

## Blåskjell dyrking – fortsatt produksjon i en tynn tråd ?

### Havaririsiko

Egil Lien, Arne Fredheim og Leif Magne Sunde  
SINTEF Fiskeri og havbruk AS  
e-post: egil.lien@fish.sintef.no

SINTEF Fiskeri og havbruk (SFH) satte i en serie på tre artikler i Norsk Fiskeoppdrett våren 2000, fokus på bærebjelken for realiseringen av en levedyktig framtidig skjellnæring – dyrkingsteknologien. Med basis i studier som er foretatt gjennom programmet ”Prosesser og utstyr for marine arter i havbruksnæringen” (PROMAR), finansiert av Norges Forskningsråd, har vi belyst en del kritiske forhold i forbindelse med dyrkingsteknologi for blåskjell.

I de foregående artiklene tok vi for oss generelle betraktninger knyttet til næringen, samt beskrev delkomponentene i et langlineanlegg. I denne artikkelen vil vi spesielt sette fokus på risikoen for skader og havari ved bruk av dagens teknologiske løsninger ved bla. å se på følgende problemstillinger:

- oppdriftslegemer og deres egenskaper ved neddykking
- oppbygging av langlinesystemer og risiko for havari

Hensikten med denne artikkelen er å bidra til å redusere havaririsikoen ved å informere om de virkende mekanismene, slik at man kan ta de nødvendige forhåndsregler.

### Oppdrift

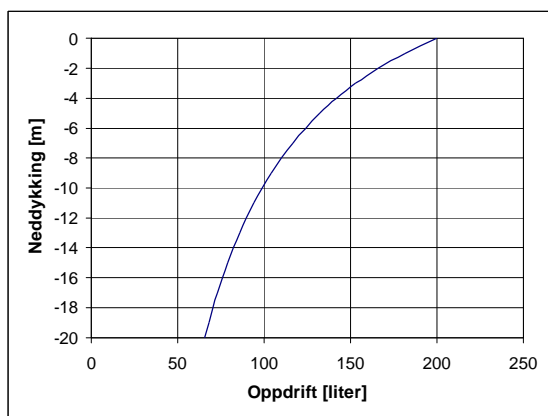
I forbindelse med dyrking av blåskjell i hengekultur er oppdrift et helt sentrale punkt. Hva er så oppdrift? Archimedes oppdaget ca. 250 år før Kristus at oppdriftskraften til et legeme nedsenket i vann er lik vekten av den fortrente veskemengden. F.eks. veier 1 [m<sup>3</sup>] ferskvann 1 [tonn]. Dette betyr at et legeme

som fortrenger 1 [m<sup>3</sup>] ferskvann vil ha en oppadrettet kraft på 1 [tonn] (eller ca. 10 [kN]). Tettheten i saltvann (1025 [kg/m<sup>3</sup>]) er litt større enn for ferskvann (1000 [kg/m<sup>3</sup>]) og man vil derfor få litt større oppdrift ved å fortrenge 1 [m<sup>3</sup>] med saltvann.

I luft har vi et trykk på 1 [bar] (100 000 [Pa]) som er det samme som kraft per arealenhet [N/m<sup>2</sup>]. Trykket vil øke med 1 [bar] for hver 10 [m] neddykking i ferskvann. I saltvann er trykkøkningen litt høyere grunnet høyere tetthet på saltvann. Dersom en fleksibel oppdriftsblåse som er luftfylt ved 1 [bar] (dvs. kort og godt fylt med luft og plagget igjen) senkes, vil denne blåsen ved et vanddyb på 10 [m] være utsatt for et ytre trykk på 2 [bar]. Dette vil medføre at blåsen blir presset sammen og volumet minker, slik at trykket inni blåsen blir lik det ytre trykket (prinsippet om trykklikevekt). Hvis man antar konstant temperatur, kan denne sammenhengen mellom volum (V) og trykk (P) skrives som:

$$P_0 V_0 = P_{dyp} V_{dyp}$$

Volumet ved 10 meter vil da bli:  $V_{10} = P_0 / P_{10} V_0 = 0.5 V_0$ . På dette dypet har dermed oppdriftsblåsen mistet halve volumet og dermed halve oppdriften. I figur 1 presenteres resultater av beregninger av det effektive oppdriftsvolumet for en oppdriftsblåse på 200 [liter] som trekkes under ned til 20 [m].



