

STF80 A044025 – Åpen

# RAPPORT

## **Forankring av plastringer Nye rømmingssikre merdkonsept**

Egil Lien

**SINTEF Fiskeri og havbruk AS**

Havbruksteknologi

April 2005

www.sintef.no



## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>Forord</b>	<b>3</b>
<b>1 Forankring av plastringer i rammefortøyning</b>	<b>4</b>
1.1 Innledning	4
1.2 En generell karakteristik	4
1.3 Utlegging av rammeforankring	5
1.4 Studie av ett linestrek	5
1.5 Generelle råd for rammeforankring	8
1.6 Sammenføyning av komponenter	12
<b>2 Forslag til forbedringer</b>	<b>13</b>
2.1 Innledning	13
2.2 Generelle råd for innfesting av hanefot	13
2.3 Avstiving av ring	15
2.4 Ekstra forankringsliner	18
<b>3 Konklusjon</b>	<b>19</b>

## **Forord**

SINTEF har på oppdrag fra FHF gjennomført prosjektet Nye rømmings sikre merdkonsept. Prosjektet er inndelt i flere delprosjekter. Denne rapporten dokumenterer arbeid utført under aktivitet *Forankring av plastmerder*.

SINTEF Fiskeri og havbruk AS, Trondheim 1. april 2005.

## 1 Forankring av plastringer i rammefortøyning

### 1.1 Innledning

Denne rapporten studerer den vanlige forankringsmetoden for plastmerder – rammeforankring (figur 1). Gjennom diskusjonen gis noen generelle tips til hvordan rømmingssikkerheten for disse systemene kan økes. Til slutt foreslås noen enkle forbedringer som kan gjøre disse systemene mer robuste.



*Figur 1. Rammeforankrede plastmerder.*

### 1.2 En generell karakteristik

Generelt skiller forankring av plastmerder og stålmerder seg vesentlig fra hverandre. Sammenligner en rammeforankring med stive stålanlegg, er kravene til nøyaktig utlegging betydelig mindre. Ramma, enten den er bygd av tau eller kjetting, er fleksibel slik at den fordeler kreftene selv om en har relativt stor variasjon i stivheten. Det er ikke behov for å stille krav til eksempelvis lineær stivhetsvariasjon for parallelle liner i samme grad som for et stålanlegg. Mest mulig like stivhetsegenskaper er imidlertid å foretrekke.

Det krever imidlertid omfattende analyser for å finne de enkelte kreftene, spesielt i ramma.

Selv om plastmerder er montert i et rammeforankret system, kan de til en viss grad bevege seg individuelt. Denne fleksibiliteten medfører at det stilles langt mindre krav til samspill mellom ankerliner sammenliknet med et ”stivt” stålanlegg.

Den horisontale stivheten til en plastring er liten. Faktisk kan en si at selve forankringssystemet er med på å stive av selve ringen. Derfor vil egenskapene til en plastring være vel så avhengig av forankringen som i et stålanlegg. En plastring har videre betydelig mindre oppdrift. Både fribord og restoppdrift er mindre enn for andre systemer.

### **1.3 Utlegging av rammeforankring**

Ved utlegging av rammeforankring er det svært viktig å kjenne bunntopografien, slik at ankerposisjon og kjettinglengde kan tilpasses. Vanlige sjøkart er for lite detaljerte til dette formålet, slik at en med sikkerhet kan unngå gnag på linene. En kan for de fleste områdene bestille hydrografiske originaler fra Sjøkartverket. Her ligger loddskuddene, dybdeanvisningene, så tett at kartet kan benyttes ved design av forankringssystemet.

Forskyving av liner ved ankerpunkt kan forekomme. Spesielt dersom ankrene ikke dras fast på forhånd, vil noe dragging nødvendigvis forekomme. Ved valg av type anker er det viktig å vite hva slags bunnforhold lokaliteten har. Om klumpvekter benyttes, og dragging skjer måneder etter installasjon, er sannsynligvis holdekrafta på loddet for liten. Holdekrafta på leire og silt bunn øker betraktelig over tid, men forutsetningen er at ankeret er tilpasset sedimentet og er trukket godt ned. Løse sedimenter krever større flateareal på ankeret enn fastere sediment.

Plogankere benyttes fortrinnsvis der hvor en har løse sediment, men også rene klumpvekter, gjerne i betong, kan benyttes. Holdekrafta til et anker er gjerne i størrelsesorden 10-20 ganger vekten. Dvs at et anker på 250 kg kan holde ca 5 tonn (50 kN).

### **1.4 Studie av ett linestrek**

Ved brudd i en ankerline grunnet overbelastning må hele systemet gjennomgås. En må ikke uten videre øke dimensjonen på lina. Dersom det oppståtte bruddet (eller overbelastning) skyldes at enkeltlinen har tatt en uforholdsmessig stor del av kreftene på totalsystemet – vil en økning av diameteren (og følgelig bruddstyrken) forsterke denne effekten.

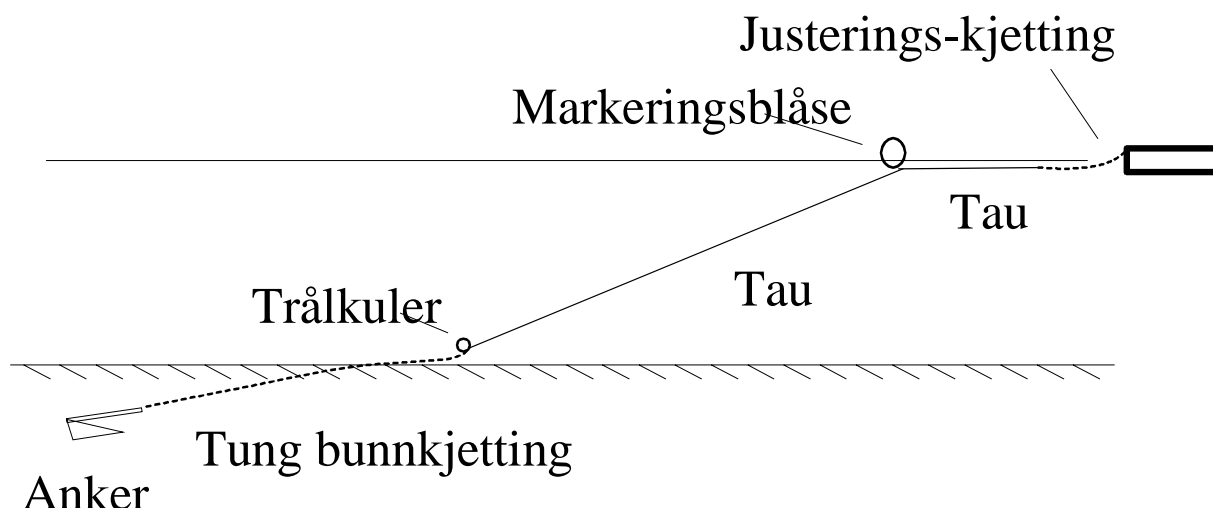
Forbedringspotensialet ligger helst i å øke denne linas fleksibilitet, dvs. at en reduserer det dynamiske strekket, samtidig som noe av kreftene overføres til nabolinene.

