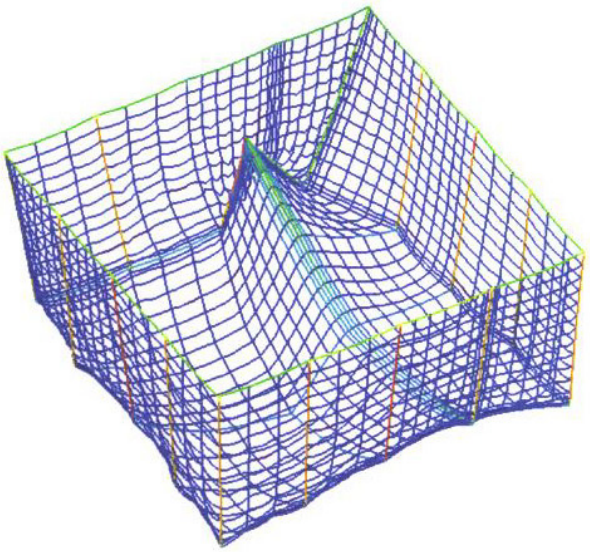
STF80 A044020 – Åpen

RAPPORT



Riving og deformasjon av not
Nye rømningssikre merdkonsept

Heidi Moe og Mats Augdal Heide

SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Havbruksteknologi

Desember 2004

www.sintef.no

SINTEF

Forord

SINTEF gjennomfører på oppdrag fra FHF prosjektet *Nye rømmingssikre merdkonsept*. Prosjektet er inndelt i flere delprosjekter. Denne rapporten dokumenterer arbeid utført under aktivitet *Riving og deformasjon av not.*

Heidi Moe, 8. desember 2004.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 Innledning 4
1.1 Notkonstruksjonen 4
1.2 Mål 5
1.3 Metode og begrensninger 5

2 Analyserte not- og notlinkonsepter 7
2.1 Nøter 7
2.1.1 Standard not 7
2.1.2 Not med skrå tau 9
2.2 Notlin 10
2.2.1 Tau med fjæringselement 11

3 FEA-modell 12
3.1 Mesh og elementer 13
3.2 Materialegenskaper 15
3.2.1 Notlin 15
3.2.2 Tau 18
3.3 Grensebetingelser og belastninger 18
3.3.1 Innfesting av not i flyter 18
3.3.2 Grensebetingelser for tau med fjæringselement 18
3.3.3 Jevnt fordelte krefter 19
3.3.4 Lodd 21
3.3.5 Strømbelastninger 22
3.3.6 Heving 23

4 Resultater 24
4.1 Nøter 24
4.1.1 Standard not 26
4.1.2 Not med skrå tau 31
4.1.3 Alternative notkonsepter 36
4.2 Notlin 38
4.2.1 Diskusjon av generell oppførsel til notlin 38
4.2.2 Tau med fjæringselement 39

5 Konklusjon 41

6 Anbefalinger for videre arbeid 42

7 Referanser 43

8 Vedlegg 44

1 Innledning

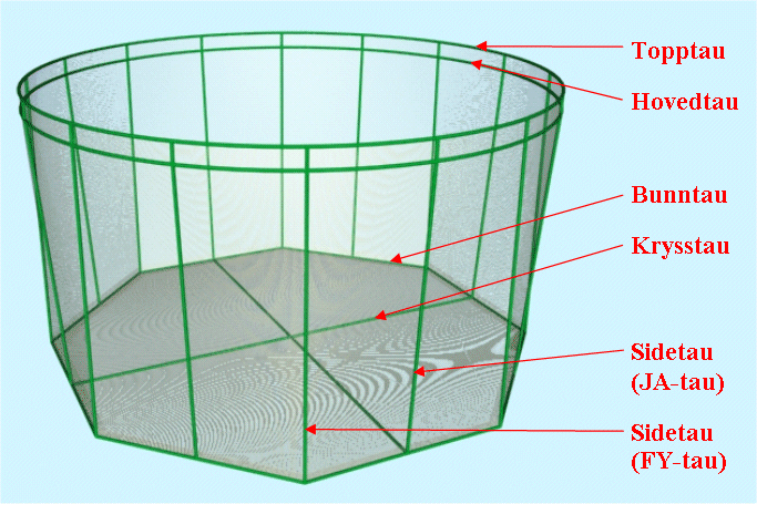
Hovedmålet med dette delprosjektet er å gjøre en mer nøyaktig vurdering av egenskapene til nøter med hensyn til faren for rømming av fisk fra oppdrettsanlegg. Arbeidet bygger på resultatene fra arbeid dokumentert tidligere i prosjektet: *Oversikt over notsystemer*, Referanse 1 og *Alternative notkonsepter*, Referanse 2. I Referanse 2 finnes et stort antall konsepter som SINTEF Fiskeri og Havbruk (SFH) har utarbeidet i løpet av prosjektet. Med utgangspunkt i disse resultatene, er funksjonen til noen utvalgte konsepter vurdert i dette arbeidet. I tillegg er ei vanlig oppdrettsnot grundig vurdert.

I oppstarten av prosjektet har SFH hatt nær kontakt med utvalgte aktører i havbruksnæringa for å klarlegge problemet med rømming på grunn av svikt i nota. Resultatene fra dette arbeidet finnes i Referanse 1. Med bakgrunn i resultatene fra denne undersøkelsen, er det valgt å fokusere på to tema relatert til not som er spesielt kritisk i forbindelse med rømming:

- **Deformasjon av not i strøm.** Kontrollert og begrenset deformasjon er viktig for å redusere risiko for å få propellen til arbeids- eller brønnbåt i nota.
- **Heving / operasjon.** En stor andel av den rømte fisken er et resultat av riving av not (notlinet) som følge av heving eller annen håndtering av nota. Referanse 5 konkluderer med at belastninger pga hydrodynamiske ikke er kritisk med hensyn på brudd. Det vil si at nota som regel tåler belastningene den blir påført som følge av bølger og strøm alene.

1.1 Notkonstruksjonen

Ei not er vanligvis bygd opp som vist i figur 1. Styrken til nota ligger i et skjelett av tau bestående av hovedtau, topptau, sidetau, bunntau og krysstau. Alle belastningene skal overføres til dette skjelettet så direkte som mulig. Nota skal være hengt opp i hovedtauet og loddene festes i loddtauene som er festet i den nedre enden av sidetauene. Den andre enden av loddtauet er festet i flyteren. Nota løftes ved å dra i loddtauene. Notlinet er sydd fast i tauene og har som eneste oppgave å holde fisken innesperret i nota.



Figur 1-1: Ei not er bygd opp av et skjelett av tau. Nota festes til flyteren via hovedtauet og loddene festes i nedre ende av sidetauene.

For sikre at man får overført kreftene gjennom tauskjellettet under heving av not, er det viktig å håndtere nota gjennom loddtau med forbindelse med krysstau i bunnen (”JA-tau” i Figur 1-1) og ikke benytte loddtau uten forbindelse med krysstau (”FY-tau”).

Dagens nøter er i all hovedsak produsert av flaggorientert notlin av nylon (polyamid) og tau av polypropylen. Det har vært en begrenset utvikling innen konstruksjon av oppdrettsnøter de siste årene. Samtidig har hjelpeutstyr for operasjon av not blitt mer og mer vanlig (kraner, nokker, vinsjer og lignende). Dette betyr at belastningene på nota har blitt større og mindre forutsigbare uten at notkonstruksjonen har gjennomgått tilsvarene utvikling. Det er flere indikasjoner på at dette, kombinert med økt tidspress og mindre personell under operasjon av not, er en svært viktig årsak til det omfanget rømmingsproblematikken har i dag. Notkonstruksjonen er generelt lite tilpasset håndtering med maskinell kraft, som kan påføre nota større belastninger enn den tåler.

1.2 Mål

Arbeidet er delt opp i to aktiviteter og følgende innhold ble beskrevet ved oppstart av delprosjektet:

Nøter:

- Sammenligne gamle og nye notkonsept med spesiell vekt på hvordan belastninger taes opp i nota og hvor godt nota opprettholder volum.
- Studie av typisk firkantet og sirkulær not. Vil danne sammenligningsgrunnlag for nye notkonsepter.
- Analyse og illustrasjon av spenninger i og deformasjon av nota. Med mål å synliggjøre hvordan belastningene taes opp i nota og vurdere notas evne til å opprettholde volum. Sammenligne og vurdere resultatene mot praktiske erfaringer.
- Eventuelt illustrere effekten av feilkonstruksjon.
- Analyse av nye notkonsept.

Notlin:

- Styrkeanalyse av gamle og nye notlin-konsept.
- Studere mekanismene når notlin revner. Eventuelt effekt av dynamiske belastninger på notlin med maskebrudd.
- Skjæring av nota/orientering av notlin
- Analyse av nye forbedrede notlin.

Gjennomføringen av disse aktivitetene vil kommenteres i avsnitt 4.

1.3 Metode og begrensninger

Nøter og notlin er modellert i ABAQUS, et dataprogram for styrkeberegninger (FEA- Finite Element Analysis).

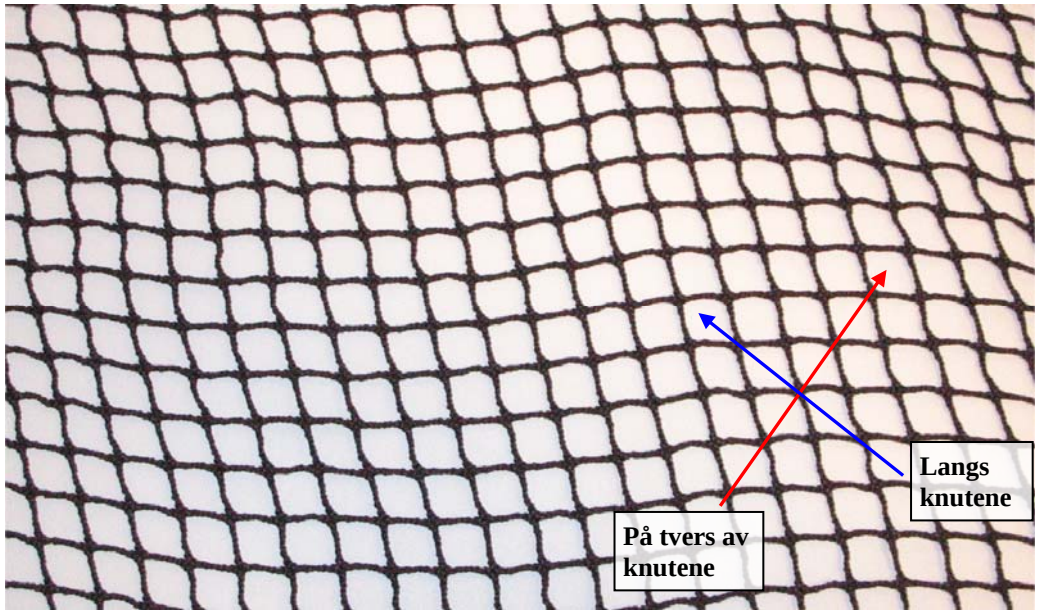
Nøter er spesielt vanskelige å analysere numerisk. Dette på grunn av de store bevegelsene i nota, den høye elastisiteten i notlinet, at notlinet går i slakk og varierende stivhet med tiden i notlinet både globalt og lokalt. I tillegg vil notlinet få varig deformasjon ved store belastninger, og denne deformasjonen er vanskelig å tallfeste med det som i dag er tilgjengelig av informasjon. Nøter og notlin er på flere måter vanskeligere å analysere enn for eksempel skip og oljeplattformer. Disse har normalt samme fasong til enhver tid, og er laget av materialer som er tåler mye før de

deformeres varig. I tillegg er disse konstruksjonene stive og tar opp trykkrefter. Spesielt slakk er vanskelig å håndtere numerisk, da standard FEA er avhengig av stivheten til elementene for å finne en løsning. Et element i slakk har ingen stivhet og analysen divergerer. For å takle slakk benyttes modulen ABAQUS Explicite. Dette er en eksplisitt, dynamisk prosessor som inkluderer treghetskrefter som gir en numerisk stabil løsning. Store bevegelser taes hensyn til ved bruk av en ikke-lineær geometriantagelse.

Det hersker stor usikkerhet i forbindelse med belastningene nota påføres og materialegenskaper til nota. Man kan derfor ikke legge for stor vekt på resultatene fra FEM-analysene isolert, men resultatene kan benyttes for å sammenligne belastninger i forskjellige modeller. Man kan for eksempel si at not A er bedre enn not B, men det er vanskelig å si nøyaktig hvor stor belastning not A tåler.

Ei not har et svært høyt antall frihetsgrader (bevegelige punkter og bevegelsesmønster), og man er nødt til å forenkle modellen for å kunne gjennomføre en analyse. Dette fører til at modellene har et relativt grovt mesh (beskrevet nærmere i avsnitt 3.1), noe som igjen bidrar til at spenningene ikke kan avleses nøyaktig. Resultatene er ikke konservative, da et mer detaljert mesh vil avdekke spenningskonsentrasjoner som ikke vises i en modell med grovt mesh.

I analysene neglisjeres effekten av knutene. En viktig konsekvens av dette er at notlinet får noe større geometrisk fleksibilitet diagonalt på maskene enn det som er tilfelle i praksis, og spenningene blir noe undervurdert. Dette gjelder spesielt i retningen på tvers av knutene, som er illustrert i Figur 1-2.



Figur 1-2: Flaggorientert notlin. Notlinet vil ha forskjellig stivhet i de to retningene diagonalt på maskene. Disse retningene er kalt ”på tvers av knutene” og ”langs knutene”.

2 Analyserte not- og notlinkonsepter

I Referanse 2 *Alternative notkonsepter* finnes et stort antall konsepter som SFH har utarbeidet i løpet av prosjektet. Med utgangspunkt i disse resultatene er det valgt ut noen konsepter som det vil gjøres en mer detaljert vurdering av i dette arbeidet. Disse konseptene er:

- Bøyestivt bunntau / stiv bunnramme med konstant eller tett innfesting lang bunntauet
- Not med skrå tau og notlin med diamondmasker
- Fjæring rundt tau i form av et felt med diamondmasker i notlinet

Egenskapene til flere konsepter fra Referanse 2 vil også kommenteres i forhold til deformasjon av not i strøm og heving/operasjon.

I tillegg er ei vanlig oppdrettsnot, kalt ”standard” not, grundig analysert. De forskjellige konseptene er beskrevet i de følgende avsnittene.

2.1 Nøter

I forbindelse med dette prosjektet er det gjennomført en rekke analyser for å kartlegge volum- og styrke- egenskapene til tradisjonelle nøter og nye notkonsept. Prosessen har vært som følger:

- Definisjon av standard nøter, gitt i Vedlegg 1
- Utvikling av nye notkonsept, rapportert i Referanse 2
- Modellering av nøter for styrkeanalyse (FEA)
- Loddsatt not i stille vann (validering av FEA-modell)
- Analyse av loddsatt not i strøm
- Analyse av heving av not via forskjellige loddtau

2.1.1 Standard not

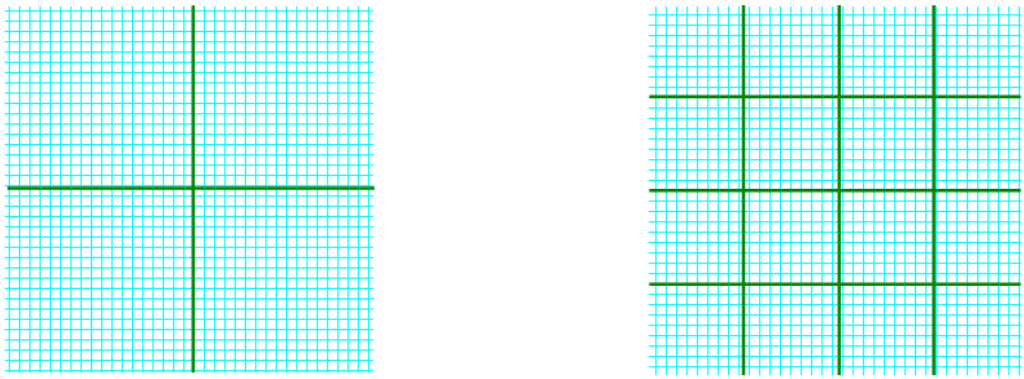
I forbindelse med oppstart av prosjektet ”Nye rømmingssikre merdkonsept” våren 2003, definerte SFH i samarbeid med Mørenot to standard nøter (beskrevet i Vedlegg 1). Den firkantede nota er 24 m bred og 15 m dyp, men for å kunne sammenlignes med not med skrå tau (se avsnitt 2.1.2) er nota også analysert for en dybde på 12 m.

1. april 2004 trådte NS 9415 ”Flytende oppdrettsanlegg - Krav til utforming, dimensjonering, utførelse, installasjon og drift” i kraft gjennom ”Forskrift om krav til teknisk standard for anlegg som nyttes i oppdrettsvirksomhet”. NS 9415 erstatter med dette ”Bransjestandard for nøter til fiskeoppdrett”.

Dette prosjektet (”Nye rømmingssikre merdkonsept”) ble startet opp før innføringen av NS 9415 i april 2004, og standard not i dette prosjektet tilfredsstiller ikke NS 9415 slik den framstår i dag. Dette kommer spesielt til syne gjennom de nye kravene til antall krysstau, som i dette konkrete tilfellet er økt fra to til seks etter innføringen av NS 9415. Dette er også diskutert i Referanse 1 og illustrert i Figur 2-1.

Standarden forventes å gjennomgå en betydelig revisjon i løpet av de neste årene, og det er allerede lagt fram et forslag til revisjon av not-delen i NS 9415. Dette revisjons-forslaget ligger nærmere opp mot den gamle bransjestandarden, og i dette konkrete tilfellet er det igjen tillatt med kun to krysstau. Forslaget legger i tillegg begrensninger for hvilke tau som kan benyttes ved

heving av not. Disse tauene er kalt ”Løftetau” i forslaget til revisjon, og er definert som ”sidetau som fortsetter videre i krysstau”.

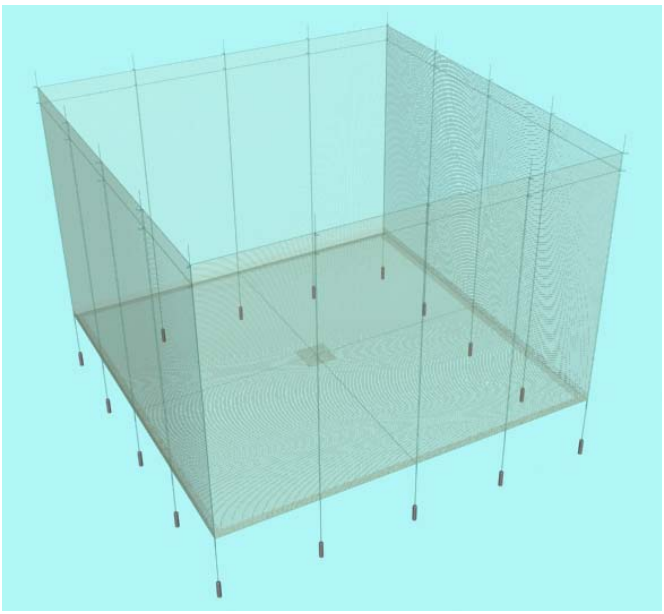


Figur 2-1: Utforming av notbunn. Venstre bilde viser bunn med to krysstau slik standard not ble definert våren 2003. Høyre bilde viser en notbunn med seks krysstau som tilfredsstiller NS 9415 som trådte i kraft våren 2004.

I første omgang har ei standard firkanta not blitt analysert. Selv om standard sirkulær not ikke er blitt analysert, kan vi gjøre en del konklusjoner basert på analysene av firkantet not, erfaring og generelle fysiske betraktninger.

Modellen kan benyttes til å diskutere effekten av krysstau, forsterket notlin og lignende. Modellen kan enkelt modifiseres for å finne effekten av nye delkonsepter og detaljer. Den er også viktig som et sammenligningsgrunnlag for analyser av nye konsepter.