**Figur 1 Effektiv oppdrift som funksjon av neddykking i vann for en 200 [liter] blåse. På 10 [m] dyp har oppdriftsblåsen mistet halve volumet og dermed halve oppdriften.**

Som figuren viser reduseres oppdriften raskt for et slikt oppdriftslegeme ved neddykking. Beregningene sier imidlertid ingenting om hvorvidt blåsene ødelegges og dermed mister all oppdrift. I dag eksisterer det ikke noe system for godkjenning av eller krav til dokumentasjon for oppdriftslegemer mhp. kapasitet og holdbarhet.

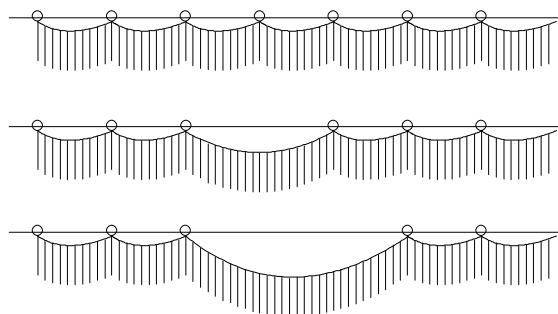
### Innfesting

Et sentralt punkt mhp. havaririsiko er innfesting av oppdriftslegemene på bærelina. I dag knyttes disse ofte med et enkelt tau til bærelina. Erfaringene viser at dette er et svakt punkt. Det er gjort veldig lite studier av disse problemstillingene så langt og det er knyttet stor usikkerhet til dem. Det vi vet er at slitasjen vil avhenge meget av form, belastning og innfestingsmetode på oppdriftslegemene. Eksempelvis kan det nevnes at lange slanke vertikale bøyer gir små dynamiske bevegelser, men de har en tendens til å rotere med påfølgende rask slitasje dersom skjellvekten er liten. Videre vil spesielt oppdriftslegemer med kun ett festepunkt kunne slites meget raskt. Oppdriftslegemer med to øyer, dvs. to festepunkt inn på bærelina, vil slites langt seinere. Konklusjonen blir at også lang tids slitasje,

komponenter og sammenføynings-metoder bør undersøkes nærmere.

### Tap av oppdriftslegemer

Et skjellanlegg må alltid dimensjoneres på en slik måte at man legger inn muligheten for tap av oppdrift. Oppdriftslegemer kan som nevnt slites løs, de kan punktere eller kollapse. I figur 2 ser vi et anlegg hvor det er illustrert tap av en og to oppdriftsblåser. Dersom man ikke har tilstrekkelig oppdrift vil dette kunne medføre at hele anlegget synker.



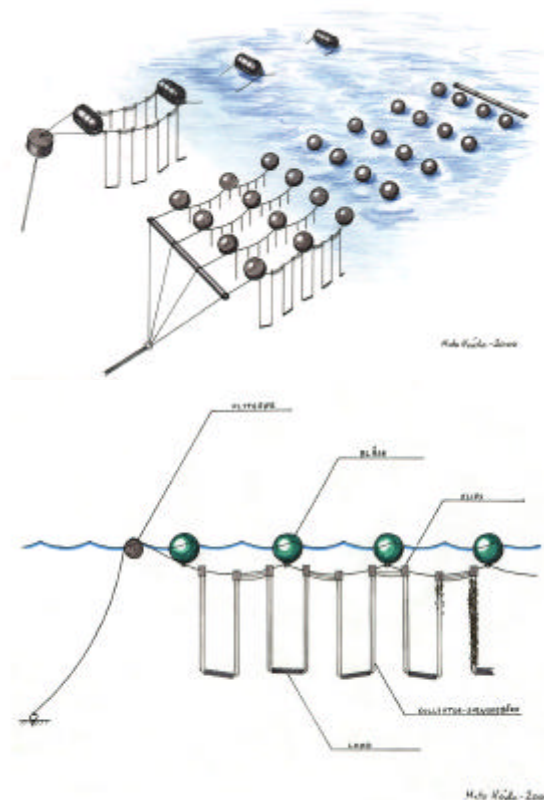
**Figur 2 Illustrasjon av et anlegg med tap av oppdriftsblåser. Dersom man ikke har tilstrekkelig oppdrift vil dette kunne medføre at hele anlegget synker.**