Fleksibilitet i enkeltline kan økes ved å:

- Øke linelengden
- Benytte mer fleksible materialer, eksempelvis nylon
- Gjøre lina geometrisk mer fleksibel ved bruk av oppdrift i stor avstand fra merden.

I verste fall må hele leggemønsteret endres.

I figur 2 vises oppbyggingen av en tradisjonell forankring brukt på havbruksanlegg.



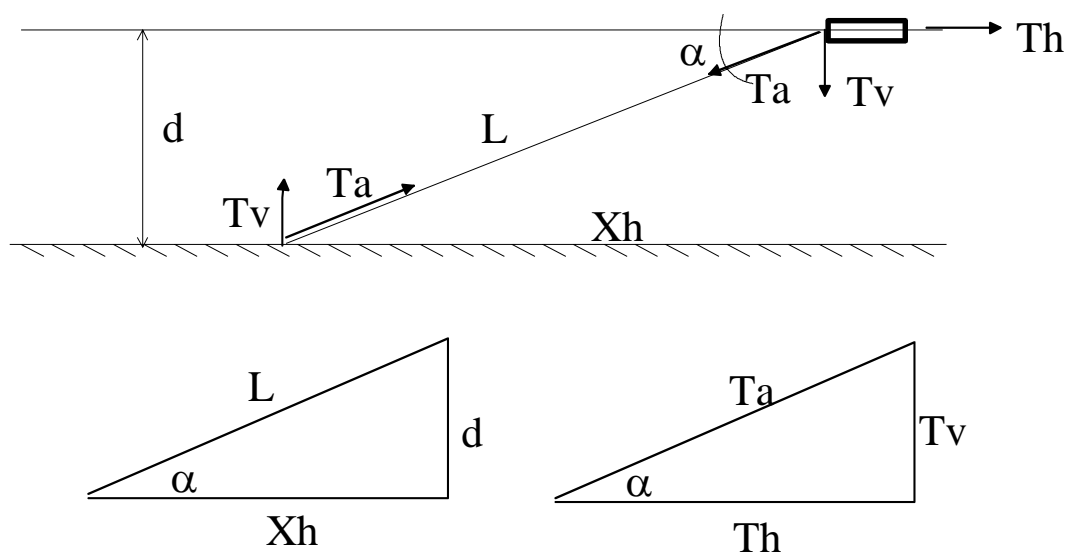
Figur 2. Tradisjonelt utleggingsmønster av enkeltline.

I innfestingen til ankeret må det benyttes kjetting. Ankeret skal trekkes ned og kjetting benyttes for å unngå gnag mot sedimentet. En bør ha så mye kjetting at løft på ankeret unngås. I offshore sammenheng er dette et absolutt krav. Bunnkjettingen har to funksjoner:

- Unngå gnag mot bunnen
- Gi ekstra vekt slik at en unngår løftkraft på ankeret. Lengden og vekten på kjettingen kan eventuelt reduseres ved å feste ei klumpvekt i forkant (min 10m) av ankeret.

Enkelte har hevdet at bunnkjettingen bidrar til fleksibiliteten i ankerlina, slik at rykk unngås. Denne effekten er imidlertid ubetydelig. Det er hovedsakelig ankertauet som gir fleksibilitet, og fleksibiliteten er proporsjonal med lengden av lina. Derfor vil det alltid være fordelaktig med lange tau.

Vanligvis oppgis lengden på ankerlina som forholdet mellom lengden og vandypet, eller  $L/d$ -forholdet. Vanligvis er dette forholdstallet mellom 2.5 og 4.  $L/d$ -forholdet er helt vesentlig når det gjelder selve ankeret og oppdriftskapasiteten på merden. Dette fordi et lavt  $L/d$ -forhold gir store vertikale kraftkomponenter, og dette øker behovet for oppdrift ved merden samt nødvendiggjør større bunnvekt, kjetting eller klumpvekt. I figur 3 illustreres  $L/d$ -sammenhengene med en enkel geometrisk betraktning. Her illustreres en lokalitet med en dybde  $d$  og en avstand  $X_h$  (horisontal avstand mellom anker og flyter).  $L$  er total lengde for forankringen. Med vinkelen  $\alpha$  mellom  $X_h$  og  $L$  gis sammenhengen vist i detalj nederst til venstre. Kraftene på konstruksjonen følger denne sammenhengen som vist i detalj nederst til høyre. Den horisontale kraftkomponenten  $T_h$  (tilsvarer strømkrefter) gir en vertikal kraftkomponent  $T_v$  (løftkraft på anker) avhengig av  $\alpha$ . Av dette ser vi at en liten  $\alpha$  er å foretrekke.



Figur 3. Geometrisk betraktning for løftekraft på bunnanker.

Forholdet  $T_v/T_h$  avhenger direkte av  $L/d$  forholdet. Noen eksempler er vist i tabell 1.

Tabell 1. Forhold mellom vertikal og horisontal kraftkomponent

Lengde/dybdeforhold $L/d$	Forholdet mellom vertikalkraft og horisontal kraft, $T_v/T_h$
1.5	0.89
2.5	0.44
4.0	0.26
6.0	0.17

Tabellen over kan illustreres i følgende case:

En tar utgangspunkt i en dimensjonerende horisontalkraft fra vind, strøm og bølger på eksempelvis 20 kN (2 tonn) på en merd. Vertikalkrafta på anker og merd vil variere mellom

17,8 kN (1.7 tonn) vertikalkraft på anker og merd for  $L/d$ -forhold på 1.5.

3,4 kN (340 kg) vertikalkraft på anker og merd for  $L/d$  forhold på 6.0.