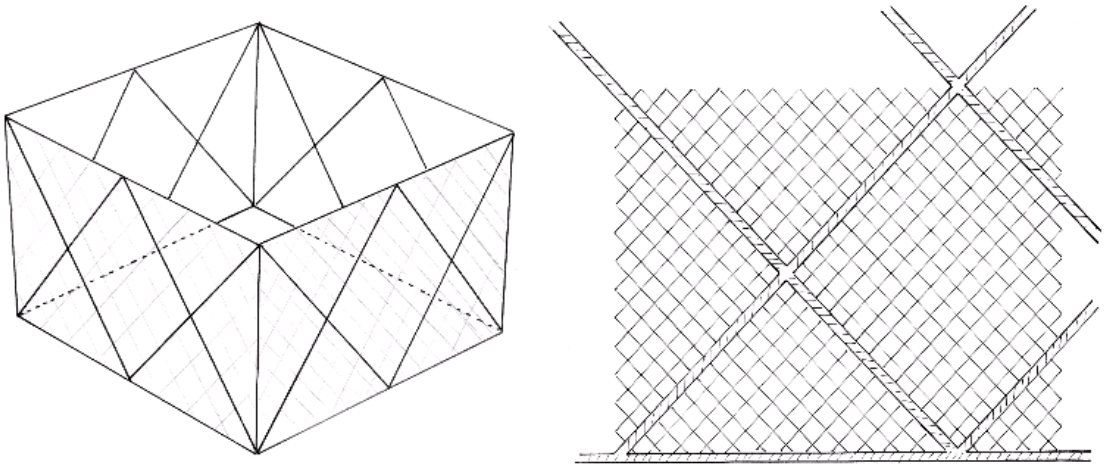
Nota er loddsatt i alle 16 sidetau med lodd på 100 kg, slik at total loddvekt blir 1600 kg. Not med lodd er vist i Figur 2-2



Figur 2-2: Standard firkantet not med lodd.

2.1.2 Not med skrå tau

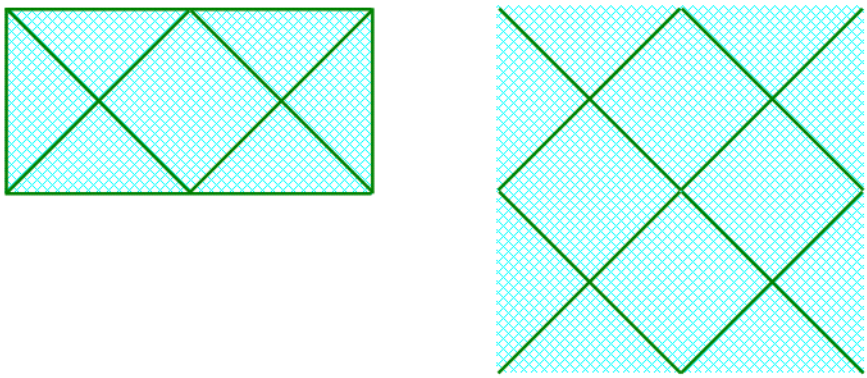
Det nye notkonseptet ”not med skrå tau” er valgt ut som et konsept det er interessant å se videre på. Konseptet er skissert i Figur 2-3.



Figur 2-3: Not med skrå tau.

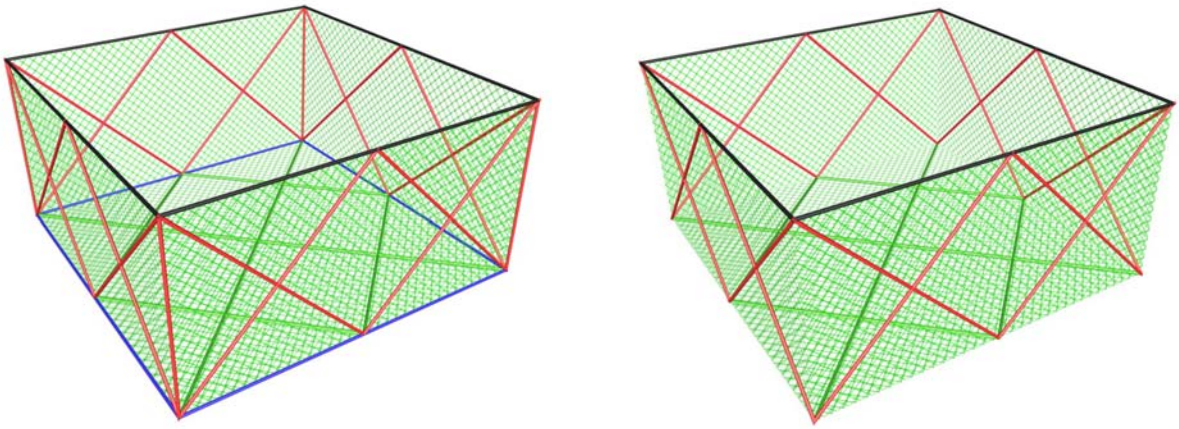
Bakgrunnen for utviklingen av dette konseptet, er ønsket om å lage en sterkere konstruksjon som bygger på de samme materialene, produksjonsmetodene og metodene for not-operasjon som man har i dag. Det er viktig at nota ikke blir betydelig tyngre og får betydelig større vannmotstand (se avsnitt 3.3.3). Ideen bak konseptet er at man selv med relativt få tau, alltid oppnå at sidetauene fortsetter som krysstau over bunnen. Alle sidetauene i hjørnene er tilknyttet krysstau og på sidene fortsetter sidetauene i to krysstau. Det er dermed umulig å håndtere nota via ”FY-tau”**.** Det forventes at nota vil få en gunstig fasong i strøm som begrenser avdrift på le side. Dette kan reduserer faren for å få propell i nota, og faren for gnag fra tilgrensende komponenter som lodd og flyter.

Slik som nota er utformet, må dybden til nota være halvparten av bredden (Figur 2-4). Bredden er låst til 24 m og dermed er dybden gitt som 12 m. Denne nota vil kun ha åtte festepunkt for lodd. Loddene er dermed modellert som 200 kg hver, slik at den totale loddvekten er 1600 kg (tilsvarende standard not).



Figur 2-4: Utforming av side og bunn av not.

Effekten av å fjerne bunn- og hjørnetau i denne nota vil også bli vurdert. Dette er illustrert i Figur 2-5. Tabell 2-1 gir en oversikt over antall meter tau i de forskjellige notkonseptene. Tauene er 16 mm Danline med en antatt vekt i luft på 25 kg per 220 meter. Selv om forskjellen i masse er relativt liten, kan en økning i antall tau ha betydning ved operasjon i form av økt kompleksitet og økt vannmotstand.



Figur 2-5: Not med skrå tau. Not til høyre har ikke bunn- eller hjørnetau.

Tabell 2-1: Tauforbruk i forskjellige notkonsept.

Notkonsept	Antall tau*	Antall meter tau	Vekt av tau i luft**
Standard	26	432	49 kg
Standard, NS 9415 (Figur 2-1)	30	528	60 kg (122 %)
Not med skrå tau, bunn- og hjørnetau	36	648	74 kg (150 %)
Not med skrå tau	28	408	46 kg (94 %)

*Bunn- og topptau regnes som 4 tau hver.
**Prosentverdien gir tau-vekt i forhold til standard not.

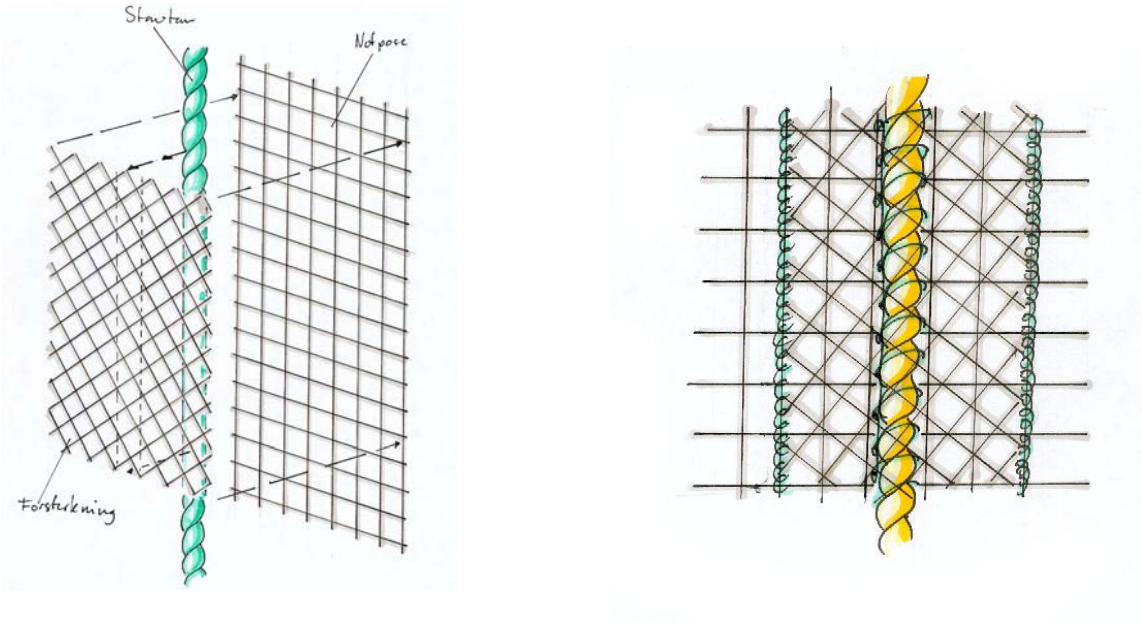
2.2 Notlin

Forskjellig anvendelse av notlin har blitt vurdert og noen enkle analyser har blitt utført. Siden arbeidet med notlin i stor grad har bestått av utvikling og vurdering av nye konsepter, er en del av arbeidet med notlin presentert i Referanse 2. Dette inkluderer vurdering av nye materialer, rivestopp i notlin, mekanismer i forbindelse med revning av not og skjæring og orientering av notlin.

I arbeidet med notlin er det tatt utgangspunkt i Referanse 4 *Materialdata og egenskaper for notlin og tau*, som ble produsert av MARINTEK i 1993 (Fiskeri- og havbruksaktivitetene til MARINTEK ble skilt ut og overført til SINTEF Fiskeri og Havbruk i 1999).

2.2.1 Tau med fjæringselement

I løpet av prosjektet kom det opp en idé om å feste tauet til notlinet via en flik diamondorientert notlin. Tanken var at denne fliken av diamondorientert notlin skulle fungere som et fjæringselement for å dempe effekten av rykkrefter fra loddet på notlinet. Tauet er sydd fast i fjæringselementet som igjen er festet til notlinet som vist i Figur 2-6.

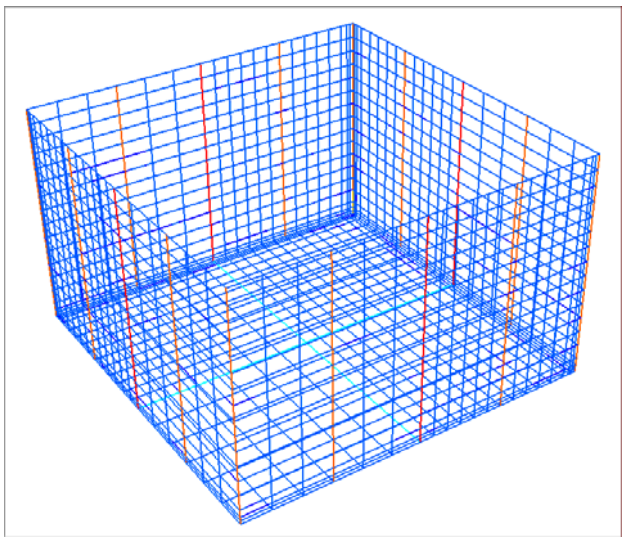


Figur 2-6: Tau med fjæringselement.

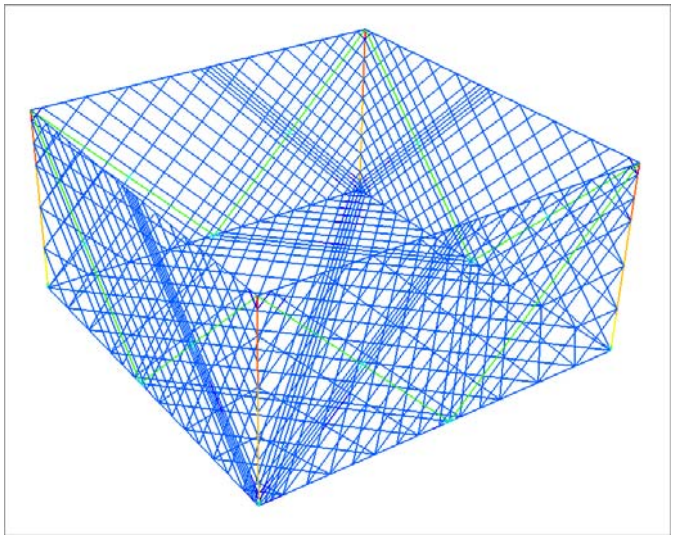
3 FEA-modell

For å gjøre en styrkeanalyse av ei not i et FEA-program (Elementmetodeanalyse), må man først lage en modell. Når det skal lages en FEA-modell for styrkeanalyser, må det gjøres en del forenklinger. Grunner for dette er gitt i avsnitt 1.3. Dette kapittelet vil forklare hvordan disse forenklingene vil se ut i praksis og hvordan de eventuelt vil påvirke resultatene. Det vil bli beskrevet i detalj hvordan modellene er bygd opp og hvordan de ulike belastningene modellene utsettes for er simulert. De tre viktigste FEA-modellene i prosjektet er vist i Figur 3-1, Figur 3-2 og Figur 3-3.

Notmodellene er uten hoppenett. Hoppenettet er ikke relevant for styrkeberegninger, da det antas at nota er festet til flyteren via hovedtauet slik at hoppenettet ikke vil påvirke belastningene i nota eller fasongen til nota. Hoppenettets eneste funksjon under vanlig drift, er å forhindre at fisken hopper ut av merda. Forsterkningene av notlinet (dobbelt notlin, se Vedlegg 1) er av praktiske grunner ikke inkludert i modellen, men effekten av forsterkningene vil bli vurdert i kapittel 4.

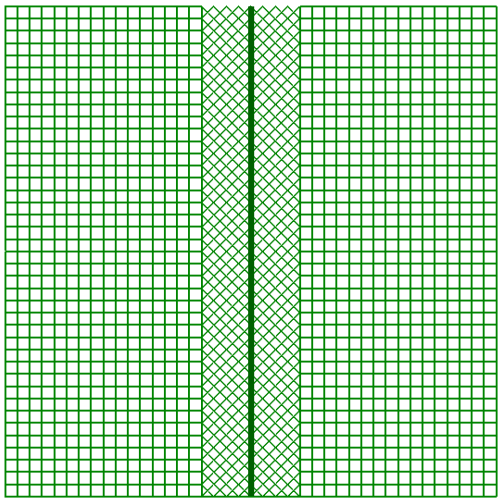


Figur 3-1: FEA-modell av standard firkantet not.



Figur 3-2: FEA-modell av not med skrå tau.

Det er lagd en lokal modell av tau med fjæringselement vist i Figur 3-3. Fjæringselementet er modellert totalt 20 cm bredt, mens den totale modellen er 1 x 1 meter. Dette er tilstrekkelig for å finne de lokale effektene fra fjæringselementet. Modellen vil bli sammenlignet med en tilsvarende modell uten fjæringselement.



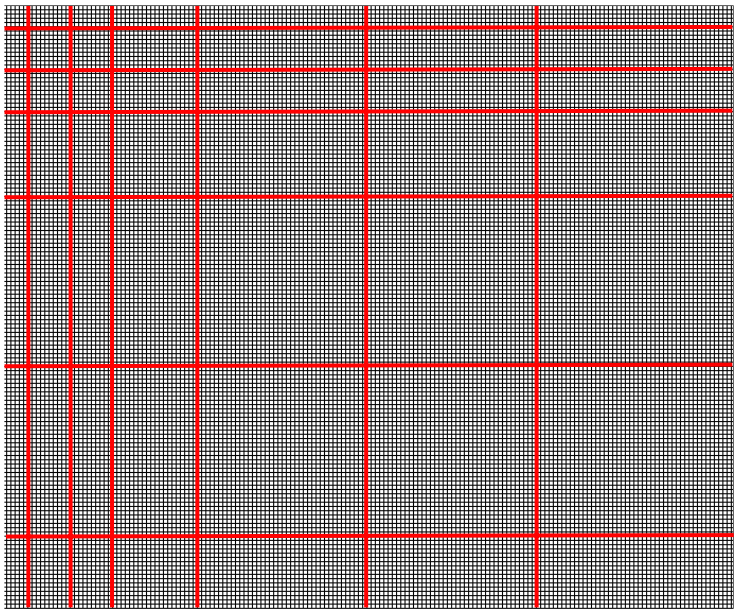
Figur 3-3: FEA-modell av tau med fjæringselement

3.1 Mesh og elementer

Modellene må deles opp i elementer, også kalt mesh. I enden av hvert element finnes en node og det er her krefter, spenninger, forskyvninger og lignende beregnes. Jo kortere elementene er, jo mer nøyaktige resultater vil man oppnå, men beregningstiden øker kraftig med økt antall elementer. Man må altså avveie antall elementer mot beregningstid. De modellene som er benyttet i dette arbeidet, tar opptil 12 timer å analysere.

Å analysere en modell der notlinet er modellert tråd for tråd er ikke praktisk mulig. Det vil gi et enormt antall frihetsgrader, ligningssystemet som blir løst i en FEA (Finite Element Analyse) vil få en enorm størrelse og vil kreve en tilsvarende enorm beregningstid. Derfor må man gjennomføre betydelige forenklinger i modellen når man skal analysere hele nøter. I dette er arbeidet er modellene redusert ved å representere trådene i notlinet med ekvivalente elementer og neglisjere alle rotasjonsfrihetsgrader. Begge disse forenklingene er verifisert i Vedlegg 2 som viser at forenklingene kan føre til små feil i analysene.

Notlinet deles opp i seksjoner med forskjellig detaljeringsgrad, slik at beregningene blir tilstrekkelig nøyaktige i områder med store spenningsvariasjoner. Hver seksjon bygges opp av globale ekvivalente notlintråder som representerer flere parallelle stolper i notlinet. Disse globale notlinelementene har ekvivalente egenskaper som det antall stolper det representerer. Denne forenklingen er vist i Figur 3-4.



Figur 3-4: Notlin modelleres med globale ekvivalente notlinelementer (rødt).

Notmodellene er modellert med tredimensjonale bjelke- eller stavelementer. Bjelkeelementer har bøye- og rotasjonsstivhet (motstand mot bøying), mens stavelementene ikke har noen motstand mot bøying i nodene. Ved å benytte stavelementer i stedet for bjelkeelementer, reduserer man antall frihetsgrader med 50 % og beregningstiden enda mer.

Strikket notlin består av flere bunter med svært tynne filamenter, noe som fører til at bøyestivheten er svært lav. Dette er bekreftet i Referanse 4. I praksis kan man også se at notlinet bøyer seg svært lett. Så vidt vi vet, finnes det i dag ingen tilgjengelige data på bøyestivheten til strikket notlin. I analysene er tråden representert med et monofilament (en kompakt tråd). Monofilamentet vil ha høyere bøyestivhet enn den flettede multifilamenttråden notlinet er bygd opp med. Derfor vil en analyse hvor bøyestivheten inkluderes gi for høy bøyestivhet og notlinet blir for stivt. Bøyestivheten inkluderes ved å modellere nota med bjelkeelement. Å bruke stavelementer innebærer at man neglisjerer bøyestivheten fullstendig. Dette er heller ikke fullstendig riktig, men er en mer korrekt antagelse enn å gi trådene bøyeegenskapene til et monofilament. I Vedlegg 2 ser man derimot at det er liten forskjell i resultatene for bjelke- og stav-element. For globale notlinelementer er forskjellen neglisjerbar.

