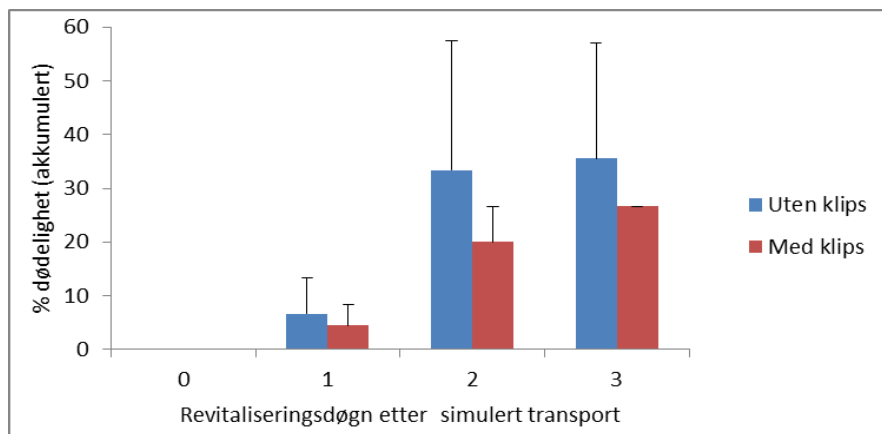
Også bedriftspartner i prosjektet (Seashell AS) rapporterte om første observerte gyting i denne perioden i 2009, hvor temperaturen hadde steget fra 8 til 9-10 °C. For årene 2010 og 2011 ble det imidlertid ikke rapportert om gyting fra bedriften før august, en tid hvor man antar at kamskjellene i dette området vanligvis starter regenerering av gonader (Duinker and Nylund 2002; Magnesen and Christophersen 2008). En måneds tid etter dette, kom det tilbakemeldinger fra kjøpere med preferanser for store gonader om at skjellene ikke holdt ønsket kvalitet (små utgytte gonader). Spesielle temperaturforhold med lang kald vinter og vår og sen temperaturstigning kan være en mulig årsak til en forsinket gyting disse årene. Temperaturen i perioden av 2010 og 2011 hvor det ble rapportert om gyting var betydelig høyere (12-13 °C, fra Salmar) enn hva vi målte i forbindelse med gyting i 2009 og som er rapportert av Strand og Nylund (1991). Det fremstår derfor noe uklart om gyting i dette området forekommer ved en gitt temperatur eller som et resultat av endringer i temperatur. Mason (1958) argumenterte også for at gyting ikke ser ut til å skje ved en gitt temperatur og observerte i sine studier gyting hos kamskjell ved flere ulike temperaturer. Andre studier styrker også ideen om at gyting er sterkt påvirket av selve endringen i temperatur. Minchin (1992) plasserte voksne kamskjell i lanternenett på dyp under 16 m i perioder fra 1 til 4 måneder. I juni/juli ble skjellene heist opp mot overflaten hvilket medførte en temperaturheving på 1.1 – 2.4 °C. I alle forsøksoppsettene medførte dette en oppstart av gyting.

Temperatur blir også benyttet i yngelproduksjon av kamskjell, hvor voksne skjell utsettes for «varmesjokk» for å stimulere gyting (Gruffydd and Beaumont 1970). Selv om gyting kan se ut til å være mer regulert av endringer i vanntemperatur hvor kritisk temperatur avhenger av tilvenningstemperatur hos skjellene (Barber and Blake 2006), er bildet sannsynligvis mer komplekst hvor flere faktorer virker. Månefaser har bl.a. blitt nevnt som mulig stimuli til gyting (Brand 2006). Videre er tidspunkt og periode for algeoppblomstring sannsynligvis viktig da skjell trenger nok næring og tid til å bygge opp gonader (MacDonald and Thompson 1986; Barber and Blake 2006). Muligheten for å «forutse» periode for gyting er viktig i kommersiell utnyttelse av arten ved at man ønsker forutsigbarhet ovenfor markeder som ønsker skjell med fyldig gonade. Variasjoner fra år til år samt usikkerhet rundt faktorer som påvirker gyting gjør det imidlertid vanskelig å planlegge produksjon i forhold til å møte markedets behov.

