STF80 A044026 – Åpen

RAPPORT

Anbefalt utlegg av enkeltliner
Nye rømmingssikre merdkonsept

Egil Lien og Mats Augdal Heide

SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Havbruksteknologi

April 2005

www.sintef.no

SINTEF

INNHOLDSFORTEGNELSE

Forord **3**

1. Innledning **4**
1.1 Mål med arbeidet 4
1.2 Forankring – et komplekst problem 4

2. Modellering av anlegg med parametervariasjon **6**
2.1 Innledning 6
2.2 Analyser av leggemønster 6
2.2.1 Parametere og oppsett av analyser 6
2.2.2 Output fra AquaSys 9
2.2.3 Resultater - leggemønster 11
2.2.4 Resultater – belastninger når nøter og enkeltliner fjernes 12
2.3 Forskjellige linekonfigurasjoner 14
2.3.1 Ren kjettingforankring 14
2.3.2 Bøyer i forankring 17
2.4 Dynamisk strekkvariasjon i bølger 24
2.5 Konklusjon 25

Forord

SINTEF har på oppdrag fra FHF (Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond) gjennomført prosjektet ”Nye rømmingssikre merdkonsept”. Prosjektet er inndelt i flere delområder. Denne rapporten dokumenterer arbeid utført i prosjektet under delaktiviteten *Oversikt over forankringssystemer*.

Rapporten inneholder vurderinger relatert til utlegging og drift av forankringer til stålanlegg.

SINTEF Fiskeri og havbruk, Trondheim, 12. april 2005

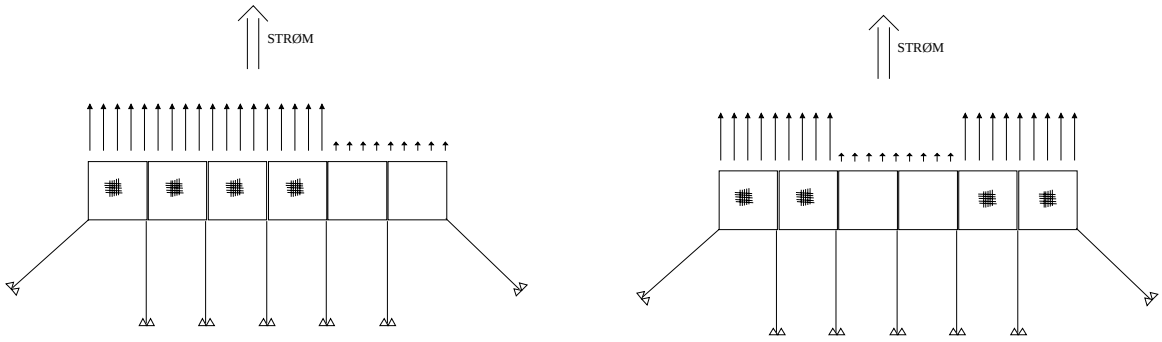
1. Innledning

1.1 Mål med arbeidet

Hengslede eller lange stålanlegg er meget følsomme for forankringsmetoden som benyttes. Et overordnet mål er å minimalisere de globale momentene som påføres anlegget. Arbeidet i denne rapporten baserer seg på resultater fra tidligere delrapport STF80A044024 ”Konsept og styrkemessig vurdering av nye forankringssystemer for stålanlegg”. I det arbeidet anbefales et leggemønster der en søker å oppnå en lik eller lineært varierende fleksibilitet langs anlegget. Herværende arbeid ser nærmere på hvordan de enkelte linestrekk kan arrangeres for å oppnå dette.

1.2 Forankring – et komplekst problem

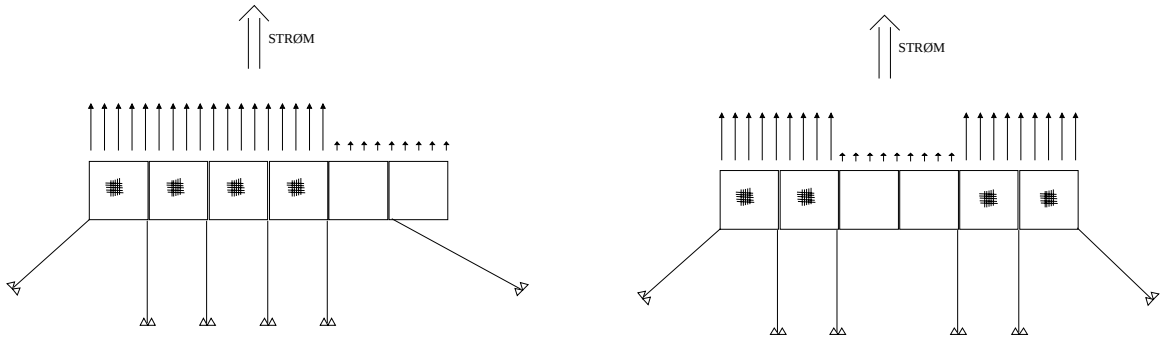
Det er tidligere konkludert med at ujevn linelengde vil medføre ugunstige belastninger på et stålanlegg. Fjerning av nøter i et stålanlegg vil medføre det samme, ved at det skaper en ubalanse i anlegget som følge av at belastningene ikke er jevnt fordelt (figur 1).



Figur 1. Belastningsfordeling i strømsatt systemanlegg. Når nøter fjernes fra systemet, oppnås en endring i påkjente strømbelastninger, som kan påføre anlegget store bøyemomenter.

Under tilstandene vist i figur 1 vil anlegget påføres store momentbelastninger. Selv under normale situasjoner er det alltid noe forskjellig begroing etc. på nøtene. Det vil derfor alltid være en viss grad av ujamn kraftfordeling på et anlegg. Spørsmålet blir da om det i spesielle tilfeller bør tas forhåndsregler for å redusere denne effekten.

En justering av fleksibiliteten på ankerliner er i praksis umulig. Det vil aldri være tale om å flytte ankre ut fra operasjonelle situasjoner. Det som enkelt kan gjøres er eventuelt å fjerne eller slakke enkelte liner, eventuelt å flytte terminalpunkter på anlegget for å redusere belastningen (figur 2).



Figur 2. Forslag til endret leggemønster for forankring som følge av skjev belastning i anlegg. Teorien er at en endret forankringskonfigurasjon kan redusere bøyemomentene som anlegget utsettes for.

Effekten av tiltak som presentert i figur 2 må verifiseres. I neste kapittel utføres aktuelle analyser for et 1 x 6 burs anlegg med mål å verifisere denne teorien.

2. Modellering av anlegg med parametervariasjon

2.1 Innledning

I dette kapitlet presenteres resultater fra en rekke analyser og beregninger. Sammenhengene som presenteres gir en del tips til forbedrede leggemønster for stålanlegg. Det gis også tips for bruk av komponenter i linestrekk.

2.2 Analyser av leggemønster

2.2.1Parametere og oppsett av analyser

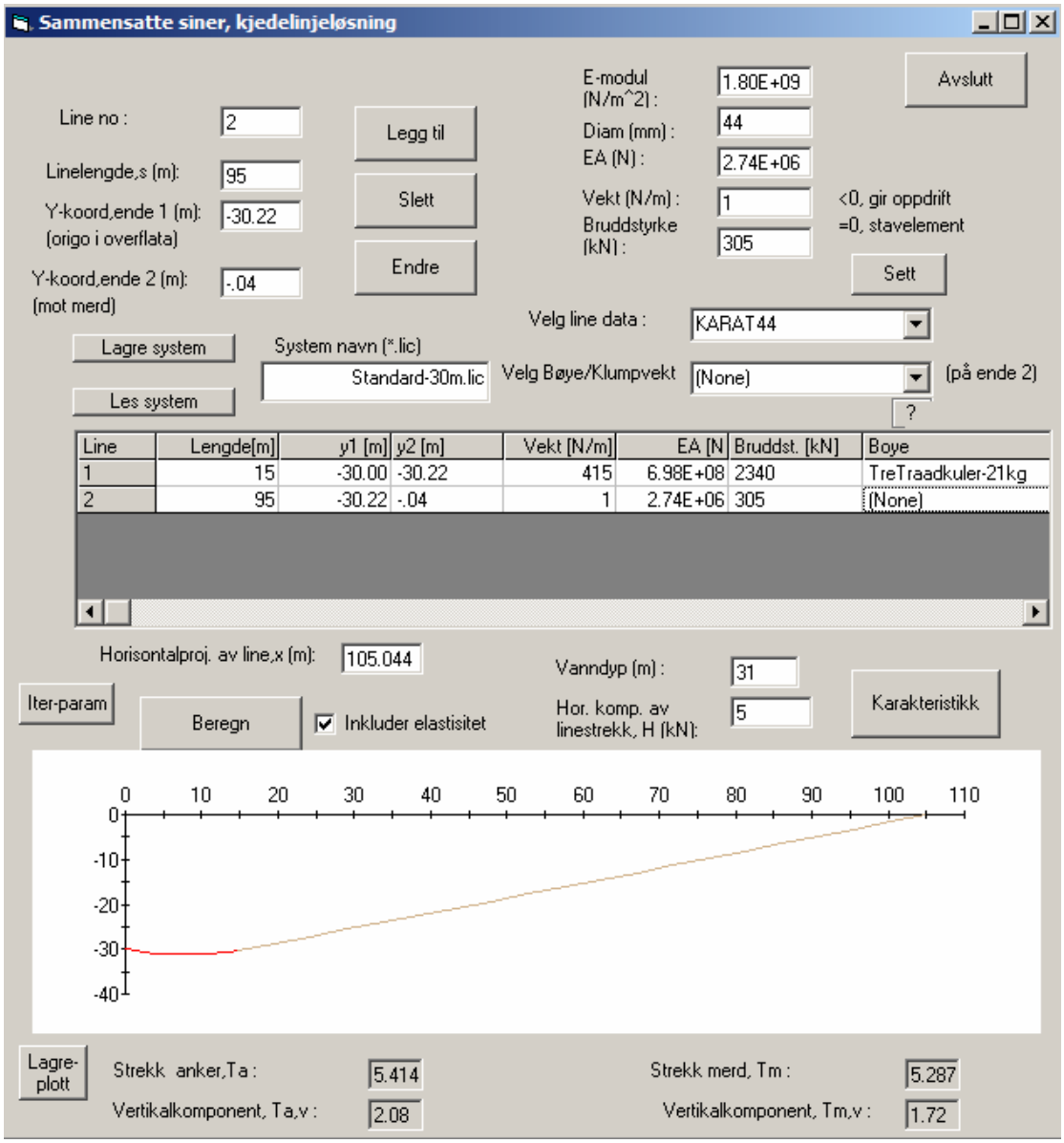
Basis for denne studien er å finne effekten av driftsvariable parametere på belastningen i anlegget. I dette studiet analyseres først tre forskjellige leggemønster med parametervariasjon, og linebrudd studeres. Skadet tilstand er simulert ved å fjerne en line og studere hvordan belastningene endrer seg med gitte leggemønster. Høye belastninger antyder større sannsynlighet for brudd i flytekrage og liner, og følgelig sannsynlighet for havari. Resultater fra dette arbeidet presenteres i kapittel 2.2.3.

