

STF80 A044023 – Åpen

RAPPORT

Oversikt over forankringsløsninger Nye rømmingssikre merdkonsept

Jørgen R. Krokstad

SINTEF Fiskeri og havbruk AS

Havbruksteknologi

April 2005

www.sintef.no



SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Havbruksteknologi

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse:
SINTEF, Forskningscenteret på Rotvoll
Arkitekt Ebbellsvei 10
Telefon: 73 59 56 50
Telefaks: 73 59 56 60
E-post: fish@sintef.no
Internet: www.fish.sintef.no

SINTEF RAPPORT

TITTEL

**Oversikt over forankringsløsninger
Nye rømmingssikre merdkonsept**

FORFATTER(E)

Jørgen R. Krokstad

OPPDRAGSGIVER(E)

Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond

RAPPORTNR. STF80 A044023	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Svein Hallbjørn Steien, ref. nr. 2002/006494	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 82-14-03316-0	PROSJEKTNR. 840099.42	ANTALL SIDER OG BILAG 35
ELEKTRONISK ARKIVKODE STF80A044023mah.doc		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Jørgen R. Krokstad	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Arne Fredheim
ARKIVKODE	DATO 2005-04-01	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Jostein Storøy, forskningssjef havbruksteknologi	

SAMMENDRAG

Rapporten gir en oversikt over problemer knyttet til forankring av havbruksanlegg som kan være opphav til totalhavari av et anlegg og dermed en fare for rømming av store mengder fisk. Det er lagt vekt på interaksjonen mellom strukturbelastninger og forankringskrefter.

Som et hjelpemiddel er forskjellige type strukturer klassifisert med hensyn på hvor avhengig strukturen er av forankringen i forhold til geometrisk form og styrkemessige belastning. En har også sammenlignet med en klassifisering som er i ferd med å bli anerkjent internasjonalt og som tar utgangspunkt i forskjellig prinsipper for å opprettholde notas volum.

En brukerundersøkelse basert på intervju av merdprodusenter, oppdrettere, ingeniørbedrifter og statlig godkjenningorgan blir presentert. Havariårsaker og farlig forankringspraksis blir referert i detalj.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Havbrukskonstruksjoner	Aquaculture technology
GRUPPE 2	Forankring	Mooring
EGENVALGTE	Rømming	Escapes
	Laks	Salmon

INNHALDSFORTEGNELSE

Forord	3
1 Overordnet mål for prosjektet	4
2 Flyter og forankringsløsninger	5
2.1 Innledning.....	5
2.2 Kategori I - Flyter-anker system i sterk geometrisk interaksjon	5
2.3 Kategori II - Flyter- ankersystem i sterk strukturell interaksjon	6
2.4 Kategori III- Flyter-ankersystem i liten strukturell interaksjon	8
2.5 Andre klassefiseringsmetoder	10
2.6 Oppsummering	11
3 Brukerundersøkelse	12
3.1 Gjennomføring	12
3.2 Sammenfatning av brukerintervju	12
4 Konstruksjonsbetraktninger	14
4.1 Effekt av endret forankring	14
4.2 Not og flyter fleksibelt koblet	14
4.3 Hengslingsteknikk	16
4.4 Regelverk	17
5 Teoretiske betraktninger	18
5.1 Konsekvenser av kompleks topografi	18
5.2 Statisk analyse	19
5.3 Dynamisk analyse	19
6 Konklusjoner	21
7 Referanser	22
Vedlegg A - Brukerintervjuer	23
Vedlegg B - bedriftsbesøk	31

Forord

SINTEF har på oppdrag fra FHF gjennomført prosjektet "Nye rømmings sikre merdkonsept". Prosjektet er inndelt i flere delområder. Denne rapporten dokumenterer arbeid utført i prosjektet under delaktivitet *Oversikt over forankringssystemer*.

Rapporten inneholder arbeider fra første fase i prosjektet, herunder studier av eksisterende forankringssystemer, innhentet informasjon fra eksterne kilder og noen teoretiske betraktninger.

SINTEF Fiskeri og havbruk, Trondheim, 1. april 2005

1 Mål for prosjektet

Hovedmål for prosjektet har vært å utvikle kunnskap som kan medvirke til å forbedre eller skape ny **forankringsteknologi**. For å nå dette målet, vil en spesielt se nærmere på løsninger som:

- fungerer under kompliserte topografiske forhold
- reduserer faren for havari i storm
- reduserer faren for havari når anlegget har blitt utsatt for annen skade.

Som en motivasjon for hele studiet kan det nevnes at det ble brukt mye diskusjonstid under utviklingen av NS 9415, ref. /1/, på temaet interaksjon forankring og flyter. Et utdrag fra *NS 9415 Flytende oppdrettsanlegg. Krav til utforming, dimensjonering, utførelse, installasjon og drift* beskriver mye av kjernen i problemstillingen for prosjektet:

§6.2 Merknad: De største påkjenningene på flytekragen påføres vanligvis gjennom fortøyningssystemet. Variasjon i de forskjellige linenes kraft- og forskyvningskarakteristikk (linekarakteristikk) kan gi store laster. Dette gjelder spesielt store, flytende oppdrettsanlegg, for eksempel lange plattformanlegg. Her løper flere liner parallelt. I et slikt tilfelle er det spesielt viktig at flytekragen ikke påfører for store lokale eller globale laster.

Utgangspunktet for det videre arbeidet med forankring har vært følgende arbeidshypoteser basert på SINTEF's egne erfaringer:

- dagens forankringspraksis er for komplisert
- dette medfører strukturell risiko for flyteren
- røktere greier ikke å kontrollere forspenning og stivhetsfordeling
- en må designe flyteren ut i fra krav om å forenkle forankringen
- nye fortøyningsprinsipp for fôrflåter, arbeidsflåter må utvikles ut i fra krav om frakoblingsmuligheter og separasjon fra flyter

Gyldigheten av disse påstandene skal verifiseres gjennom en brukerundersøkelse i forkant av studiet.

Denne rapporten dokumenterer arbeidet som er gjort under første fase i prosjektet. Hovedfokus ved dette arbeidet har vært informasjonsinnhenting. Det er også gjort noen første konstruksjonstekniske og teoretiske betraktninger med betydning for det videre arbeidet.

2 Flyter og forankringsløsninger

2.1 Innledning

I dette prosjektet fokuseres på interaksjonen mellom flyter og forankring. Det er her kunnskapen er mangelfull og hvor havbrukskonstruksjoner er i en særstilling sammenlignet med stivere konstruksjoner av massivt stål eller betong, jamfør kyst-, skips- og offshore konstruksjoner.

Som en oversikt kan det være informativt å gi noen eksempler på havbrukskonstruksjoner klassifisert etter graden av geometrisk, styrkemessig avhengighet av forankringssystemet.

En har valgt å benytte tre kategorier for å beskrive prinsipielt forskjellige forankring-flyter konstellasjoner.

- Kategori I – Flyter-ankersystem i sterk geometrisk interaksjon. Løsninger der flyter og oppdrettsvolum er helt avhengig av et fungerende forankringssystem
- Kategori II – Flyter-ankersystem i sterk strukturell interaksjon. Kjentetegnes ved at dimensjonerende strukturelle krefter er avhengig av forankringskrefter.
- Kategori III – Flyter-ankersystem i liten strukturell interaksjon.

Nærmere beskrivelse og eksempler fra hver kategori er gitt i kapitlene 2.2 til 2.4.

2.2 Kategori I - Flyter-anker system i sterk geometrisk interaksjon

I Figur 2.1 vises et eksempel på konfigurasjon med flyter- ankersystem i sterk geometrisk og strukturell interaksjon. Opprettholdelse av anleggets form og volum er helt avhengig av forankringssystemet. Krefter fra forankringssystemet vil gå rett inn i avstivningsarrangementet til nøtene. Flyter og forankring må analyseres koblet siden forankringskreftene også er gitt av flyterens egenskaper. Ikke predefinert form av flyter/oppdrettsvolum gir en tett kobling mellom ankerkonfigurasjon og dermed kreftene i forankringen.

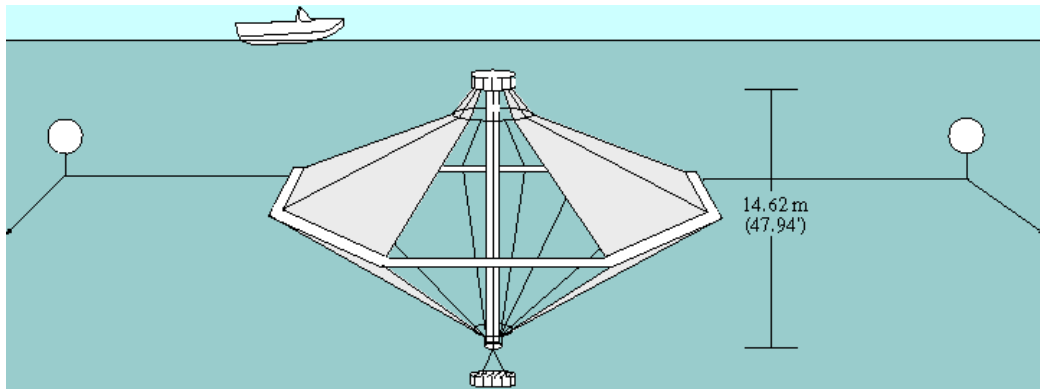


Figur 2.1. TLC- Strekkstag merd.