### 3.5 Pakkemetode

#### Forsøk med pakking med og uten klips

Skjellene ble pakket og satt på kjølerom for simulert transport. Til sammen 3 kasser med og 3 kasser uten klips ble tatt ut etter 24 timer. Dødelighet ble registrert ved uttak og etter 1, 2 og 3 dager med revitalisering (Figur 3.10). Ved uttak var ingen av skjellene døde. Skjellene ble deretter lagt på østerskasser for revitalisering, ett merket brett for hver kasse. For kassene uten klips var 6.7 %, 33.3 % og 35.6 % døde (akkumulert) ved registrering etter henholdsvis 1, 2 og 3 døgn., For skjell med klips var dødeligheten lavere med henholdsvis 4.4 %, 20 % og 26.7 % døde (Fig. 3.10). Forskjellene i dødelighet skyldtes stor dødelighet i en av kassene uten klips, og ved testing var forskjellene ikke signifikant forskjellig.



Figur 3.10 - Simulert transport av skjell pakket uten klips og med klips.

#### Transport til Belgia og Ålesund, april 2011

Skjell ble forhåndslagret i 1,5 døgn (K=kort) og i 6 døgn (L=lang), deretter pakket og transport til det belgiske markedet og til Ålesund. Pakking ble foretatt i 5 kg isoporkasser (hver med 20 klipsede skjell). Pakking ble foretatt på to ulike måter:

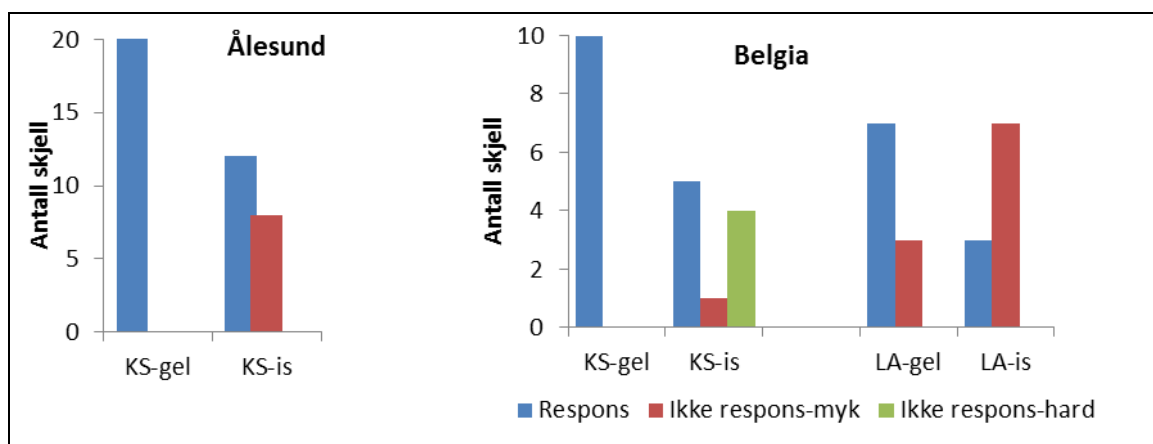
- Gel = Treull fuktet i sjøvann lagt oppå skjellene; gelis (0,5 kg) på toppen.
- Is = knust is ca 1 kg lagt i bunnen av kassen med skjell direkte oppå isen.

Dødelighet ble registrert ved fremkomst og åpning av kassene ved:

- Muskelrespons ved åpning av en begrenset del av skjellene: 10 av hver type i Belgia, og 20 i Ålesund
- Muskelrespons uten å åpne skjellene og ved registrering etter 5 døgn med revitalisering

En betydelig større andel av skjellene transportert med gelis hadde positiv muskelrespons, både for korttidslagret sammenlignet med langtidslagret, og for skjell

transportert med is sammenlignet med skjell transportert med gel (Figur 3.11 og Tabell 3.3).



