

## Blåskjell dyrking – produksjon i en tynn tråd ?

### Artikkel 3: Krefter i langlineanlegg

Egil Lien, Arne Fredheim og Leif Magne Sunde

SINTEF Fiskeri og havbruk AS

e-post: arne.fredheim@fish.sintef.no

SINTEF Fiskeri og havbruk (SFH) setter i en serie på tre artikler 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, vil vi belyse en del kritiske forhold i forbindelse med dyrkingsteknologi for blåskjell.

I de foregående artiklene har vi tatt for oss generelle betraktninger knyttet til næringen, samt beskrevet delkomponentene i et langlineanlegg. I denne siste artikkelen vil vi sette fokus på komplette anlegg og de mekanismene som virker når et anlegg blir utsatt for strømkrefter. Viktige parametere som påvirker anleggets oppførsel i strøm vil være:

- geometrisk fleksibilitet
- materialets fleksibilitet
- oppdriftsblåsenes kapasitet

#### Fleksibilitet

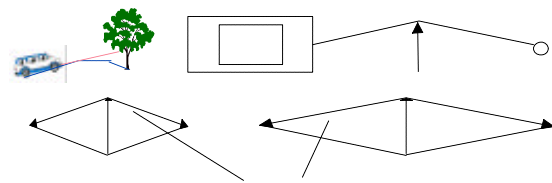
En konstruksjon (i dette tilfellet et langlineanlegg) sin oppførsel ved ytre påkjenninger avhenger av konstruksjonens fleksibilitet. Fleksibilitet henger sammen med konstruksjonens og materialets evne til å deformere seg. Vi skiller følgelig mellom fleksibiliteten til selve materialet og geometrisk fleksibilitet.

Materialets fleksibilitet blir angitt ved elastisitetsmodul  $E$ . Dette er en konstant som uttrykker hvor mye materialet vil strekke seg ved en gitt påkjenning. Høy elastisitetsmodul angir liten fleksibilitet i materialet, mens lav elastisitetsmodul angir høy fleksibilitet. Sammenhengen mellom kraft og forlengelse av et materiale med elastisitetsmodulen  $E$  uttrykkes ved  $F = EAe$ , hvor  $F$  er kraft,  $A$  er materialets tverrsnittsareal og  $e$  er tøyning av materialet. Tøyning er definert som  $\Delta L/L$ , hvor  $L$  er materialets totale lengde og  $\Delta L$  er materialets forlengelse. Tøyningen  $e$  blir derved den relative forlengelsen av materialet under påkjenning av kraften  $F$ . Dette betyr at en høyere elastisitetsmodul vil medføre at materialet forlenger (tøyer) seg mindre ved en gitt påkjenning. Motsatt vil en lavere elastisitetsmodul medføre en mindre forlengelse.

Geometrisk fleksibilitet kan ses på som en konstruksjon sin evne til å motstå ytre påkjenninger uten at konstruksjonens materiale forlenges. For å illustrere dette kan vi tenke oss en enkel konstruksjon som består av et tau som henger løst mellom to punkt. Hvis vi da flytter det ene punktet horisontalt vil nedbøyningen av tauet minke. Til slutt vil tauet være helt stramt mellom de to punktene. Konstruksjonens geometriske fleksibilitet er da ”brukt opp”. Videre forflytning av punktet vil kun skje ved en forlengelse av selve materialet og dermed vil konstruksjonens indre krefter øke.