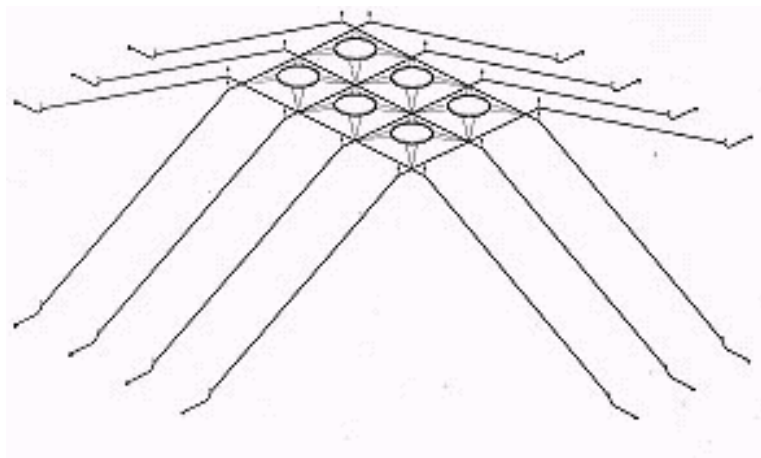
2.3 Kategori II - Flyter- ankersystem i sterk strukturell interaksjon

Anleggene i figur 2.2 til figur 2.4 kjennetegnes ved at *dimensjonerende strukturelle krefter er avhengig av forankringskrefter*. Geometrien er derimot i begrenset grad gitt av forankringen så lenge forankringen er inntakt. Interaksjonen er fortsatt sterk og gjør det vanskelig å analysere et havbruksanlegg med en tradisjonell olje og gass offshoreantagelse om at flyteren er stiv og påvirker de slanke legemene (forankringslinene) med tvungne bevegelser. Offshoreflyterens strukturelle krefter er i liten grad påvirket av forankringen fordi stivheten og bruddstyrken i flyterens strukturelle elementer er mye større enn geometrisk stivhet i et slakk forankret fartøy. For den klassen av havbruksanlegg vi presenterer her vil forankringskreftene ”dimensjonere” flyterens krefter. Vi regner derimot den geometriske avhengigheten som liten så lenge vi snakker om inntakt forankring.

De fleste norske havbruksanlegg kan klassifiseres innenfor denne kategorien. Dette gjelder for hengslede stålanlegg og polyetylen plastringmerder. Konsekvensen av dette er at det er svært vanskelig å gi dimensjoneringskriterier, spesielt de dynamiske, for flyteren uten at man har gjort tilsvarende antagelser for forankringen.



Figur 2.2. Ocean Spar Sea Station.



Figur 2.3. Systemforankring av PEH merder.



Figur 2.4. Hengslet ståanlegg.

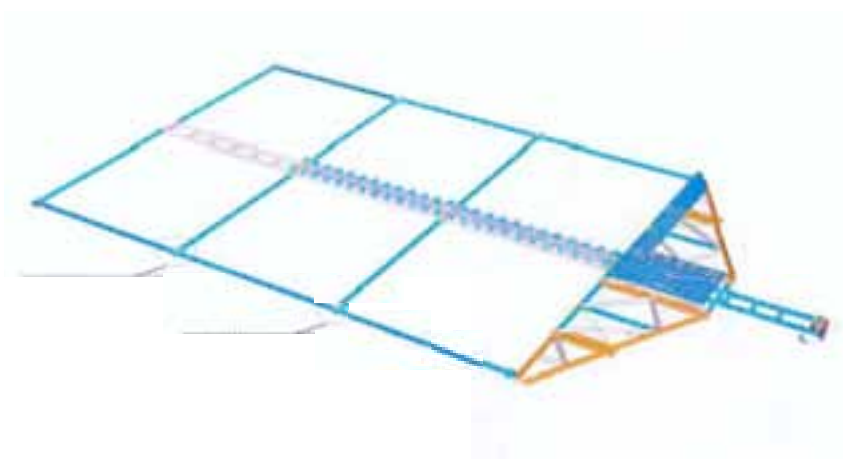
2.4 Kategori III- Flyter-ankersystem i liten strukturell interaksjon

I figur 2.5 vises et havbruksanlegg, Storm, med stiv fagverkstruktur og to store nøter. Anleggets strukturmessige stivhet er stor i forhold til ankerlinenes geometriske og elastiske fleksibilitet. Figur 2.6 viser et stålanlegg som ligger i svai ved hjelp av en svivel. Det er her opplagt at styrkemessige forhold i flyteren er uavhengig av fordeling av ankerlinebelastninger. Det eneste belastningstilfelle en behøver å ta hensyn til er total statisk kraft som virker i svivelen. Fordeling av linestivhet, som funksjon av bunntopografi og vanddyp påvirker ikke flyteren. Tilsvarende vil linebrudd ha liten betydning for styrkeforhold i flyteren. En konseptidé fra SINTEF er skissert i figur 2.7. En nyere Canadisk ide fra AEG som også er modelltestet er gitt i figur 2.8.

Generelt er interaksjonen mellom skjevbelastning fra forankring og belastninger i flyterstrukturen liten spesielt ved linebrudd. Denne type strukturer har derfor stor styrkemessig kapasitet i uvær hvor linebrudd har oppstått, noe som i mange tilfeller ikke gjelder for kategori II, "Flyter-ankersystem i sterk strukturell interaksjon".

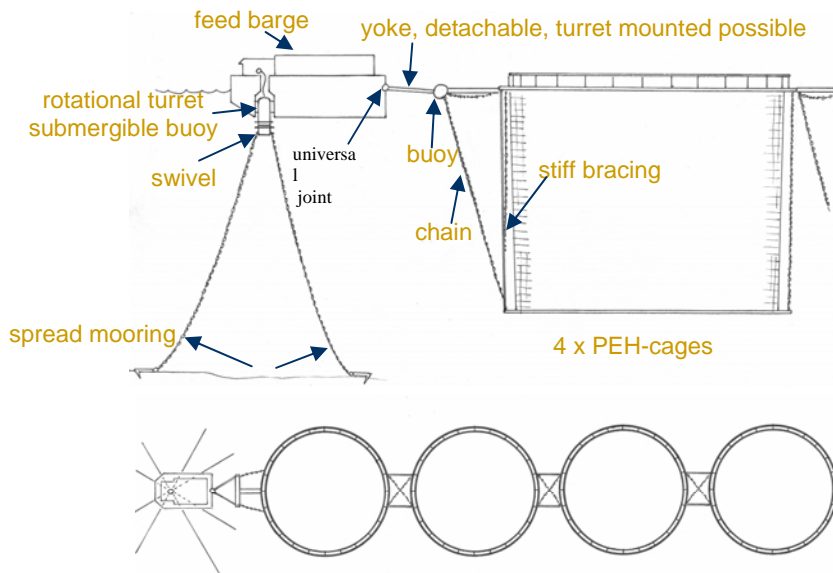


Figur 2.5. Fagverks stålanlegg, Storm.

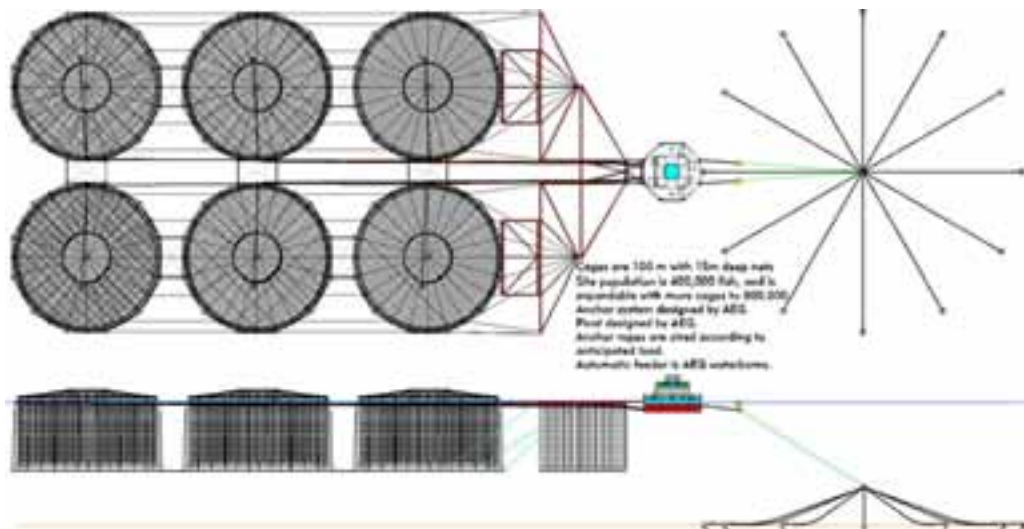


Figur 2.6. Stålanlegg med ettpunkts forankring.

Submerged turret moored feed barge and cages in series



Figur 2.7. Ettpunkts forankret forflåte med svivel og rekke av PEH merder.



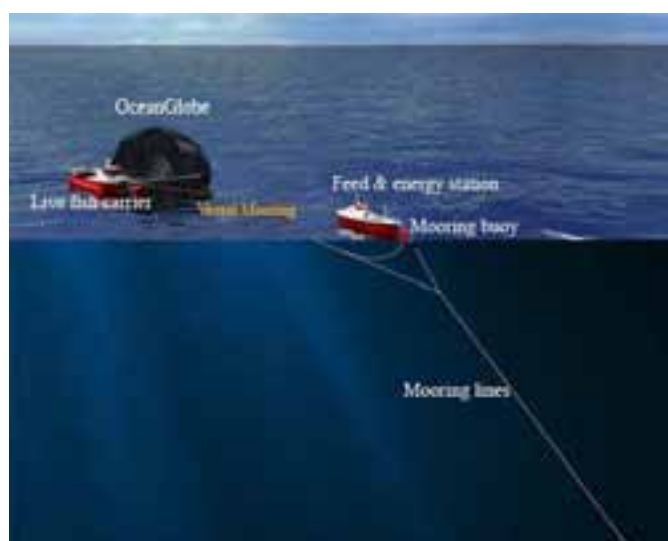
Figur 2.8. Ettpunkts forankret forflåte og system av PEH merder.