System nr 1 (leggemønster 1) studeres deretter videre, ved at liner fjernes i sammenheng med at nøter også fjernes. Analysene gjentas, og spenninger i anlegg som følge av de forskjellige driftstilstandene sammenlignes i en tabell. Disse resultatene presenteres i kapittel 2.2.4.

I analysene benyttes beregningsverktøyet AquaSys, et SINTEF-internt program for forankringsanalyser.

Det analyserte anlegget består av 6 bur 25 x 25m i ei rekke. Notstørrelse er 25 x 25 x 20 m. I utgangspunktet er nøtene satt opp med høy soliditet, Sn=0.25, dvs de er kraftig begrodd.

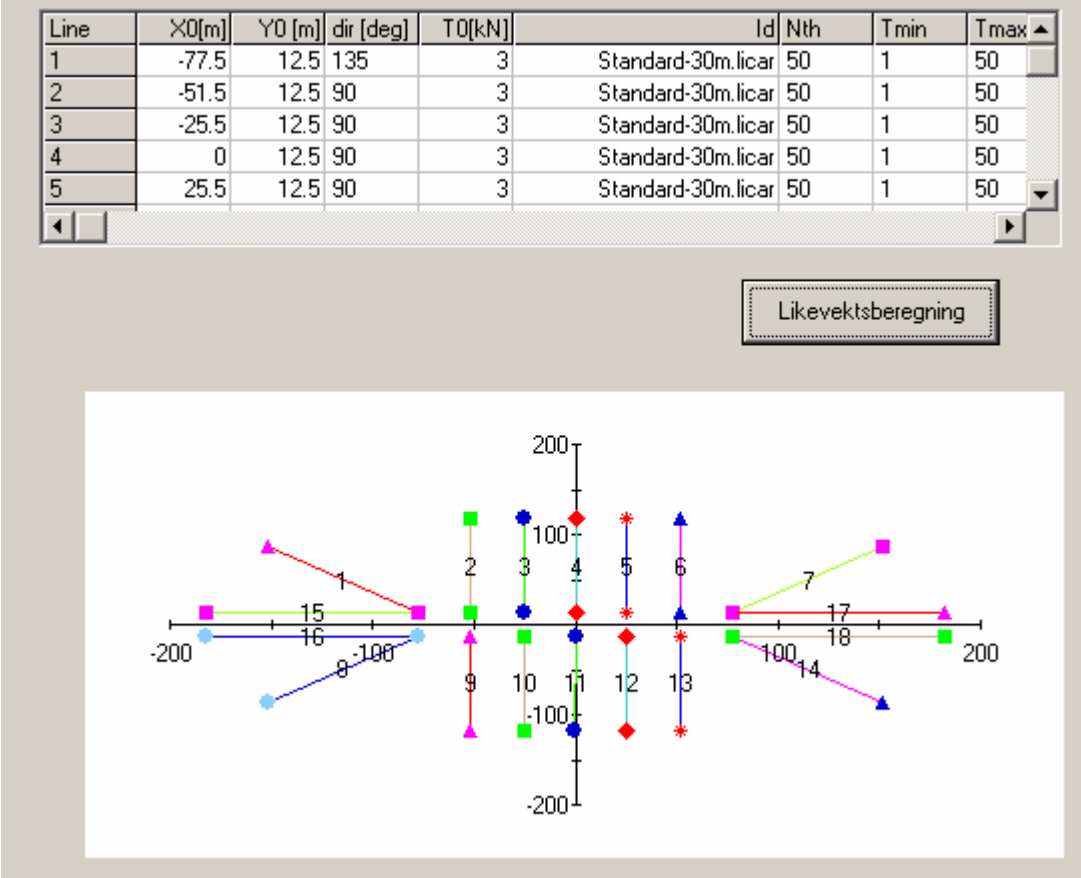
De forskjellige leggemønstrene (system nr 1, 2 og 3) er i utgangspunktet satt opp med en ideell forankring, dvs. 30 m konstant vanndyp på alle liner. Ankerlinene består av 15 m 46mm kjetting mot bunn + 95 m tau, 44mm PP.



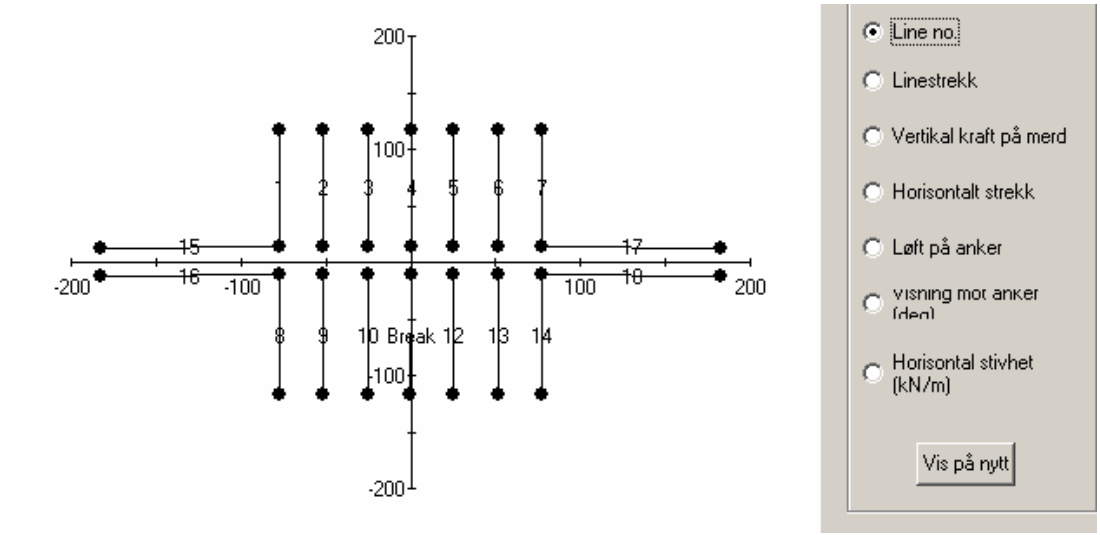
Figur 3. Skjermbilde fra AquaSys. Leggemønster for enkeltliner.

Anlegget er forankret med 18 eller 22 liner avhengig av leggemønster (figurer 4-5-6), og forspenningen er (uten strømkrefter) satt til 3 kN horisontalt på alle liner.