Restoppdrift er et helt sentralt punkt i forbindelse med sikkerhet mot neddykking. Med begrepet restoppdrift mener vi tilgjengelig oppdriftsreserve. Denne måler vi i prosent av den totale oppdriften. Når eksempelvis en 200 [liter] oppdriftsblåse er helt neddykket har den 0% restoppdrift. Ved 2/3 neddykking kan samme blåse bære 133 [kg] noe som gir en restoppdrift på 33%.

Hvis man taper oppdrift grunnet neddykking vil det lett kunne oppstå en kjedereaksjon hvor netto vekt bare øker og øker inntil hele lina synker og anlegget ligger på bunnen. Dette scenariet vil vi beskrive nærmere i det følgende.

## En studie av dagens teknologi – et regneeksempel

De fleste av dagens anlegg er på en eller annen måte basert på bruk av langlinesystemer, som illustrert i figur 3. Systemet med bruk av flyterør i enden til å sammenbinde langlinene med, har den siste tiden blitt meget utbredt.



**Figur 3** Illustrasjon av komponenter og de anleggssystem som vanligvis benyttes i dag.

I vårt regneeksempel vil vi se på et system som består av 10 langlinjer hver på 220 [m] som er festet sammen i enden med et flyterør i overflaten (som illustrert i figur 3).

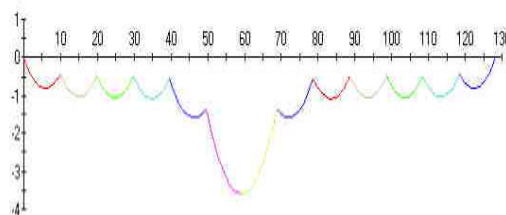
Vi antar ei gjennomsnittlig vekt på 140 [N/m] langs lina. Systemet bæres med 200 [liter] oppdriftsblåser for hver 10 [m] og systemet har da totalt ca. 30% restoppdrift før høsting. Videre forutsetter vi at blåsene er luftfylte med 1 [bar] i overflata og at de tåler ubegrenset med neddykking. De vil derimot i virkeligheten komprimeres og

taper dermed oppdrift som funksjon av dybden (jamfør figur 1).

### *Synkekapasitet for ei enkel langline*

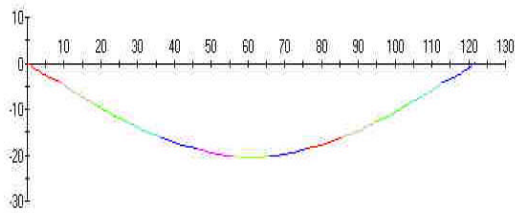
Først vil vi se forenklet på en enkel separat langline. Blåsene er ikke inntegnet i figurene nedenfor, som er hentet fra et dataprogram utviklet av SINTEF Fiskeri og havbruk for denne type beregninger. Bærelina er forenklet forankret i overflata. Blåsene er neddykket 47 cm og vil dermed stikke 26 cm over vannflata. I det følgende har vi variert hvor mye langlina er forspent og sett på hvilken innflytelse dette har på havaririsiko.

I det første eksempelet har vi benyttet en forspenning på 3 [kN] (omtrent 300 [kg]). Ved tap av en blåse vil systemet begynne å synke og finne en likevekt som vist i figur 4.