#### Strømretning

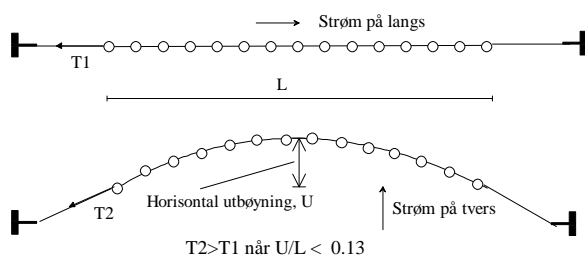
Fleksibiliteten til et langlineanlegg vil kunne være avgjørende for hvor stort strekket i en langline vil bli. Ved strøm på langs vil i all hovedsak strekket i en langline bli lik forspenningen pluss summen av strømkrefte på systemet. Ved strøm på tvers vil derimot strekket i langlinen avhenge av hvor mye anlegget blir deformert. Denne sammenhengen mellom krefter og strømretning kan illustreres ved å se på hvordan man kan trekke opp en bil som har kjørt av veien (figur 1). Hvis vi har en jekketalje som ikke er sterk nok til å få bilen opp på veien, kan vi øke strekket betraktelig ved å dra i vaieren på midten. Krefte som virker vil da danne et kraftparallelogram. Hvis fleksibiliteten i vaieren er liten vil vi også få liten deformasjon av vaieren. Dette vil medføre at en relativt beskjeden kraft på midten av vaieren vil gi en stor økning i strekket i vaieren. Har vi derimot et tau med stor fleksibilitet, vil en stor del av kraften gå med til å forlenge materialet i tauet og effekten på strekket blir da mindre.



Forskjell i linestrek avhenger av deformasjon

**Figur 1 Betydningen av fleksibilitet i et langlinesystem kan illustreres ved å se på hvordan man kan trekke en bil opp fra en grøft. Med stor fleksibilitet i vaieren får vi kraftparallelogrammet til venstre og lite strekk i linen, mens med liten fleksibilitet får vi kraftparallelogrammet til høyre og stort strekk i linen.**

Det er faktisk slik at ved en gitt kraft vil en horisontal deformasjon på mindre enn 13% av linelengden gi et større strekk i langlinen ved strøm på tvers enn ved strøm på langs av anlegget (figur 2).

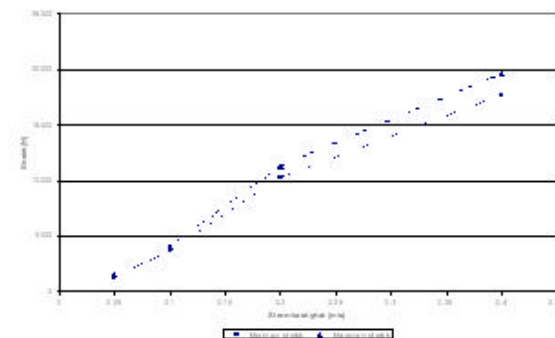


**Figur 2** Vi ser her en langline ovenfra med strøm inn på langs (øverst) og inn på tvers (nederst). Ved påføring av samme strømkraft i det øverste og nederste tilfellet, vil strekket T2 bli større enn T1 hvis den horisontale utbøyningen U er mindre enn 13% av line lengden.

Strøm på tvers og liten fleksibilitet gir altså store krefter i systemet. Det er derfor viktig å tillate en viss horisontal deformasjon, slik at anleggets geometriske fleksibilitet tar opp de økte påkjenningene ved strøm på tvers.

### Strømkrefter

Foruten vekten av skjellene er det strømkreftene som gir de største belastningene på et langlineanlegg. Vanligvis er sammenhengen mellom strømhastighet og strømkrefter kvadratisk, noe som innebærer at strømkreftene firedobles når strømhastigheten doubles. Dette er imidlertid ikke korrekt for et langlineanlegg. Årsaken er at de økte påkjenningene får kollektorene og anlegget til å deformere seg, noe som igjen medfører at det blir en forandring i strømkreftenes påvirkning av anlegget. Dette betyr at det er en sammenheng mellom fleksibiliteten i et anlegg og hvor stor økningen i belastningen blir ved økende strømhastighet. Med et lite fleksibelt anlegg blir deformasjonen mindre og sammenhengen mellom strømhastighet og krefter vil i større grad bli kvadratisk, mens denne sammenhengen i sterkere grad blir lineær med stor fleksibilitet i anlegget. Beregnede maksimum og minimum krefter for et langlineanlegg utsatt for strøm på tvers er vist i figur 3.