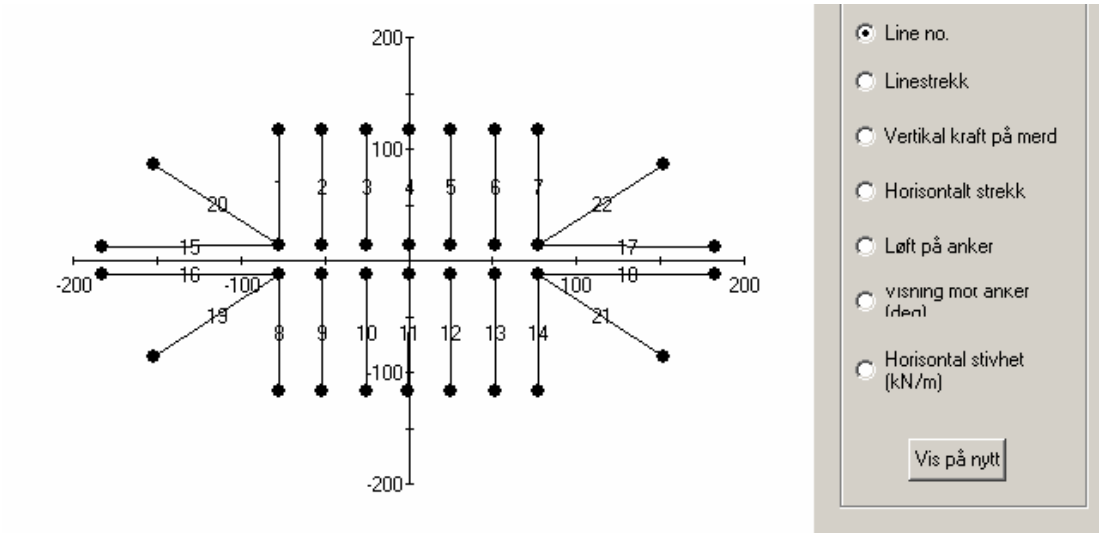
Anlegget er i alle analyser påsatt kun strømkrefter, 0,5 m/s strøm i 90 grader, dvs. langs positiv y-akse.



Figur 4. Leggemønster for analysert system nr 1.



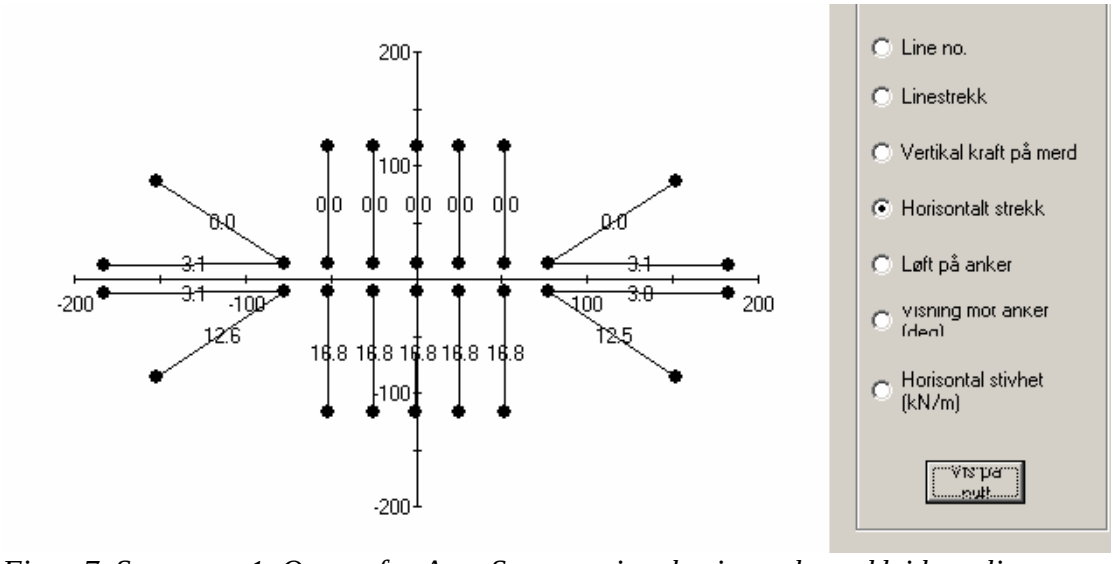
Figur 5. Leggemønster for analysert system nr 2.



Figur 6. Leggemønster for analysert system nr 3.

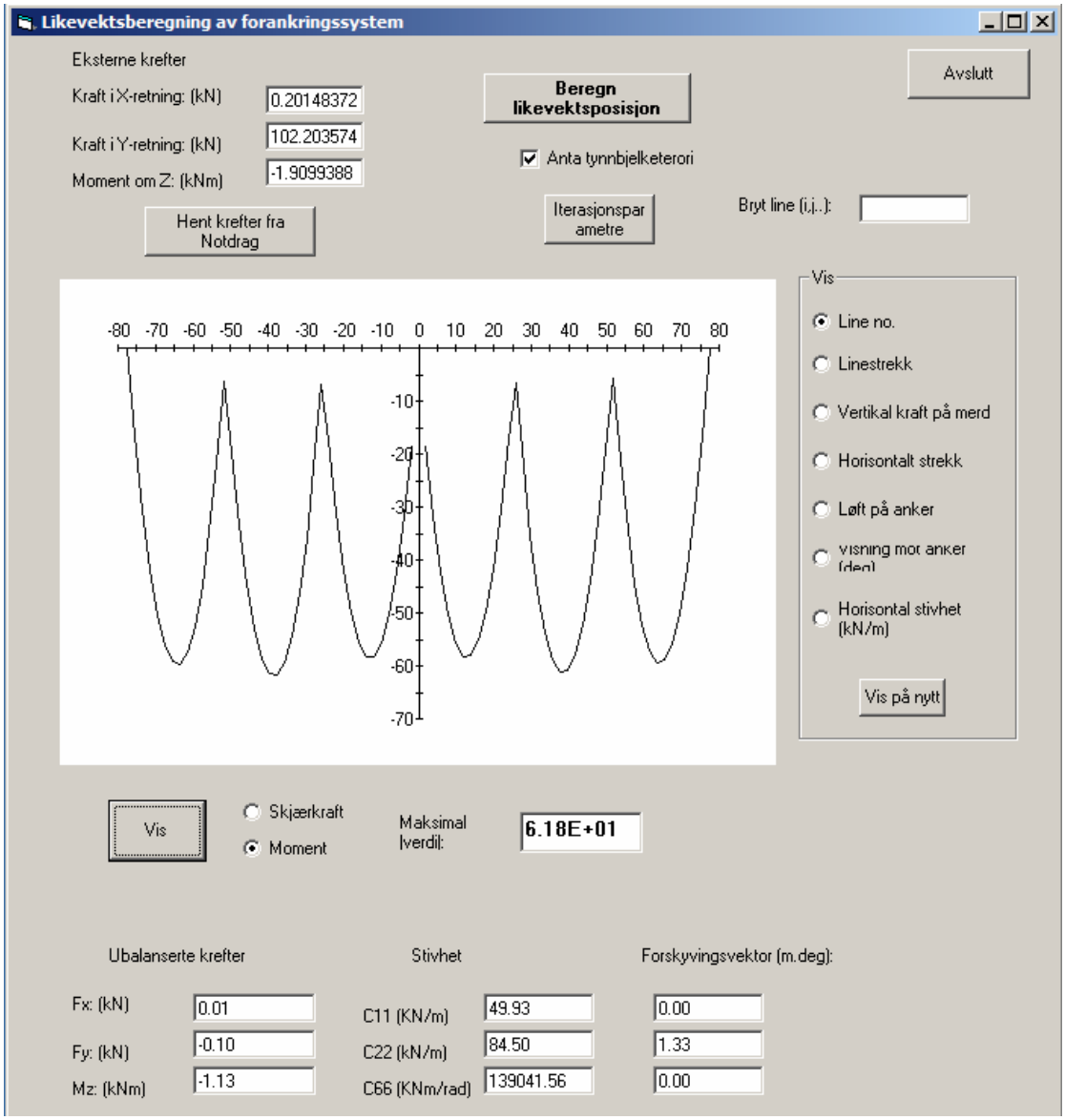
2.2.2Output fra AquaSys

Output fra analyseprogrammet er blant annet en beregning for hvert linestrekk (med påsatt strømbelastning 0,5 m/s i positiv y-retning), som grafisk fremstilles som vist i figur 7. På hver av linene vises aktuelt horisontalt strekk i kN.



Figur 7. System nr 1. Output fra AquaSys som viser horisontalt strekk i hver line. Eksempel med alle liner aktive (intakt system).

Ut fra ankerlinebelastningene beregnes en momentfordeling i systemanlegget. I figur 8 vises output fra analyseprogrammet for en tilstand med intakt system nr 1. Her vises fordeling av bøyemoment på langs av anlegget, i tillegg til at en maksimal verdi presenteres.



Figur 8. Momentfordeling for intakt system nr 1.