**Figur 4** Likevekt for en enkelt line ved tap av en oppdriftsblåse og med en forspenning på 3 [kN].

Punktet hvor blåsa var festet vil synke ned til 3.6 [m], som følge av dette tapet av en blåse. Samtidig vil blåsene ut mot siden synke ned til henholdsvis 1.37 [m] og 0.54 [m], mens de resterende blåsene ikke vil få redusert oppdrift. Konsekvensen er at tre blåser blir påvirket, men systemet er fortsatt intakt. Hvis vi reduserer forspenningen vil blåsene synke ned ytterligere. Reduseres forspenningen til kun 1.5 [kN] (omtrent 150 [kg]) eller om vi taper to blåser side om side, blir systemet sendt ut som i figur 5. Som vi ser har hele lina i dette tilfellet sunket. Poenget vi ønsker å illustrerer her er at det skal ikke mye til før en slik langline vil kunne synke!



**Figur 5 Likevekt for en enkelt line ved tap av en oppdriftsblåse og med en forspenning på 1.5 [kN] – lina synker.**

Vi har også gjennomført en parameterstudie, hvor oppdriftsreserven og avstanden mellom blåsene er variert for å finne risikoen for havari som følge av tap av et antall oppdriftsblåser. Forspenningen er her lik 1.5 [kN] (~150 [kg]). Resultatene er presentert i tabell 1, som viser hvor mange blåser som må tapes for å få et påfølgende havari ved to tilfeller med ulik oppdriftsreserve.

Oppdriftsreserve	Avstand mellom blåsene		
	2.5 m	5 m	10 m
30%	3stk	2stk	1stk
40%	4stk	3stk	2stk

**Tabell 1 Antall oppdriftsblåser som det er nødvendig å miste for at hele lina skal synke som funksjon av oppdriftsreserve og avstand mellom blåsene.**

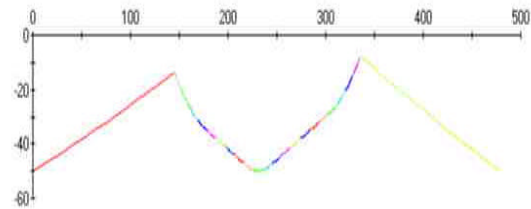
Prinsippet er at liten oppdriftsreserve, redusert strekk og økende avstand mellom blåsene vil medføre at disse vil synke dypere og dermed miste større del av oppdriften grunnet komprimering og dermed øker faren for totalhavari.

#### *Synkekapasitet for et komplett flerline-system*

Vi har også modellert opp et komplett langlineanlegg med forankringslinjer og store oppdriftslegemer på endene, som representerer den ekstra oppdriften man får ved å benytte enderør i et flerlinesystem. Systemet har følgende dimensjoner; 220 [m] bæreline, 150 [m] ankerline ned til 50

[m] dyp og 420 [liter] ekstra oppdrift på endene.

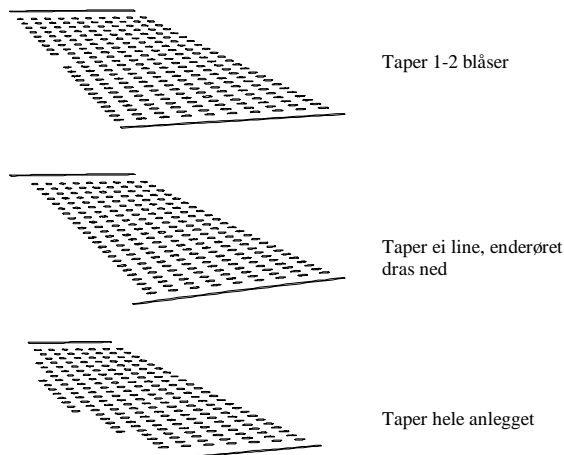
Hvis vi nå fjerner to ”naboblåser” får vi en situasjon for denne lina som vist i figur 6.



**Figur 6 Det komplette systemet ved tap av to blåser på en line.**

Systemet er nå i ferd med å synke og tap av oppdrift på denne ene lina er pga. de tidligere beskrevne mekanismene nok til å trekke hele systemet ned, selv inkludert den ekstra oppdriften som enderørene representerer. Dette betyr at på dypt vann vil de store oppdriftsbøyene på endene ikke være tilstrekkelig til å forhindre hele anlegget i å havarere. I tillegg er det viktig å være klar over at også i dette eksempelet forutsetter vi at blåsene tåler neddykking uten at det oppstår lekkasje.