2.5 Andre klassifiseringsmetoder

I et dokument utgitt i forbindelse med konferansen Farming the Deep Blue, referer Ryan /2/, ble det angitt en alternativ måte å klassifisere havbrukskonstruksjoner på etter måten en opprettholder volumet til nota. Denne type klassifisering er også orientert mot effekten av forankringen på notstrukturen, men fokuserer i liten grad på om flyteren strukturelt er følsom for ujevn fordeling av forankrings forspenning og stivhet. Grunnen til at vi tar med denne klassifiseringen her er at den er såpass internasjonalt anerkjent at det kan være riktig å plassere disse klassene i de foreslåtte forankringsinteraksjonsklassene.

Konferansen brukte fem forskjellige klasser av merd typer:

1. *Gravitasjons merder*
Den vanligste typen. Som bruker lodd for å opprettholde volumet på nota f.eks plastmerder. Interaksjonsklasse II eller III.
2. *Ankerforspente merder*
For eksempel TLC typen i figur 2.1. Utnytter forspenningen til merden for å spenne ut notvolumet. Interaksjonsklasse I.
3. *Delvis stive merder*
For eksempel en fleksibel notpose med stiv sentral sylinder, figur 2.2. Interaksjonsklasse II.
4. *Stive merder*
Med stiv menes avstivede notposer for eksempel Ocean Globe sitt konseptstudium vist i figur 2.9. Interaksjonsklasse III.
5. *Strekkestag merder*
Har egentlig mye av de samme egenskapene som ankerforspente merder. Se figur 2.1. Interaksjonsklasse I.



Figur 2.9. Ocean Globe merdkonsept fra www.byks.no.

Det er klart at den type teknologi som er minst egnet til å opprettholde notvolumet i sterk strøm er de tradisjonelle gravitasjonsstrukturene. På den annen siden er de driftsmessige aspektene mer komplisert på nedsenkbare eller lukkede systemer. Nye konsepter som for eksempel Ocean Globe trengs mer avanserte systemer for effektiv rengjøring, vedlikehold og innhøsting. Til gjengjeld kan mer effektive systemer for fôring under vann i tøffe værforhold utnyttes. Impregnering er muligens mindre nødvendig og sikringen mot predatorer kan være bedre. Strukturelt er slike konstruksjoner mer egnet for å kunne tåle hardt vær uten ugunstig interaksjon med forankringen.

2.6 Oppsummering

Forstudiet har så langt vist at de vanlige oppdrettssystemene i bruk i dag (kap. 2.3) er avhengige av et velfungerende forankringssystem. Norske fjorder har en kompleks topografi, og det vil i det videre arbeidet demonstreres hvilke utfordringer dette medfører.

I de følgende kapitlene vil en brukerundersøkelse samt egne betraktninger være med på å legge grunnlaget for utviklingsarbeidet som utføres i senere faser av prosjektet.

3 Brukerundersøkelse

3.1 Gjennomføring

I prosjektet har det vært viktig å få førstehånds informasjon om de utfordringer næringen selv opplever med dagens flyter/forankringsløsninger. Det ble derfor gjennomført en spørreundersøkelse blant utvalgte aktører. Intervjuobjekter ble hentet fra engineeringsselskap, produsenter og oppdrettere, og ble gjennomført ved bedriftsbesøk og telefonintervju.

En sammenfatning av brukerintervjuene er tatt med i kapittel 3.2. Detaljerte svar er tatt med i Vedlegg A. Et besøk hos et oppdrettsselskap er også tatt med vedlegg B.

3.2 Sammenfatning av brukerintervju

Hvorfor havarerer havbruksanlegg?

- Manglende kunnskap om begrensningene til anleggene og feil dimensjonering i forhold til de lokalitetene de er designet for.
- Uheldig oppbygging av fortøyningsystem er en viktig årsak til flytersammenbrudd.
- Lite eller ingen kjennskap til størrelsesorden på krefter i fortøyningsliner og derfor ikke samsvar mellom krefter som oppstår i fortøyningsliner og kapasitet på flyter.
- Dårlig fordeling av laster i fortøyningsystem fører til skeivfordeling av laster på flyter og havari.
- Forskjellig dynamikk i flytekrage og fôrflåte som er fortøyd til flyteren.

Hva er typiske skader ved havari i flyter og ankerliner?

- Sprekkdannelser, avrivning av hengsler og i knutepunktelementer i anleggene og brudd på anlegg, spesielt anlegg som ligger fortøyd i sterkt skrånende terreng.
- I fortøyningsystem oppstår bruddskader oftest i knutepunkter og spleiser.
- Flåter kan ha dradd ut hele seksjoner og vanger og i ettertid slitt seg helt og holdent fra fortøyningene.
- Slitasje fra bruk av båt.
- Gnag på bunn som ofte har oppstått kort tid etter ankerutlegg.

Det var stor grad av enighet om at forspenningskontroll er en viktig måte å sikre mot havari. Metoden for å få til dette var derimot svært avhengig av bøyebruk.

Når det gjelder forankringens funksjonskrav m.h.p posisjoneringsnøyaktighet ble det påpekt at dette er avhengig av om anlegget ligger nær land eller i nærheten av andre system f.eks. fôrflåter og posisjonsbegrensninger som f.eks. fôrslanger. (Fiskeridirektoratet forlanger at koordinaten til midtpunktet av anlegget skal ligge innenfor de nærmeste 100 meter, dvs. ± 50 meter. Oppmålingen skal ta hensyn til type forankring. Kravet vil kunne avvikes i tilfeller av svaiforankring.)

Den beste måten å oppnå ønsket fleksibilitet i en enkeltline som har begrenset lengde, f.eks landfeste, grunne etc, er å bruke fortøyning med lodd som geometrisk fjæring. Bruk av lastebil/truckdekk i gummi er også mulige flekselementer. Det er delte meninger om nødvendigheten av at bøyer blir brukt. Det ble ikke gitt klare retningslinjer for hvordan man forankrer i trange fjorder

med store vanddypsvariasjoner. Holdningen til etpunktsforankring (svai) er at dette kan være gunstig på eksponerte lokaliteter men i fjorder og på skjermede lokaliteter er ettpunktsforankring ugunstig.

Fôrflåter ble anbefalt fortøyd i nærheten av anlegget, men separat for å unngå at fôrflåten drar ned anlegget ved havari. Det ble videre anbefalt å bruke hydraulisk landgang og fortøyninger som skal kunne ryke.

Det ble poengtert at det er viktig å utvikle retningslinjer for forankring av havbrukskonstruksjoner. Spesielt når det gjelder krav til stivhet og ankerlinekarakteristikk. Det skal være mulig å utvikle typiske linekarakteristikker for noen dimensjonerende vanddyp som inngår som en del av standarden (foreslått av SINTEF under utvikling av NS 9415 men krever ytterligere faglig arbeid).

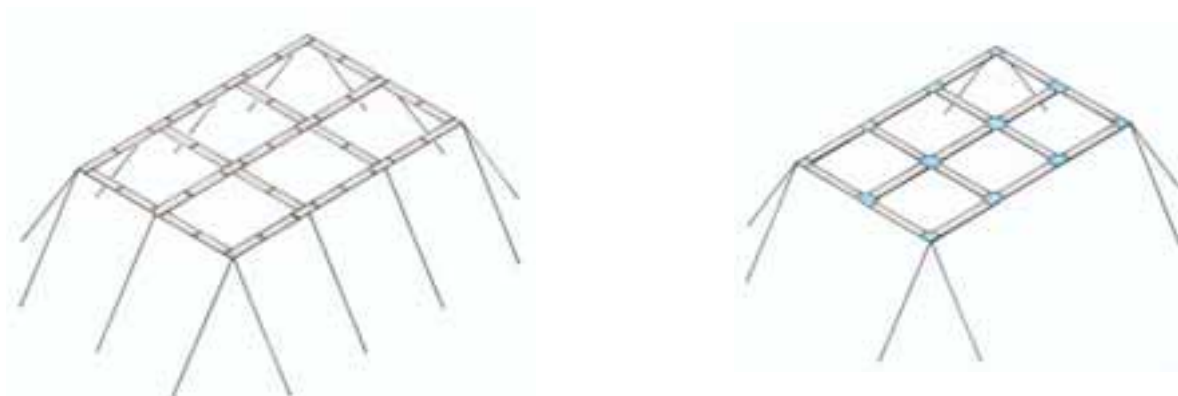
Som eksempel på nye ideer med forenklet forankring ble det foreslått å se på et sugeanker basert lavt forspent strekkstagsystem (TLC) med deplasement forflåte og stort vannlinjeareal som hovedkonstruksjon. Eventuelt konsentrere alle nøter i en betongenhet.

Med moderne tauteknologi i kombinasjon med sugeanker og overvåkingssystem er det ikke nødvendig å kreve redundans i forankring – ”Full safe” er et godt nok prinsipp. Et enkelt strekkstagsystem kan derfor være sikkerhetsmessig gjennomførbart. Norske fjorder er mange steder ideell for sugeankerløsninger rent geoteknisk når en ser på bunnforhold.

4 Konstruksjonsbetraktninger

4.1 Effekt av endret forankring

En sentral problemstilling er å vurdere alternative og forenklede forankringsløsninger. Endret forankring gir endret krav til konstruksjonen, se figur 4.1. Dette fordi de horisontale opplagingsbetingelsene for bryggene i en hengslet stålkonstruksjon forandres vesentlig ved å redusere antall liner.