Figur 3.11 - Muskelrespons for skjell med kort forhåndslagring i 1,5 døgn (KS) og lang forhåndslagring i 6 døgn (LA), og transportert med gel og knust is som kjølemedium i kasene

Tabell 3.3 - Andel døde ved uttak og under revitalisering av skjellene etter transport i 3 døgn fra Seashell på Frøya og til Ålesund med ulike pakkeметode

Før transport		Pakke metode	% døde (akkumulert)	
Lagring	Kartype		Ved uttak	Revitalisert 5 døgn
6 døgn	Adriatec	Knust is	30,0 ± 5	53,3 ± 5,8
		Gel-is	18,3 ± 2,9	35,0 ± 8,7
		P-verdi	0,025	0,038
1,5 døgn	Nordic	Knust is	38,3 ± 5,7	60 ± 0
		Gel-is	25,0 ± 5	41,7 ± 2,9
		P-verdi	0,039	< 0,001

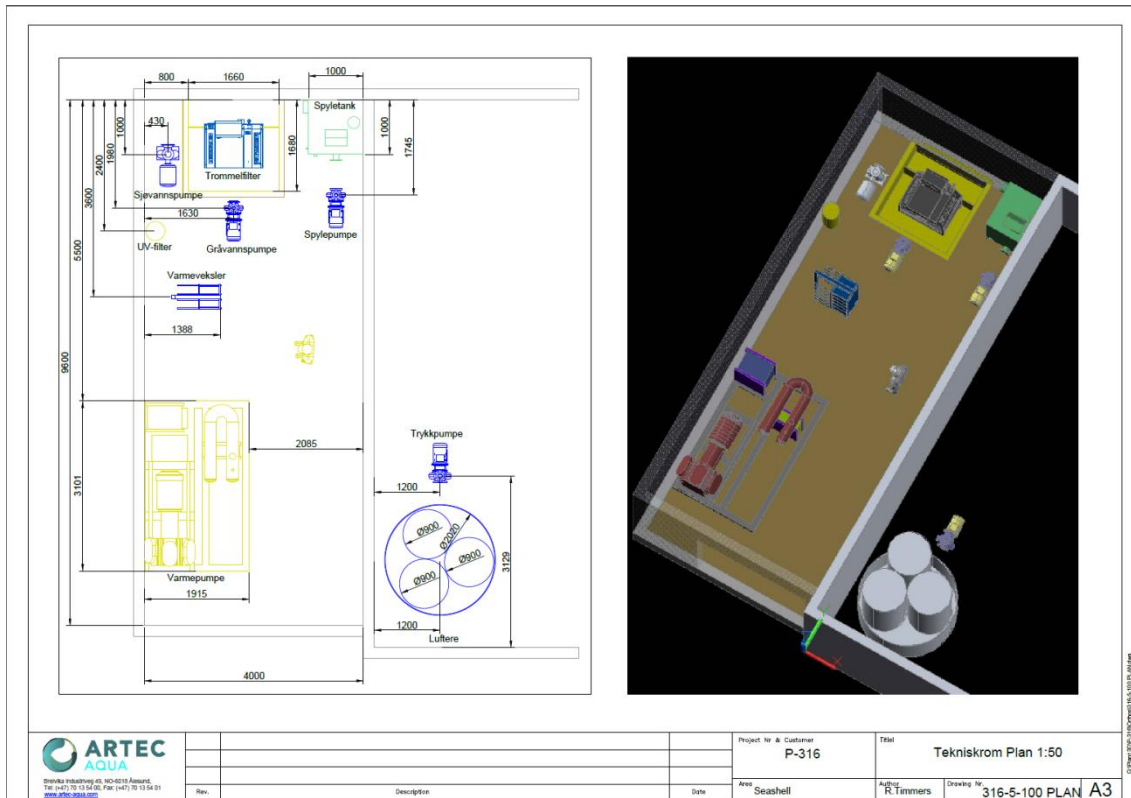
### 3.6 Spesifikasjon for oppjustering av dagens anlegg

Følgende prinsipielle punkt ble lagt til grunn for en spesifisering av et nytt levende lagringsanlegg hos Seashell, som tegnet inn Figur 3.12.