2.2.3Resultater - leggemønster

I analysene har system nr 1, 2 og 3 blitt gjennomregnet for følgende tilstander:

- Intakt system, dvs. alle forankringsliner aktive
- Skadet system, dvs. forankringsline 11 fjernes fra alle systemene (se figurer 4-6)

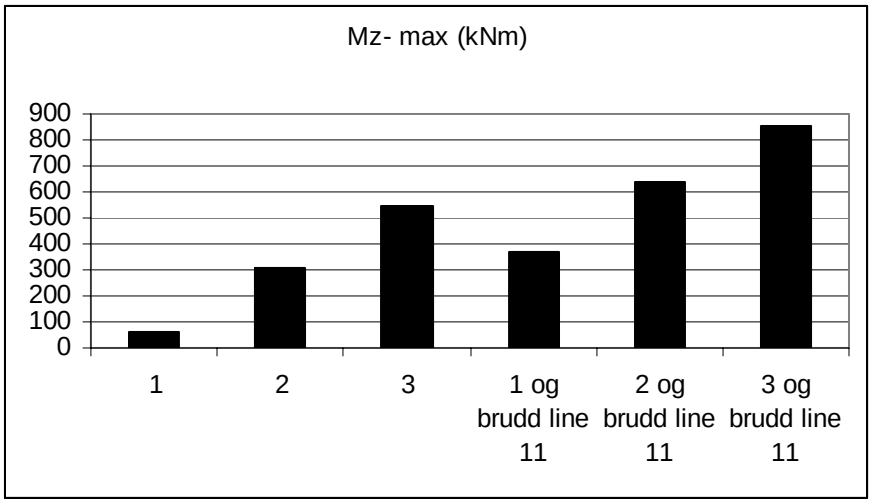
I tabell 1 vises resultatene fra analysene. Følgende betegnelser benyttes i tabellen:

Mz – bøyemoment om vertikalakse på anlegget
Qy – Skjærkraft på tvers av anlegget.

Tabell 1. Beregnede bøyemoment og skjærkraft for system 1, 2 og 3.

System nr.	Mz- max (kNm)	Qy max (kN)	Max linestrekk (kN)	i line
1	62	9.03	17.6	9-13
2	308	14.6	15.3	8-14
3	546	20.0	13.1	4-14
1 og brudd line 11	370	15.9	21.4	9-13
2 og brudd line 11	640	17.1	17.8	8-14
3 og brudd line 11	851	22.5	15.0	8-14

Resultatene i tabell 1 er fremstilt grafisk i figur 9.



Figur 9. Sammenligning av analyserte systemer 1-3, og maksimale beregnede bøyemoment.

Som vi ser, er det av største viktighet å sørge for et ideelt leggemønster. Analysene antyder klart at system 1 er best egnet, både i intakt og skadet tilstand. System nr 1 er følgelig den foretrukne måten å forankre anlegget på.

2.2.4Resultater – belastninger når nøter og enkeltliner fjernes

I det videre arbeidet har kun system 1 blitt analysert. Her har målet vært å verifisere teorien presentert i kapittel 1.3, altså at dersom nøter fjernes, bør også utvalgte forankringer slakkes. Analysen har også her benyttet parametrene presentert i kapittel 2.2.1.

Analyser med parametervariasjon ga resultatene presentert i tabell 2. Nøtene er nummerert 1-6 fra høyre mot venstre.

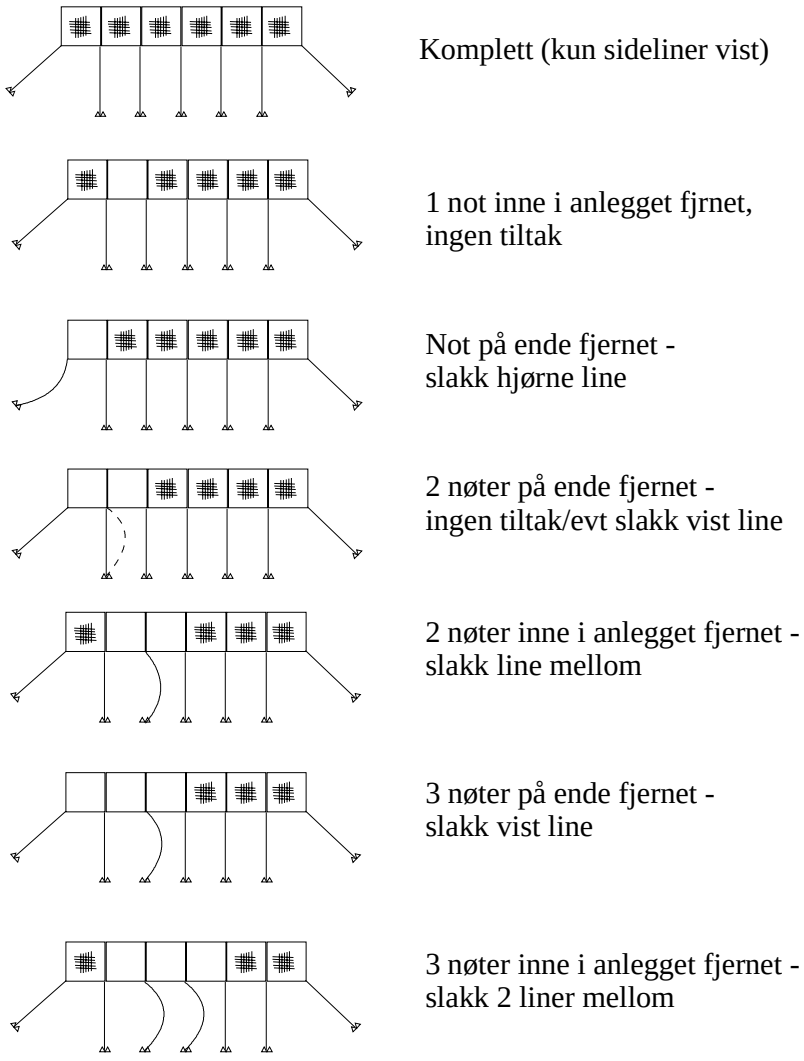
Tabell 2. Sammenfatning av momentfordeling og belastninger i anlegg ved forskjellige driftstilstander.

System 1	**Mz- max (kNm)**	**Qy max (kN)**	**Max line-strekk (kN)**	**i line**
Intakt system	62	9.03	17.6	9-13
Intakt system og fjernet line 8	275	16.8	24.7	9
Intakt system og fjernet line 9	190	19.7	28.0	10
Intakt system og fjernet line 11	370	15.9	21.4	9-13
Intakt system og fjernet not 1	300	12.8	20.9	13
Intakt system, fjernet not 1 og line 8	145	11.0	19.6	13
Intakt system, fjernet not 1 og line 9	262	10.2	19.3	13
Intakt system og fjernet not 2	94	11.1	18.4	13
Intakt system og fjernet not 1 og 2	206	11.3	20.5	13
Intakt system, fjernet not 1 og 2 og line 11	459	16.6	23.5	13
Intakt system, fjernet not 1 og 2 og line 13	219	17.3	26.0	12
Intakt system, fjernet not 1 og 2 og line 9	196	11.0	20.1	13
Intakt system og fjernet not 2 og 3	320	14	15.6	13
Intakt system, fjernet not 2 og 3 og line 10	113	11.2	16.8	13
Intakt system og fjernet not 1,2 og 3	152	11.6	17.3	13
Intakt system, fjernet not 1,2 og 3 og line 10	89	9.8	18.1	13
Intakt system og fjernet not 3,4 og 5	457	16.9	11.2	9
Intakt system, fjernet not 3,4 og 5 og line 11 og 12	118	12.1	14.5	9

Resultatene viser at fjerning av nøter vil skape en ubalanse når deres strømbelastning fjernes, mens tilbakeføringskraft fra ankerline fortsatt virker.

Betegnelsen ”fjernet line” kan like gjerne betraktes som å slakke liner kontrollert for å redusere belastningen på anlegget.

Med utgangspunkt i tabell 2 kan anbefalinger for anlegget gis som vist i figur 10.



Figur 10. Anbefalinger for slakking av liner dersom nøter fjernes fra anlegget.

Systemanlegg med annen sammensetning (særlig der en benytter to bur i bredden) vil oppleve andre momentfordelinger ved fjerning av nøter. Analysene har klart vist at fjerning av enkeltnøter vil kunne påføre et systemanlegg store ekstrabelastninger.