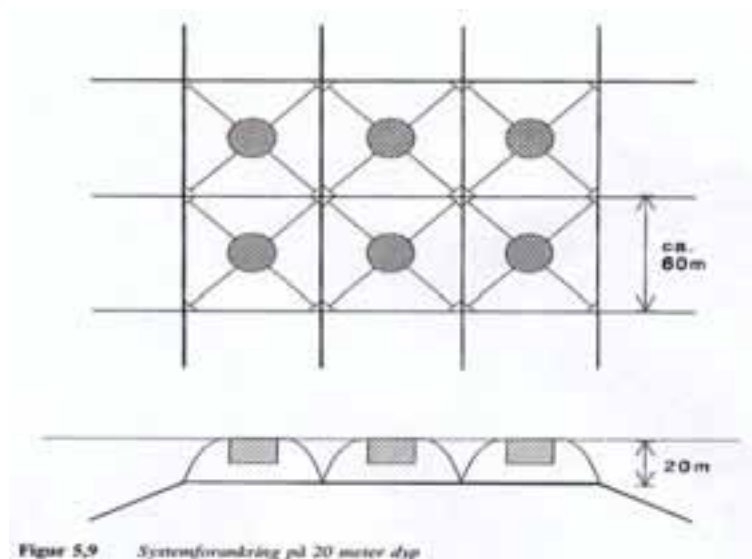


Figur 4.1. Sammenheng mellom antallet liner (dagens praksis til venstre, reduserte liner til høyre) og strukturmessig krav. Horisontal fleksibilitet må tas opp på en annen måte når antallet liner reduseres.

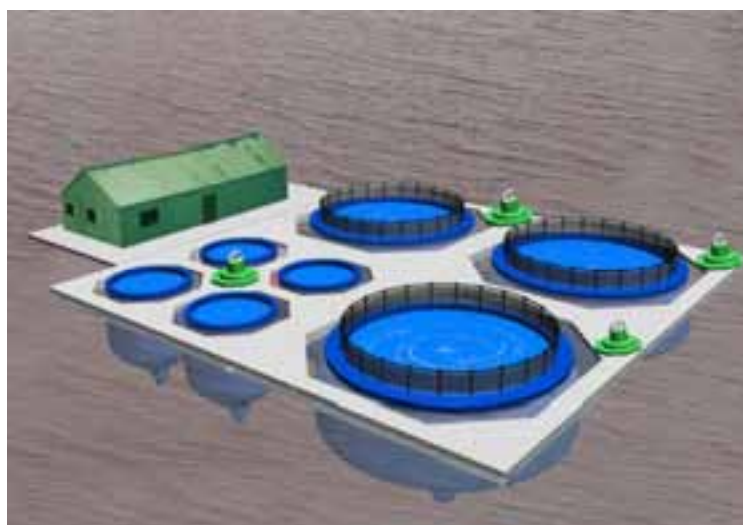
Analysen har tidligere vist at det er svært liten styrkemessig kapasitet i normalt utformede brygger med hengsling når det gjelder opptak av strømkrefter fra nøtene. Ved å innføre fleksible ledd som gjør horisontale deformasjoner mulig, kan maksimale spenninger fra statiske krefter og dynamiske krefter i bølger reduseres betydelig. En vil derimot ikke redusere opptak av globale skjærkrefter og momenter, noe som gjør det nødvendig til en viss grad å oppdimensjonere bryggene, og da særlig utliggerne. Dette fordi spennet mellom opplagrene eller forankringspunktene øker. Riktige utformede fleksible ledd har også en viktig effekt i å redusere spenningskonsentrasjoner i sammenkoblingen mellom bryggene.

4.2 Not og flyter fleksibelt koblet

En konstruktiv mulighet som reduserer koblingen mellom forankring, flyteren og not er å feste forankringen til en ytre ramme fleksibel eller avstivet. Systemforankrete PEH ringer er vist i figur 4.2. Med denne løsningen blir eventuell usymmetriske forankringskrefter tatt opp og fordelt i rammen. For at ikke skjevbelastningen skal tas opp av haneføttene inn mot flyteringene og dermed gi store bøyemoment på flyteringene må hanefot-tauene være tilstrekkelig fleksible. PEH ringer er svært følsomme m.h.p skjevbelastningen siden bøyemomentkapasiteten er begrenset. I figur 4.3 illustreres hvordan nøtene kan festes fleksibelt opp i en avstivet gravitasjons-plattform. Dette muliggjør enkle operasjonelle betingelser samtidig som dynamiske krefter inn mot nota reduseres. De statiske kreftene blir derimot ikke redusert men bare fordelt bedre.



Figur 4.2. Systemforankring med senket ramme. Gir horisontal fleksibilitet.



Figur 4.3. Fleksibel innfesting av nøtene i flytekrage. En slik løsning unngår å overføre forankringskrefter og flyter- deformasjonskrefter inn i not.

4.3 Hengslingsteknikk

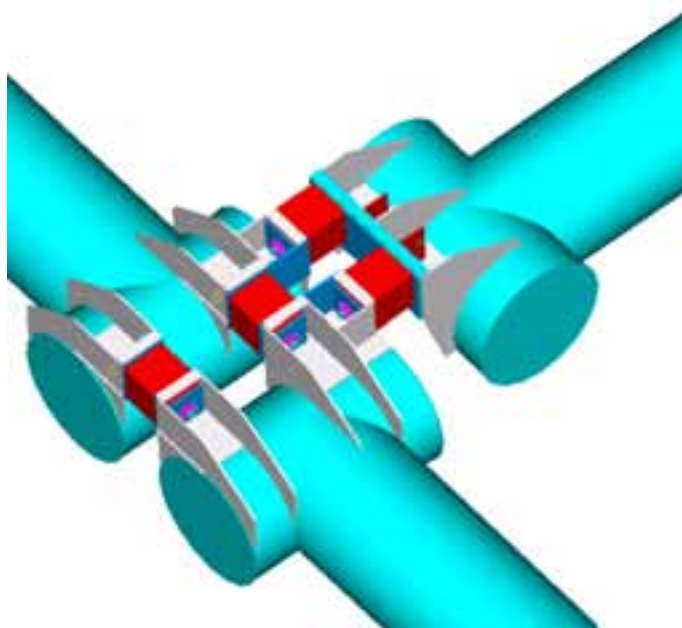
I et stålanlegg er utfordringen å utvikle løsninger for sammenkobling som både er fleksible nok til å redusere spenninger, har nok styrke til å motstå store påkjenninger på grunn av bølger og strøm, og som besørger gode arbeidsforhold. Idealisert ville den beste løsningen med hensyn på å minimere påkjenning være et universalledd, men en slik løsning ville skape et oppdrettsanlegg som det er vanskelig å jobbe på. En skal kunne kjøre med truck på det samme anlegget uten at dette medfører at komponentene beveger seg for mye i forhold til hverandre i overgang mellom hver enkelt brygge, samtidig som anlegget skal tåle store påkjenninger i strøm og sjø.

I figur 4.4 er et eksempel på eksisterende løsninger hvor prinsippet er at hengslene skal ta opp horisontale bevegelser som trykk-krefter eller fendningskrefter i gummien. Gummi har god styrke i kompresjonsretning men er svakt i strekk. En mer avansert løsning er vist i figur 4.5 hvor gummielementene er koblet eksentrisk hvilket gjør det mulig å kontrollere rotasjonsfrihetsgradene i tillegg til translasjon.

Det er svært viktig å merke seg at for stålanlegg, og også i noen grad plasthanlegg, vil konstruksjonens evne til å fordele dynamiske deformasjoner gjennom fleksible koblinger være avgjørende for å ta opp dynamiske krefter i konstruksjonen. Det er derimot ikke mulig å redusere de globale kreftene fra statiske laster (dominert av strøm) ved hjelp av fleksible ledd som påpekt i kapittel 4.1.



Figur 4.4. Eksisterende løsning for sammenkobling av brygger basert på bruk av gummikoblinger.



Figur 4.5. Eksempel på en ny løsning som utnytter eksentrisitet til å ta opp rotasjonsdeformasjon i to frihetsgrader som kompresjon i gummiklossene.

4.4 Regelverk

Fra april i 2004 trådte forskriften i kraft, "Forskrift om krav til teknisk standard for anlegg som nyttes i oppdrettsvirksomhet" basert på detaljerte krav nedfelt i Norsk Standard NS 9415. Denne standarden gir nye krav til dokumentasjon av flyter (inklusive flåte), not, forankring og totalsystem. Relevante krav fra NS 9415 vil bli benyttet som dimensjoneringskriterier for senere arbeid.

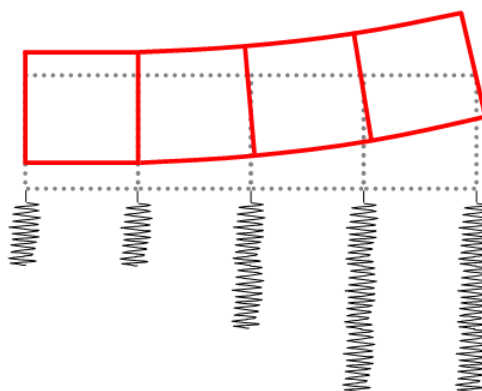
Relevant er også DNV's tentative regelverk for Flytende Oppdrettsanlegg /3/. På side 10.6 står følgende "Ved konstruksjon av forspente forankringsliner skal karakteristikken av hver enkelt forankringsline være lik, uavhengig av variasjoner i vanddyb og tidevann fra lokalitet til lokalitet. Variasjoner i karakteristikken av hver enkelt forankringsline, kan tillates innenfor fastlagte toleranser, dersom disse toleransene er redegjort for og det er vist at toleransene for forankringslinekarakteristikk ikke medfører lokale og globale forskyvninger som fører til overbelastning av enkeltdeler i anlegget". I tillegg kreves det at (side 11.39) "Alle fester for forankringsliner skal dimensjoneres for 2 ganger bruddstyrken av forankringslinen".