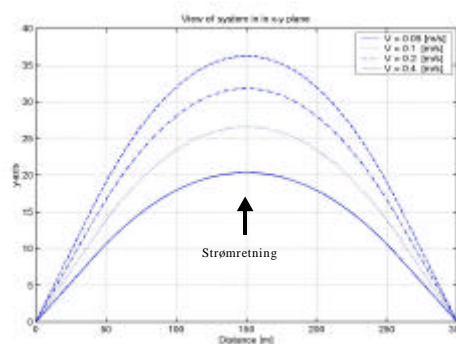


**Figur 3** Maksimum og minimum krefter i et langlineanlegg ved forskjellige strømhastigheter. Vi ser her at det er tilnærmet en lineær sammenheng mellom strømkreftene og strømhastigheten. Dette skyldes at anlegget deformeres seg ved påkjenning.

### Komplette anlegg

For å illustrere de momenter som er diskutert, samt sannsynliggjøre sammenhengen mellom fleksibilitet og muligheten for havari, presenterer vi her et eksempel på en analyse utført på en enkel langline. Langlinen har en lengde på 220 meter mellom de ytterste bøyene og er i utgangspunktet forankret med en ankerline på 45 meter i hver ende. Det er plassert oppdriftsblåser for hver 5. meter og kollektorer for hver 0.5 meter. Vi forutsetter en biomasseproduksjonen av blåskjell på kollektorene på 5 kg/m, noe som tilsvarer en vekt på 1 kg/m i vann. Strømretningen er inn fra siden.

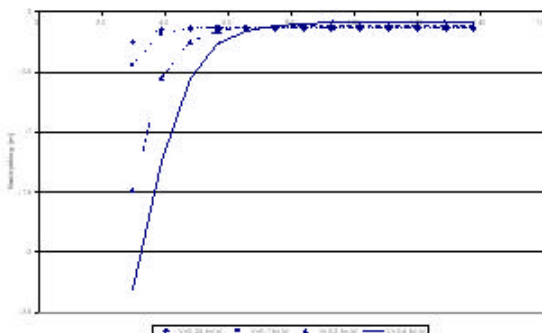
Anleggets horisontale deformasjon ved forskjellige strømhastigheter inn fra siden er vist i figur 4.



**Figur 4** Langlineanleggets fasong sett ovenfra ved ulike strømhastigheter.

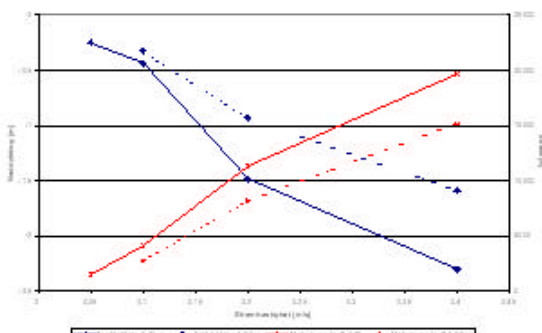
Ved de samme strømhastighetene ser vi i figur 5 hvordan oppdriftsblåsene blir dratt under på grunn av de store kreftene. Allerede ved en strømhastighet på 0.2 m/s ser vi at den første oppdriftsblåsen er trukket under med 1.5 meter. Her er det ikke tatt hensyn til det faktum at en standard oppdriftsblåse vil bli komprimert når den blir neddykket, og dermed får mindre oppdrift ved større dyp. Som nevnt i artikkel 2 tåler standard oppdriftsblåser generelt lite neddykking før de komprimeres og til

slutt kollapser (på grunn av sammentrykking eller at ventiler ryker). Hvis en blåse ”ryker” på grunn av neddykking vil det lett kunne oppstå en kjedereaksjon og resultatet vil være et havari av anlegget.