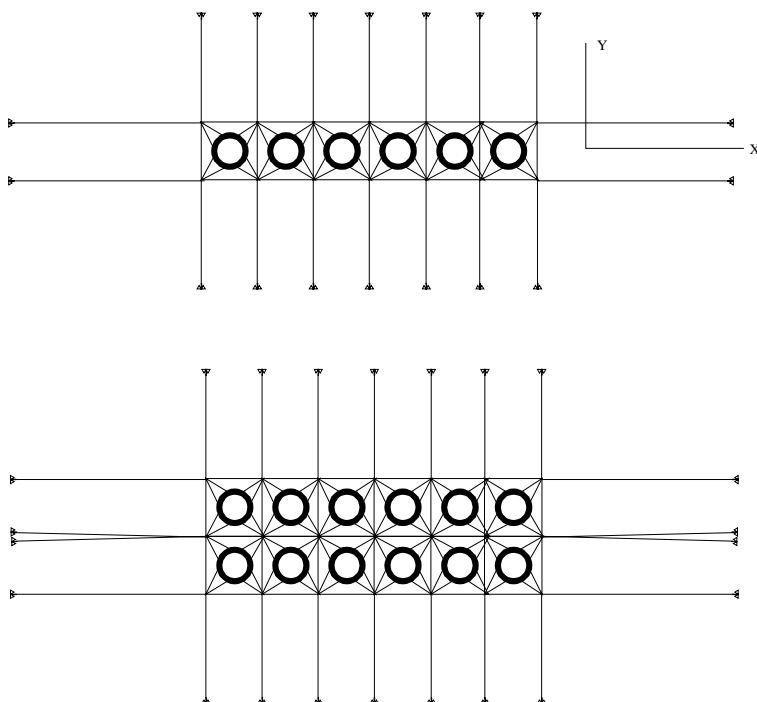
Et lite  $L/d$ -forhold gir altså krav til større vekt ved anker, i tillegg til større flytekapasitet på merden.

Dersom en tar med økonomiske betraktninger, er anbefalingen entydig: *Bruk lange forankringstau dersom bunntopografi og konsesjonsbetingelser muliggjør dette.* Ikke er det bare billigere, men også gir det økt fleksibilitet.

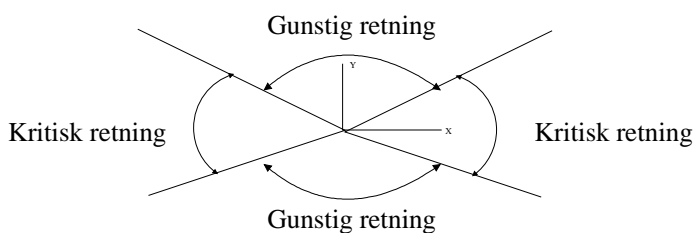


### 1.5 Generelle råd for rammeforankring

Generelt kan en si at en lang rammeforankring ikke bør orienteres vilkårlig på en lokalitet. En har færre forankringspunkter i lengderetningen, og dette medfører at en belastning på langs vil gi meget store krefter i disse ankerlinene. Følgelig bør lange anlegg unngås dersom belastningen er stor i lengderetningen. Liner på langs må ha en betydelig større dimensjon enn de resterende. Figur 4 viser typiske utlegg av rammeforankring.

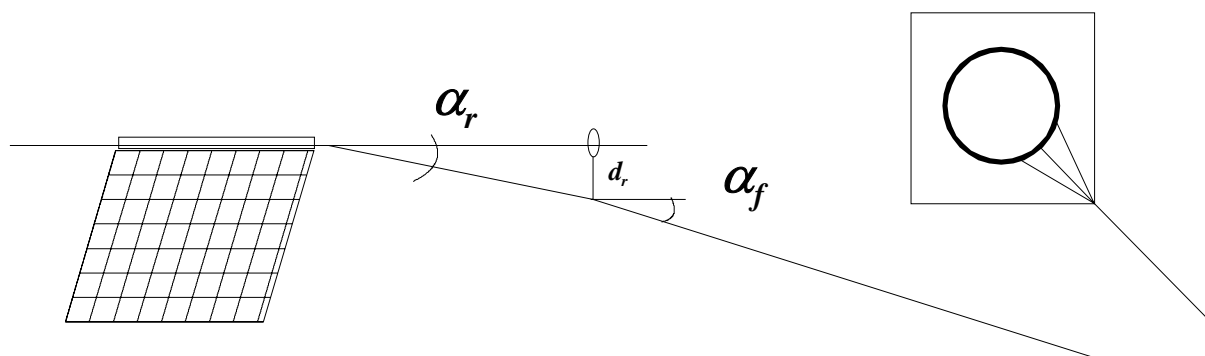


Figur 4. Orientering av rammeforankring



Figur 5. Ønsket strømretning for rammeforankrede anlegg

På eksponerte lokaliteter med stor strøm kan det vertikale nedtrekket på de største linene trekke merdene i front ned. For store merder kommer ankerlinekrafta fort opp i godt over 200 kN (20 tonn) på ei ankerline. For dagens største merder kan ekstreme strekk komme opp mot 400 kN. For en ankerline med L/d forhold på 3 medfører dette et vertikalt strekk på  $200\text{kN}/3 \sim 70\text{ kN}$  (7 tonn). Det må dermed til ei bøye på ca 7000 liter eller  $7\text{ m}^3$  for å unngå vertikalt nedtrekk på merden. En bøye av en slik størrelse er meget kostbar.



Figur 6. Geometrisk betraktning av visningsvinkler ved innfesting av bøyer.