Store merder opp til 150 meter i omkrets er i ferd med å bli tatt i bruk, med den økte risikoen dette representerer. Det er viktig å merke seg at den globale bøyestivheten til et ringformet legeme minker mye med omkretsen i fjerde potens. Ved en dobling av omkretsen fra 70 meter vil en altså få en 16-dobling av nedbøyningen gitt vi bruker den samme tverrsnittsdimensjonen og samme materiale. Dette gir en dimensjonerende begrensning på hvilke volum innenfor en merd vi kan operere med.

5 Teoretiske betraktninger

5.1 Konsekvenser av kompleks topografi

Det største problemet med kompleks bunntopografi er at det er nesten umulig å fordele stivheten i ankersystemet jevnt. Forankringen kan enten betraktes som fjærer eller som krefter. For å unngå store momenter, er det viktig at kreftene fordeles jevnt langs med lengderetningen til et stålanlegg, se Figur 5.1. For platanlegg er følsomheten mot ujevn stivhetsfordeling eller ujevne krefter mindre fordi rammen ikke tar opp bøyemomenter.



Figur 5.1. Fordeling av stivhet langs et stålanlegg. Forankringer illustrert som fjærer.

En lineær fordeling av stivheten på begge sider av lengderetningen vil ikke være et problem, men fjæreffekter som er ujevnt fordelt kan indusere store krefter. For en ankerline som er stramt oppspent kan man enkelt beskrive fjærkrafta som

$$F = EA \frac{\Delta l}{l} \quad (5-1)$$

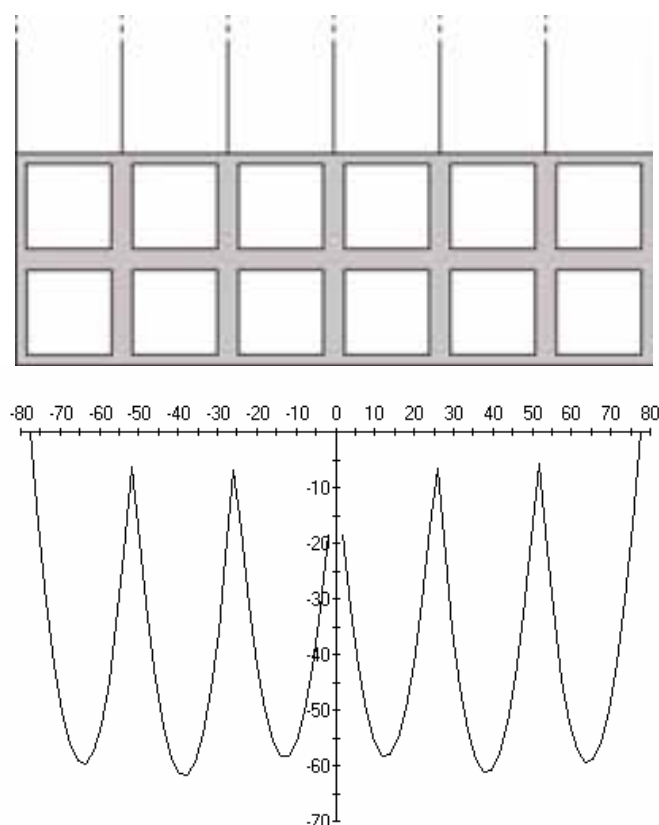
hvor F er ankerkrafta, E er elastisitetsmodulen (fra materialedata) av ankerlina, A er tverrsnittsarealet av ankerlina, Δl er forlengelsen av lina og l er lengden av lina. Stivheten i lina k vil her være

$$k = \frac{EA}{l} \quad (5-2)$$

For at stivheten i ligning (5-2) skal variere lineært langs anlegget må enten E eller A variere lineært eller l variere parabolisk. Hvis en skal bruke regelen $l=3*H$ hvor H er vanddypt, vil lengden være gitt og enten elastisitetsmodulen eller taudimensjonen må varieres. E er vanskelig å kontrollere fordi den varierer begrenset innenfor et materiale spekter, f.eks PA (nylon), PP, (polypropylene), PE (polytethylene) og PES (polyester). Dimensjonen A må derimot varieres fritt for å få til en lineær utjevning. En standardisering av taudimensjoner kan derfor ikke forenes med utjevning av stivhet på et anlegg som ligger over ujevn bunntopografi.

5.2 Statisk analyse

Nedenfor i Figur 5.2 er det vist et eksempel på en statisk analyse av et 12 burs (2x6) stålanlegg belastet med strøm på tvers av hovedretningen av anlegget. Disse globale bøyemomentene er ikke en funksjon av fleksibiliteten i anlegget og er hovedopphavet til statiske spenninger i anlegget. En ser at de 7 ankerlinene som ligger mot strømrretningen reduserer bøyemomentene noe som fører til mindre belastning av hovedbryggene og dermed kapasitet mot statiske strømlaster. Det er totale strømlaster med tillegg for middelkraft i bølger og antallet innfestningspunkt i form av ankerlinjer og bryggelengder mellom hvert ankerfestepunkt som bestemmer denne belastningen. Slike analyser vil bli benyttet senere i prosjektet for å evaluere løsninger og konsepter.



Figur 5.2. Globalt bøyemomentfordeling (Nm) i lengderetningen av et 12 burs anlegg.

5.3 Dynamisk analyse

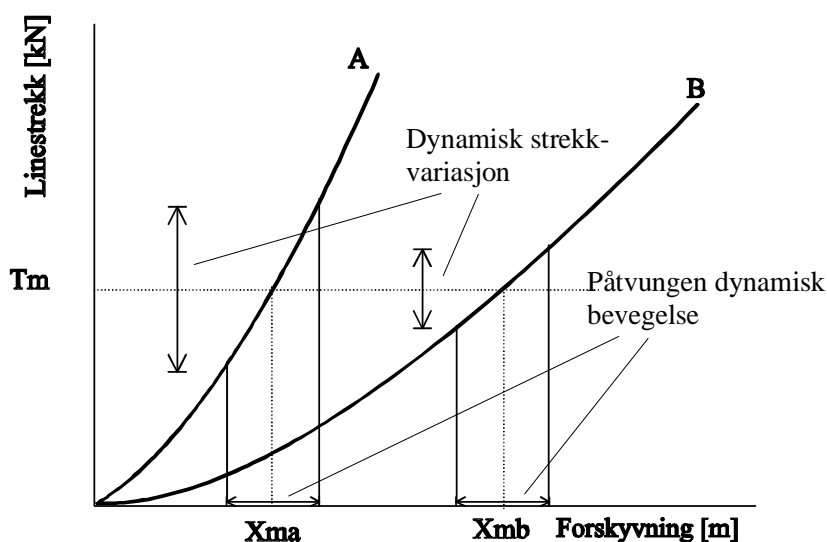
Et havbruksanlegg lokalisert i områder med bølger vil i større eller mindre grad forflytte seg med bølgene. Siden bølgene danner lukkede partikkelbaner under bølgen i form av tilnærmede lukket sirkel eller ellipsebaner vil havbruksflyteren alltid oscillere frem og tilbake (jag og svai og rotasjonen gir) eller opp og ned (hiv, rull eller stamp). I svært lange bølger, ca. 5 ganger konstruksjonsutstrekningen, vil de fleste konstruksjoner oppføre seg som en kork og dermed følge bølgen.

Graden av demping eller forsterkning av bølgenes bevegelse er gitt av havbrukskonstruksjonenes transferfunksjon som igjen er avhengig av bølgeeksitasjon, masse inklusive hydrodynamisk tilleggsmasse, demping og stivhet. For horisontale bevegelser (jag, svai og gir) vil forankringens fjærkonstant være eneste bidrag til stivheten, mens for vertikale bevegelser vil hydrostatisk stivhet

normalt være av størst betydning (unntak er her TLC-konseptet og svært forspente anlegg med høy oppdrift). Både eksitasjonen og dempningen er for de horisontale frihetsgradene dominert av hydrodynamiske notkrefter. Disse dempningseffektene er store, i størrelsesorden overkritisk dempning, dvs. om anlegget settes i bevegelse vil det stoppe å svinge i løpet av en oscillasjon. Dette gjelder så lenge ikke forflåter er tilkoblet.

For andre slakt forankrede konstruksjoner vil saktevarierende bevegelser med stor amplitude og frekvenser i nærheten av egenperiodene til jag, svai og gir, gi de største dynamiske belastningene i ankerlinene. Dette er en ikke-lineær effekt proporsjonalt med kvadratet av bølgeamplituden og størst ved steile bølger. Denne effekten kan være dominerende når det forankrede objektet har høy masse (f.eks. forflåte) og liten dempning. Ved overkritisk dempning stoppes et igangsatt uttrekk av anlegget slik at bevegelsen ikke returneres og ikke fortsetter å oscillere. I et slikt tilfelle vil anlegget aldri kunne oscillere med større utsving enn bølgen. Anlegget vil sannsynligvis ikke bli utsatt for større bevegelsesamplituder enn bølgeamplituden.