Det fins ingen data som gir nøyaktig diameter for strikket notlintråd. Det er vanskelig å anta en nøyaktig diameter på grunn av flettinga og diameteren vil forandres med varierende strekk i tråden. Det er antatt at den strikkede notlintråden har en diameter på 2 mm, som skal være i riktig størrelsesorden (Referanse 4) sammenlignet med monofilament med tilsvarende styrke. Å ha en nøyaktig verdi for diameter på notlintråden er ikke viktig i styrkeanalysene, da de øvrige materialegenskapene tilpasses det antatte tverrsnittsarealet til tråden (forklares i detalj i avsnitt 3.2).

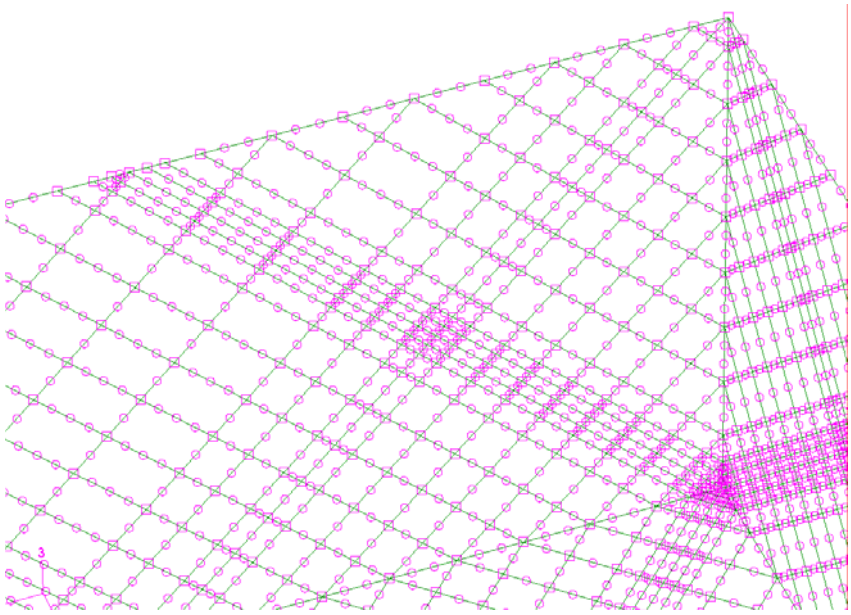
Med grunnlag i en diameter på 2 mm, er følgende regnet ut for en notlintråd:

Radius,	r	= 1	mm	
Tverrsnittsareal,	A	= 3	mm^2	
Arealtreghetsmoment,	I	= 0,8	mm^4	(monofilament)

Et globalt element som representerer 10 parallelle stolper, vil følgelig ha et tverrsnittsareal på A = 30 mm^2 og eventuelt et arealtreghetsmoment på I = 8 mm^4. Arealtreghetsmomentet angir bøyestivheten og gjelder derfor kun for bjelkeelement (beregnet for et monofilament).

Hvert bjelke/stav-element representerer flere stolper i notlinet. Det vil si at i stedet for å modellere masker på 25.5 mm x 25.5 med mm et tverrsnittsareal på 3 mm, modellerer man for eksempel ti ganger så store masker (255 mm x 255 mm) med ti ganger så stor tykkelse (30 mm).

Alle de ekvivalente notlintrådene er det opp i fra 2 til 4 elementer avhengig av lengden til tråden. Dermed vil elementene knekke når de blir utsatt for trykk (notlinet går i slakk). Modell med mesh er vist i Figur 3-5, hvor de rosa ringene og firkantene viser nodene til modellen.



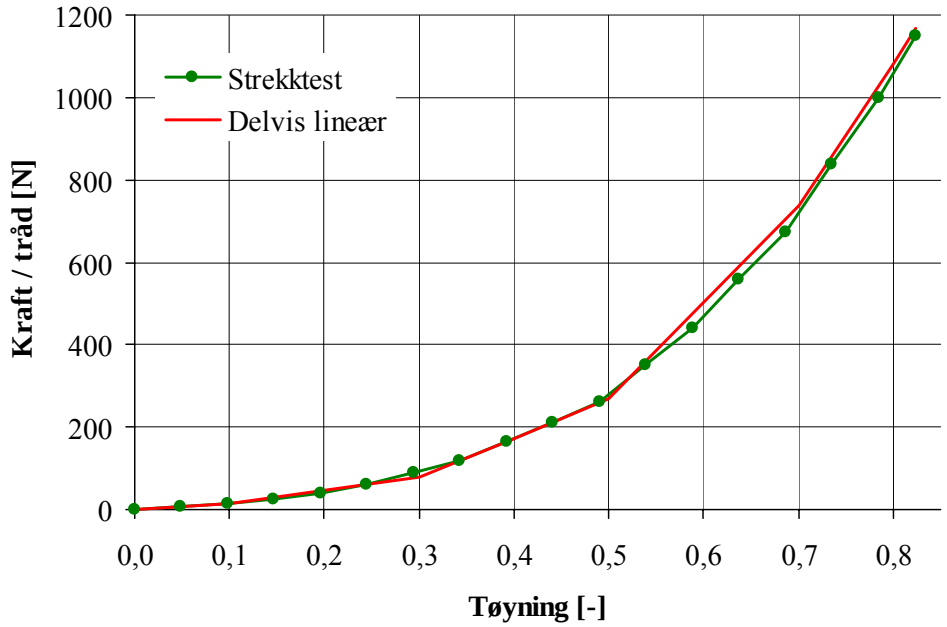
Figur 3-5: Modell med mesh.

3.2 Materialegenskaper

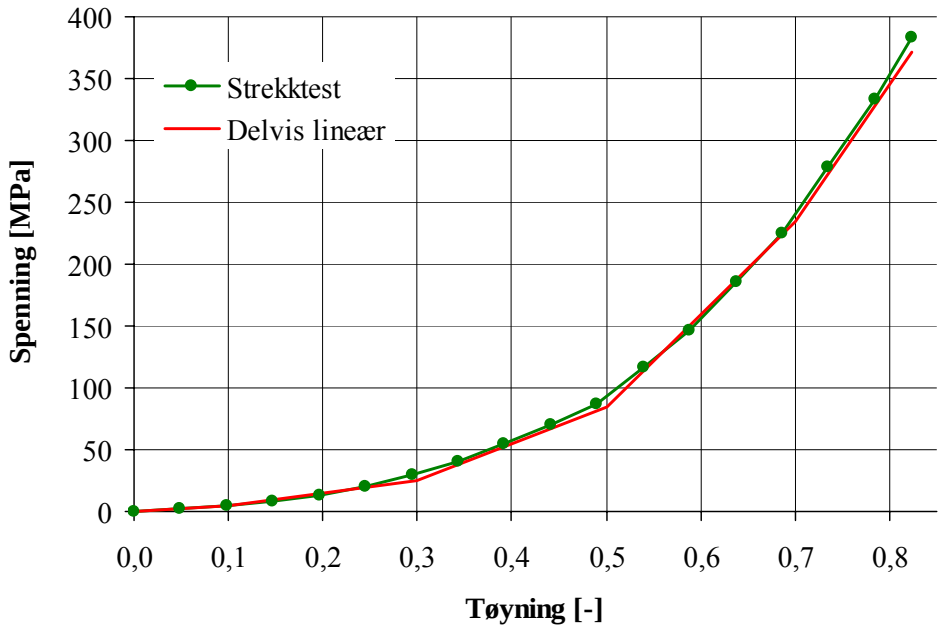
3.2.1 Notlin

Av materialegenskapene til tau og notlin, er spesielt stivheten (E-modulen) avgjørende for resultatene fra styrkeberegningene. Stivheten til notlinet er etablert ut fra strekktester av notlin gitt av Mørenot. Strekktesten er utført på raknefritt notlin fra Mørenot tilsvarende notlinet definert i standard not i Vedlegg 1, det vil si notlin med 25.5 mm halvmaske og tråd nummer 32.
Ut fra disse resultatene, har det også blitt etablert en delvis lineær tilnærmelse. De resulterende kraft / tøyning –kurvene er gitt i Figur 3-6. Figur 3-7 viser tilsvarende spenning / tøyning –kurver, spenningen er beregnet som kraft multiplisert med tverrsnittsarealet til notlintråden.

Tabell 3-1 gir delvis lineær E-modul til notlinet, basert på den delvis lineære spenning / tøynings - kurven.



Figur 3-6: Kraft / Tøyning – kurver for notlin.



Figur 3-7: Spenning / tøyning – kurver for FEA-modell.

Tabell 3-1: Delvis lineær E-modul for notlin.

Tøyning		E-modul [MPa]
0 – 10 %	(0,00 – 0,10)	50
10 – 30 %	(0,10 – 0,30)	100
30 – 50 %	(0,30 – 0,50)	300
50 – 70 %	(0,50 – 0,70)	750
70 – 82 %	(0,70 – 0,82)	1100

Det er viktig at gjentatt heving av nota ikke fører til varige deformasjoner og svekkelser i notlinet, det vil si at man ikke vil tillate flyt i materiale. Det betyr at man kun har elastisk tøyning, slik at notlinet finner tilbake til sin opprinnelige form når det avlastes og at styrken til notlinet ikke er redusert.

I følge produsenten av nylonfilamentene som Mørenot benytter i sitt notlin, vil man ikke få permanent deformasjon av nylon 6 filamenter dersom man har mindre enn 2 % tøyning. I følge spenning / tøyning kurver mottatt av samme produsent, tilsvarer dette en kritisk spenning, eller flytespenning, på cirka 60 Mpa og E-modul i 3 GPa. Relevant litteratur (Referanse 8) bekrefter disse tallene ved å oppgi flytespenning for nylon på 49 – 87 MPa og E-modul på 2 – 4 GPa.

Notlinet består av strikkede filamenter, og man vil derfor få en betydelig større tøyning i notlinet enn i filamentene. Den kritiske spenningen på 60 MPa tilsvarer i følge Figur 3-7 en tøyning på 40 %. Denne direkte overgangen er ikke spesielt nøyaktig, i og med at tråddiameteren er usikker og at strekket i de forskjellige filamentbuntene vil variere i notlinet. Likevel er dette den beste antagelsen som kan gjøres, siden det ikke finnes data på når flyt inntreffer i notlin.

I følge NS 9415 (Referanse 7), skal det benyttes en materialfaktor på 3 for syntetiske tau. Det er ikke gitt en egen materialfaktor for notlin, og det er derfor valgt å benytte en materialfaktor på 3. Det er heller ikke spesifisert noen lastfaktor for heving av not. På grunn av de store usikkerhetene i løftekraft og mulighetene for rykk for eksempel på grunn av relativ bevegelse mellom arbeidsbåt og merd, er det antatt en lastfaktor på 2. Dette gir en total sikkerhetsfaktor på 6. Dette betyr at notlinet ikke skal utsettes for spenninger større enn 60 / 6 = 10 MPa, eller tøyning større enn 16 % i følge Figur 3-7.

Bruddstyrken til notlintråden er 117 kg, men det blir en varig deformasjon av tråden og dermed svekkelse av styrken til notlinet allerede ved en belastning på 18 kg (tilsvarer 60 MPa). Det er innført en sikkerhetsfaktor for å ta hensyn til variasjoner i materialegenskaper og last, noe som fører til at man kun kan godta en belastning på 3 kg (tilsvarer 10 MPa) i hver notlintråd.

Referanse 6 gir egenvekt til nylon 6 på 1-1.17 tonn/m^2. Det er antatt at notlin har følgende egenvekt:

$\rho = 1$ tonn/m^3

3.2.2 Tau

Vanlige tau benyttet i oppdrettsnøter er Karat, Danline og Polysteel tau som består av polypropylen eller en blanding av polypropylen og polyetylen, beskrevet i Referanse 4. Den samme kilden oppgir E-modul for forstrekt tau til $1.4*10^9$ til $1.8*10^9$ N/m^2 og at denne er lineær opp til 50 % av bruddstyrke.

Tau i oppdrettsnøter er ikke forstrekt, og det er derfor gjennomført en forenklet beregning av E-modulen. Et Danline tau med en diameter på 16 mm har en bruddstyrke på omtrent 44 kN og en forlengelse ved brudd på i størrelsesorden 20 %. Dersom man antar en lineær kraft / tøyning – kurve, fås en E-modul på 1100 MPa. Kurven vil i virkeligheten være noe ikke-lineær, noe som betyr at E-modulen vil være noe lavere ved små tøyninger og høyere ved store. Følgende elastisk E-modul er derfor antatt for alle tau:

E_{tau} = 1000 MPa.

Tauene har en egenvekt på 0.92-1.0 tonn/m^3 (Referanse 4). Det er antatt at alle tau har følgende egenvekt:

ρ = 1 tonn/m^3.

I not med bøyestivt bunntau er bunntauet modellert som en sirkulær stålprofil med diameter på 20 mm. Tauet er modellert med bjelkeelementer slik at bøyestivheten er inkludert. E-modulen er gitt som 210000 MPa og profilet har en egenvekt på 8 tonn/m^3.

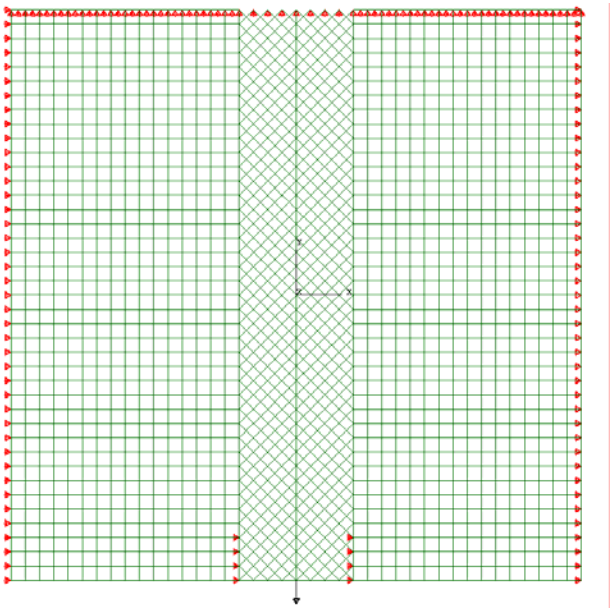
3.3 Grensebetingelser og belastninger

3.3.1 Innfesting av not i flyter

Nota er festet i flyteren. Antall festepunkter varierer i praksis fra anlegg til anlegg. Det er derfor valg å analysere de to ekstreme tilfellene av innfesting til flyter: i det ene er hovedtauet i modellen holdt fast langs hele omkretsen av nota, i det andre holdes nota fast i skjæringspunktene mellom hoved- og sidetau (minimum tre innfestingspunkter på hver side). Innfestingen viste seg å ha liten (neglisjerbar) effekt på belastningene i notlinet, også i strøm. I resultatene som presenteres vil man derfor se begge typer innfesting.

3.3.2 Grensebetingelser for tau med fjæringselement

Analysen er todimensjonal, og det tillates ingen bevegelse normalt på modellen. Høyre og venstre side av modellen får ikke bevege seg horisontalt, og øverste kant får ikke bevege seg vertikalt. De fire nederste nodene i overgangen mellom notlin med diamond- og flaggorientert mesh får ikke bevege seg horisontalt. Uten denne grensebetingelsen, vil disse nodene bevege seg i retning av kantene av modellen. Denne bevegelsen vil bli begrenset av det flaggorienterte notlinet på baksiden av fjæringselementet. Notlinet på baksiden av fjæringselementet er ikke modellert, og man må derfor få fram effekten av dette ved hjelp av denne grensebetingelsen. Grensebetingelsene er illustrert i Figur 3-8.



Figur 3-8: Grensebetingelser for tau med fjæringselement.

3.3.3 Jevnt fordelte krefter

Nylon har en tetthet på 1.0-1.17 tonn/m^3, mens tettheten til saltvann er 1.0 tonn/m^3. Det betyr at ei not er tilnærmet nøytral i vann (verken flyter opp eller synker, eller synker sakte). Ei nyimpregnert not vil ha mer enn 50 % høyere vekt i luft enn ei not uten impregnering. Vekta er avhengig av blant annet type impregnering og type notlin. Ei impregnert not vil som regel ikke ha betydelig vekt i vann, men dette avhenger av tettheten til impregneringa. I løpet av tiden i sjøen vaskes store deler av impregneringa bort, en betydelig del forsvinner kort tid etter utsett.

Begroing kan føre til store belastninger på nota. I analysene er det antatt at begroinga er jevnt fordelt over nota. Dette er ikke alltid riktig, ofte er forskjellige deler av nota ulikt begrodd. Men i en generell analyse, vil det være riktig å modellere begroing som en jevnt fordelt belastning. Type begroing er avgjørende for størrelsen på belastningene. Gressalger vil for eksempel være nøytrale i vann, mens blåskjell har vekt i vann og vil gi en større belastning på nota. Over vann vil derimot all slags begroing føre til belastninger på nota, noe som er relevant ved heving av not.

I flere tilfeller har mengde og type begroing vært svært kritisk ved heving av not, og begroing har vært en viktig faktor i flere rømmingstilfeller. Ved heving vil begroing føre til at vannmotstanden (drag- og massekrefter) øker og det blir tyngre å løfte nota. Man må dermed bruke større kraft ved heving, noe som fører til økte belastninger i nota og fare for at nota skal revne.

Under håndtering, kan altså tyngde-, drag- og massekrefter fra begroing resultere i et betydelig kraftbidrag på nota. Tyngden dominerer for den delen av nota som er over vann, da er verken not, impregnering eller begroing nøytrale. For riving av not under vann er det drag- og massekrefter som er mest interessante, tyngdekrefter er derfor ikke inkludert i analysene. Dragkrefter er avhengig av hevehastigheten og diameteren til notlintråden, inkludert øking i tykkelse på grunn av begroing. Massekreftene er avhengig av akselerasjonen til nota og den samme diameteren. Drag- og massekrefter per lengdeenhet på notlintråden kan beregnes som følger (Morrisons ligning):

Ligning 1:

$$dF = \tfrac{1}{2}\rho_v \cdot C_D \cdot D \cdot |u| \cdot u + \tfrac{1}{4}\rho_v \cdot \pi \cdot D^2 \cdot C_M \cdot a$$

Hvor ρ_v = Tetthet til vann
C_D = Drag-koeffisient
D = Diameteren til notlintråden (inkludert bidrag fra begroing)
u = Hevehastighet
C_M = Massekoeffisient
a = Akselerasjon ved heving
dz = Lengdeinkrement (tråd)

Antar	ρ	= 1025	kg/m^3	
	C_D	= 1,2	-	(gjelder tråd med sirkulært tverrsnitt)
	D	= 2	mm	(Ubegrodd not)
	C_M	= 1	-	(tilleggsmasse, ingen masse i vann)

Slik at Ligning 1 blir

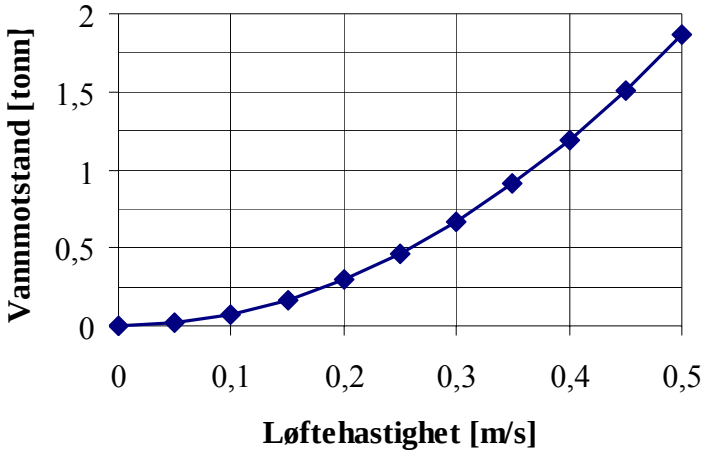
Ligning 2:

$$dF = 1.23 \cdot u^2 + 0.00322 \cdot a \ \ [N/m]$$

Dette uttrykket viser at ved lav eller ingen akselerasjon, er det løftehastigheten som har størst betydning for belastningene i nota. Men, ved oppstart av løfteoperasjonen, det vil si når man skal sette nota i bevegelse fra tilnærmet stillestående not, vil akselerasjonen vært svært høy og massekreftene vil her representere rykket man vil få i nota. Det er altså viktig å være forsiktig i det man skal begynne å heve nota og øke løftekraften gradvis og sakte og for å redusere rykket.