**Figur 5 Neddykking av oppdriftsblåser i et langlineanlegg ved forskjellig strømhastigheter på tvers.**

Ved å øke fleksibiliteten i konstruksjonen kan en redusere belastningene i linen og neddykkingen av oppdriftsblåsene. Denne effekten øker med økende strømhastighet. For å illustrere denne effekten har vi gjort beregninger for den samme langlinen, men med 5 meter lengre ankerliner. Som vi ser av resultatene i figur 6 får vi da en reduksjon i krefter og neddykkingen på 30-40%. Dette fordi at vi ved å øke lengden av ankerlinene med 5 meter øker den geometriske fleksibiliteten i konstruksjonen, noe som medfører at strekket i langlinen reduseres og videre at neddykkingen av oppdriftsblåsene blir mindre. Dette vil igjen medføre lavere risiko for havari.



**Figur 6 Vi ser her beregnet neddykking av første oppdriftsblåse og maksimal strekk i langlinen for henholdsvis 45 og 50 meter ankerline. Ved å forlenge ankerlinen med 5 meter oppnås en reduksjon i neddykking og krefter på 30-40%.**

### Oppsummering

Vi har i denne artikkelen fokusert på hvilken betydning konstruksjonens fleksibilitet har for kreftene og neddykking av oppdriftsblåsene i et langlineanlegg. Betydningen for havaririsiko er også presentert. Dessverre er ikke situasjonen så enkel at en kun kan ta hensyn til fleksibiliteten i

konstruksjonen, all den tid en må påse at kollektorene ikke henger for dypt i vannet slik at man sikrer påslag av blåskjellyngel og maksimerer biomasseproduksjonen. Problemstillingen blir altså:

- Mye sagg – kollektorene henger for lavt
- Lite sagg – store krefter og økende risiko for havari

En annen viktig faktor vil være antall og størrelsen på oppdriftsblåsene. Ut i fra en belastnings- og sikkerhetsmessig synsvinkel, vil det generelt være mer gunstig med flere små blåser enn noen få store. Dermed kan man bygge inn nok fleksibilitet og oppdrift i systemet uten at man får for mye sagg. I tillegg vil det være fornuftig å ha blåser mot enden av langlinen med ekstra oppdrift. Dette for å kompensere for de store vertikale kreftene man får fra ankerlinene. Flere og mindre oppdriftsblåser vil også kunne være gunstig med hensyn til påvirkning fra bølgene. Bevegelsene og kreftene på grunn av bølgene forventes å bli mindre. Store vertikale akselerasjoner i kollektorene på grunn av bølger kan medføre at man mister de blåskjellene som har slått seg på.

### Fremtidens anlegg

Skjellnæringen i Norge er en næring som fremdeles er på vei til startgrope. Før det gjennomføres en reell oppskalering av produksjonen, må det legges til grunn nødvendig dokumentasjon, samt anvendes løsninger som er egnet for dyrking langs norskekysten. På denne måten kan en sikre at blåskjell dyrkingen kan foregå i en ”tynn tråd”. Ikke minst er det et stort behov for mer kunnskap og videreutvikling innen anleggstyper og innhøstingsmetoder. Marginene gjør at effektiv produksjon av store volum må til for å skape lønnsomhet. Skal vi få volum i produksjonen må vi også få maskinelle systemer som sikrer effektiv og rasjonell håndtering av skjellene. Effektivitet og rasjonalitet vil ikke bare være viktig ved innhøsting, men for hele prosessen med å få skjellene frem til marked.

Det er sannsynlig at de anleggene som blir brukt om 10 år benytter enn helt annen teknologi enn den vi har i dag. Siden man ikke har alle svarene i dag, er det derfor viktig å få til en bedre inngripen mellom næring og forskning. Det er også viktig at næringsaktørene erkjenner dette og innser svakhetene ved dagens produksjonsløsninger. Ved hjelp av forskning, kunnskap og erfaring kan vi sammen skape en profesjonell og levedyktig næring for fremtiden.