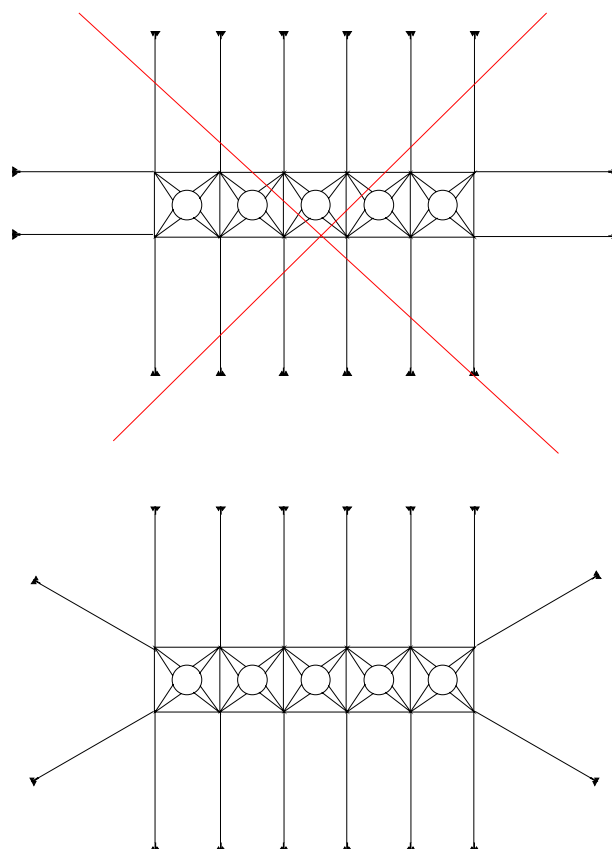
Se figur 6. Dersom visningen mot ramme,  $\alpha_r$ , er større enn visningen på forankringslina,  $\alpha_f$ , vil bøya heves ved pådrag. Dette betyr at bøya overhodet ikke gir noen geometrisk stivhet. Dette virker enkelt, men det finnes anlegg som er lagt ut på denne måten hvor til dels store og dyre bøyer er benyttet. I et slikt tilfelle er store bøyer helt unødvendig. De forårsaker kun økte belastninger på hele systemet da de vil ligge og rykke i ramme i sjøgang.

Rent praktisk bør en benytte mindre bøyer. De må ha tilstrekkelig oppdrift til å løfte ei godt begrodd ramme, men utover dette har størrelsen liten betydning. Under belastninger har de liten betydning på evt. nedtrekk av merdene.

Den eneste grunnen til å benytte store forankringsbøyer er dersom vertikalkomponenten  $T_v$  er så stor (grunnet lavt  $L/d$  forhold) at merden vil trekkes ned ved innfestingspunktet. Tilstrekkelig bæreevne burde for øvrig konstruktørene heller ta hensyn til ved design av merdene.

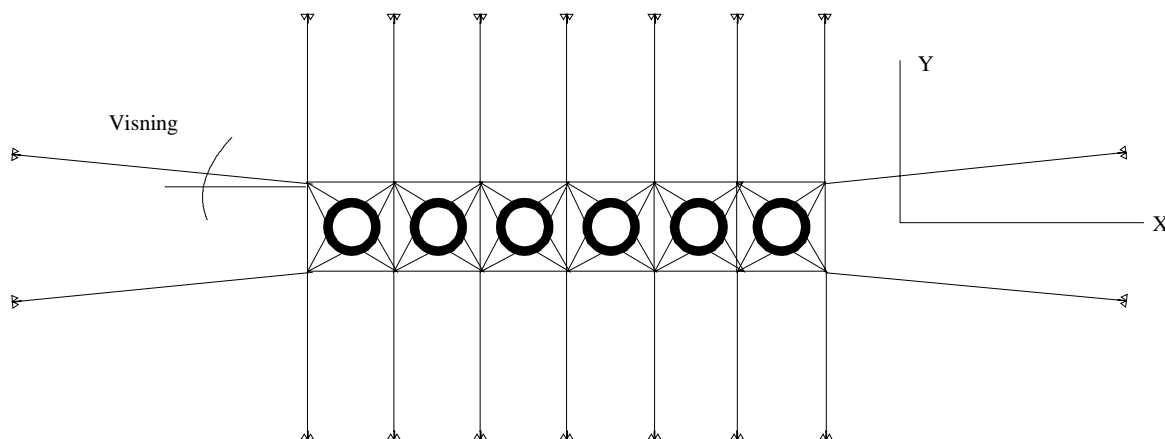
Av desto større betydning er lengde/dybdeforholdet på ankerlinene. Har man en bunntopografi og arealbegrensninger som tillater større lengde/dybdeforhold bør heller linelengdene økes.

Analyser viser at man skal være varsom med leggemønsteret. Hovedgeometrien i forankringen bør være slik som illustrert i figur 7.