I figur 5.3 ser vi sammenhengen mellom påtvungen dynamisk bevegelse i form av horisontal forskyvning av anlegget som følger bølgen og tilsvarende kraft variasjon i linestrek. Ved en stiv linekarakteristikk A, dvs. høy line tverrsnittdimensjon, høy E modul (stivt materiale) eller liten linelengde, vil lina kunne få en slik karakteristikk. Det sees da bort i fra effekten av en bøye. En line som ligger på dypere vann med samme dimensjon og materiale vil få karakteristikken B. En gitt påtvungen bevegelse vil introdusere mye større kraft variasjon på line A enn line B. Det er også en viktig grunn til at fleksibiliteten må kontrolleres ellers risikerer man at bølgekreftene kan ødelegge anlegget hvis bruddstyrken er høy i linene eller risikere linebrudd hvis bruddstyrken er lav.



Figur 5.3. Forskyvnings – kraftdiagram for to forskjellige stivhetskarakteristikker.

6 Konklusjoner

En brukerundersøkelse indikerer at totalhavari i hovedsak er knyttet til:

- Feil dimensjonering av anlegg i forhold til de lokalitetene de er designet for.
- Uheldig oppbygging av fortøyningssystemet.
- Liten eller ingen kunnskap om fortøyningskrefter og de belastninger dette påfører flyteren.
- Forskjellig dynamikk i flytekragene og fôrflåte som er fortøyd til flyteren. Fører til store belastninger i flyteren og fortøyningen mellom flåte og flyter.

Dagens havbrukskonstruksjoner, standard stål- og plastranlegg, har en sterk kobling mellom flyterbelastninger og forankringskrefter. Som en konsekvens kan vanskelige forankringsforhold på ujevn bunn eller kompleks topografi føre til store belastninger i flyteren. Denne effekten er størst for stålanlegg.

I neste fase av prosjektet vil statiske og dynamiske analyser brukes for å bestemme egnethet av nye løsninger for forankring. Et sentralt mål vil være å vurdere forenklede forankringsløsninger. Som forlengelse av dette vil en vurdere merdløsninger der flyteren er mindre avhengig av en intakt forankring.

Krav om å etablere enkle stivhetskarakteristikker for oppspente forankringslinjer bør være et utgangspunkt for anbefalte nye krav m.h.p styrkedimensjonering av flytere.

7 Referanser

- /1/ NS 9415. *Flytende oppdrettsanlegg. Krav til utforming, dimensjonering, utførelse, installasjon og drift.* ICS 65.150;67.620. Oslo, Norge, August 2003.
- /2/ Ryan, J. *Farming the Deep Blue.* Irish Sea Fisheries Board rapport. Wesport, Ireland, September 2004.
- /3/ Det Norske Veritas. *Standard for Flytende Oppdrettsanlegg. Høringsutkast. Rev. C.* 14 desember 1987, Oslo, Norge.

Vedlegg A - Brukerintervjuer

Dette vedlegget inneholder de fullstendige intervjuene med et engineeringsselskap (E), to produsenter (P1 og P2), to oppdrettere (O1 og O2) og et annet selskap (A).

Spørsmål til brukergruppe

1. Hva mener du er den viktigste årsaken til sammenbrudd i flyter eller totalhavari av flyter og forankring?

E: Feil bruk. Brukeren av anlegget har fått for lite opplysninger/ kurs i hvilke begrensninger som finnes og holder seg ikke innenfor disse. Dette kan gjelde ting som knuter i forbindelse med tauverk, feil plassering av tung last på flyter osv.

E: Uheldig oppbygging av fortøyningssystem. Lite eller ingen kjennskap til størrelsesorden på krefter i fortøyningslinjer og derfor ikke samsvar mellom krefter som oppstår i fortøyningslinjer og kapasitet på flyter. Dårlig fordeling av laster i fortøyningssystem fører til skeivfordeling av laster på flyter og havari.

E: Feil i dimensjonering av fortøyningssystem. Ingen analyseverktøy benyttet for å finne krefter i fortøyningssystemet med medfølgende underdimensjonering.

E: Feil i dimensjonering av flyter.

E: Uheldig sammenkopling mellom flyter og fortøyningssystem.

E: Brudd i fortøyning på grunn av påført skade på tauverk.

P1: Anleggene legges ut på lokaliteter de ikke er designet for.

P2: Utriving i hengslene. En line er for stiv eller for kort. Ingen fordel med høy bruddstyrke.

O1: Feil/skjev belastning på fortøyninger. Tungt utstyr plassert på anlegg (eks truck, lodd). Anlegg ligger i feil retning i forhold til bølgeretning/uvær. Slitasjeburdd på brukte fortøyninger/bolter.

O2: Feil ved fortøyning, både punktbelastning og feil vinkel slik at anlegget/flåten rett og slett blir dratt ned.

A: Uvær med mer enn 15 m/s vindstyrke. Underdimensjonering i forhold til sannsynlig værforhold på lokaliteten. Flåte skal ikke være koblet til flyteren.

2. Hvor har du eventuelt observert skade på flyter, forankring, fortøyning eller flåte?

E: Skade på flyter er observert nær hengsler på stålanlegg, i nærheten av innfesting av hanefot på flytering.

E: I fortøyningssystem oppstår bruddskader oftest i knutepunkter og spleiser. Siden knuter/spleiser svekker tauets kapasitet er dette et naturlig bruddsted dersom tauet er underdimensjonert. For tau i nærheten av overflate (haneføtter, rammetau) kan det ofte observeres skader påført fra propell og lignende som fører til brudd.

P1: Sprekkdannelser, avrivning av hengsler og i knutepunktelement i anleggene. Brudd på anlegg som ligger fortøyd i sterkt skrånende terreng. 600 m lengde på tauene. Muligens utstrekke tau i kombinasjon med at miljølastene var for store. Observert vindstyrker i størrelsen 25 m/s. 4-5 tilfeller av brudd på anlegg i kombinasjon med ankerlinebrudd.

P2: Har opplevd at fortøyning har ødelagt anlegget som kan ha sammenheng med for høy bruddstyrke. En annen årsak til totalhavari er forskjellig dynamikk for flytekrage og forflåte som er fortøyd til flyteren. Det er observert skader hvor flåten har trukket ut hele seksjoner og vanger og i ettertid har slitt seg helt og holdent fra fortøyningene. I andre tilfeller er det observert dragging av ankerlinene. Slike tilfeller har ikke gitt skade på anlegget.

O1: På anleggshengslinger, kjetting, tau, loddbøyle, dårlig festet bergbolter (slitt opp/bøyd).

O2: Stort sett rundt det naturlige knutepunktet i konstruksjonene.

3. Har du observert brudd eller slitasje i ankerliner?

E: Har observert brudd som følge av slitasje på ankerliner og som følge av bruk av knuter.

P1: I liten grad påvist brudd eller slitasje. Viktigste grunn til ankerlinebrudd er feil utlegg.

P2: Det er observert typisk slitasje fra bruk av båt. Andre skader er gnag på bunn som ofte har oppstått kort tid etter ankerutlegg. For å unngå dette er det viktig med inspeksjon v.h.a ROV.

O1: Ja. Det er observert både brudd og slitasje på ankerliner.

O2: Ja. Det er observert både brudd og slitasje på ankerliner.

A: Få bruddskader er rapport. Ingen nestenuhell blir rapportert.

4. Tror du kontroll av forspenning er viktig?

E: Ja, kontroll av forspenning er viktig for å sikre god fordeling av krefter i fortøyningssystem.

P1: Det er viktig med forspenningskontroll. En vinsj på 1200 kg kan brukes til å kontrollere forspenningen. Vinsjen skal kunne kjøres rundt på anlegget.

P2: Normalt forspenningsnivå 300-370 kg. Bruker bøylene som mal. Mangelfull forspenningskontroll er ikke noe stort problem. Har derimot observert slakke i le side av forankringslinene. Forspenningen blir styrt av bøye. Tror ikke det har vært havari p.g.a mangelfull forspenningskontroll.

O1: Hvis det med dette menes jevn belastning på fortøyninger, ja.

O2: Svært viktig.

A: Ja det er viktig

5. Hva er viktigst av posisjonskontroll eller tilstrekkelig horisontal fleksibilitet i forankringen?

E: For flyter er det meget viktig å unngå for stivt fortøyningssystem. Flyter er avhengig av å kunne bevege seg fritt i sjøgang. Mest kritisk for dette er vertikal fleksibilitet. En flyter som er utsatt for bare horisontale belastninger er mye friere i sjøgang, mens en flyter med veldig stivt fortøyningssystem i vertikal retning vil fort kollapse. Dersom flyter er installert i nærheten av andre system, vil posisjonskontroll være en meget viktig parameter i utforming av fortøyningssystem. Prioriteten mellom posisjonering og horisontal fleksibilitet vil derfor avhenge av hvordan komplett systemoppbygging er på lokalitet.

P1: Posisjonskontroll er normalt ikke kritisk hvis en ikke ligger tett inn til land, opp mot en forflåte eller opp mot et annet havbruksanlegg. Posisjonering opp mot en forflåte kan være svært kritisk.

P2: Det er vanlig at anlegget ligger 2-3 meter ut av posisjon. Anlegget kan være etterstrammet både 2 og 3 ganger. Det er viktig å legge kjetting bak bøya for at slakke skal unngås. Viktig posisjonsbegrensning er forslanger. 0.5 meter klaring på hver side.

O1: Hvis fortøyninger er jevnt belastet vil anlegget ligge i ro, altså posisjonskontroll.

O2: Dette må man løse slik at alle momenter er ivaretatt, sikkerhet er det viktigste.