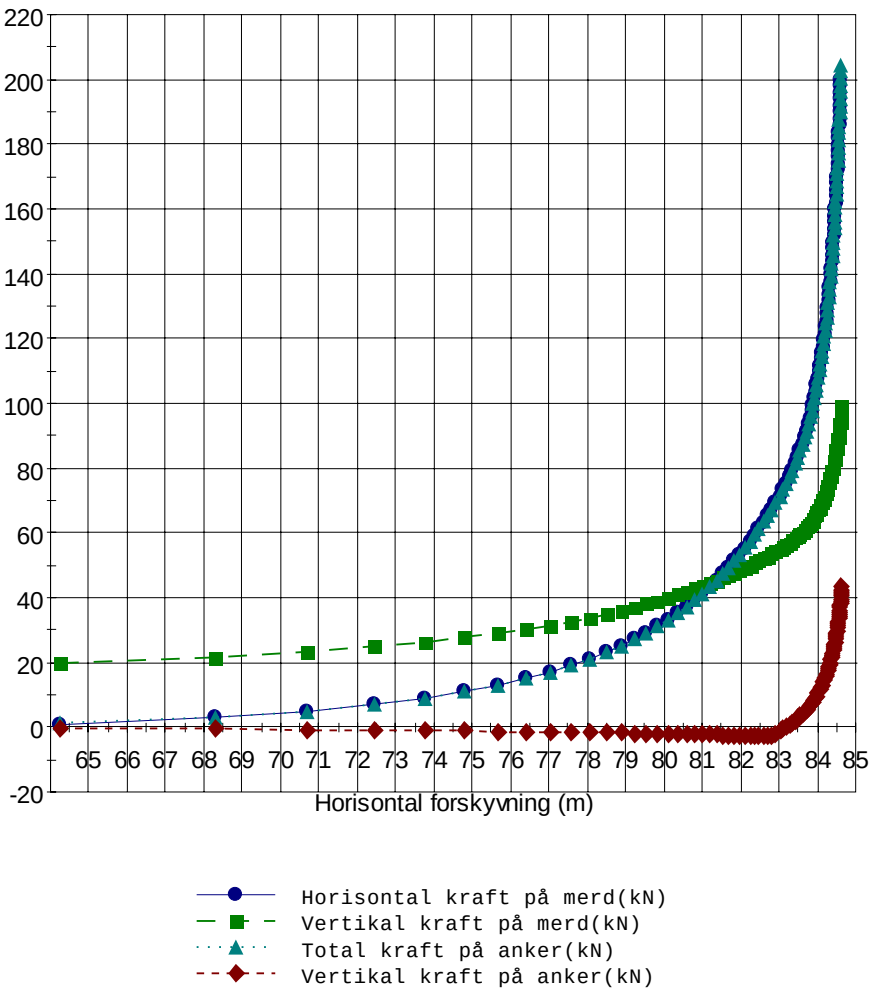
2.3 Forskjellige linekonfigurasjoner

2.3.1Ren kjettingforankring

I det følgende fokuseres det på sammensetning av en forankringsline, med henblikk på å redusere de globale belastningene i oppdrettsanlegget. I første tilfelle ser en på forankringsliner der det benyttes utelukkende kjetting i hele linelengden.

Det er valgt å se på et "tenkt tilfelle" der to parallelle kjettingliner betraktes. Dette gir kraftkomponenter på anlegget som vist i figur 11.

Følgende parametere er benyttet:
Dybde 30m, L/d=3, 90m kjetting 56 mm stolpekjetting, w= 624N/m. EA=1.03e9 N/m2

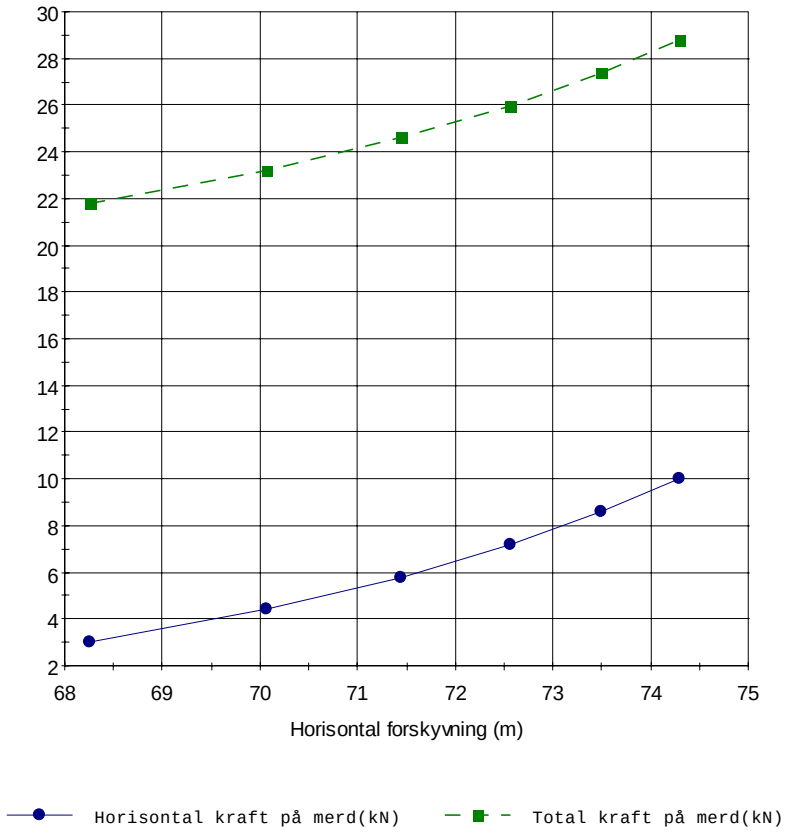


Figur 11. Sammenheng mellom horisontal forskyvning av anlegg og vertikale krefter (inkl. elastisitet).

Det blir løft på ankeret ved Th=75 kN (7,5 tonn). Maksimal utnyttelse av geometrisk stivhet ligger på ca 100 kN.

Antas en horisontal forspenning, Th=5 kN (0,5) tonn – er initial horisontal avstand mellom Tp og anker 72,69m.

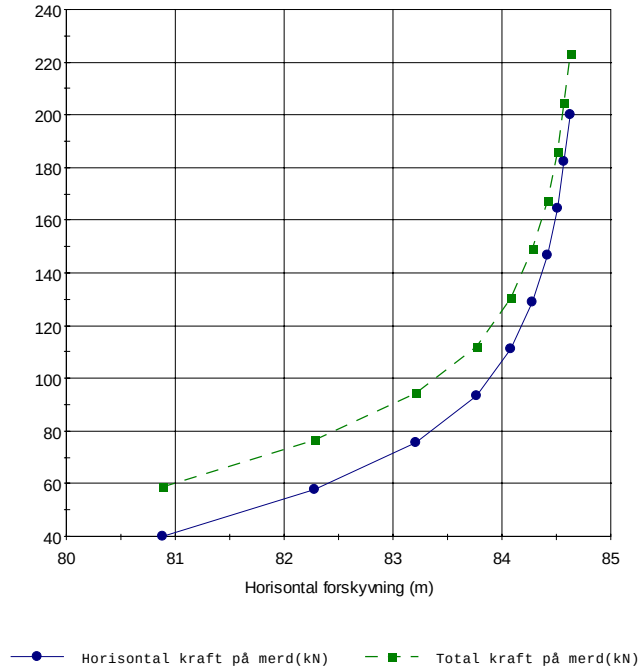
Legges ankrene ut med en unøyaktighet på 3m (+/- 1.5m) vil dette gi vesentlig forskjell i kraft forskyvningskarakteristikk på linene (figur 12).



Figur 12. Kraft forskyvingskarakteristikk ved lave strekk (inkl. elastisitet).

Ved forspenningskontroll kan totalkraften ved terminalpunktet i prinsippet måles, eventuelt visningsvinkelen på lina. Det vil kreve stor nøyaktighet dersom en skal holde seg innenfor +/- 10 % i initial strekk. I vårt tilfelle vil dette dreie seg om et avvik i horisontalposisjon på ca 3m.

Ved stor belastning vil derimot en 3-meters unøyaktighet i posisjonering gi meget stor variasjon i strekk, se linekarakteristikk (figur 13).



Figur 13. Kraft forskyvingskarakteristikk ved høye strekk (inkl. elastisitet).

Strekkes den lengste lina til Th=160 kN, vil den korteste lina ha et horisontalt strekk på ca 45 kN. Så store strekkvariasjoner kan ikke tillates.

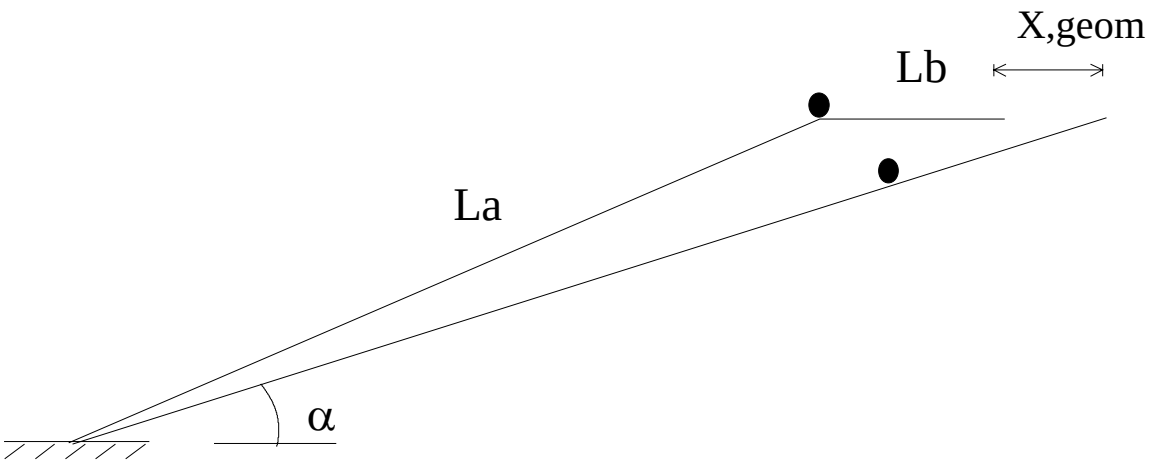
Det sier seg selv at ved varierende dyp omkring anlegget vil situasjonen bli ennå vanskeligere å kontrollere.