I analysene sees det bort fra massekreftene, da disse er svært vanskelig å tallfeste. I analyseren vurderes altså en heveoperasjon med konstant hastighet, og rykket ved oppstart av operasjonen er ikke inkludert. Det er heller ikke enkelt å modellere drag-krefer i et generelt FEA-program, det finnes en modul i ABAQUS som gjør dette automatisk (ABAQUS Aqua), men denne er av flere årsaker ikke benyttet i dette prosjektet. Utfordringen ligger i at heve-hastigheten ikke er jevn over hele nota, slik at det er vanskelig å få fordelt kreftene riktig. I tillegg vil deler av nota hele tider være utsatt for en betydelig akselerasjon.

Trådtykkelse (inkludert begroing) og løftehastighet er altså kritisk for belastningene på nota. I følge Ligning 1 og Ligning 2 er vannmotstanden proporsjonal med løftehastigheten i andre. Det betyr at jo hurtigere nota blir hevet, desto større blir belastningene på nota. En dobling i løftehastighet gir mer enn dobbelt så store belastninger i nota. Figur 3-9 gir vannmotstanden ved heving av ubegrodd standard firkantet not. Dette er et tenkt eksempel hvor hele topptauet heves, slik at nota heves jevnt over hele omkretsen. En løftehastighet på 0,2 m/s gir en vannmotstand på 300 kg, mens en løftehastighet på 0,4 m/s gir en vannmotstand på 1200 kg. I dette tilfellet vil altså en dobling av løftehastighet føre til en firedobling av vannmotstanden.



Figur 3-9: Tenkt eksempel på vannmotstand ved heving av ubegrodd not som funksjon av løftehastighet.

Vannmotstanden er også proporsjonal med diameteren til notlinet (Ligning 1). Det vil si at en dobling i diameteren til notlin-trådene, gir en dobbelt så stor vannmotstand. Begroing øker trådtykkelsen og vil dermed gi en betydelig økning av vannmotstanden. Ei oppdimensjonert not vil oppleve en økt vannmotstand og som igjen fører til økte belastninger på nota. Ei kraftig dimensjonert not representerer derfor ikke en enkel løsning på problemet med riving av not. Jo grovere nota er, jo større blir vannmotstanden og det kreves større krefter for å få heve nota. Store løftekrefter gir også en større usikkerhet og variasjon i belastningene slik at det blir vanskeligere å ha kontroll over kreftene.

Disse betraktningene forteller for eksempel at ei begrodd not må heves sakte for å holde vannmotstanden, og dermed belastningene i nota, på et akseptabelt nivå.

Som en forenkling, er modellen påført en vertikal kraft tilsvarende ca 440 kg. Denne krafta skal representere begroing og vannmotstand. Det er en relativt liten kraft (omtrent notas vekt i luft), som for eksempel tilsvarer løfting av ubegrodd not med en konstant hastighet på drøyt 0,2 m/s (ingen akselerasjon). Man vet at i ekstreme tilfeller kan nota ha flere tonn begroing, og hvis man da rykker til ved oppstart av heving og har det travelt med å få opp nota, kan belastningene på nota bli svært store.

3.3.4 Lodd

Loddene er modellert som vertikale punktkrefter i enden av sidetauene. På standard not er det festet 16 lodd på 100 kg, det vil si en total loddvekt på 1600 kg. I nota med skrå tau er det åtte festepunkt for lodd. For å kunne sammenligne de to notkonseptene er det valgt å ha samme totale loddvekt for alle nøter, slik at hvert lodd er 200 kg for nota med skrå tau. I tillegg er det satt på en kraft på 200 N (ca 20 kg) midt i bunnen av nota. Denne representerer belastninger fra dødfiskhåv-systemet. Det er også vanlig å ha et lodd i senter av nota selv om dette ikke er tatt med i definisjonen av standard not, vedlegg 1.

I analysene av tau med fjæringselement, er loddet modellert som ei punktkraft på 5000 N (500 kg). Loddet er så tungt for at man skal få fram betydelige spenninger i notlinet og dermed kunne vurdere effekten av fjæringselementet.

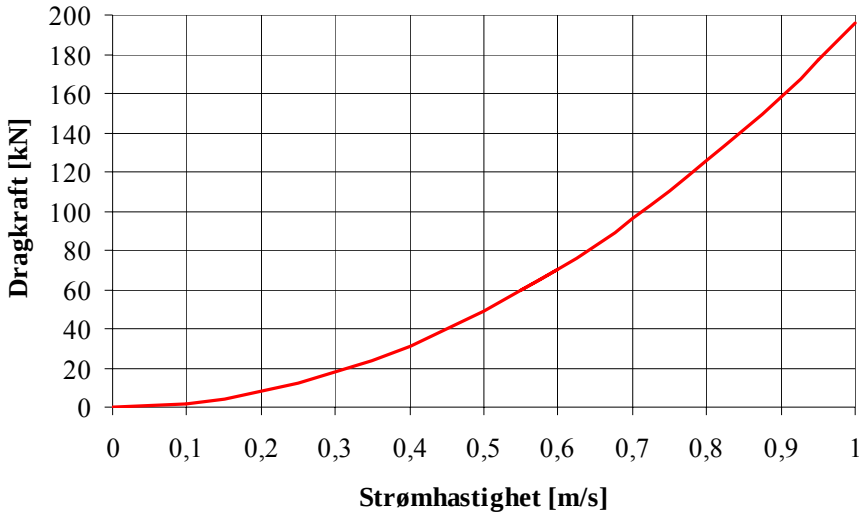
3.3.5 Strømbelastninger

Strømhastigheten er antatt å være konstant over dybden og bredden til nota. Ut i fra dette er det gjennomført en forenklet beregning av strømkreftene. Siden strømmen er konstant kan man neglisjere massekreftene, og strømkreftene per lengdeenhet notlintråd kan dermed beregnes som vist i avsnitt 3.3.3:

Ligning 3:

$$dF = \tfrac{1}{2}\rho_v \cdot C_D \cdot D \cdot |u| \cdot u = 1.23 \cdot u^2 \text{ [N/m]}$$

I Figur 3-10 er det plottet total strømkraft for ei hel ubegrodd not som funksjon av strømhastigheten, basert på Ligning 3. Plottet gjelder for en 12 m dyp standard not.



Figur 3-10: Strømbelastninger (dragkraft) som funksjon av strømhastigheten for ubegrodd not.

I Figur 3-10 kan man lese at belastningene fra strøm øker kraftig med strømhastigheten. En strømhastighet på 0,2 m/s gir en belastning i størrelsesorden 800 kg, mens en dobling av strømhastigheten til 0,4 m/s firedobler belastningen til 3.1 tonn. En strømhastighet på 0,7, gir en belastning på 10 tonn.

Dersom man antar at man har en strømhastighet på 0,5 m/s, får man en strømbelastning på 0,308 per meter notlintråd [N/m].

Strømbelastningen er i analysene modellert som en tyngdekraft i strømretningen. Tyngdekraften påføres som en tyngdeakselerasjon og den totale krafta er lik tyngdeakselerasjonen multiplisert med massen til nota. Tyngdeakselerasjonen kan beregnes som følger (Newtons 2. lov):

$$a = F/M = dF/dM$$

Hvor dM = masse per meter notlintråd.

$$dM = A \cdot \rho_{tråd} = \pi \cdot r^2 \cdot \rho_{tråd}$$

Hvor A = Tverrsnittsarealet til notlintråden

$\rho_{tråd}$ = Tettheten til tråden (ref. avsnitt 3.2).
R = Tråd-radius (D/2)

For 1 m notlintråd fås følgende:

Strømbelastning, $F = 0{,}308 \cdot 1 = 0{,}308$ N

Masse, $M = \pi \cdot 0{,}001^2 \cdot 1000 \cdot 1 = 0{,}00314$ kg $= 3{,}14$ g

Tyngdeakselerasjon, $a = 0{,}308 / 0{,}00314 = 98$ m/s^2

Det vil si at en strømhastighet på 0,5 m/s tilsvarer en tyngdekraft gitt ved en akselerasjon på omtrent 100 m/s^2 i strømretningen. I analysene av deformasjon i strøm, er det benyttet en akselerasjon på 40 m/s^2, som tilsvarer en strømhastighet på 0,32 m/s på ei ubegrodd not og en strømbelastning på 2 tonn.

Med lik tyngdeakselerasjon for alle elementer, er det massen som avgjør strømbelastningen på hvert element. Et element som representerer 40 tråder, vil ha 40 ganger så stort tverrsnittsareal som en enkel tråd. Dette betyr at massen til elementet og dermed strømbelastningen er 40 ganger så stor som for en tråd.

3.3.6 Heving

Nota løftes via loddtauene som er festet til bunnen. Først avlastes nota. Det vil si ei motsatt loddkraft settes på (1000 N for standard not). Samtidig holdes løftepunktet fast i horisontalplanet.

Det er valgt å analysere notmodellene for en konstant løftekraft på 2000 N (ca 200 kg). Hvor stor avstand man hever nota med denne kraften, varierer for de forskjellige modellene og hvilket loddtau man benytter for å heve nota. Det betyr at det er forskjell på hvor stor kraft man må benytte for å heve ei not. Størrelsen på nødvendig løftekraft er avhengig av notdesign og hvilke loddtau man benytter i løftet.

4 Resultater

4.1 Nøter

Resultatene fra analysene av nøter er oppsummert i Tabell 4-1 og diskutert i de følgende avsnittene. Belastningene i tau og notlin er gitt som spenning. Spenning er i dette tilfellet strekkraft delt på arealet til notlintråden.

Alle modellene er påsatt en jevnt fordelt kraft på ca 440 kg (beskrevet i avsnitt 3.3.3). For analyser av heveoperasjon, representerer denne krafta vannmotstanden for ei ubegrodd not hevet med en konstant hastighet på 0,32 m/s. For analyser av loddsatt not og not i strøm, representerer denne krafta begroing med ei egenvekt på totalt 440 kg i vann.

Tabell 4-1: Oppsummering av resultater fra analysene

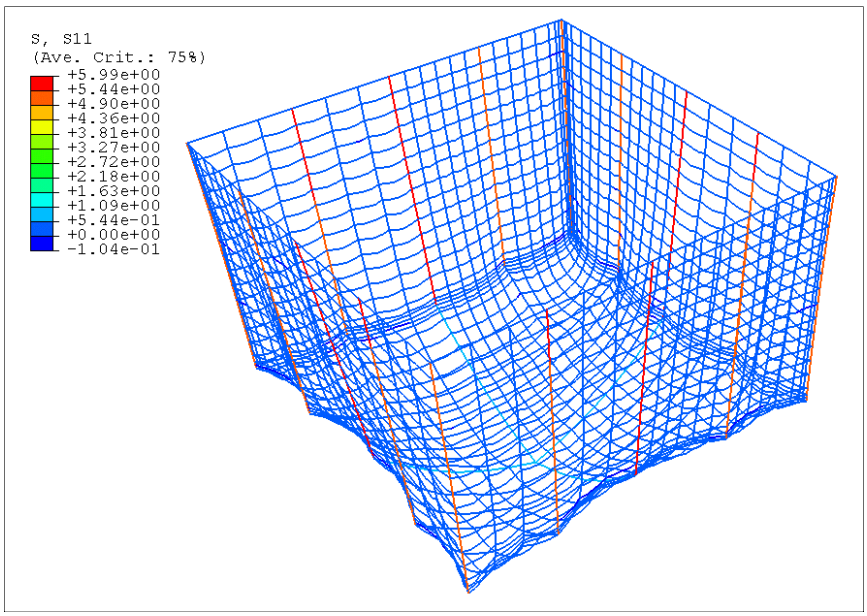
		Maksimal hevekraft [N]	Hevedistanse [m]	Maksimale spenninger i not [MPa]*	Maksimale spenninger i notlin [MPa]
Standard not	Loddsatt not. Figur 4-1.	-	-	6,0	< 0,5
	Not i strøm. Figur 4-2.	-	-	10,5 (hovedtau) 9,4 (sidetau)	4,4 (bunn) 1,5 (side)
	Heving via loddtau i forbindelse med krysstau. Figur 4-3.	2000	5,7	6.0	0,5 (bunn) < 0,5 (side)
	Heving via loddtau uten forbindelse med krysstau. Figur 4-4.	2000	4,7	6,8 (bunntau) 6,0 (sidetau)	3,7 (bunn) < 0,5 (side)
	Heving via loddtau i hjørne av nota. Figur 4-5.	2000	5,0	6,4 (bunntau) 6,0 (sidetau)	1,0 (bunn) < 0,5 (side)
	Bøyestivt bunntau, heving via loddtau uten forbindelse med krysstau. Figur 4-6.	2000	4,5	6,1	1,5 (bunn) > 1,5 (side)
Not med skrå tau	Loddsatt not. Figur 4-7.	-	-	12,9	0,5
	Not i strøm. Figur 4-8.	-	-	21,4	1,2 (bunn) 2,2 (side)
	Heving via loddtau. Figur 4-10.	2000	7,3	13,2	0,5 (side)
	Heving via loddtau i hjørne av nota. Figur 4-11.	2000	4,2	16,2	0,6 (side)
Not med skrå tau uten bunn- og hjørne-tau	Loddsatt not. Figur 4-12.	-	-	12,3	0,9 (side)
	Not i strøm. Figur 4-13.	-	-	21,4	1,0 (bunn) 2,1 (side)

*Ruter med en verdi gir spenninger i sidetau.

4.1.1 Standard not

Loddsatt not

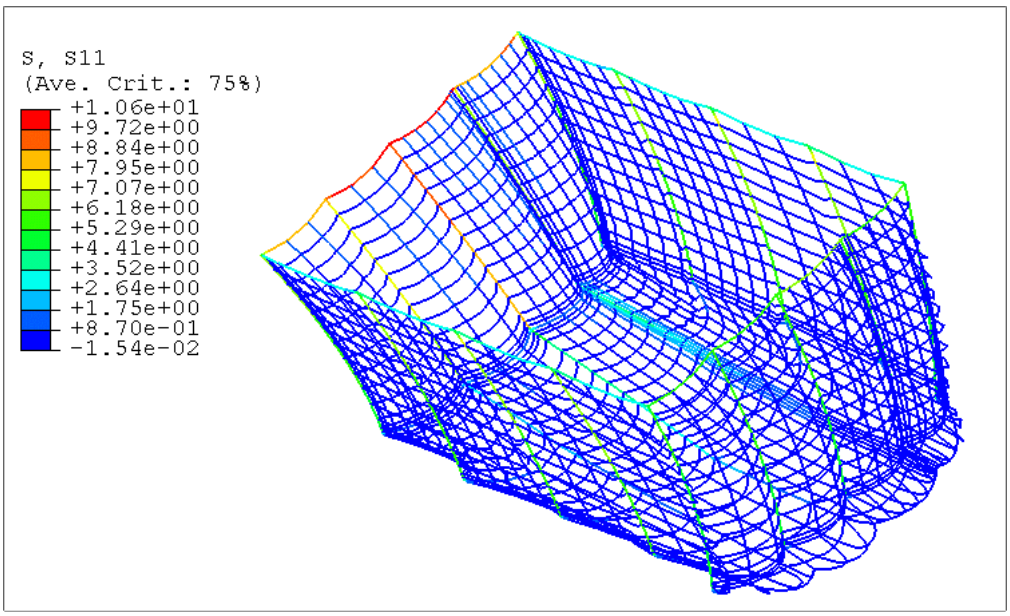
Loddsatt not i stille vann (Figur 4-1), har ingen spenninger av betydning i notlinet. Dette betinger selvsagt at nota er produsert på en slik måte at den ikke har lokale spenningskonsentrasjoner i notlinet ved innfesting til tauene, eller er sydd skeivt.



Figur 4-1: Standard not loddsatt i stille vann. Spenning [MPa].

Not i strøm

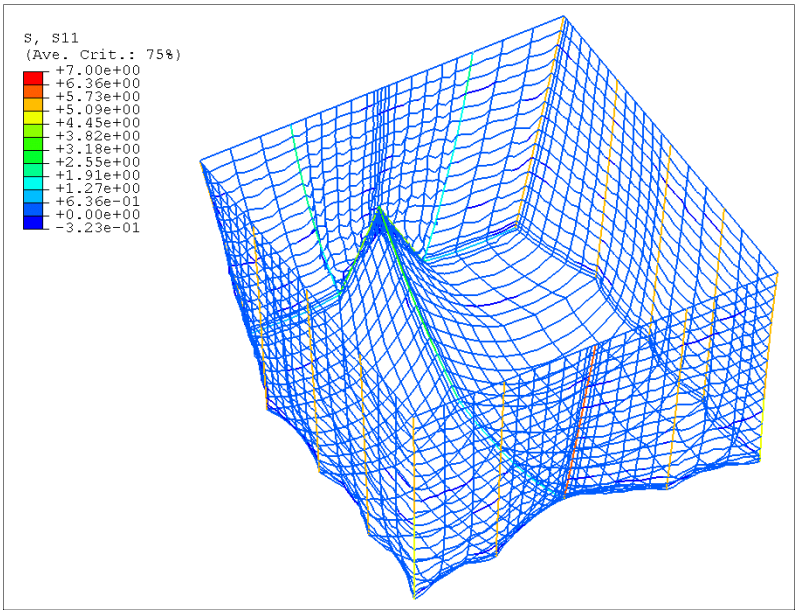
I strøm øker spenningene i tauverk og notlin betydelig. I bunnene ved loddene der man ikke har forbindelse til krysstau, får man relativt store belastninger i notlinet (Figur 4-2, se Vedlegg 3 for detaljert spenningsfordeling i notlinet). For ei begrodd not, gammel not, eller i sterkere strøm, kan dette føre til lokale svekkelser i notlinet. Det doble notlinet i bunnen ved bunntauet vil ikke hjelpe mot dette, da de store belastningene sprer seg over et stort område av bunnen (ca 4 meter).



Figur 4-2: Standard not i strøm. Spenning [MPa]. (Skalaen på spenningene er justert ned)

Heving av not

Heving av standard not via loddtau i forbindelse med krysstau (Figur 4-3), ser ikke ut til å introdusere økte belastninger verken i tauverk eller notlin sammenlignet med loddsatt not i stille vann.

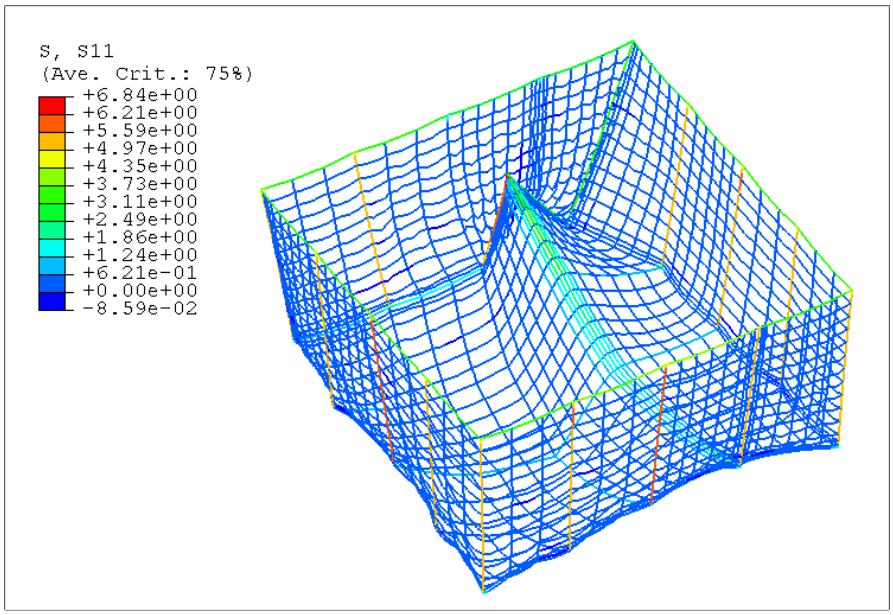


Figur 4-3: Heving av standard not via loddtau i forbindelse med krysstau. Spenning [MPa].