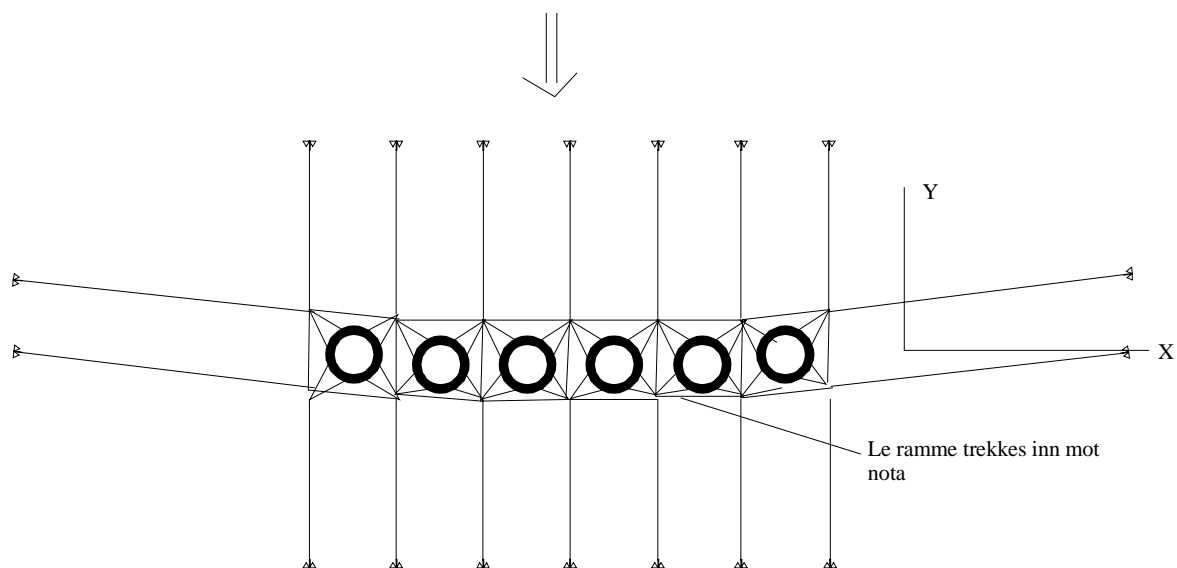


*Figur 7. Anbefalt leggemønster for systemforankring.*

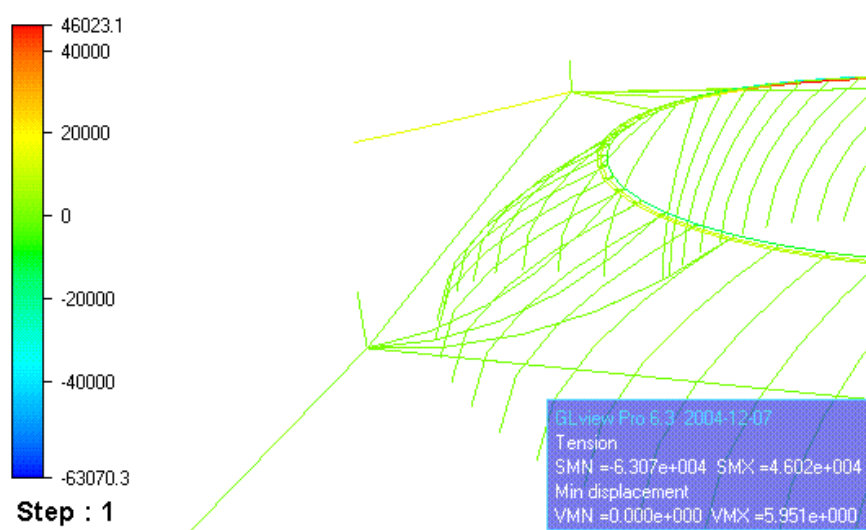
Vanligvis legges ramma på et par meters dyp, men noen leverandører legger den nede på større dyp (10-15m) for at merdene skal kunne trekkes over ved flytting. I slike tilfeller må det tas spesielle hensyn til leggemønsteret for å unngå kontakt mellom not og ramme (risiko for rømming). Langsgående liner må legges med en visning, for å unngå at le line på ramma trekkes inn mot nota (figur 8, 9 og 10).



*Figur 8. Rammefortøyning med visning.*

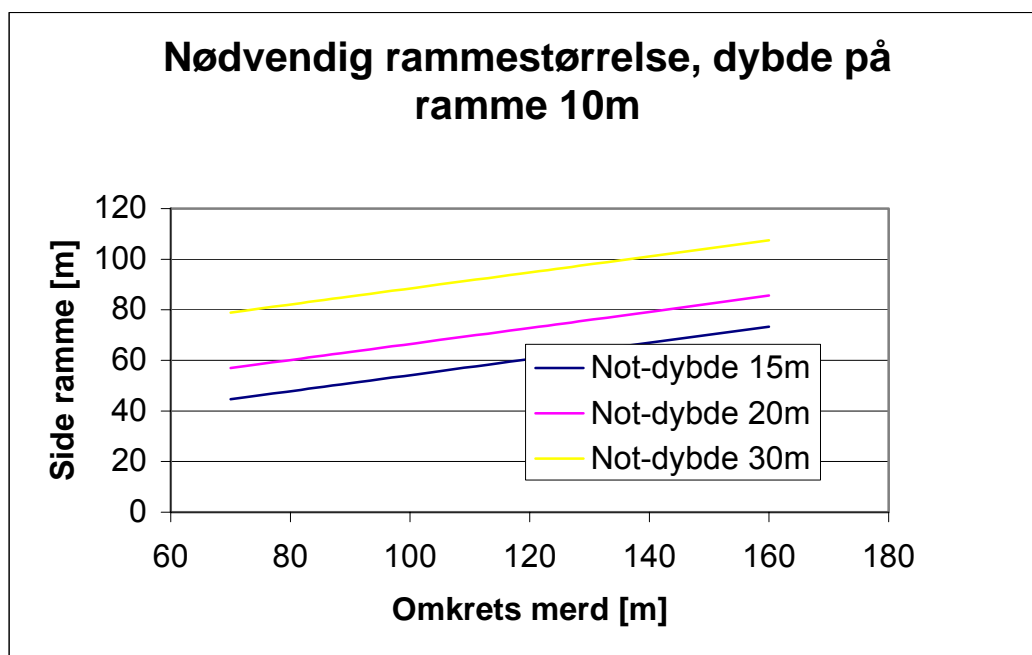


Figur 9. Dersom rammeforankring er lagt uten visning, øker faren for at notpose skal komme i kontakt med forankring.



Figur 10. Perspektiv illustrasjon av notpose i kontakt med forankring. Merk at haneføtter går i slakk.

Ei ramme vil nødvendigvis måtte være større desto dypere den er plassert (figur 11). Kontakt mellom koplingsledd og notlin vil sannsynligvis medføre riving av nota. Dette kan være vanskelig å oppdage da slike tilfeller vanligvis inntreffer under ekstreme forhold.



Figur 11. Sammenheng mellom dypgang på rammefortøyning og nødvendig størrelse for den samme rammen.

### 1.6 Sammenføyning av komponenter

En forankringsramme inneholder en mengde knutepunkter. I knutepunktene benyttes enten vanlige knuter eller koplingskiver i stål i kombinasjon med kjetting. En vanlig knute gir en svekkelse av bruddstyrken med ca 50 %. En godt utført spleis derimot, gir en kapasitet på 95-100 % i forhold til opprinnelig bruddstyrke.

En koplingskive med kjettingforbindelser har flere komponenter. Disse er utsatt for slitasje, og korrosjon kan bli et problem. Sjakler som løsner er et stadig tilbakevendende problem selv om det rent teknisk ikke burde være noe problem.

Likevel er rene knuteskjøter gunstigere prismessig da antall komponenter i systemet reduseres. Sannsynligheten for riving av nøter reduseres også dersom kontakt med notposen skulle oppstå. Reduksjon i knutestyrken krever imidlertid at diameteren på tau økes med ca 40 % for å kompensere for reduksjon av kapasiteten i knuten.