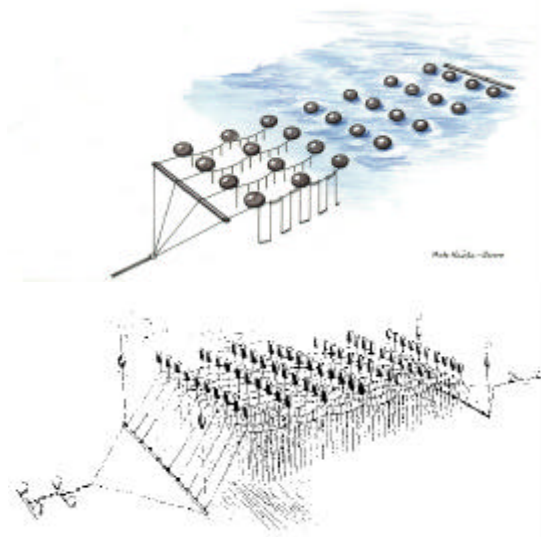
Hva sier så dette oss? Jo at i de ”seriemonterte” flerlinesystemene som nå installeres er risikoen for totalhavari meget stor. Begynner først oppdriftsblåsen på ei line å synke vil prosessen fortsette inntil man når enderørene som utspiler linene. Tyngden fra den synkende linen vil være så stor at den vil trekke enderørene ned. Dette vil igjen medføre at de resterende linene følger med ned og hele anlegget vil synke. Synker med andre ord ei line, vil denne pga. sammenkoblingen med de andre linene gjennom enderøret, lett kunne trekke med seg linene ved siden slik at hele systemet synker og man får et totalhavari hvor kanskje flere hundre tonn produksjon går tapt.



**Figur 7** Situasjonsskisse av et komplett anlegg som havarerer pga. sammenkobling med bruk av enderør.

Men det er jo installert slike systemer i andre land, hvorfor ikke i Norge? Går vi f.eks. til Danmark og Sverige har liknende konstruksjoner vært benyttet i lengre tid med hell. Forskjellen er at her installeres imidlertid anleggene på meget grunne områder. Dersom en del av lina synker vil samlerene nå bunnen etter noen få meter, tyngden lettes ved bunnkontakten og oppdriften i den synkende delen vil balansere vekten uten at hele rekka av blåser følger med. På grunt vann er det også vanlig å sammenkoble linene med hverandre ved å feste enkeltlinene i ei jernbaneskinne som ligger på bunnen, isteden for å benytte enderøret i overflaten. Denne type sammenkoblingen utelukker den uønskede effekten at en eventuell senking av ei line vil føre til at de andre linene trekkes med ned.

Disse beregningene og betraktningene viser at flere av de anleggene som blir benyttet i Norge i dag er feilkonstruert og at enderørene på slike flerlinesystem øker dramatisk faren for totalhavari. Konklusjonen etter våre beregninger blir at de to anleggene som er vist i figur 8 driftsmessig er like, men ikke med hensyn på konsekvensene ved og risikoen for et havari.



**Figur 8** To tilsynelatende like konstruksjonsløsninger for oppdrett av blåskjell, men hvor anlegget øverst, på grunn av de flytende enderørene som kobler linene sammen, har en mye større risiko for totalhavari.

#### Konsekvenser ved havari

En ytterligere kompliserende faktor ved bruk av flerlinesystem med enderør er konsekvensen ved et eventuelt havari. Havarte anlegg på grunt vann kan berges relativt lett dersom man benytter båt med kran og store blåser. Ved landfortøyning er bergingen enda enklere da man har anledning til å starte oppløftet fra denne enden.