- Inntaket senkes så langt det lar seg gjøre (per i dag på 5 m)
- Rett etter inntakspumpen må det være UV for å unngå/begrense begroing
- Vannet går gjennom en varmeveksler (i dette tilfellet vil det da kjøle ikke varme)
- Gjennom en fordampner som er tilknyttet varmepumpe (vannet gir da fra seg energi)
- Etter dette vil det gå til kar med skjell
- Avløpsvannet blir så ført tilbake til varmeveksler
- Så til kondensatoren i varmepumpen og så i avløp.

Artec forslår i tillegg oksygenering, trommelfilter og lufting siden vannet nedkjøles. Nedkjøling fører til en undermetning av gasser. På vinteren kan det uansett være greit å lufte vannet, selv om det ikke blir nedkjølt, da sjøvann ikke alltid er i likevekt.





Figur 3.12 - Prinsipiell tegning av et nytt levendelagringsanlegg hos Seashell.

Oversikt over investeringsanlegg er forelagt. Største utgift på et slikt anlegg vil være prosessutstyret inkludert varmpumpe, kolonnenluffer, trommelfilter, avløpspumpe og frekvensomformere. I tillegg kommer automasjon, rørentreprise og montasje, samt prosjektledelse. Utgiftene ble forelagt bedriften hvor det var angitt høy, middels eller lav sikkerhet for kostnadsberegningene.

Viktig ved planleggingen av levendedyr anlegget, vil være strømforbruk. Seashell beregner at han må kjøle med sine varer i 3 av årets måneder. Strømforbruk ble estimert for en nedkjøling på 7°C.

Spesifisert oppsett, kostnadsoverslag og strømforbruk er forbeholdt bedriften.



## 4 KONKLUSJON

### 1. Analyse av logistikk i bedriften

- Skader på skjellkanten forekom hyppig i produksjonsprosessen, hvor det ble funnet en tydelig sammenheng mellom grad av fysisk påkjenning og antall skjell med skader på vekstkant.
- Laboratorieforsøk som ble foretatt viste at skjell som fikk røff behandling (fallskader etc) hadde betydelig redusert evne til overlevelse sammenlignet med skjell som var håndtert skånsomt.

### 2. Sesong

Forskjeller var observert mellom vinter og sommer situasjon:

- Mars/april: Skjellene sterke og gonadene modnende. Sjøtemperatur på 5 meters dyp 4-5 °C.
- September: Skjellene utgytt og svake. Sjøtemperatur på 5 meters dyp 13-14 °C.

### 3. Lagringsenheter

#### *Adriatec*

- Adriatec karene var effektive i forhold til vanngjennomstrømming og rensing av skjellene for sand og til dels alger.
- Effektiv stablingshøyde for skjellene i Adriatec karene er ca. 55 cm. Forsøk med todeling av karene ga stablingshøyde på 25 cm.
- Bedriftens sortering og pakkelinjen må tilpasses karene.

#### *Nordic Supply 1000 Liter*

- Dagens lagringsmetode med kar som gis vanntilgang på toppen gir svært dårlig vannutskifting i bunnen og har dårlig renseeffekt.
- Karene kan forbedres ved at inn-vannet kobles til karets bunnventil, som vil gi en oppstrøms vanngjennomstrømming i karet.
- Innsett av en falsk bunn, vil gi en mer effektiv spredning av vannet.
- Sorterings og pakkelinjen kan beholdes uten forandringer.