Analysen av heving av standard not via loddtau uten forbindelse med krysstau, avdekker betydelige belastningene i notlinet (Figur 4-4). Analysen avdekker ikke belastninger i notlinet av en størrelsesorden som antyder at man kan få varige deformasjoner eller lokale svekkelser i notlinet, men notlinet har belastninger som er ca 50 % av tillatte belastninger estimert i avsnitt 3.2.1. Det skal ikke mer til enn litt begroing på notlinet, større løftehastighet, større kraft eller et

realt rykk i starten på heveoperasjonen før man skader notlinet. Når notlinet er sydd til tauene med strekk i noen lokale områder, kan dette også bidra til å øke faren for riving av notlinet. Det er viktig at notlinet er uten belastninger når nota står uforstyrret i stille sjø. Spesielt i områder der flere tau møtes, kan man oppleve at notlinet har blitt strekt ut under produksjon.

Det doble notlinet i bunnen ved bunntauet ser ikke ut til å hjelpe mot riving av nota i dette tilfellet, da de store belastningene sprer seg over et stort område av bunnen (ca 4 meter). Bilder med justert spennings-skala, som avdekker spenningene i notlinet i detalj, er gitt i Vedlegg 3.

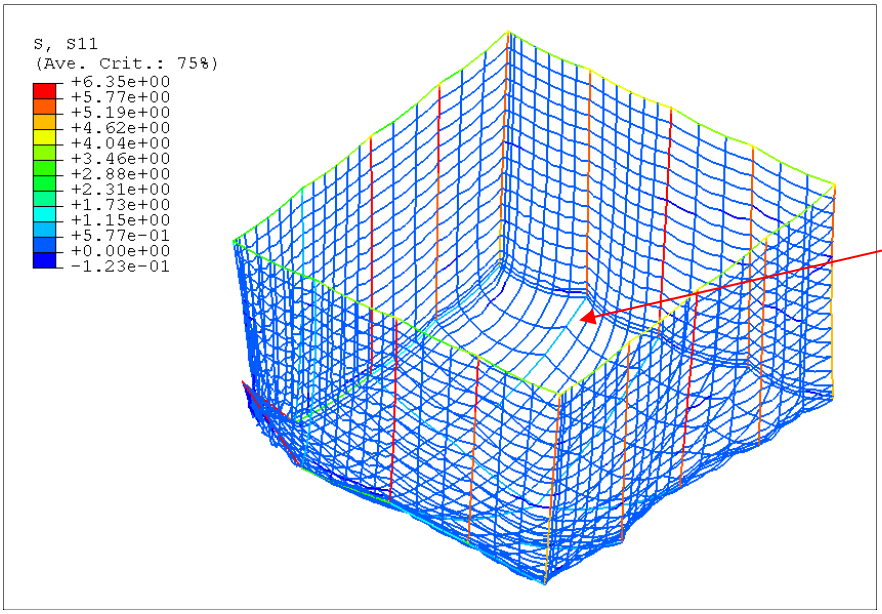


Figur 4-4: Heving av standard not via loddtau uten forbindelse med krysstau. Spenning [MPa].

Både analyser og erfaring viser at det er viktig å heve nota ved bruk av loddtau som har forbindelse med krysstau i bunnen. Flere rømmingstilfeller har vær en direkte årsak av at bunnen har manglet krysstau eller at nota har blitt håndtert feil.

Det er viktig å ikke heve et punkt i nota så mye at man begynner å dra på de andre loddene i nota. Dette vil øke belastningene i notlinet. Det beste er å laste av alle loddene før man starter heveoperasjonen, og gjenta dette når man eventuelt begynner å dra på loddene.

Heving via loddtau i hjørne av nota (Figur 4-5) gir en liten økning i belastningene i notlinet som ikke behøver å være kritisk. Dette gjelder spesielt i bunnen i områder der man ikke har krysstau (antydet med rød pil i Figur 4-5).



Figur 4-5: Heving av standard not via loddtau i hjørne av nota. Spenning [MPa].

Krysstau

Både analyser og erfaring viser at krysstau har en svært viktig funksjon i nota, både for firkantet og sirkulær not. Fra et styrkemessig ståsted, er det å anbefale at alle sidetau (mulig med unntak av hjørnetauene for firkantet not) har forbindelse med krysstau i bunnen. Dette er særlig viktig når nota er utsatt for store belastninger fra strøm. Det blir betydelige belastninger i notlinet i standard not i strøm i områder rundt festepunkt for lodd som ikke har forbindelse med krysstau. Ved tunge lodd og kraftig strøm må det vurderes om det skal gå krysstau fra alle festepunktene for lodd. Også her spiller begroing en viktig rolle med å øke belastningene i notlinet ytterligere.

Flere røktere sier at de ikke ønsker seg nøter med så mange krysstau. Dette har flere årsaker, og noen av de viktigste er:

- Faren for å få poser i bunnen og oppsamling av dau fisk ut mot sidene av nota.
- Flere krysstau øker faren for å få lokale tøyninger i notlinet (gjelder spesielt for sirkulær not)
- Nota blir tyngre å håndtere

Dersom man ikke skal ha krysstau fra alle sidetauene, bør disse områdene prioriteres:

- I forbindelse med loddtau som skal benyttes ved heving av nota
- I forbindelse med sidetau i områder hvor bunnen har liten geometrisk fleksibilitet. Dette skyldes at ved stor geometrisk fleksibilitet, vil ikke en liten tøyning føre til belastninger i notlinet. Notlinet har stor geometrisk fleksibilitet diagonalt på maskene (for eksempel i hjørnene av ei firkantet not). Det motsatte gjelder for områder der notlinet i bunnen går stolperett inn til siden, og det er derfor svært viktig å forsterke dette området med krysstau.

Generelt om riving av not

Håndtering som gir store belastninger i nota fører til slitasje på nota. Dette øker faren for rømming og reduserer levetida til nota. Selv om nota tåler hardhendt behandling en gang, er det ikke sikkert det går like bra neste gang. Store tøyninger i notlinet svekker styrken til notlinet. Styrken til notlinet reduseres over tid også på grunn av belastninger fra miljøet, slitasje og vedlikehold. Det er spesielt viktig at notlinet i overgangen mellom side og bunn (inkludert overgangen mellom enkelt og dobbelt notlin) ikke er betydelig slitt og svekket. Derfor bør man spesielt teste styrken til disse områdene når man har vedlikehold på nota.

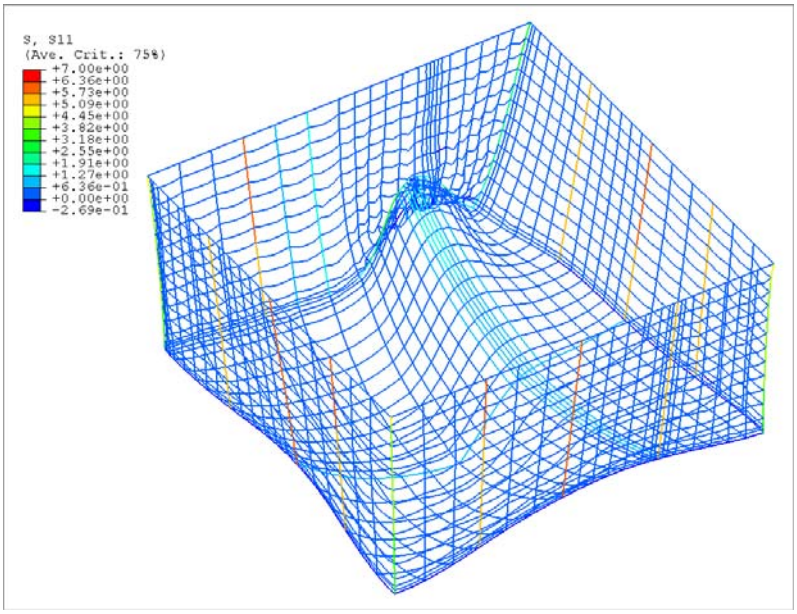
For å forhindre skader på not under håndtering og rømming av fisk, er det viktig å ha følgende i bakhodet:

- Man må hele tiden jobbe for å redusere lokale belastningene i notlinet
    - For å forhindre at notlinet svekkes under håndtering, kan man kun godta en belastning på noen få kilo i hver notlintråd.
    - Det er svært viktig å heve not ved bruk av tau som har forbindelse med krysstau i bunnen.
    - Nota bør kun håndteres via tauene. Ved lining av notlinet er det viktig at belastningene på notlinet er så lav så mulig (lite begroing, avlasting av lodd), slik at man kun behøver å bruke små krefter. Det er også viktig å fordele belastningene på så mange masker som mulig og unngå å dra i en enkelt tråd.
    - Ved produksjon av not er det viktig at tau syes inn i notlinet på en måte som ikke fører til lokalt strekk i notlinet. I tillegg må notlinet syes inn med passe slakk i forhold til tauene slik at tauene strammes opp uten at notlinet blir belastet.
- Det er viktig å redusere de totale belastningene på nota og vannmotstanden ved heving:
    - Det er viktig å ha minimalt med begroing, begroing øker belastningene på nota fra strøm og vannmotstanden under heving.
    - Ved heving av not er det viktig å unngå høy hastighet og akselerasjon av nota. Man må starte løfteoperasjonen svært forsiktig for å unngå rykk i nota og deretter heve med en lav og kontrollert hastighet. Dermed er det svært viktig å ha god kontroll over krefter i hjelpeutstyr som kraner og nokker.

Stikkord som stadig dukker opp i denne sammenhengen er å unngå/redusere: BEGROING og BELASTNINGER I NOTLIN. Klarer man å få kontroll over disse to faktorene er man på god vei mot et rømmingssikkert fiskeoppdrett.

Bøyestivt bunntau

Innføringen av et bøyestivt bunntau via (Figur 4-6) reduserer spenningene i notlinet med en faktor i størrelsesorden 3 i forhold til ei vanlig not ved heving av loddtau uten forbindelse med krysstau. Faren for riving av notlinet blir dermed redusert. I tillegg fører stålprofilet til at nota opprettholder volum i større grad (ikke analysert for strøm) og får en fin fasong med lite slakk.



Figur 4-6: Heving av standard not med bøyestivt bunntau via loddtau uten forbindelse med krysstau. Spenning [MPa].

4.1.2 Not med skrå tau

Ideen om ei not med skrå tau og diamond-orientert notlin, fikk i utgangspunktet delt respons fra referansegruppa. Likevel var alle enig i at dette var et interessant konsept å se nærmere på. Motargumentene var faren for å få slakk og poser i nota, og at nota kunne begynne å "fiske" i og med at maskene vil få en avlang fasong (det kan bli større sjanse for at smolt setter seg fast i notlinet).

Generelt sett får denne typen nøter større belastninger i tauene enn ei standard not. For å gjøre en sjekk på om dette kan kreve kraftigere tau, er det utført en enkel beregning.

Maksimal statisk spenning i tauene finnes for not i strøm, hvor $\sigma = 21.4$ MPa. Dette gir en maksimal strekkraft på:

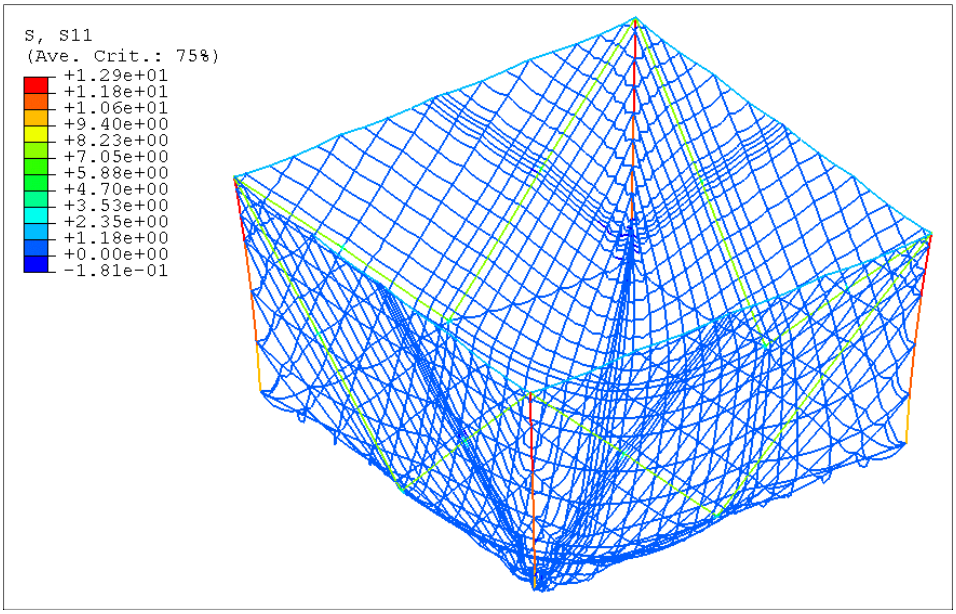
$$F = \sigma \cdot A = 21.4\ \text{MPa} \cdot \left(\pi \cdot (0.008\ \text{m})^2\right) = 4300\ \text{N} = 440\ \text{kg}.$$

Tauene har en bruddstyrke på 4500 kg, dermed har tauet en sikkerhetsfaktor på 10 i forhold til maksimal strekkraft. Det er tilstrekkelig i følge NS 9415, Referanse 7.

Loddsatt not

Som beskrevet i avsnitt 3.3.1, er nøtene modellert med minst 3 innfestingspunkter til flyteren langs hver side (i tillegg til hjørnene). Siden nota med skrå tau kun har et skjæringspunkt mellom hoved- og sidetau på hver side, vil to innfestingspunkt på hver side ikke ha noen forbindelse til sidetau. Dette fører til at man får en liten spenningskonsentrasjon ved disse innfestingspunktene, men den er relativt liten.

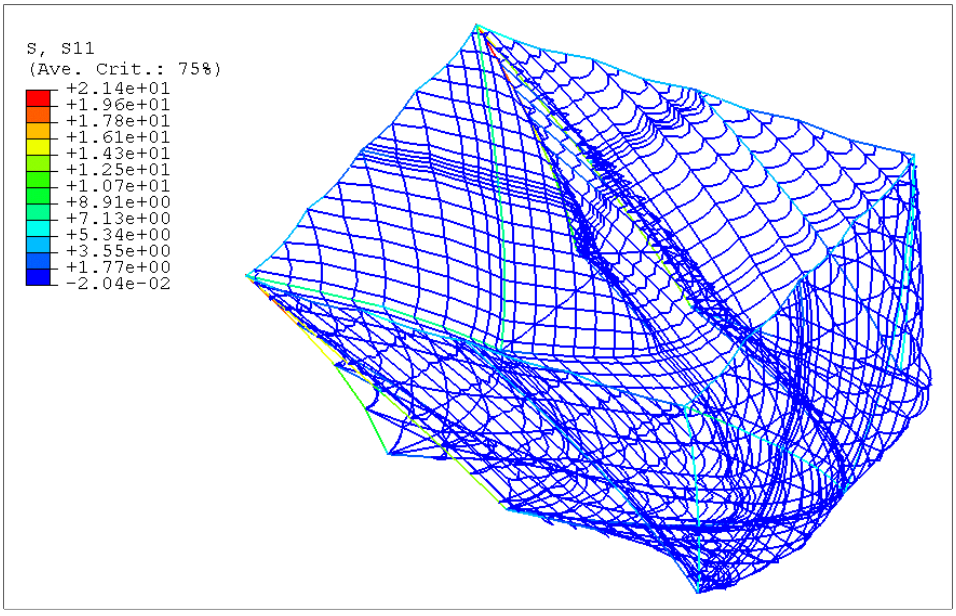
Bekymringene for slakk i notlinet kan se ut til å være berettiget. I Figur 4-7 kan man observere slakk i notlinet og potensielle poser i bunnen, særlig i området rundt hjørnetauene.



Figur 4-7: Not med skrå tau loddsatt i stille vann. Spenning [MPa].

Not i strøm

Not med skrå tau utsatt for strømbelastninger, får mindre spenninger i notlinet sammenlignet med standard not. Spenningene er redusert med i størrelsesorden 80 % i forhold til standard not i strøm. Også her observeres det mye slakk i notlinet til not med skrå tau.



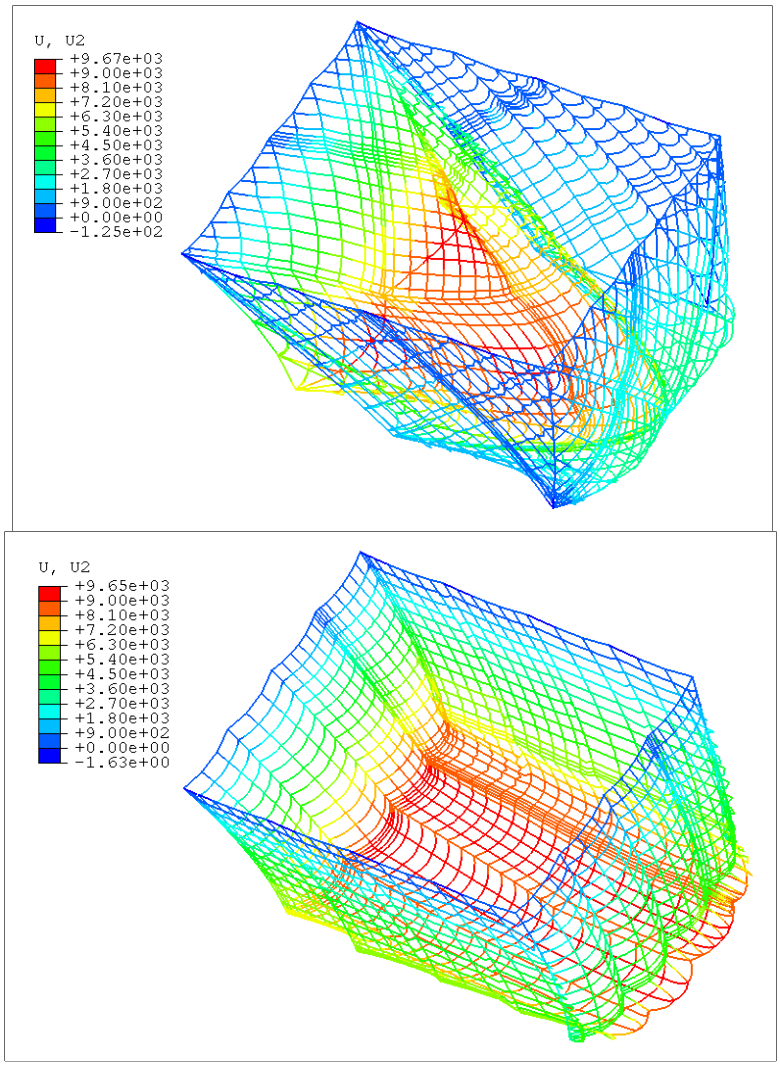
Figur 4-8: Not med skrå tau i strøm. Spenning [MPa].

Figur 4-9 sammenligner deformasjon av not med skrå tau og standard not. For not med skrå tau deformeres lo side mer enn le, side slik at tap av volum blir større enn i standard not. Le side deformeres i mindre grad i not med skrå tau enn standard not, slik at faren for å få propellen til

båter i nota bør være mindre. Vedlegg 6 gir en sammenligning av vertikal deformasjon i de to forskjellig nøtene i strøm. Forskjellen i vertikal deformasjon er ikke stor.

Figur 4-9 indikert også at faren for at notlinet gnager mot loddene i strøm, er mindre enn for standard not. Bunnen buler ikke ut på le side som den gjør for standard not.