Dette eksemplet viser at ren kjetting ikke bør brukes ved forankring av stålanlegg fordi fleksibiliteten i en slik forankring er alt for liten. En vil alltid risikere at en line når fullt utstrekk før de andre. Dette vil medføre ekstreme belastninger på terminalpunkt og store bøyemoment på stålanlegget.

Det er i praksis umulig å legge ut ankrene eller justere kjettinglengdene med god nok nøyaktighet, selv ved lik dybde ved anlegget. Kjetting skal derfor bare brukes nærmest ankeret for å hindre løft på dette, og eventuelt til justering av forspenning ved terminalpunkter på anlegget.

2.3.2Bøyer i forankring

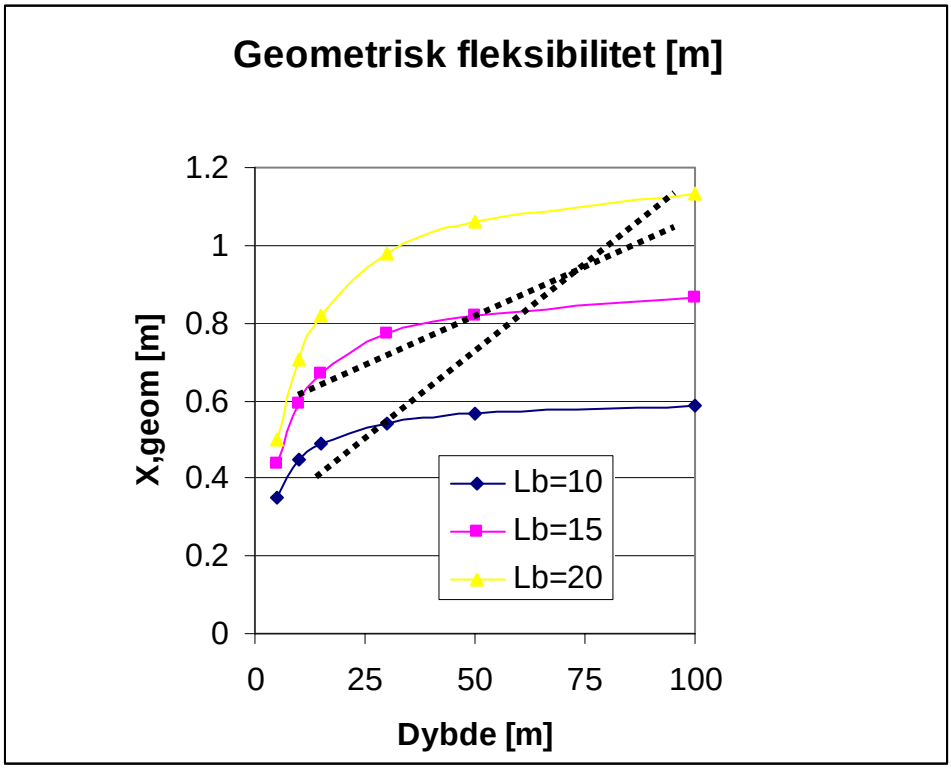
Det er i dag meget vanlig å benytte tildels store bøyer 10-15 meter ut fra anlegget. Bidraget til linas fleksibilitet er meget begrenset når bøyene er plassert nært anlegget (10-20m). Dette illusteres med en geometrisk betraktning vist i figur 14.



Figur 14. Geometrisk betraktning av fleksibilitetsbidrag fra forankringsbøye.

Figuren viser at bøya gir ekstra fleksibilitet inntil lina er strukket helt ut. Dette geometriske tillegget i fleksibilitet vil i praksis være lite i forhold til den elastiske fleksibiliteten i lina når blåsa plasseres nært (10-15 meter) fra anlegget. Geometrisk fleksibilitet vil i de fleste tilfeller gjøre korrekt forspenning vanskeligere, som diskusjonen nedenfor vil vise.

Benyttes "standard" leggemønster med Lb mellom 10 og 20m, og lengde/dybdeforhold La/d=3, kan den geometriske fleksibiliteten vises som (figur 15):



Figur 15. Effekt av geometrisk fleksibilitet avhengig av avstand mellom blåse og innfesting i anlegg (Lb).

Forspenningen kan i ideelle tilfeller kontrolleres ved bruk av bøyer. Dersom en har lik dybde og likt lengde/dybdeforhold på linene oppnås jamn forspenning ved å dra bøyene likt ned.

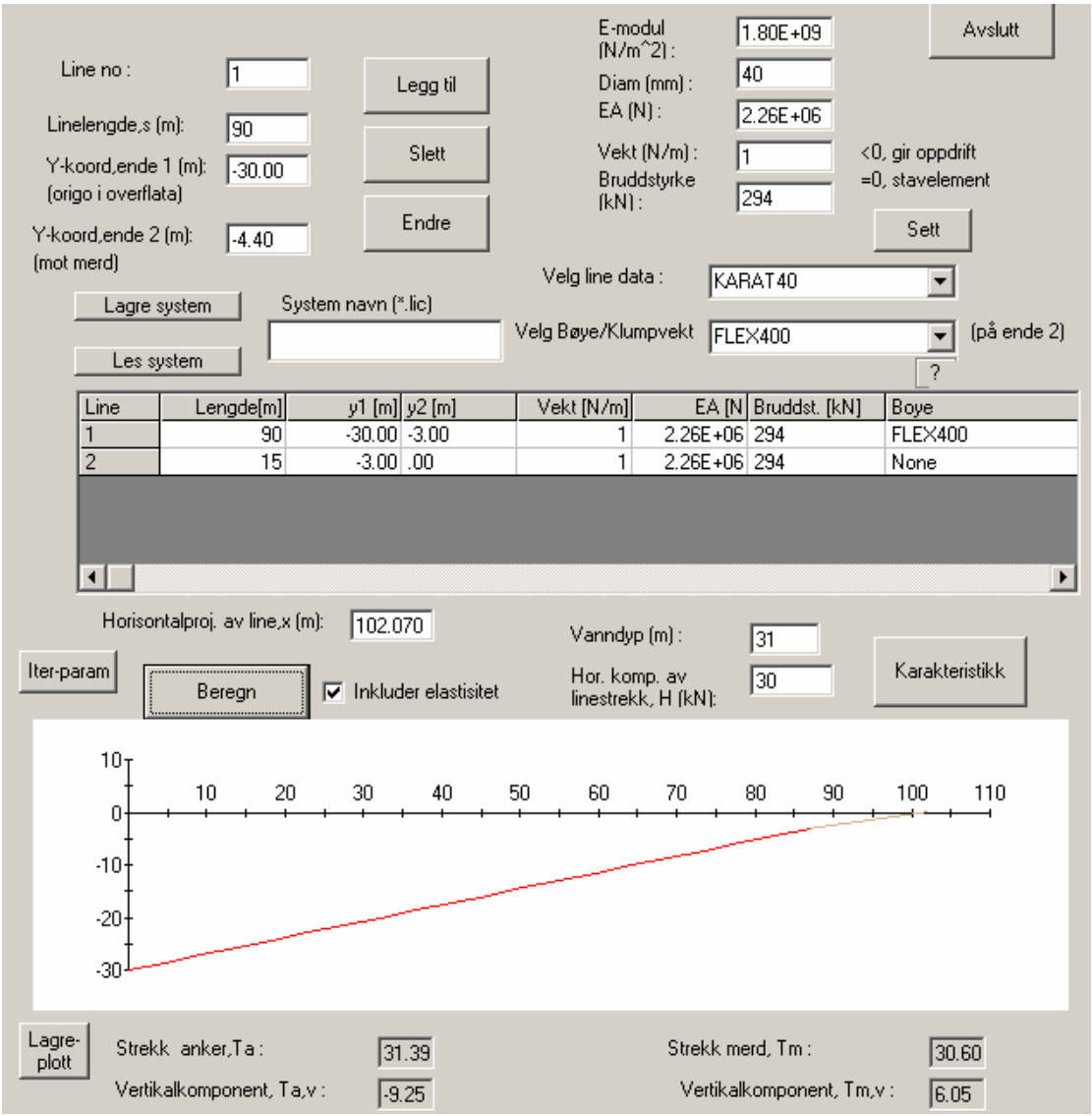
Dersom en har varierende dyp over anlegget har dette imidlertid liten hensikt. Ved belastning på anlegget vil linene strekkes opp ulikt. For eksempel, ved en avstand til bøya på 15 m, er det en geometrisk variasjon på ca 0,3 – 0,4 m når vanndypet går fra 10-100 m. Det oppnås fort strekkvariasjoner på 5-10 kN uavhengig av forspenning.

Det er ønskelig med en lineært varierende stivhet langs anlegget. Det er i praksis mulig å oppnå ønsket stivhet ved å variere lengden fra anlegg til bøya. Dette vil kreve omfattende analyser – og vil medføre at bøyene ikke vil fungere som en grensemarkering til anlegget. Selve utleggsprosedyren vil bli vesentlig mer komplisert.