### 4. Lagringshøyde

- 50 cm stablehøyde av skjellene ved lagring i karene, ga dårligere overlevelse enn for skjellene lagret i øvre del av karene.
- 30 cm og 15 cm stablehøyde ga tilnærmet samme overlevelse
- 30 cm anbefales som maks stablehøyde av skjellene i karene

## 5. Oksygenbehov og flow

Understående tabell viser beregning av oksygenforbruk og nødvendig flow i de ulike sylindere for at oksygen-konsentrasjonen ikke skal synke under 80 % metning (april) og heller ikke lavere enn 7,5-8 mg L<sup>-1</sup> (september). Beregningen er for mellomlagring. Ved innsett av skjellene (revitalisering) må det beregnes høyere flow da skjellene er stresset

<i>Dato</i>	t °C	100 % O <sub>2</sub> mg L <sup>-1</sup>	Repli- kater	Timer logget	O <sub>2</sub> (Snitt ± SD) mg min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup>	Flow L min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup>
02.09.2011	14	8,5	3	24	0,24 ± 0,06	0,14
03.04.2011	4,7	10,2	3	17	0,10 ± 0,01	0,05

## 6. Lagringslengde

- Revitalisering 1-2 dager styrker skjellene.
- Ved god vanngjennomstrømming og skjellhøyder opptil 30 cm, kan kamskjellene lagres opptil 5-6 dager uten svinn selv om sjøtemperaturene er 13-14 °C og skjellene svake.

## 7. Pakkemetoder

- Ved sammenligning av skjell transportert med og uten klips (som hindrer åpning av skallet) ble det ikke funnet signifikante forskjeller i dødelighet etter 24 timer transport og 3 dager revitalisering etter transporten.
- Transportforsøk viste at skjell som var transportert med våt treull og gelis på topp hadde en signifikant lavere dødelighet sammenlignet med skjell transportert direkte på knust is.
- Valg av pakkemetode avhenger av markedsdestinasjon, dvs. transporttid samt mottakers krav til skjellenes vitalitet.
- Valg av pakkemetode er også et økonomisk spørsmål. Pakking kun med is er en rimelig pakkemetode. Pakking med skjell, treull og gelis gir bedre overlevelse, men større pakkekostnader.
- Duncan (1993) fant at optimal temperatur for overlevelse i luft lå fra 2 til 5°C.

## 8. Spesifisering og økonomisk kalkyle i forhold til en oppjustering av dagens anlegg

Artec Aqua foretok spesifiseringen av utforming og økonomisk kalkyle for en oppjustering av dagens anlegg for levendelagring ut fra resultater funnet i prosjektperioden. Nytt anlegg er planlagt med oppstrøms flow hvor halvparten av biomassen kjøles i perioden juli – oktober. I kjølesammenheng, er resirkulering en utfordring ved at biofiltrene må jobbe ved lave temperaturer. Et anlegg for kjøling av vannet ved bruk av varmepumpe og vekslere hvor energien gjenvinnes men vannet ikke gjenbrukes i karene, ble derfor valgt.

## 5 REFERANSER

Barber, B. J. and N. J. Blake (2006). Reproductive Physiology. Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. S. E. Shumway and G. J. Parsons. Amsterdam, Elsevier B.B.: pp.357 - 416.

Brand, A. R. (2006). Scallop ecology: distribution and behaviour. Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. S. E. Shumway and G. J. Parsons. Amsterdam, Elsevier B.B.: pp. 651-744.

Brynjelsen, E. and Ø. Strand (1996) Prøvedyrking av stort kamskjell i mellomkultur - 1995-1996, Havforskningsinstituttet, Nr. 18

Christophersen, G. (2005). "Effects of environmental conditions on culturing scallop spat (*Pecten maximus*)."  
Dr. thesis, Department of biology, University of Bergen.

Christophersen, G. and Ø. Lie (2003). "Nursery growth, survival and chemical composition of great scallop *Pecten maximus* (L.) spat from different larval settlement groups." Aquaculture Research **34**(8): 641-651.