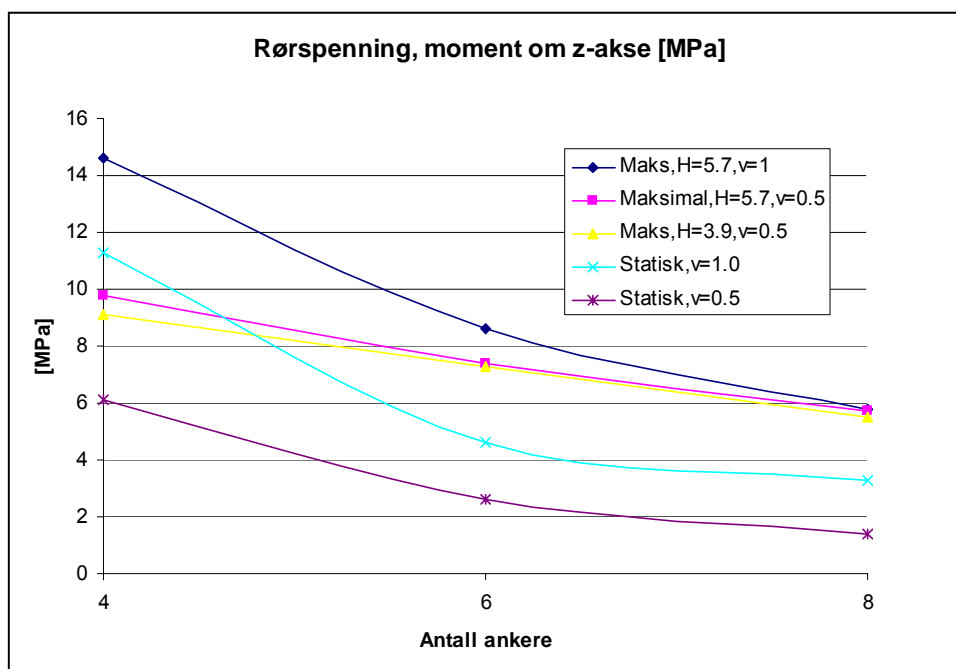
## 2 Forslag til forbedringer

### 2.1 Innledning

Dette kapitlet presenterer noen forbedringsforslag, der mindre endringer på eksisterende forankring- og merdutforming kan redusere belastningene og øke rømmingssikkerheten.

### 2.2 Generelle råd for innfesting av hanefot

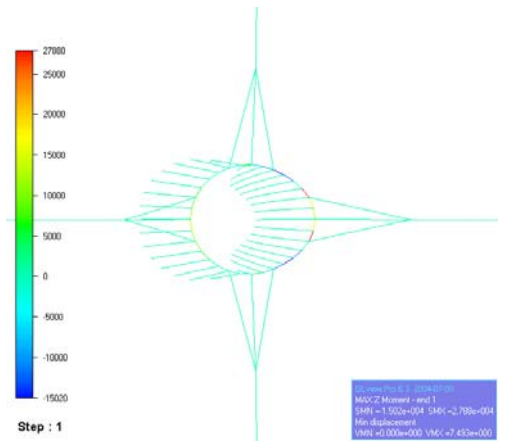
Betrakter vi noen basis forankringssystemer med 4, 6 og 8 punkts forankring, vil belastningen på en merd i sjøgang variere betraktelig (figur 12).



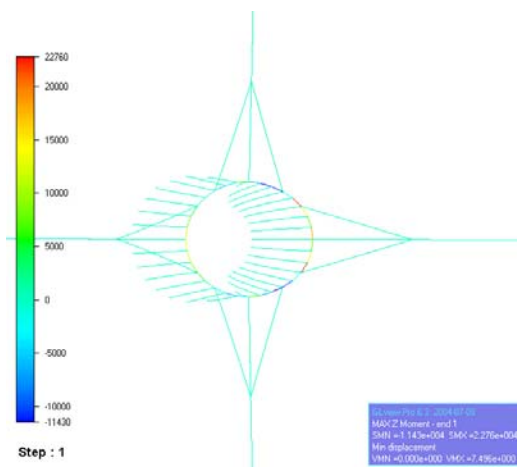
Figur 12. Typisk variasjon av bøyemoment i plastring for forskjellig antall forankringspunkter.

Hanefotens innfesting er for de fleste merdtypene begrenset til avstandsklamrene. Normalt har disse en avstand på 2-2,5m varierende fra produsent til produsent.

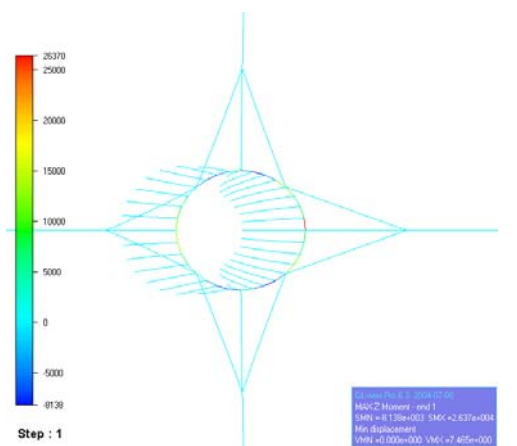
Figurer 13-16 viser belastninger på plastring med mindre variasjoner i plassering av haneføtter.



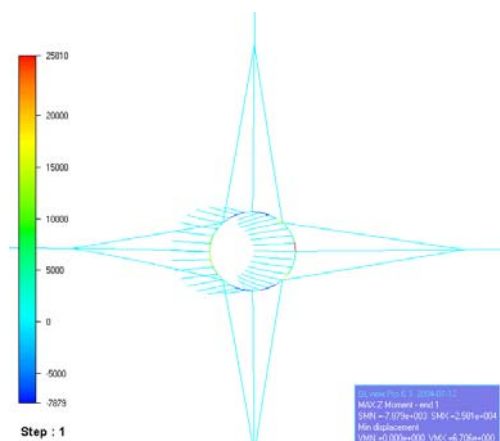
Figur 13. Statisk moment 16,8 kNm, Max moment 28 kNm.



Figur 14. Statisk moment 11,7 kNm, Max moment 22.8 kNm.



Figur 15. Statisk moment 5.9 kNm, Max moment 26.3 KNm.



Figur 16. Statisk moment 7.8 kNm, Max moment 25.8 kNm.

Figurene ovenfor kan konkluderes med følgende:

- Lange liner på hanefot reduserer belastningen på merdene.
- En så bred innfesting som mulig er å foretrekke. Dette kan selvsagt bli et problem i forhold til drift av anleggene.
- Ved en 4 punkts forankring bør man som utgangspunkt søke å legge haneføttene med så stor spredning som mulig, men unngå samme innfesting for to liner.

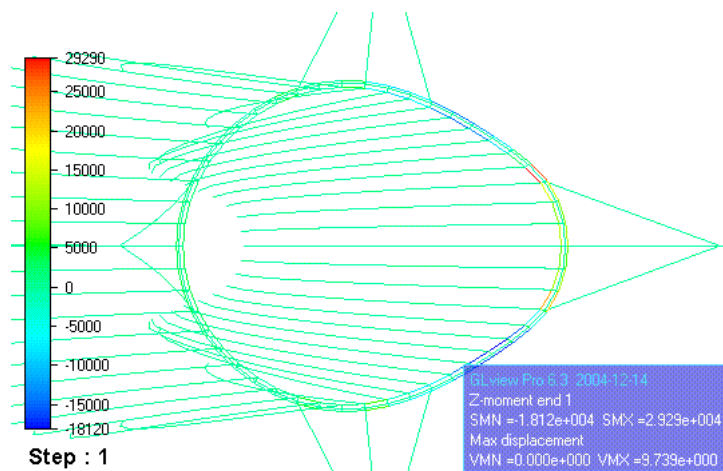
### 2.3 Avstiving av ring

Store plastmerder vil generelt få en redusert bøyestivhet sammenliknet med mindre merder. Skal ekvivalent stivhet oppnås, må det være proporsjonalitet mellom rørdiameter og omkrets på merd (250mm på en 70 m merd tilsvarer nær 600mm på en 160m merd). En 4 punkts forankret plastmerd vil ikke ha tilstrekkelig styrke til å motstå linebrudd i lo ankerline. Strekket i de to resterende sidelinene vil deformere ringen slik at en må forvente at plastrørene deformeres til de bukler.