Ser vi derimot på et flerlinesystem som eksempelvis ligger nede på 30 [m] dyp (og dette er heller ikke spesielt dypt) blir det langt mere komplisert. Det ligger kanskje 300 [tonn] skjell nede på bunnen sammen med 400 [tonn] oppdrift (i overflate posisjon). Det vil også være stor sannsynlighet for at langlinene ligger delvis sammenflettet. Dersom anlegget trekkes ned fra sidene vil den ene siden synke først, og linene vil legge seg delvis oppå hverandre. Oppdriften som opprinnelig var på 400 [tonn] vil pga. av vanddypt være redusert til 100 [tonn]. I beste fall vil det være netto 200 [tonn] nede på bunnen. Den enkelte bæreline er som regel enten 24

[mm] tau med en bruddstyrke på ca. 12 [tonn] eller 16 [mm] kombinasjonstau, med bruddstyrke på 5 [tonn]. Systemet må enten løftes i en rekke punkt samtidig eller det kan tas opp bit for bit. Utgiftene til løfting og opprydding av et slikt system vil lett kunne overstige investeringskostnadene.

Et annet viktig aspekt er at et eventuelt havari som skjer mens man driver med operasjon og drift på anlegget med båt, vil kunne være meget kritisk. Blir man hengende fast i et synkende anlegg vil kreftene lett kunne føre til kritiske krengemoment, med påfølgende fare for kantring av fartøyet.

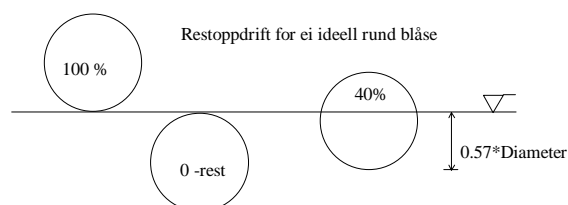
### Hvordan redusere havaririsikoen

Selv om man aldri kan lage et 100% "sikkert anlegg", det viser jo statistikken både fra skips- og offshoreindustrien så alt for godt, kan man redusere risikoen ved å etablere teknologiløsninger og driftsrutiner.

Som nevnt øker risikoen for havari av langlinesystem med :

- redusert restoppdrift
- økende avstand mellom blåsene
- redusert strekk i bærelina
- sammenkobling av liner med flytende enderør

Det er vanskelig for den enkelte oppdretter å si om man er innenfor marginene for sikker oppdrift. Ser man for eksempel på ei ideell kule så vil denne ha en restoppdrift på 40% når den er neddykket 57% av diameteren. Dette er illustrert i figur 9.



**Figur 9** Illustrasjon av restoppdrift for en kule ved forskjellig neddykking.

Med uttrykket ideell mener vi her at kula ikke har noen egenvekt og at den ikke deformeres. Dette vil i praksis ikke la seg gjøre. Vi mener det bør bli et krav fra oppdrettere og myndigheter om at leverandørene merker oppdriftslegemene med indikatorer som viser når restvolumet er oppbrukt. Dette kan gjøres ved at man påfører oppdriftslegemene lett synlige merker ("lastemerker"), som viser hvor mye oppdrift som til en hver tid er igjen i forhold til oppdriftslegemets neddykking. I tillegg vil et oppdriftslegeme med "lastemerker" også virke som en fjærvekt. Foruten at "lastemerkene" bidrar til økt sikkerhet mot havari, vil man da også få en god indikasjon på produksjonskvantumet i form av vekten av blåskjell på anlegget. Det vil også være viktig at man gjennomgår eksisterende anlegg og gjennomføre de nødvendige modifikasjoner på de mest kritiske installasjonene. På denne måten kan man spare seg dyrt kjøpte erfaringer.

Vi mener det bør gjennomføres kontrollerte studier av de ovenfor nevnte emner. Dette er både myndighetene og næringa sitt ansvar og kan i første omgang gjøres gjennom studier av de enkelte komponenter som oppdriftslegemer (rivestyrke, trykkapasitet, antall innfestingsøyer), forankringsliner, bæreline etc. Videre mener vi at oppdrift- og trykkapasitet for oppdriftslegemene må dokumenteres av leverandørene. En ordning med en uavhengig vurdering av oppdriftslegemer mhp. trykkapasitet og risiko for lekkasje vil være et viktig bidrag for å trygge blåskjell produksjonen.