A: Posisjonskontroll er viktig p.g.a konflikt med farled i tillegg til koordinatkrav til et anlegg fra Fiskeridirektoratet. Koordinaten til midtpunktet av anlegget skal ligge innfor de nærmeste 100 meter, dvs. ± 50 meter. Oppmålingen skal ta hensyn til type forankring. For eksempel vil kravet kunne avvikes i tilfelle av svaiforankring.

6. Kan antall terminalpunkt og tilsvarende antall liner reduseres gitt at flyteren omkonstrueres?

E: For stålanlegg tror jeg uten tvil at antall terminalpunkt kan reduseres. Desto færre liner, jo friere får flyteren bevege seg i sjøen. Tror ikke det trengs mye ombygging til for å kunne gjennomføre dette. For flyteringer fører fordeling av haneføtter til at flytering beholder geometri belastet med strømkrefter. En reduksjon i antall terminalpunkter vil øke faren for "bananform" og kollaps i flytering.

P1: Ideen støttes.

P2: Både ja og nei. Det er veldig "press" i et 6 burs anlegg. Nye anlegg kan derimot dimensjoneres til å tåle økte belastninger. Det er mulig å bruke kryss-stag som forsterkning men skade på fisk kan bli et stort problem. Kryss-stagene kan derimot polstres. Det er ikke mulig med større anlegg enn maksimum 10 bur hvis antall liner reduseres.

O1: Ved færre fortøyningspunkter vil hver enkelt fortøyning bli tyngre, dette vil stille større krav til båt og utstyr.

O2: Kommer an på konstruksjonen.

A: Det er mulig.

7. Hvordan unngå oppstramming av en kort enkeltline kombinert med høy bruddstyrke?

E: Dersom det er enkeltline som er betydelig kortere enn resten av fortøyningsliner er fortøyningssystem feil utformet. Dette unngås ved å endre fortøyningsystem.

P1: Ved bruk av lodd. Erfaringen tilsier at dette skaper lite problemer. Lav miljøbelastning sammenlignet med bøyer.

P2: Bruke lastebiljul eller truckdekk i gummi som flekselementer.

O1: Kan bruke lengre fortøyning med lodd som "fjæring".

O2: Det bør foreligge en detaljert forankringsplan som er sjekket av en kompetent instans.

A: Bøye i kombinasjon med kjetting og lodd.

8. Hva er optimal enkeltline utlegg?

E: Vi benytter fortøyningsanalyse for å sette opp fortøyningsssystem. Som utgangspunkt benytter vi 15-20 m mellom bøye og flyter for stålanlegg. Størrelse på bøye finner vi ut i fra det krav at bøye ikke skal dukke under vann ved belastning fra miljøkrefter.

E: Som utgangspunkt benytter vi lengde av tau-segment i fortøyningsline 3x dybde, men dersom fortøyningsanalyse viser uheldig fordeling av krefter i fortøyningssystemet, endrer vi lengde på kritiske fortøyningsliner for å fordele krefter bedre. Samtidig prøver vi å unngå å ha enkeltliner i en retning for å forbedre fordeling av krefter.

E: Normalt benytter vi 1 lås (27.5 m) stolpekjetting nederst mot bunnfeste. Størrelse på forspenning ligger som tommelfingerregel rundt 15% av bruddstyrke av tauverk, men i praksis blir ikke denne målt ved installasjon.

P1: Anker – kjetting – vekt/lodd- kjetting – syntetisk line – kjetting – bøye- kjetting som hanefot. P1 kan gjerne ta ansvaret for utlegget men har i hovedtrekk ikke ansvaret.

P2: Etterlyser en standard som er fleksibel nok til å dekke alle mulig risikosituasjoner. Det bør være kjetting fra anlegg ut til bøyen. I tillegg noen meter kjetting bak bøyen. Ned til anker bør 40 mm tau brukes. Anker skal være i størrelsesorden 1000 – 1500 kg av typen plog anker. 36 mm ankerkjetting skal brukes inn mot ankeret. En neddykking på maksimum 5 meter regnes som en stor begrensning. Det skal legges kjetting fra bøye til anlegget. Bøye kan sløyfes når oppdriften er stor nok i anlegget, jamfør betongflåte. 2.5 tonn vekt og kjetting hele veien ned er nødvendig for tilstrekkelig geometrisk stabilitet.

9. Tror du bøyer er viktig? Angi eventuelt viktigste metode/enhet som sørger for tilstrekkelig fleksibilitet i en enkeltline.

E: Bøyer er viktig for å redusere vertikal kraft inn på flyter. For å sørge for fleksibilitet er det viktig med en kombinasjon av elastisk og geometrisk stivhet. Dette oppnås ved å benytte tauverk og stolpekjetting i fortøyningsline.

P1: Bør bruke bøyer når anlegget ikke har nok oppdriftskapasitet ellers ikke. For katamaran anlegg er oppdriften tilstrekkelig. Det er også viktig å få horisontal kraft inn i anlegget.

P2: En må prøve å unngå bøyer. Mye kjetting er bedre.

O1: Ja. Bruker bøyer for å hindre at anlegg blir dratt ned i sjøen (nb.rømming)

O2: Etter min mening kommer også dette helt an på konstruksjonen du jobber med.

A: Bøyer er viktig som markering langt fra anleggene. En kan sløyfe bøyer hvis tilstrekkelig oppdrift i flyteren.

10. Mener du rask evakuering ved for eksempel drivisfare er viktig. I tilfelle hvordan?

E: Evakuering ved uforutsette hendelser er nok viktig, men vel så viktig er det at slike uforutsette faktorer tas med i betraktning når fortøyningssystem utformes slik at en slik hendelse ikke fører til totalhavari.

P1: Avhengig av tidshorizonten. Ett døgn er mulig. Avhengig av slepehastigheten. Normalt maks. 1 knop. Slepebegrensningen gitt av forsikringsselskapene.

P2: Umulig. Urealistisk mål. Isfanger og senkbare anlegg er mulige løsninger. Andre løsninger kan være å utruste anlegget med en stor baug for å redusere drivis belastninger.

O1: Ikke aktuelt problem i vårt område.

A: Må innhente tillatelse fra fylkesveterinæren for å få lov til å evakuere. Kan være behov for å flytte anlegget med fisk hvis oljeforurensing, alger og giftige maneter. Alternativt må anlegget skjermes eller senkes ned.

11. Har du tro på ett-punkts forankringssystemer (svai forankring)?

E: Ett-punkts fortøyning kan fungere bra dersom systemet er utformet korrekt. Det betyr at fortøyningen er utformet slik at den tilfredsstiller krav i NS9415 i alle retninger. Dette vil bety at selv om det er snakk om ett-punkts fortøyning, må det benyttes flere fortøyningslinjer opp til dette punktet.

P1: Har tro på ettpunkts forankring gitt at farledsbegrensninger ikke er noe problem. Har erfaring med ettpunkts forankring. Ett anlegg på 132x56m, med en forflåte på 20x40 meter. Anlegget var fortøyd til en enkelt line i forflåten.

O1: Nei. For plasskrevende for store enheter.

O2: På svært utsatte lokaliteter mener jeg dette kan være gunstig, men i fjorder og på skjermede lokaliteter er dette ugunstig.

A: Ja. Har tro på systemet men det må dokumenteres bedre enn hva tilfellet har vært opp til i dag. Har vært i bruk i Hardangerfjorden.

12. Hvordan håndteres forankring på sterkt varierende vanddyb i trange og dype fjorder?

E: Vi har utformet mange fortøyningssystem på slike lokaliteter. Viktigste hjelpemiddel her er en god dybdemåling. Kombinasjon av ulike type bunnfester og utnyttelse av utforming av havbunn for å finne beste posisjon av fortøyningslinjer. Det som er viktig å unngå er enkeltlinjer med helt forskjellig utforming.

P1: Forskjellige ankerlinelengder. Prøver å oppnå ett konstant lengde på dybdeforhold.

O1: Har ingen erfaring med dette.

O2: Vanskelig å svare på, det kreves god planlegging og en del tyngre forankring kan hjelpe.

A: Vet ikke.

13. Hvordan bør en forflåte eller arbeidslekter fortøyres?

E: Helst med 8 fortøyningsliner (2 i hvert hjørne). Oppbygging fra bunnfeste og opp er x antall lås stolpekjetting nederst, tauverk og øverst 1 lås stolpekjetting. Fortøyningsystem er da oppbygget slik at fortøyningsliner får en kombinasjon av elastisk stivhet, geometrisk stivhet og tyngde for å unngå/minimere dynamiske støtlaster og det er ingen fare for skade på tauverk fra propell/fartøy.

P1: Det brukes hydraulisk landgang og fortøyninger som skal kunne ryke.

P2: Forflåten fortøyres unna anlegget. Forflåtens fortøyning inspiseres med ROV.

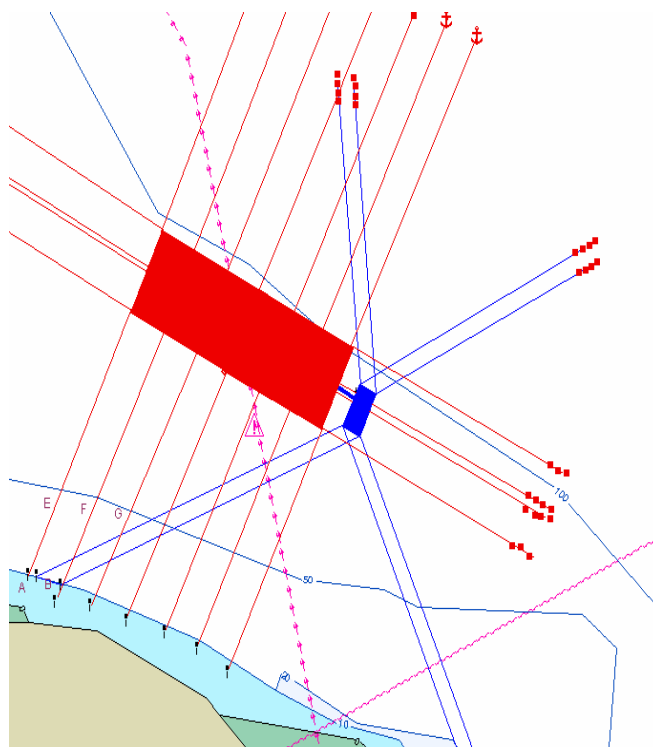
O1: Se figur nedenfor for å eksemplifisere.