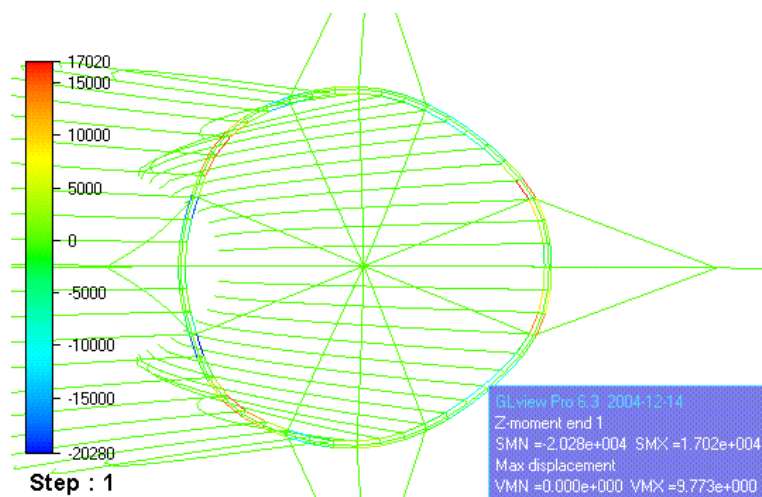
De fleste større merder er i dag utstyrt med en sentral fuglenettflottør for å holde opppe hoppenettet. Denne forankres inn mot merden med tau. I denne forbindelsen kan det være formålstjenelig å utnytte denne innspenningen til å redusere ovaliteten/deformasjonen av ringen.

Radielle liner koplet inn fra forankringsklammer mot en sentral hoppenett-rigg eller flåte (som eiker i et hjul), vil øke merdenes kapasitet betraktelig. Innledende studier tyder på at bruk av slike tau vil kunne redusere risikoen for sammenbrudd både i bruks- og bruddgrensetilstand. Figurer 17-18 viser hvordan en slik avstiving kan bidra til å redusere deformasjoner i ringen.





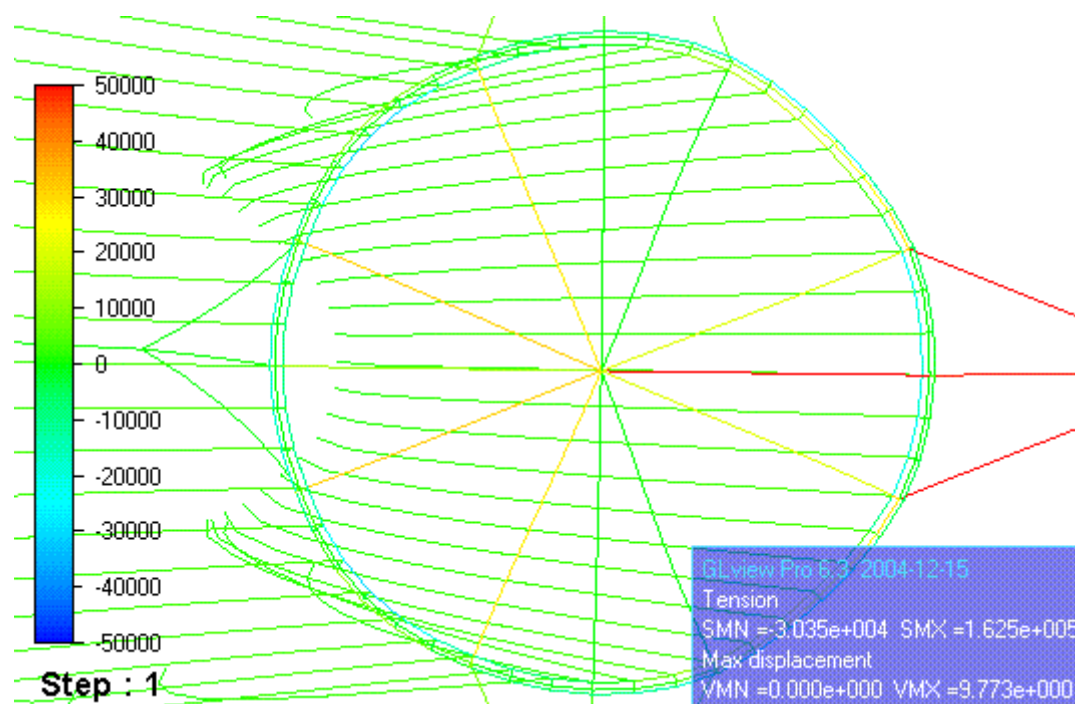
*Figur 17. Deformasjon av ringmerd i strøm uten avstivning.*



*Figur 18. Deformasjon i strøm med avstivning.*

Figurene viser at flytekragens deformasjon er betraktelig redusert ved bruk av slik avstivning. I dette tilfellet er flytekragen avstivet med 8 radielle liner inn mot hvert forankringsklammer. Overflatearealet beholdes i langt større grad. En utfordring blir imidlertid å utvikle løsninger hvor en slik avstivning verken kommer i konflikt med operasjonelle funksjoner eller er til skade for fisk i merden.

Figur 19 viser hvordan aksialstrekking fordeles seg gjennom linene.