Christophersen, G., G. Román, J. Gallagher and T. Magnesen (2008). "Post-transport recovery of cultured scallop (*Pecten maximus*) spat, juveniles and adults." Aquaculture international **16**(2): 171.

Duinker, A. and A. Nylund (2002). "Seasonal variations in the ovaries of the great scallop (*Pecten maximus*) from western Norway." Journal of the Marine Biological Association of the UK **82**: pp 477 - 482.

Duncan, P. F. (1993). Post-harvest physiology of the scallop *Pecten maximus* (L.). . Biomedical and Life Sciences (IBLS) - Division of Environmental and Evolutionary Biology, University of Glasgow. **PhD thesis.**

Epifanio, C. E. and R. F. Srna (1975). "Toxicity of ammonia, nitrite ion, nitrate ion, and orthophosphate to *Mercenaria mercenaria* and *Crassostrea virginica*." Marine Biology **33**(3): 241-246.

Gruffydd, L. D. and A. R. Beaumont (1970). "Determination of the optimum concentration of eggs and spermatozoa for the production of normal larvae in *Pecten Maximus* (Mollusca, Lamellibranchia)" Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen **20**: 486-497.

MacDonald, B. A. and R. J. Thompson (1986). "Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus*. II. Reproductive output and total production." Mar. Ecol. Prog. Ser **25**: 295-303.

- Magnesen, T., Bergh, ivind and G. Christophersen (2006). "Yields of great scallop, *Pecten maximus*, larvae in a commercial flow-through rearing system in Norway." *Aquaculture International* **14**: 377-394.
- Magnesen, T. and G. Christophersen (2007). "Large-scale raceway nursery for improved scallop (*Pecten maximus*) spat production." *Aquacultural Engineering* **36**(2): 149-158.
- Magnesen, T. and G. Christophersen (2008). "Reproductive cycle and conditioning of translocated scallops (*Pecten maximus*) from five broodstock populations in Norway." *Aquaculture* **285**(1-4): 109-116.
- Magnesen, T., G. Christophersen and G. Román (2003) Final Report - SCALQUAL - Contract no Q5CR 2000-70310,
- Magnesen, T. and A. Jacobsen (2012). "Effect of water recirculation on seawater quality and production of scallop (*Pecten maximus*) larvae." *Aquacultural Engineering* **47**(0): 1-6.
- Mason, J. (1958). "The breeding of the scallop, *Pecten maximus* (L.), in Manx waters." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **37**: 653-671.
- Minchin, D. (1992). "Induced spawning of the scallop, *Pecten maximus*, in the sea." *Aquaculture* **101**(1-2): 187-190.
- Strand, Ø. and A. Nylund (1991). The reproductive cycle of the callop *Pecten maximus* (L.) from two populations in Western-Norway, 60N and 64N. *An International Compendium of Scallop Biology and Culture*. S. E. Shumway. Baton Rouge, World Aquaculture Society: 95-105.
- Strand, Ø., P. T. Solberg, K. K. Andersen and T. Magnesen (1993). "Salinity tolerance of juvenile scallops (*Pecten maximus* L.) at low temperature." *Aquaculture* **115**(1-2): 169-179.
- Widman, J., S. Meseck, G. Sennefelder and D. Veilleux (2008). "Toxicity of Un-ionized Ammonia, Nitrite, and Nitrate to Juvenile Bay Scallops, &i>Argopecten irradians irradians&/i>." *Archives of environmental contamination and toxicology* **54**(3): 460-465.
- Woll, A. and S. Bakke (2009) Optimalisering av kvalitet og markedstilpasning gjennom verdikjeden ved en helårsomsetning av levende kamskjell (*Pecten maximus*). - Arbeidsrapport: Analyse av logistikk I bedrift, Møreforskning Marin, Lukket rapport - Å0919
- Zhang, Y., G. Xiao, L. Lin, J. Zhang and X. Chai (2009). "Effects of pH and Ammonia-N on Tolerance of *Estellarca olivacea* [J]." *Sichuan Journal of Zoology* **1**