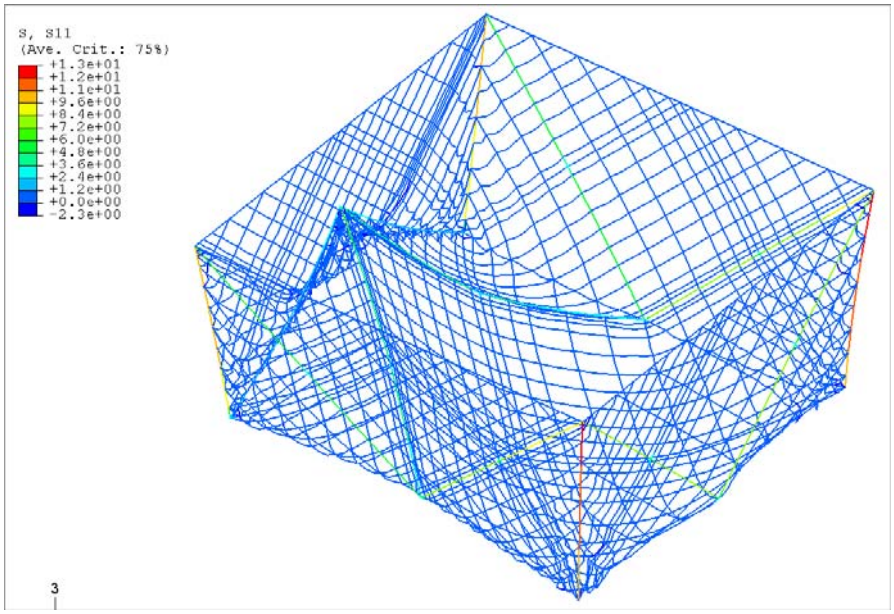
Det er viktig at nye notdesign ikke har dårligere egenskaper enn standard nøter. Det inkluderer god opprettholdelse av notvolum for å sikre god fiskevelferd, effektiv foring med mer.



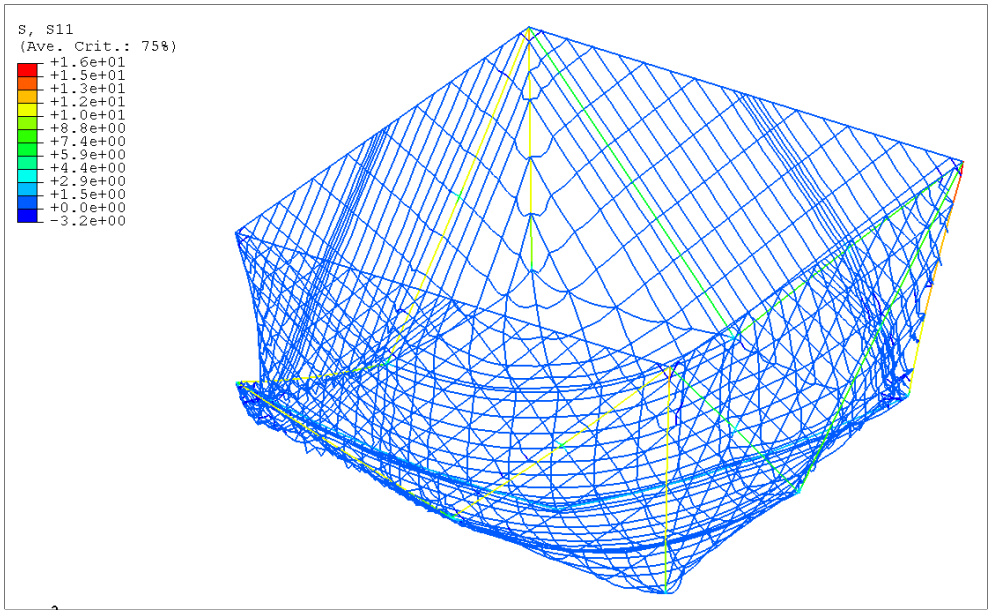
Figur 4-9: Sammenligning av deformasjon i strøm. Fargeskalaen gir horisontal forskyvning i millimeter.

Heving av not

En stor fordel med nota med skrå tau, er at man kan heve nota ved hjelp av alle loddtauene (det finnes ingen ”FY-tau”). Uansett hvilket tau man benytter for å heve nota får man kun små belastninger i notlinet. Figur 4-10 og Figur 4-11 viser belastningene ved heving av not med skrå tau.



Figur 4-10: Heving av not med skrå tau via loddtau. Spenning [MPa].

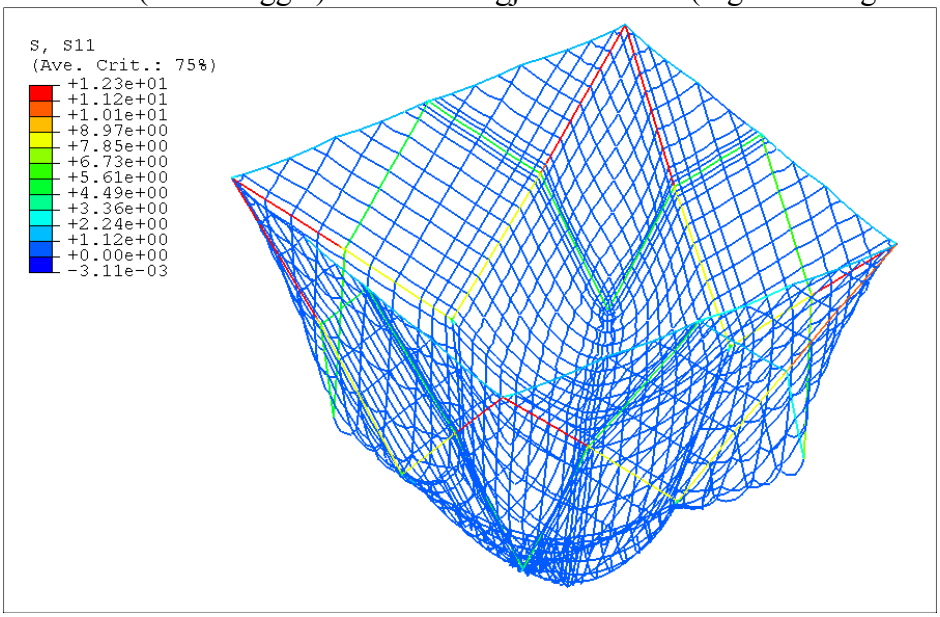


Figur 4-11: Heving av not med skrå tau via loddtau i hjørne av nota. Spenning [MPa].

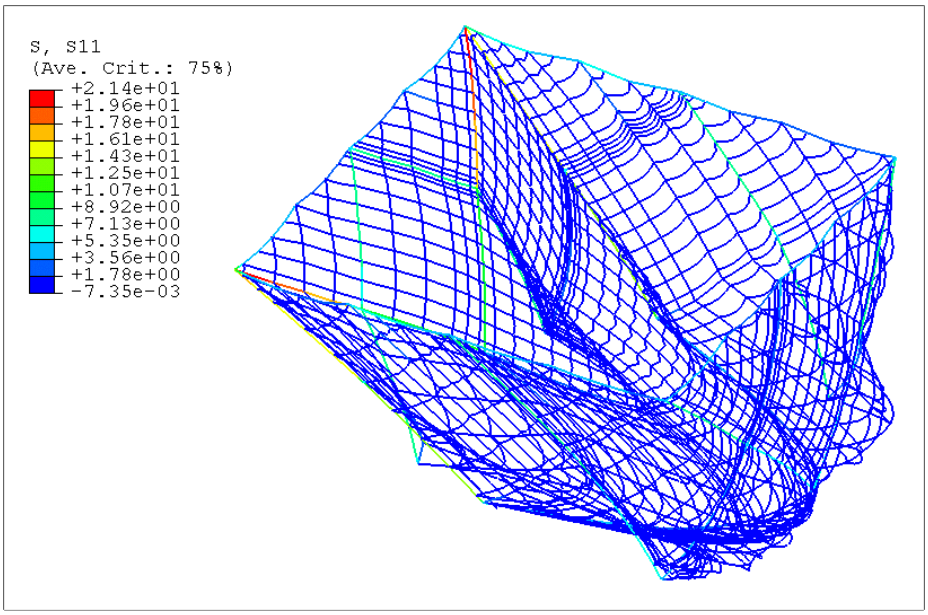
Not med skrå tau uten bunn- og hjørnetau

Det viser seg at å sy tau diagonalt på notlinet fører til poser i nota. Derfor har vi også forsøkt å fjerne hjørne- og bunntau fra konseptet ”not med skrå tau”, slik at alle tau følger notlinet

stolperett. Analysene (Figur 4-12) viser derimot at dette fører til mer slakk i notlinet og store deformasjoner av nota (se Vedlegg 5). Det samme gjelder i strøm (Figur 4-13 og Vedlegg 6).

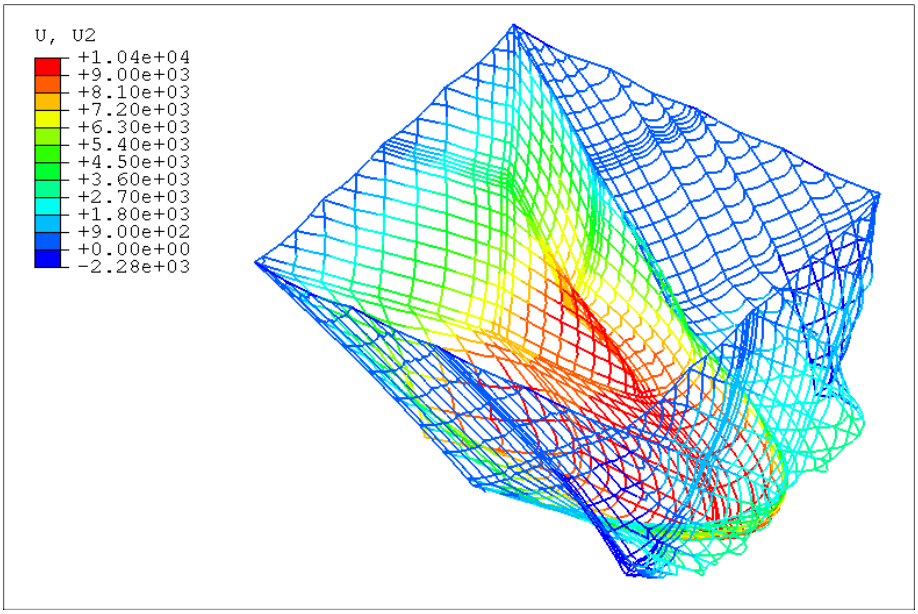


Figur 4-12: Loddsatt not med skrå tau uten bunn- og hjørnetau. Spenning [MPa].



Figur 4-13: Not med skrå tau uten bunn- og hjørnetau. Belastninger i strøm. Spenning [MPa].

Heving av nota har ikke blitt analysert. Volum i strøm er vist i Figur 4-14. Deformasjonen er noe større enn for not med hjørne- og bunntau.



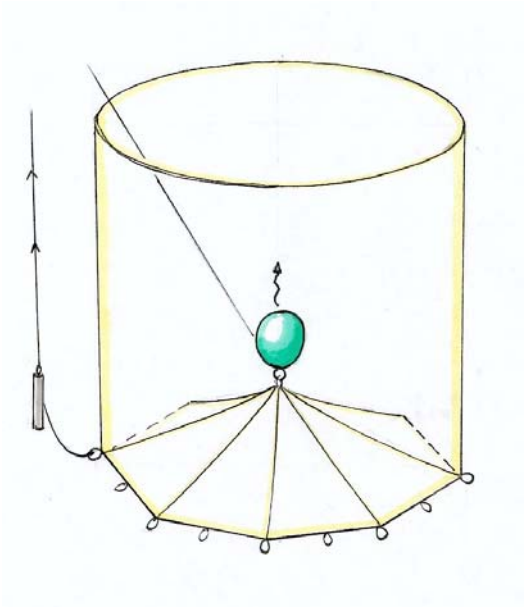
Figur 4-14: Not med skrå tau uten bunn- og hjørnetau. Horisontal deformasjon i strøm. Fargeskalaen gir horisontal forskyvning i millimeter.

4.1.3 Alternative notkonsepter

I Referanse 2 er det presentert et stort antall alternative notkonsepter som er utviklet i prosjektet *Nye rømmingssikre merdkonsept*. Dette avsnittet inneholder en vurdering av egenskapene til noen av disse konseptene. Det refereres til Referanse 2 for detaljerte beskrivelser av konseptene.

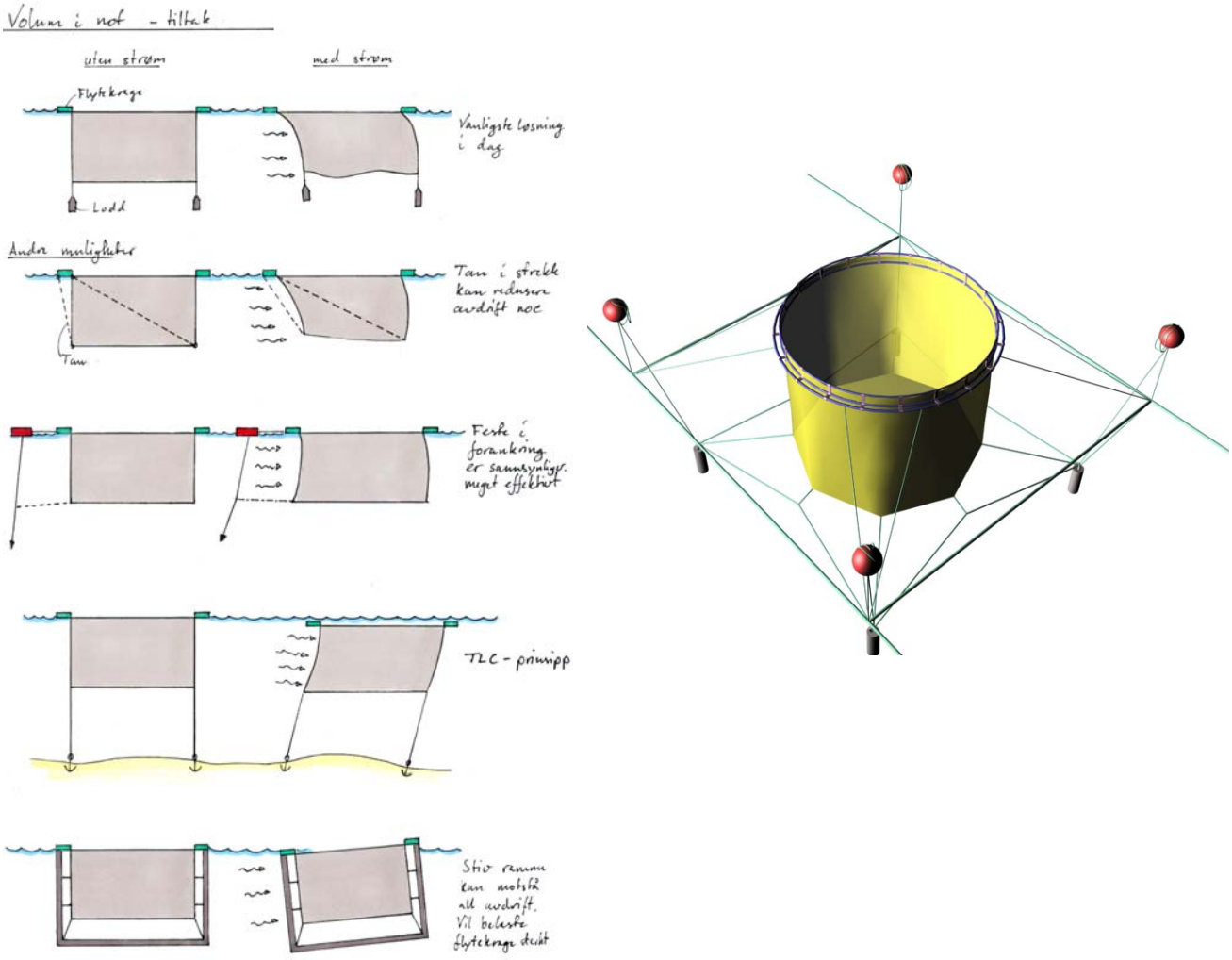
I prosjektet *Nye rømmingssikre merdkonsept*, har anvendelsen av ”nye” materialer i not og notlin blitt vurdert. Det har spesielt vært fokusert på såkalte superfiber med handelsnavn som Spektra og Dyneema. Notlin produsert av disse fibrene kan ha omtrent dobbel bruddstyrke i forhold til tradisjonelt notlin av nylon. Dermed kan man tenke seg at det er mulig å utvikle en not som ikke har tau som skal bære kreftene, men at notlinet kan ta belastningene direkte. Der det er behov for ekstra styrke, for eksempel i bunnen eller i forbindelse med lodd, kan man forsterke nota ved å sy inn en fold i notlinet slik at man får et trippelt lag med notlin.

Referanse 2 foreslår også nye metoder for håndtering av not. I ei sirkulær not er det senter av bunnen som er det sterkeste punktet på grunn av alle krysstauene, og av den grunn vil det være svært gunstig å benytte dette punktet ved håndtering av nota. Ved å heve dette punktet (ved hjelp av for eksempel ei kran eller ei blåse), vil man deretter kunne heve nota via loddtauene uten at man får betydelige belastninger i notlinet i bunnen. Dette er illustrert i Figur 4-15.



Figur 4-15: Løft av notbunn ved hjelp av blåse.

Et ”vanlig” lodd festet i enden av et sidetau vil fungere som en pendel, og det skal liten kraft til for å flytte loddet horisontalt. En konsekvens av dette er at nota vil få en kraftig deformasjon i sterk strøm uansett hvor store lodd man har. For lokaliteter med sterk strøm, må man altså tenke nytt for å sikre lønnsomt oppdrett og god fiskeveldferd. Man må bort fra ”pendelen” og innføre tau fra bunnen med en mer horisontal orientering. Figur 4-16 gir eksempler på forskjellige løsninger som oppnår nettopp dette. Det kan være tau på skrå fra lodd til flyter, lodd som har forbindelse med forankringssystemet eller ei stiv ramme.



Figur 4-16: Forskjellige løsninger for å opprettholde volum i not utsatt for strøm.

4.2 Notlin

En vurdering av nye notlinmaterialer, rivestopp i notlin, mekanismer i forbindelse med revning av not og skjæring og orientering av notlin er gitt i Referanse 2.

4.2.1 Diskusjon av generell oppførsel til notlin

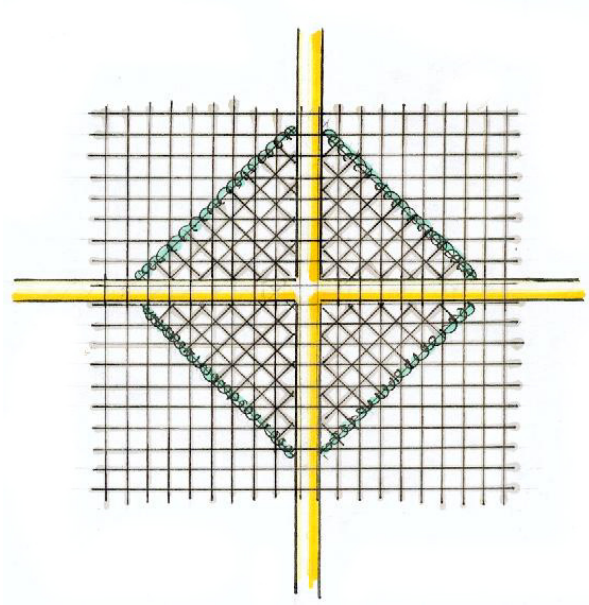
Egenskapene til notlinet vil forandre seg over tiden. E-modulen eller spenning / tøyning – kurven til notlinet (Figur 3-7) vil ha en betydelig variasjon, både lokalt og globalt, og det samme gjelder styrken til notlinet. Faktorer som påvirker styrken og elastisiteten til notlinet i betydelig grad er blant annet:

- Varige deformasjoner på grunn av relativt store belastninger i notlinet
- Impregnering og vask av nota
- Fremmedlegemer som trenger inn i fibrene, blant annet fra begroing
- UV-stråler fra dagslys
- Inntregning av vann i fibrene

- Generell slitasje fra nærliggende komponenter som flytekrage og lodd

Kombinasjon av notlin med forskjellig orientering er et interessant prinsipp, men det kan vise seg vanskelig å få til å fungere i praksis fordi det begrenser geometrisk tøyning av notlinet i skjæringsområdet og man får lokale spenninger og poser i nota. Et eksempel på å forsøke å utnytte de varierende tøyningsegenskapene til notlin med varierende orientering er gitt i avsnitt 4.2.2.