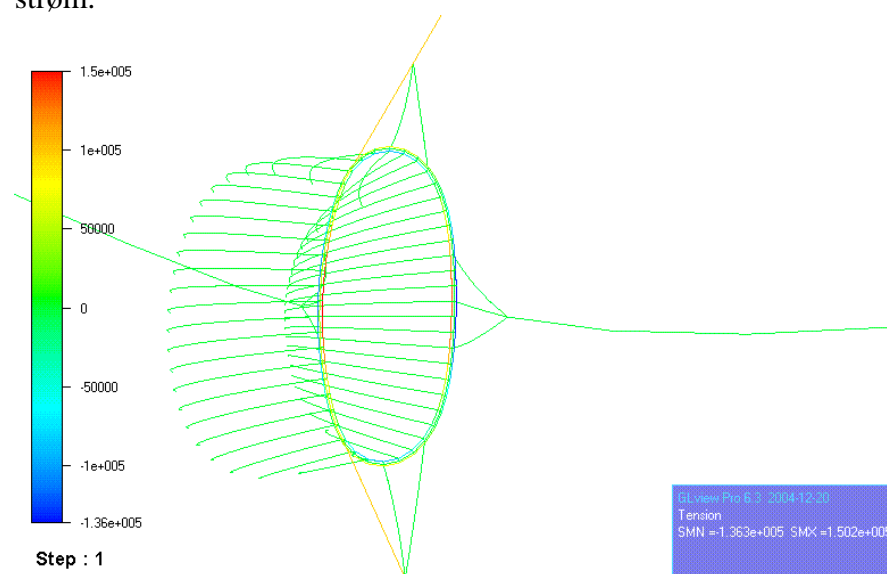
Figur 19. Fordeling av aksialkraft.

I motsetning til en ikke avstivet ring vil alle 3 linene i hanefoten oppta strekk. Den sentrale linen vil ikke gå i slakk. Med dette reduseres momentet på flytekragen med 30 %.

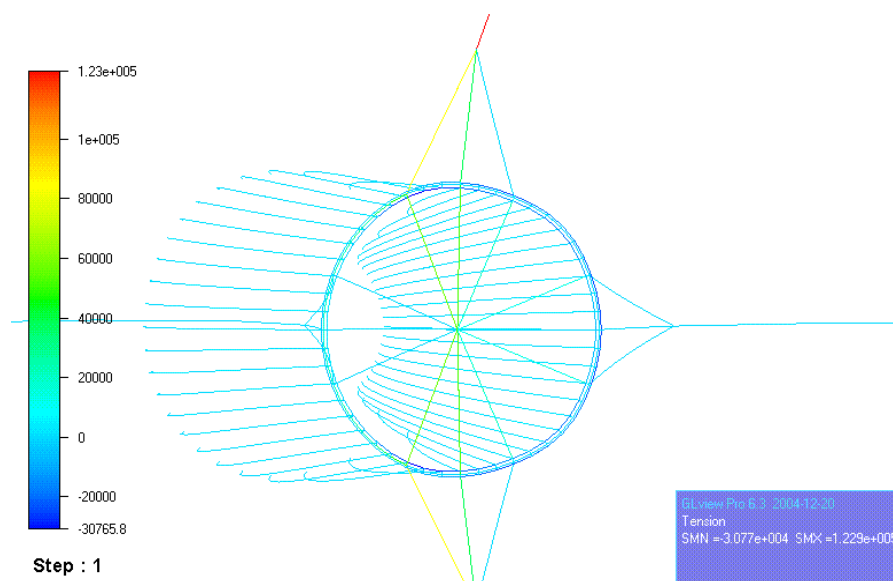
Det er ikke foretatt noen videre studier med hensyn på layout, men en kan med stor sikkerhet oppnå en betydelig reduksjon i belastningen på selve flytekragen.

Det er fullt mulig å integrere slike løsninger i eksisterende merder. Eksisterende sentrale flottører bør også kunne benyttes med noe modifikasjon.

Ved et eventuelt linebrudd vil en radiell avstivning kunne bidra til å redusere havaririsikoen betraktelig. Figur 20 og 21 viser deformasjonen til en 120m ring med linebrudd i lo line i 0.5m/s strøm.



Figur 20. Linebrudd uten avstivning.

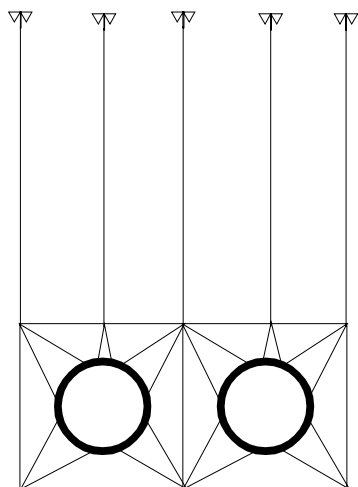


Figur 21. Linebrudd med avstivning.

Her ser vi at avstivningen virkelig kommer til sin rett. Selv om avstivningen består av kun tauverk, dvs. ikke tar trykk, blir effekten stor. Aksialkrafta, linekrafta fra de resterende sidelinene går i sin helhet gjennom krysset i stedet for gjennom selve flytekragen. Belastningen på flytekragen blir dermed redusert betraktelig. Momentet på flytekragen reduseres med hele 70 % i dette tilfellet. Man må imidlertid forvente at ved betydelig høyere strømhastigheter vil også et system med avstivning nå en begrensning hvor lo side av ringen kollapser og foldes inn. Uansett vil en slik avstivning kunne bidra til å redusere denne risikoen.

## 2.4 Ekstra forankringslinjer

For spesielt utsatte lokaliteter med strømhastigheter over 0,5 m/s, kan det være gunstig å legge ekstra haneføtter inn i merdene (figur 22). En slik layout vil redusere belastningen på selve flytekragen med 40-50 %. Dette er selvsagt ugunstig rent driftsmessig, da disse ekstra linene vil vanskeliggjøre atkomsten.



Figur 22. Ekstra forankringslinjer kan være hensiktsmessig på spesielt strømutsatte lokaliteter.

### 3 Konklusjon

Dette arbeidet kan konkluderes med noen ”tips” for mer rømmingssikre anlegg:

- En systemforankring er ikke fullverdig havarisikker. Etter brudd i en vilkårlig line kan man ikke påregne at merder og forankringssystem er inntakt.
- Legg ramma på tvers av eksponeringsretningen.
- Ved sterkt eksponerte lokaliteter vil en ekstra forankringsline inn mot merd redusere belastningen på store merder betraktelig.
- Benytt lange haneføtter. En bred ramme reduserer belastningen på merdene.
- Haneføttene bør festes inn så vidt som mulig. Dog ikke så vidt at to liner går inn på samme klammer.
- Ta hensyn til redusert bruddstyrke ved bruk av knuter. Diameteren på tau bør økes med ca 40 %.
- For meget store merder (> 120m) på eksponerte lokaliteter bør man ikke legge merder i dobbel rekke.