O2: Kommer helt an på konstruksjon, vekt og lokalitet.

A: Uavhengig av hverandre. Plassering avhengig av tilgang på båt med fôr. Båtanløp bare når anlegget er bemannet.

Hvilke operative begrensninger gjelder for bruk av truck?

P1: Har aldri vurdert å kvantifisere de maksimale forskyvningene et havbruksanlegg skal kunne tåle. Har erfaring med bruk av gangveier som ender opp i universalledd som kan pivote. 10 cm horisontal forskyvning er ikke vurdert som noe problem. Generelt er ikke truckoperasjon noe operativt mål for et stålanlegg. Det er viktigere med rasjonelt og miljøvennlig fôrings- og nothåndtering.



Figur A.1. Forslag til forankring av flåte mot ståanlegg.

Vedlegg B - bedriftsbesøk

Besøk ved Normær anlegg

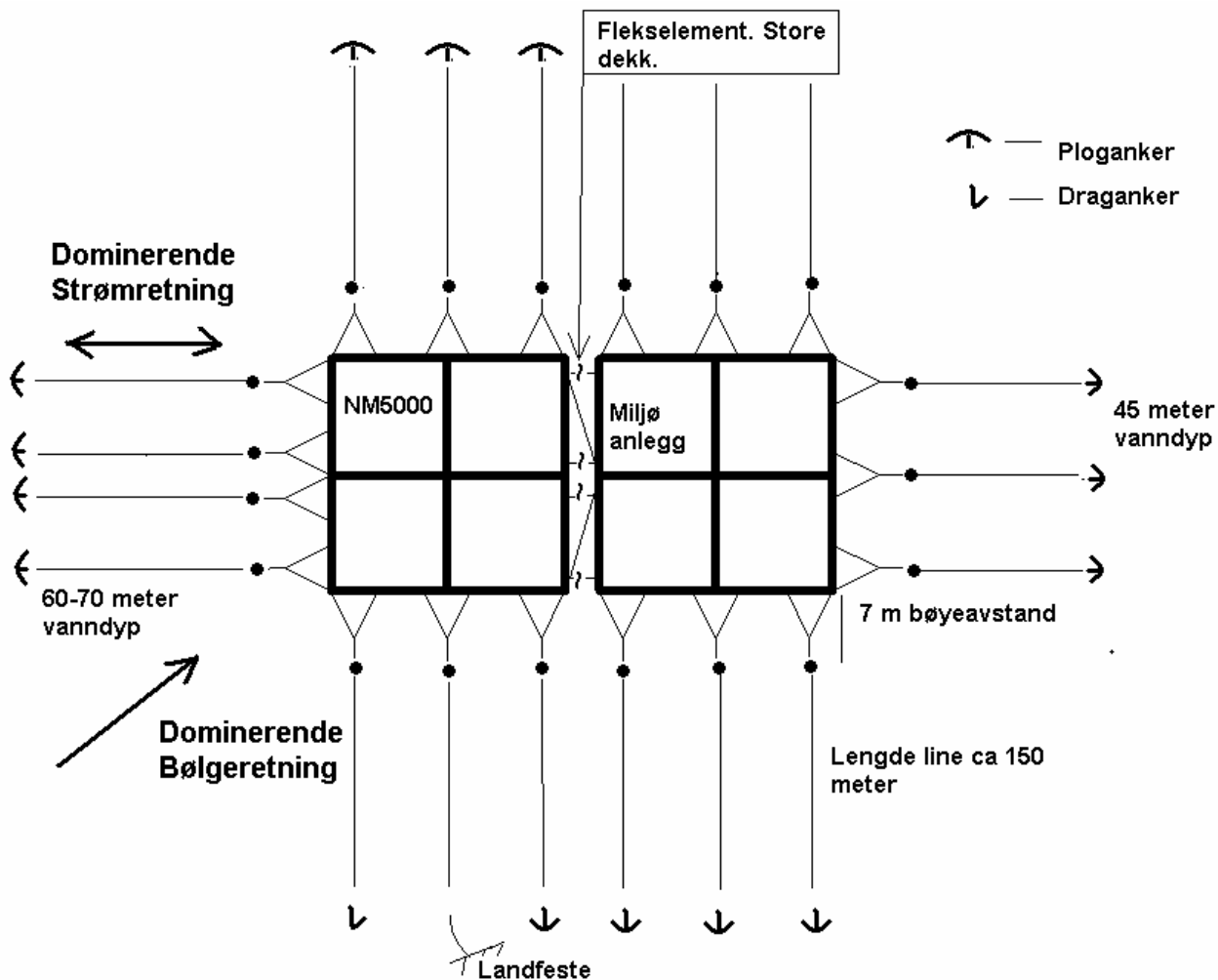
Hensikten med besøket var å studere fortøyning av et stålanlegg. Det besøkte anlegget er et fire burs Normær anlegg av type stål NM 5000 (se figur B 1) med 24x24 meters bur fortøyd til et eldre fire burs Normær anlegg av type miljøanlegg. I løpet av besøket ble blant annet typiske problemer med sprekkdannelse demonstrert og diskutert.



Figur B.1. NM 5000 anlegg med fagverkforsterkning.

Fortøyningskonfigurasjon

Fortøyningskonfigurasjonen ved den aktuelle lokaliteten er skissert i Figur B.2.



Figur B.2. Oversikt Normær anlegg og forankringskonfigurasjon.

I figur B.3. er detalj av hanefotinnfesting vist.



Figur B.3. Bilde av bøye og hanefot.

I alt 19 forankringslinjer og bøyer ble brukt. Bøyene har sannsynligvis høy kapasitet (ikke oppgitt). Ved å kjenne på ankerlinene parallelt med hovedstrømretning ble det sannsynliggjort at forspenning var høy. Det ble også observert at bare en av kjettingene i en todelt hanefot var forspent dvs. skjevfordeling. Linelengden var 3-4 ganger vanddypet. Det var lagt inn kjetting fra anlegget, fra bøya og ned og inn mot ankeret. I landfestet var det i tillegg lagt inn lodd. Ankerlinevinkelen fra bøya og ned til ankeret var sannsynligvis liten, typisk 22 grader, dvs. bøya fikk liten anledning til å synke ned og dermed bidra med geometrisk fleksibilitet. For å oppnå dette burde bøya legges tilstrekkelig langt ut (dvs lengre enn de 7 metrene som ble brukt) for å skape en størst mulig vinkel mellom ankerpunktet og bøye. Eventuelt kunne linelengden vært redusert, dvs. ankeret flyttet nærmere bøya, for å oppnå det samme. Dilemmaet var at forspenningen ville blitt redusert med større vinkel hvis ikke oppdriften ble øket og mer kjetting lagt ut mot ankeret. En opplagt konsekvens var at systemet kunne bli mykere, men vanskelig å forspenne. En bøye kan bare gi geometrisk fleksibilitet hvis en tillater bøya å bli trekt ned, dvs godkjent for minst 10 meters neddykking, noe som ikke er standard i havbruksnæringen.

Som konklusjon kan en anta at forankringen var høyt forspent, men hadde liten geometrisk fleksibilitet. Bøyene hadde liten effekt og bidro til økt dynamisk bølgebelastning på anlegget i tillegg til å gjøre båtanløp vanskeligere. Liten fleksibilitet fører til at spenningsnivået i linene varierer mye når anlegget blir utsatt for bølgebevegelser. Siden vanddypet varierer moderat kan en anta at faren for rykk-krefter er liten forutsatt tilstrekkelig forspenning. I tillegg er anlegget sannsynligvis lite utsatt for strukturelle skjevbelastninger fra forankringen fordi stivheten fra forankringen er jevnt fordelt. Forankringen antas derfor å ha liten betydning for ekstreme belastninger i flyteren så lenge bølgebelastningen er moderat.

Problemer med anløp av båt som kommer i konflikt med ankerliner og bøyer ble diskutert. Det ble poengtert at i hvert fall ett utlegg inklusive bøye og hanefot må fjernes ved anløp av brønnbåt. Det var enighet om at en reduksjon i antallet liner vil redusere problemet vesentlig.

I figur B.4 vises hvordan NM5000 anlegget er festet i et eldre miljøanlegg med kryssfortøyning og traktordekk for å introdusere fleksibilitet i de korte linene. I tillegg virker dekkene sannsynligvis som fending i tilfelle tap av horisontal forspenning. Forspenningen er nødvendig for å separere anleggene.



Figur B.4. Bilder av fortøyning mellom NM5000 og miljøanlegget.

Det ble poengtert at det er viktig å utvikle retningslinjer for forankring av havbrukskonstruksjoner. Spesielt når det gjelder krav til stivhet og ankerlinekarakteristikk. Det skal være mulig å utvikle typiske linekarakteristikker for noen dimensjonerende vandyp som inngår som en del av standarden (foreslått av SINTEF under utvikling av NS 4129 men krever ytterligere faglig arbeid).