Et annet eksempel på anvendelse av forskjellige retninger på notlinet, observert på oppdrettsnøter i bruk, er vist i Figur 4-17. Dobbelt notlin er lagt inn med orientering 45 grader i forhold til hverandre. Denne doblingen vil ikke ha noen gunstig effekt, i verste fall vil bare det ene laget med notlin ta alle belastningene fra miljø og håndtering. Dette skjer fordi notlinet vil tøye seg i det ene laget mens det andre strammes opp. For at dobbelt notlin skal ha optimal effekt på styrken til nota, må forsterkningen syes inn med samme orientering som notlinet i nota.

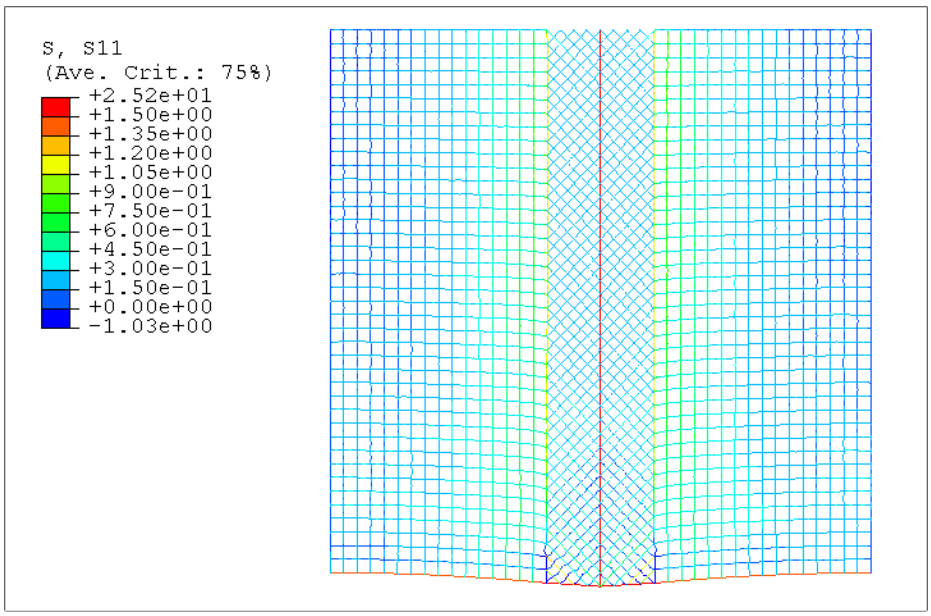


Figur 4-17: Dobbelt notlin vridd 45 grader i forhold til hverandre. Vil ikke ha noen gunstig effekt.

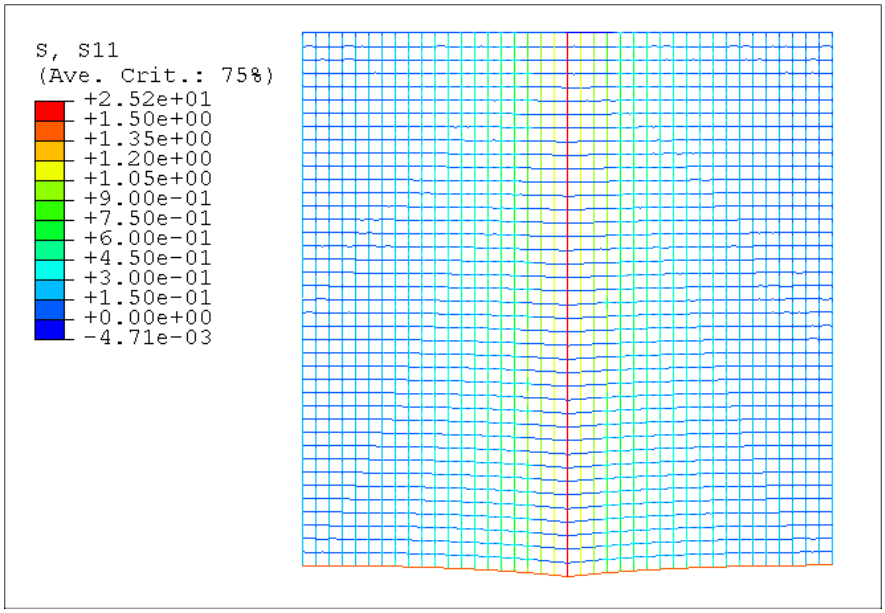
Effekt av dynamiske belastninger på notlin med maskebrudd er definert som et mulig mål i delprosjektet. Tanken bak er at for eksempel bølger kan bidra til at små skader utvikler seg til å bli store hull. Dette er et interessant tema, men det ble ikke opp som et hovedproblem i spørreundersøkelsen SFH gjennomførte i Referanse 1. Grunnen til dette kan være at det er et ”usynlig” problem for næringa. Småskader i øverste del av nota repareres som regel etter hvert, mens små hull under vann ikke kan følges opp på samme måte slik at man ikke har noen erfaring med eventuell sprekkvekst. Dette er et omfattende tema som krever mye arbeid og det er derfor valgt å ikke se nærmere på dette i dette prosjektet.

4.2.2 Tau med fjæringselement

Et notlinpanel får like stor deformasjon og like store spenninger med og uten fjæringselement rundt tauet (se Figur 4-18 og Figur 4-19). Dermed kan ikke denne analysen avdekke noen effekt av slike fjæringselement.



Figur 4-18: Aksielle spenninger i notlinpanel for tau med fjæringselement [MPa] (skalaen på spenningene er justert ned).



Figur 4-19: Aksielle spenninger i notlinpanel for tau uten fjæringselement [MPa] (skalaen på spenningene er justert ned).

5 Konklusjon

Numeriske analyser er et nyttig verktøy for å vurdere belastninger i nøter og følgelig fare for revning og påfølgende rømming av fisk. Resultatene fra analysene gjennomført i dette arbeidet stemmer godt over ens med praktisk kunnskap, men gir også ytterligere opplysninger og dokumentasjon. Analysene er nyttig for å vurdere effekten av modifikasjoner av notkonstruksjoner, nye notkonsepter og lignende.

Resultatene viser at det er viktig å heve firkantede nøter via tau som har forbindelse med krysstau i bunnen. Tau i hjørnene kan også benyttes, men dette kan føre til belastninger i bunnen som kan bli kritiske ved hurtig heving av tungt begrodd not.

I et forslags som foreligger til revisjon av notdelen til NS 9415, legges det begrensninger for hvilke tau som kan benyttes ved heving av not. Disse tauene er kalt ”Løftetau” i forslaget til revisjon, og er definert som ”sidetau som fortsetter videre i krysstau”. Dermed oppnår man sikker håndtering uten å behøve å oppdimensjonere hele nota. Men man skal være klar over at i sterk strøm vil man kunne få belastninger i notlinet i områder rundt lodd uten forbindelse med krysstau i bunnen. Man bør derfor vurdere om det skal være et krav at firkantede nøter som skal stå i sterk strøm skal ha krysstau fra alle lodd, muligens unntatt loddene i hjørnene.

Av praktiske årsaker, er det ikke entydig at mange krysstau er en god løsning. Mange krysstau øker faren for å få poser i bunnen og oppsamling av død fisk ut mot sidene av nota, og lokale tøyninger i notlinet. I tillegg blir nota tyngre å håndtere, noe som kan gi økte belastningene i nota under håndtering.

Dersom man ikke skal ha krysstau fra alle sidetauene, bør disse områdene prioriteres:

- I forbindelse med loddtau som skal benyttes ved heving av nota
- I forbindelse med sidetau i områder hvor bunnen har liten geometrisk fleksibilitet. Dette gjelder spesielt for områder der notlinet i bunnen går stolperett inn til siden.

Det nye notkonseptet ”not med skrå tau” kan heves via alle loddtauene uten at det ser ut til å gi betydelige belastninger i notlinet. Nota har også betydelig mindre belastninger i notlinet i strøm enn standard not. I tillegg har nota en fasong i strøm med begrenset deformasjon av le side som reduserer sjansen for å få skader på nota fra gnag og konflikt med propeller fra arbeids- og brønnbåter. Analysene indikerer også at faren for at notlinet gnager mot loddene i strøm, er mindre enn for standard not. Ulempen med denne nota er at notlinet flere steder rynker seg og går i slakk. Dette kan blant annet føre til poser i hjørnene i bunnen. Slike poser kan være lite gunstig i praksis da de kan føre til oppsamling av død fisk.

Håndtering som gir store belastninger i nota fører til slitasje på nota. Dette øker faren for rømming og reduserer levetida til nota. Selv om nota tåler hardhendt behandling en gang, er det ikke sikkert det går like bra neste gang. I tillegg reduseres styrken til notlinet over tid på grunn av belastninger fra miljøet, slitasje/gnag og vedlikehold. Det er spesielt viktig at notlinet i overgangen mellom side og bunn (inkludert overgangen mellom enkelt og dobbelt notlin) ikke er betydelig slitt og svekket. Derfor bør man spesielt teste styrken til disse områdene når man har vedlikehold på nota.

Stikkord som stadig dukker opp i denne sammenhengen er å unngå/redusere: BEGROING og BELASTNINGER I NOTLIN. Klarer man å få kontroll over disse to faktorene er man på god vei mot et rømmingssikkert fiskeoppdrett.

6 Anbefalinger for videre arbeid

- Studere mekanismene når notlin revner. Eventuelt effekt av dynamiske belastninger på notlin med maskebrudd.
- Etablere data for materialegenskaper til notlin. Både for av- og pålastning. For nytt og brukt notlin, impregnert, begrodd, vått og tørt etc. Tallfeste elastisk og plastisk deformasjon.
- Analyser med ABAQUS Aqua for å få direkte beregning av drag- og massekrefter.
- Finne riktig diameter av notlintråd for bruk i styrkeberegninger med strikket notlin

7 Referanser

Referanse 1 Heidi Moe, Roar Pedersen og Mats A. Heide, SINTEF Fiskeri og Havbruk. *Oversikt over notsystemer, nye rømmingssikre merdkonsept*. 2003.

Referanse 2 Mats Augdal Heide og Heidi Moe, SINTEF Fiskeri og Havbruk. *Alternative notkonsepter, nye rømmingssikre merdkonsept*. 2004.

Referanse 3 Olav H. Slaattelid, MARINTEK: *Strekk/forlengelse av notpanel, forsøk*. 1993.

Referanse 4 Olav H. Slaattelid, MARINTEK: *Materialdata og egenskaper for notlin og tau*. 1993.

Referanse 5 Harald Ormberg, MARINTEK: *Hydrodynamiske belastninger i nøter*. 1994.

Referanse 6 *MatWeb Materials Selection Guide* (http://www.matweb.com).

Referanse 7 NS 9415 *Flytende oppdrettsanlegg - Krav til utforming, dimensjonering, utførelse, installasjon og drift*. 2004.

Referanse 8 Michael F. Ashby & David R. H. Jones, Cambridge University: *Engineering Materials –An Introduction to their Properties and Applications*.

8 Vedlegg

Vedlegg 1 Definisjon av standard not

Vedlegg 2 Verifisering av mesh

Vedlegg 3 Standard not

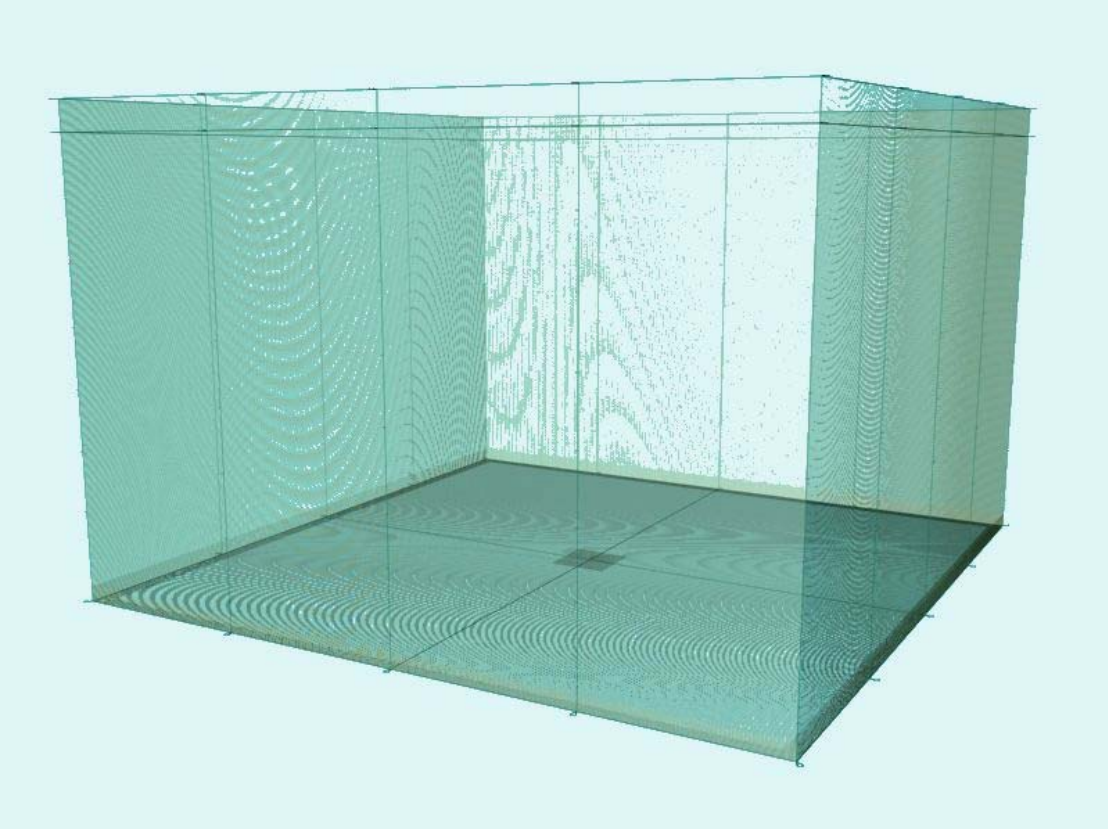
Vedlegg 4 Not med skrå tau

Vedlegg 5 Deformasjon av loddsatte nøter i stille vann

Vedlegg 6 Deformasjon av loddsatte nøter i strøm

Vedlegg 1: Definisjon av standard not (våren 2003).

Mørenot har definert en standard firkantet not som skal benyttes som grunnlag for design og styrkebergninger av nøter. Denne er illustrert i Figur 1 og beskrevet i dette vedlegget.



Figur 1: Tredimensjonal illustrasjon av standard firkantnot.

Hoveddimensjoner

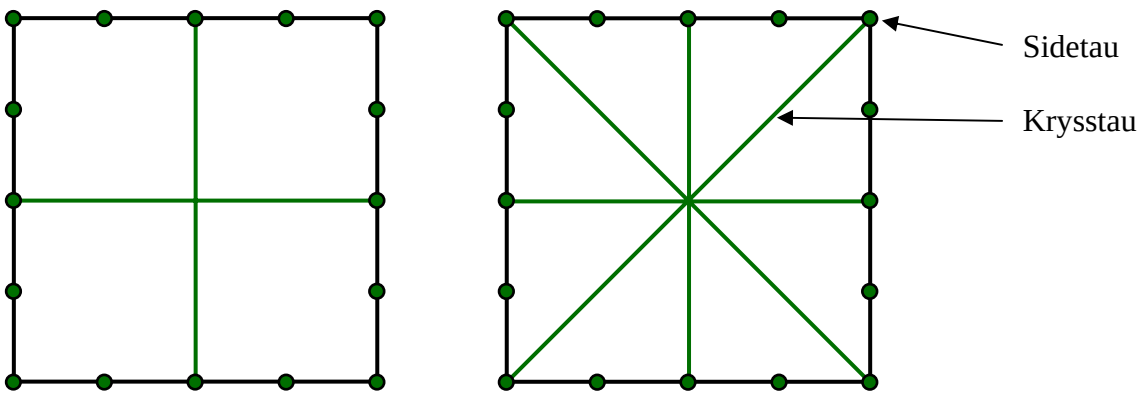
Bredde	= 24 meter
Dybde	= 15 meter
Høyde av hoppenett	= 1 meter

Tau

Alle tauene i nota av type 16 mm Danline med bruddstyrke på 4500 kg.

Nota har topptau, hovedtau, bunntau, 16 sidetau og to krysstau som går på tvers over bunnen fra midt på side til midt på motsatt side (vist i Figur 1 og Figur 2).

Nota er sydd med 1.8 mm flettet nylon



Figur 2: Skisse av bunn til typisk firkantnot. Figur til venstre viser bunnen slik den ble definert av Mørenot våren 2003, mens figuren til venstre viser hvordan bunnen kan utformes for å tilfredsstille NS 9415 (pr 01.04.2004).

Notlin

Notlinet er flaggorientert. Det er benyttet knuteløs notlin nr 32 uk R –25.5 mm halvmaskevidde med en bruddstyrke på 118 kg. Notlinet er sydd med nylontråd nummer 36 som har en brukkstyrke på 136 kg og en tykkelse på ca 2,0 mm.

Sammenføying

Alt notlin og tauverk er sydd med maskin.

Innfesting til flytekrage

16 tauløkker som er festet i kryssningen mellom hovedtau og sidetau knytes fast til merden med tau.

Forsterkninger

Dobbelt notlin er benyttet i overgangen mellom side og bunn, 0.5 m opp på sider og 0.5 m inn på bunn. 2x2 m midt på bunnen er også forsterket med dobbelt notlin.

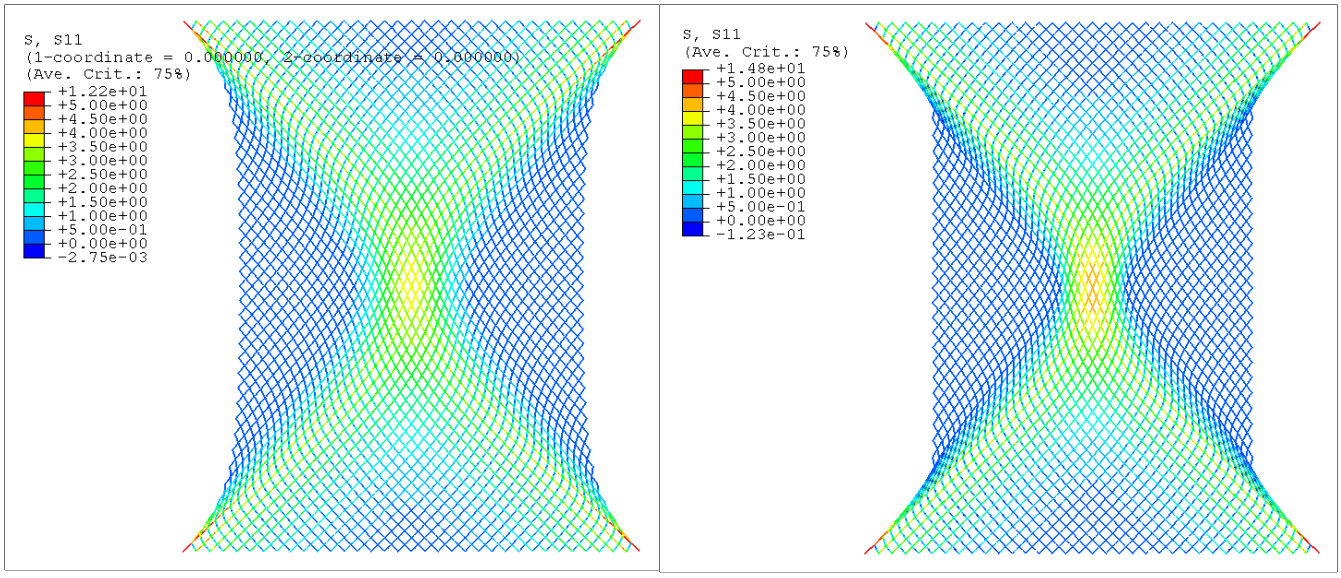
Loddsetting

16 lodd på maksimum 100 kg per stykk er montert i tauløkker på bunnen av hvert stavtau. Loddene er festet i et opphalertau som er tredd gjennom sju ringer som er festet i sidetauet.