Dersom det er varierende vanndyp langs anlegget, er det tjenelig å sløyfe bøyene. Det kan eventuelt henges på markeringsbøyer, men disse bør i så fall henge slakt mot lina. Ved å sløyfe bøyene og benytte tau oppnås en godt kontrollerbar fleksibilitet til alle ankerlinene.

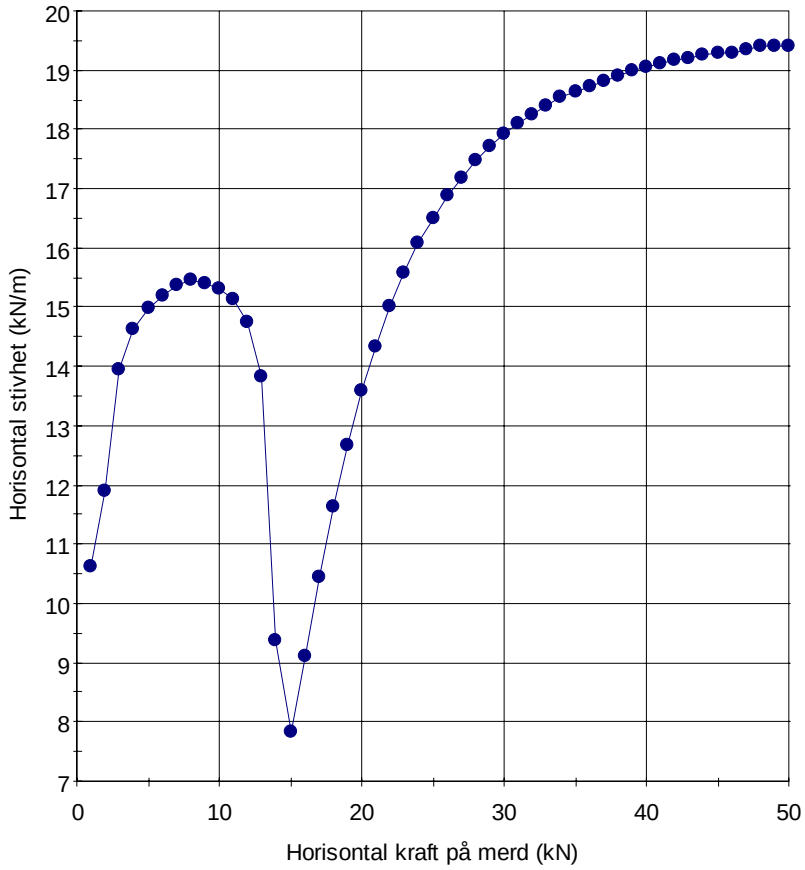
I det følgende vil fleksibilitetsegenskapene til bruk av forskjellig antall blåser studeres.

CASE I: Fleksibilitet ved bruk av en enkelt blåse



Figur 16. Skjermbilde fra AquaSys med oppsett av en enkelt blåse.

I dette regneeksemplet har en to segments line 90m + 15m blitt benyttet. Det ble benyttet en 400 liters bøye. Figur 17 viser fleksibilitetskarakteristikk ved bruk av en enkelt blåse.

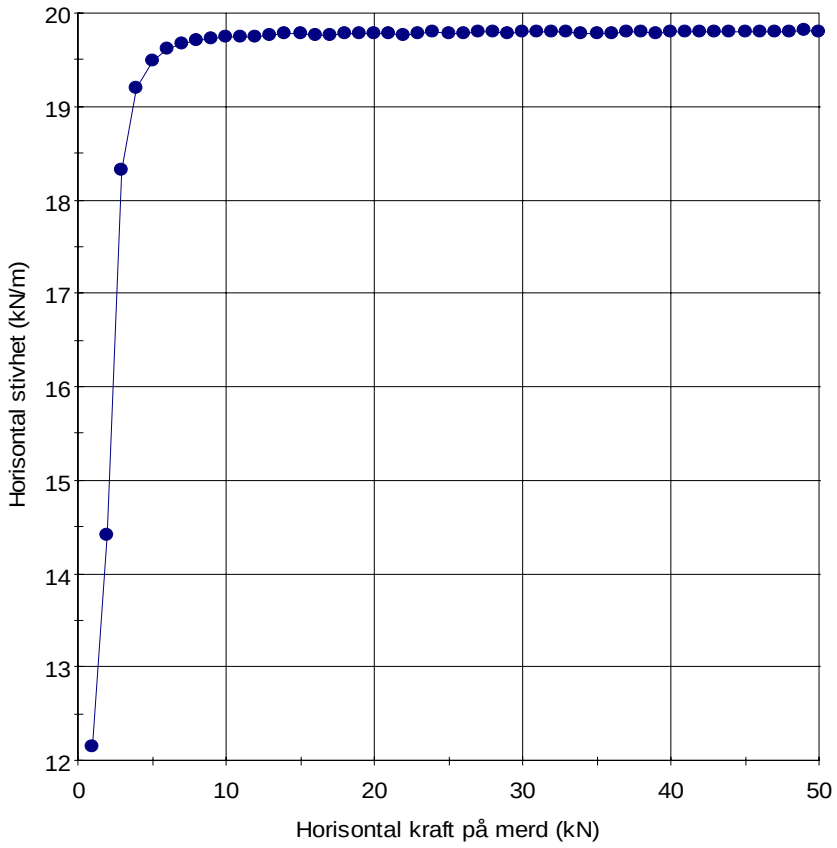


Figur 17. Horisontal stivhet – horisontal kraft med en enkelt blåse (inkl. elastisitet).

Det oppnås en dramatisk reduksjon av stivheten kun over et meget begrenset område, fra 12 – 18 kN horisontalt strekk. Det er i dette område bøya trekkes under.

CASE II: Fleksibilitet uten bruk av blåser

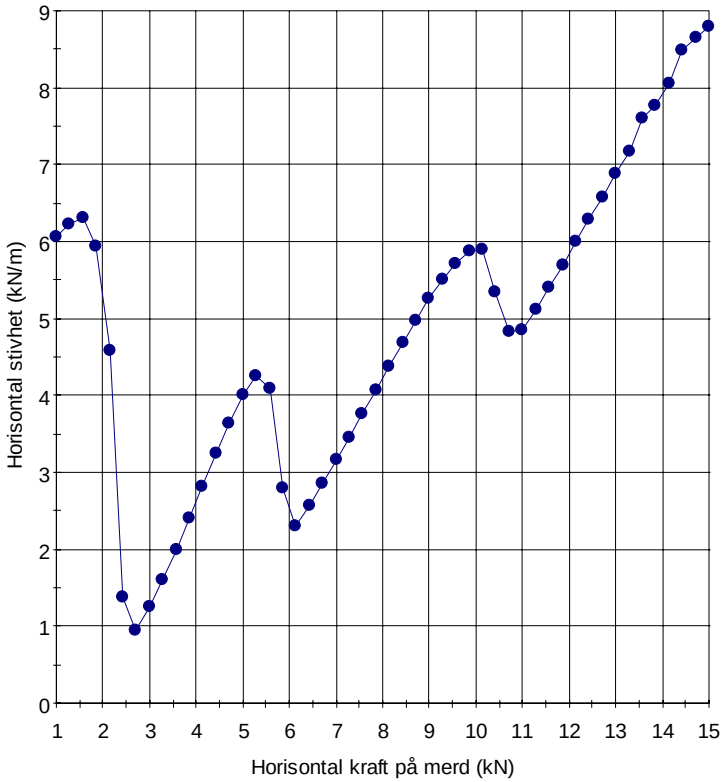
Dersom ingen blåser benyttes, oppnås en konstant elastisk fleksibilitet (figur 18).



Figur 18. Horisontal stivhet – horisontal kraft uten blåse (inkl. elastisitet).

CASE III: Fleksibilitet ved bruk av tre blåser

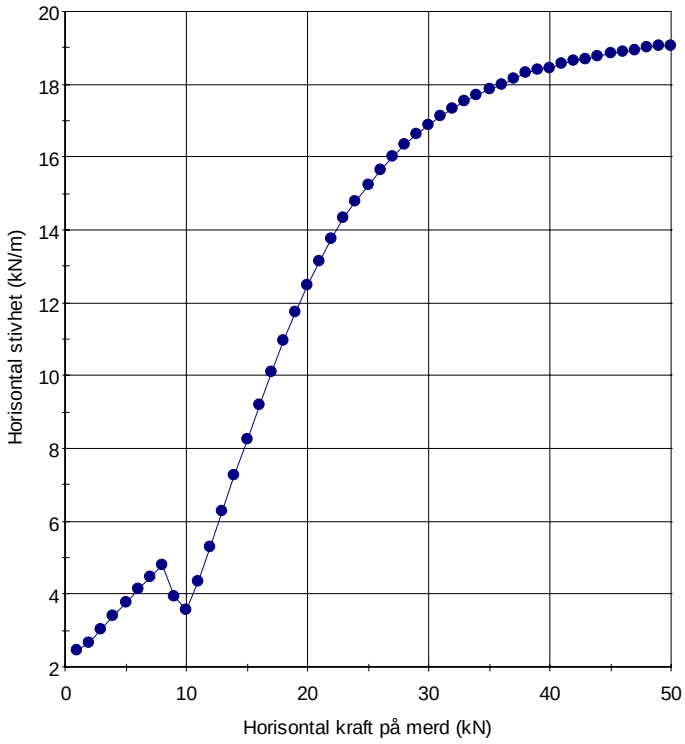
Legges inn flere bøyer, fås flere ”topper” på karakteristikken (figur 19).



Figur 19. Horisontal stivhet – horisontal kraft ved bruk av tre blåser (inkl. elastisitet).

CASE IV: Fleksibilitet ved bruk av mange blåser

En"myk" karakteristikk oppnås ved å benytte ei multibøye line (figur 20).



Figur 20. Horisontal stivhet – horisontal kraft med mange blåser.

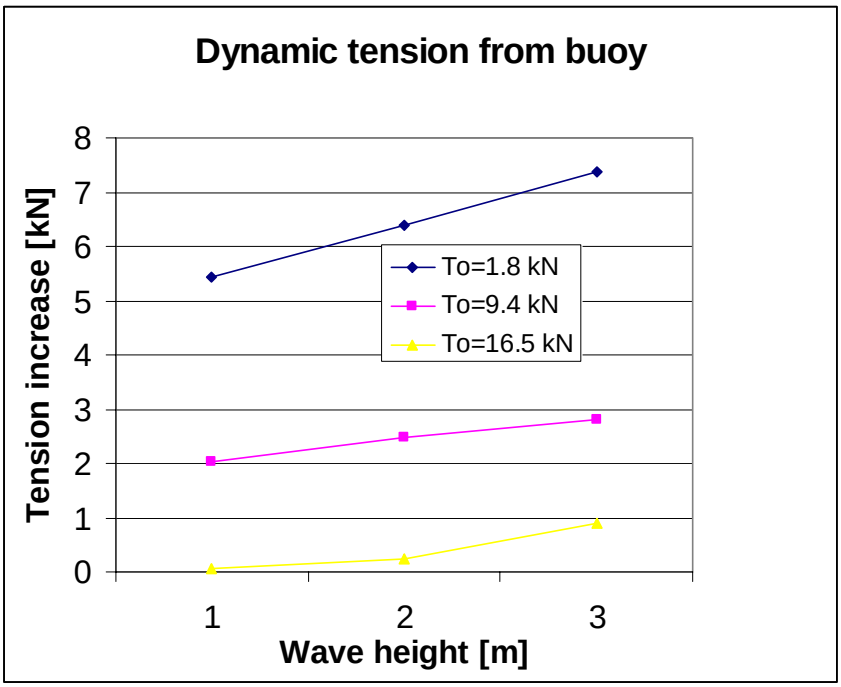
Her er det oppnådd en betydelig økning i fleksibiliteten ved lavere strekk, < 20 kN.

Et bøyesystem som gir stor geometrisk fleksibilitet vil imidlertid medføre at det vil bli meget vanskelig å foreta en forspenningkontroll som gir en gunstig variasjon i belastningen når anlegget er påført store miljøkrefter.

2.4 Dynamisk strekkvariasjon i bølger

I det følgende gjøres en enkel betraktning på dynamiske belastningbidrag fra bølger i en typisk forankringskonfigurasjon. Til beregning av dynamisk strekkvariasjon fra bøya har analyseprogrammet RIFLEX blitt benyttet. Forspenning, To, samt bølgehøyde har blitt variert.

I eksemplet nedenfor (figur 21) er strøm (0,5 m/s) og bølger påsatt normalt inn på ankerlina. Størrelsen på bøya er 400 liter.



Figur 21. Dynamisk belastningsbidrag på forankringsline i bølger.

Det dynamiske strekket i bøya øker altså med avtagende forspenning. Dette skyldes at stor forspenning trekker bøya under, og dermed avtar de dynamiske bølgebelastningene.

Ved lav forspenning viser figuren at det dynamiske tilegget kommer helt opp i 8 kN med en 400 liters bøye. For meget store bøyer ~ 1200 liter kan det dynamiske strekket bli opp mot størrelsesorden 20 kN. Effekt av varierende strømhastighet er neglisjerbart.

En blåse, selv om den er i seg selv er lett, representerer en meget stor masse når den er neddykket. Den effektive tilleggsmassen (medsvingende vann) er i størrelsesorden lik det neddykkede deplasementet. Når blåsa ligger og rykker like under overflata i bølger vil den påføre ankerlina store dynamiske strekk.

Det konkluderes med at den dynamiske belastningen som bøyene påfører merdene er større en det man oppnår fra økt geometrisk fleksibilitet. Med en enkelt bøye oppnås en økt fleksibilitet kun i et meget begrenset belastningsområde. Dette vil imidlertid ikke redusere belastningen på merdene. Selv i moderat sjø vil en være bedre tjent med å fjerne blåsa og bruke kun tau.

2.5 Konklusjon

For stålanlegg er det kritisk å unngå store bøyemomenter fra forankringskreftene. Det overordnede målet er å oppnå en jevn oppstramming av ankerlinene. Dette oppnås enklest ved å benytte forankringssystemer som har minimalt med geometrisk fleksibilitet (blåser, evt. lodd).

En forankringsbøye påfører ankerlina og dermed anlegget store dynamiske belastninger i bølger. De gir ikke noe økt bidrag til fleksibilitet, men vanskeliggjør derimot kontroll av fleksibiliteten. Benyttes mindre markeringsbøyer i stedet for store forankringsbøyer, reduseres investeringene og vedlikehold. Dette med forbehold om at anlegget har tilstrekkelig flytekapasitet til å kunne belastes med forankringens vertikale kraftkomponenter.

Arbeidet konkluderes med følgende praktiske råd for utlegg av forankringsliner:

- Dersom bunntopografien ikke tillater et optimalt leggemønster må fleksibiliteten eventuelt justeres ved å endre karakteristikken på selve lina. Dersom en eller flere liner vil være kortere enn ”ideelt” leggemønster, kan disse erstattes av liner eller linesegmenter i nylon (Polyamid/PA), som har betydelig større fleksibilitet. Alternativt kan diameteren på de kortere linene reduseres. Det er bedre med en line med lavere sikkerhetsfaktor/styrke enn en line med for liten fleksibilitet.
- En bør ikke blande nytt og gammelt tauverk, eller tauverk med ukjent stivhet. Det finnes tau på markedet med svært høy bruddkapasitet. Disse har imidlertid ofte meget liten fleksibilitet. En ukontrollert blanding av tau med forskjellige stivhetsegenskaper må unngås.
- En høyt belastet enkeltline bør ikke erstattes med ei line med større diameter. Årsakssammenhengen må først finnes. Er leggemønsteret så ugunstig at ei enkelt line blir alt for kort (stiv) er det bedre å utelate denne. Normalt er det bedre med en manglende line enn en alt for høyt belastet line.
- Etterstramming av liner må ikke gjøres ukritisk. Dersom enkelte liner tenderer til å gå i slakk kan dette gjerne skyldes at de har en større belastning under uvær. Slakke påvises kun på et ubelastet anlegg.
- Ved skjøting av liner kan en godt utført spleis betraktes som 100 % effektiv i forhold til bruddstyrke. Skal det imidlertid benyttes knuter må det antas en styrkereduksjon på 50 % grunnet knuten.
- Dersom det er behov for knuter på hovedstrekk bør disse være utført på linesegment med en større diameter enn hovedstrekket. En diameterøkning på 40 % vil være tilstrekkelig.

- Mange vegrer seg mot å benytte knuter i stedet for kjettingkoplinger med bruk av overganger med sjakler og kauser. Rent prinsipielt er kanskje bruk av knuter vel så sikkert. Svært ofte skyldes brudd på ankerliner feil ved kauser eller sjakler.
- Aktive bøyer på liner bør unngås. Man kan henge markeringsbøyer på ankerlinene. Disse bør henges slakt inn mot ankerlina. Ved å fjerne forankringsbøyene oppnås enklere kontroll over fleksibiliteten til ankerlina.
- Benytt ikke kun kjetting i forankringsliner. Det medfører høy risiko for at bruddskader oppstår.
- Lett kjetting er ikke å anbefale uansett bruddstyrke. Kjetting må brukes dersom:
    - man benytter ploganker
    - har en bunntopografi som kan gi bunnkontakt

- Tung kjetting, evt. lettere kjetting i kombinasjon med loddvekter kan benyttes ved fortøyning av lektere – dog ikke ved flere enn to samvirkende terminalpunkt. Man må da sikre at kjettingen har tilstrekkelig vekt slik at den ikke blir helt strukket ut. Det vil i så fall forårsake brudd og eller skade på lekteren. Benytt ikke flere parallelle lette kjettinger i stedet for en tung. Det er bedre å lenke flere lette sammen (samme antall lenker) dersom tilgjengelig kjetting er for lett.
- Kjetting kan benyttes inn mot terminalpunkt på anlegget for enkel justering. Denne kjettingen bør i så fall være så lett og kort som mulig.