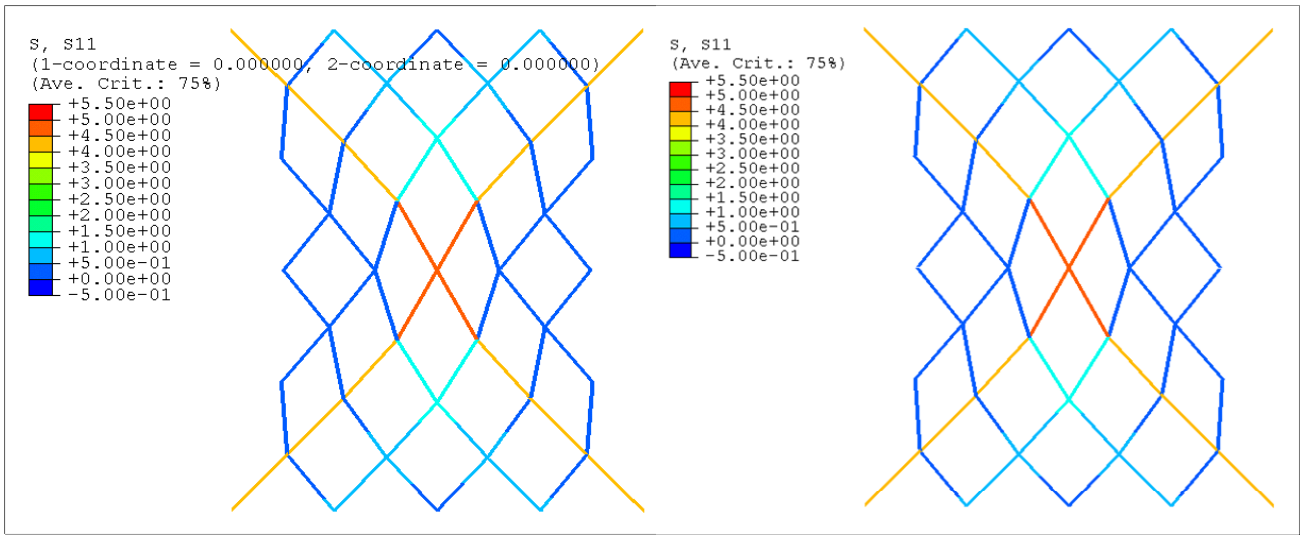
Vedlegg 2: Verifisering av mesh

For å verifisere det forenklede meshet, har vi laget en modell av et stykke notlin med diamond-orientering og dimensjon 1,0 x 1,0 m. Det er laget en modell hvor hver enkelt maske er modellert, samt en modell med ekvivalente notlin-element.

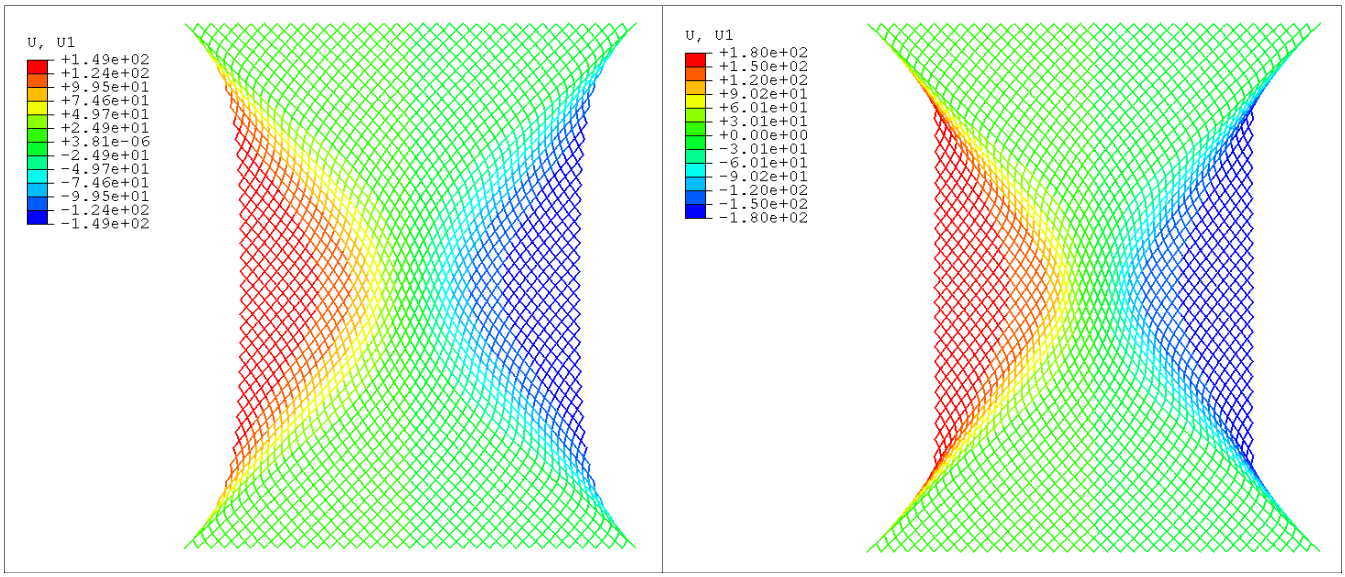
Som vi ser i Figur 1 til Figur 4, er forskjellen mellom bruk av bjelke- og stavelement forsvinnende liten ved bruk av ekvivalente elementer. Størrelsen på spenningene og deformasjonene for de ekvivalente elementene ligger nært opptil resultatene fra analysene av modellen hvor hver maske er modellert.



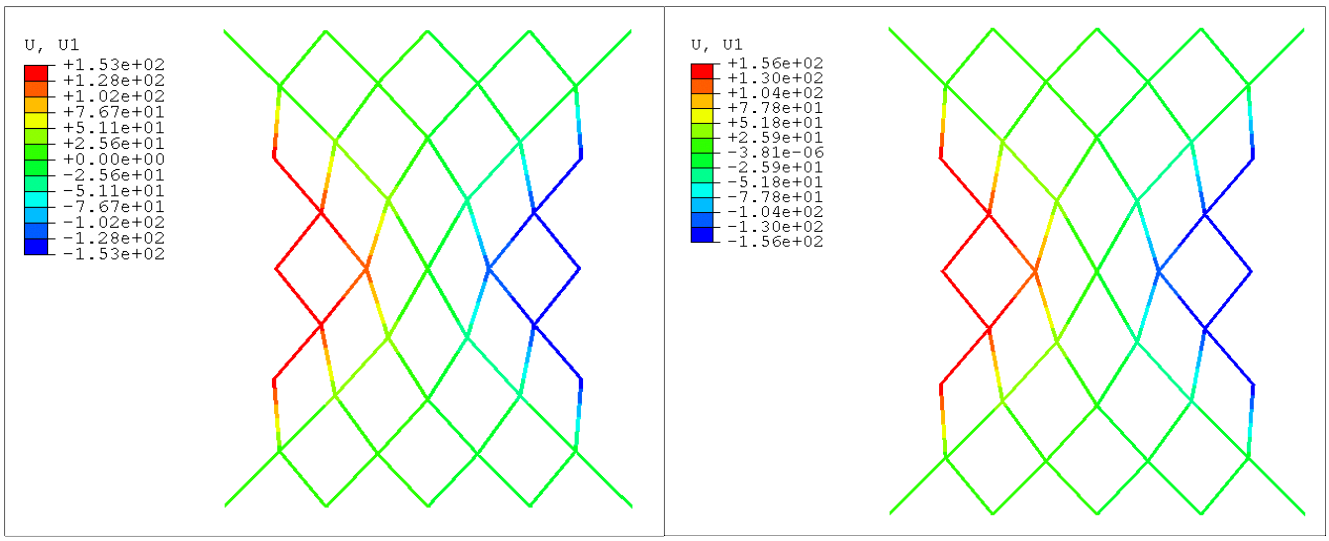
Figur 1: Aksiell spenning i notlin modellert med bjelkeelementer (venstre) og stavelementer (høyre). Spenning [MPa].



Figur 2: Aksiell spenning i notlin modellert med globale notlin-element. Bjelkeelementer (venstre) og stavelementer (høyre). Spenning [MPa].



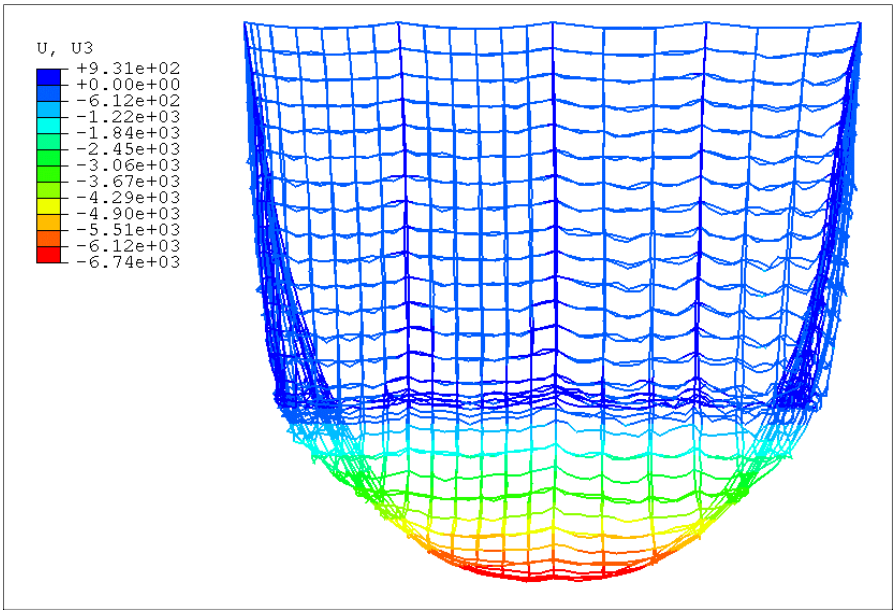
Figur 3: Tverrkontraksjon av notlin modellert med bjelkeelementer (venstre) og stavelementer (høyre). Horisontal deformasjon [mm].



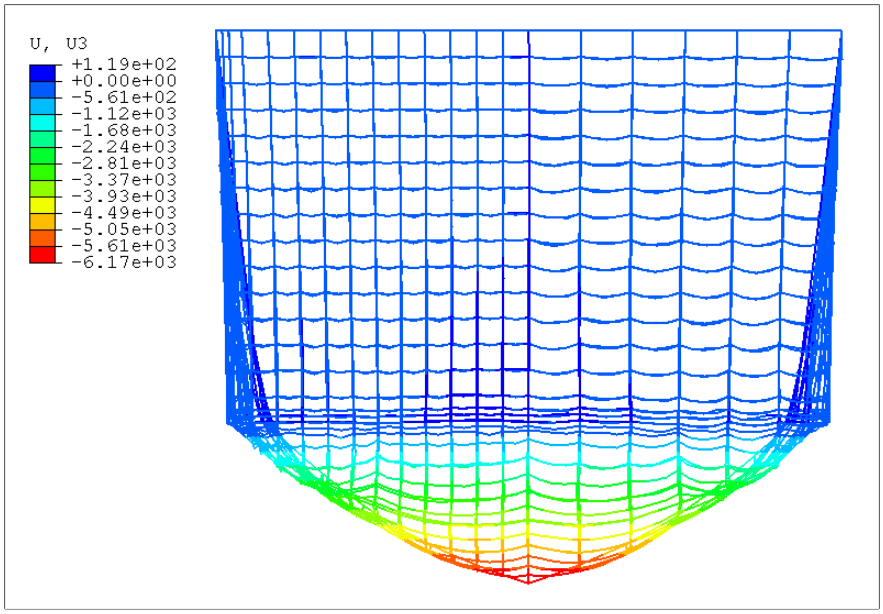
Figur 4: Tverrkontraksjon av notlin modellert med globale notlin-element. Bjelkeelementer (venstre) og stavelementer (høyre). Horisontal deformasjon [mm].

Vedlegg 3: Standard not

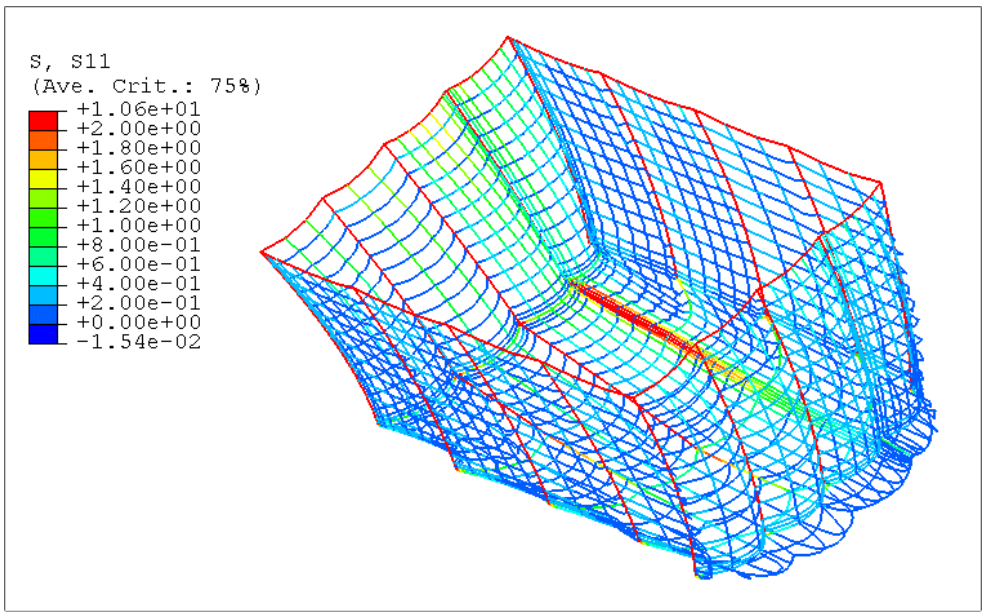
Figur 1 og Figur 2 viser standard not henholdsvis med og uten lodd i stille sjø. Når nota loddes ut får den en mer ”kubisk” form. Både vertikal og horisontal deformasjon reduseres og linet strammes opp.



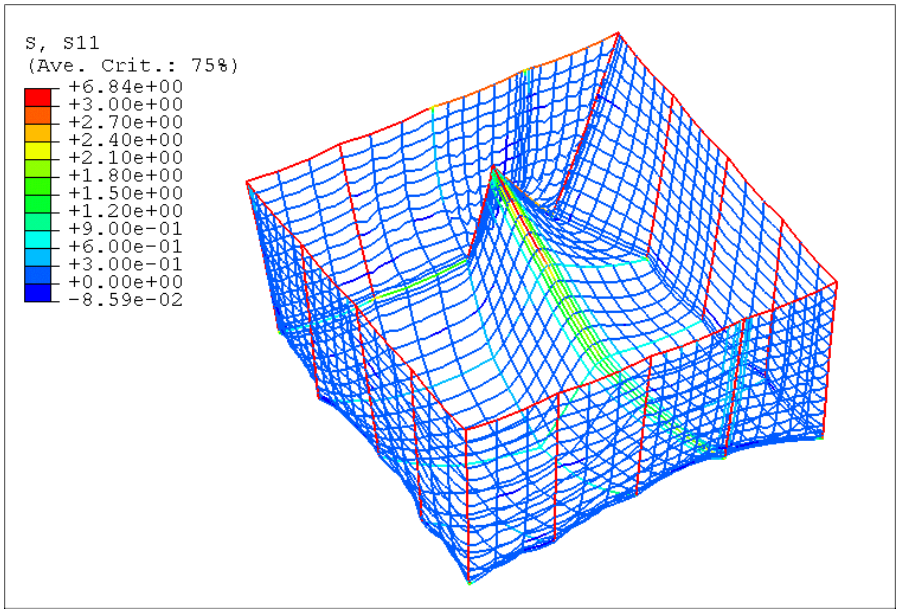
Figur 1: Standard not uten lodd i stille sjø. Vertikal deformasjon [mm].



Figur 2: Standard not med lodd i stille sjø. Vertikal deformasjon [mm].

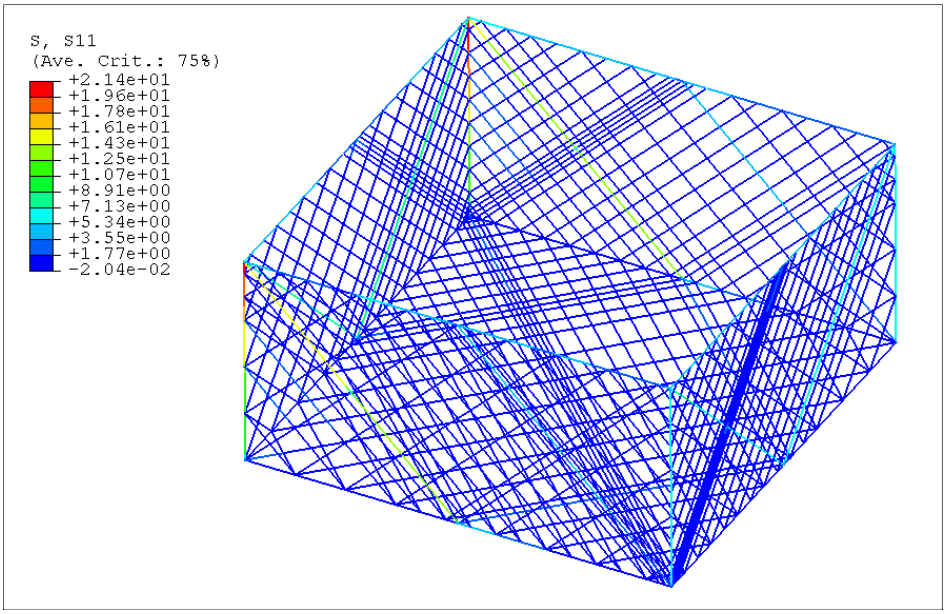


Figur 3: Standard not i strøm. Spenning [MPa]. (Skalaen på spenningene er justert ned)

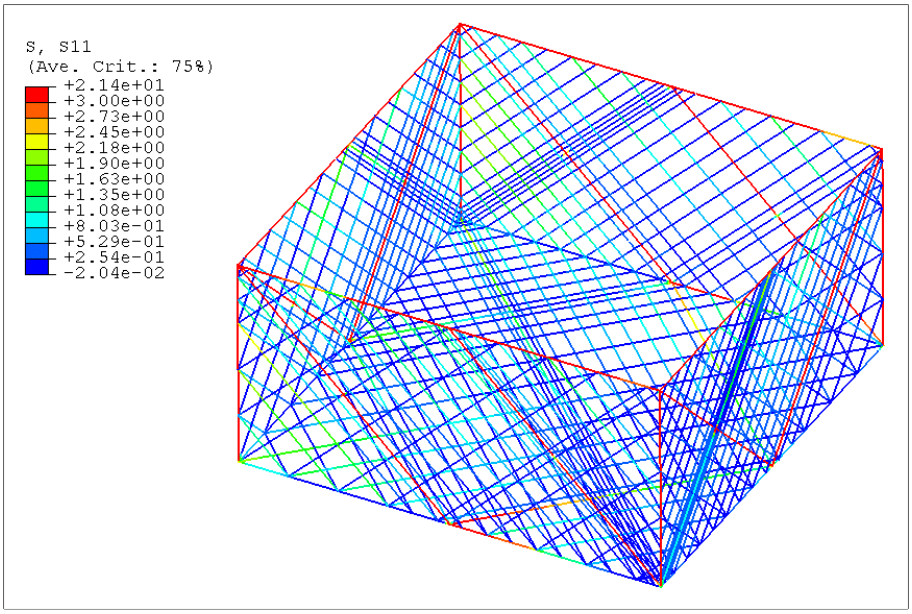


Figur 4: Heving av not via sidetau uten forbindelse med krysstau. Spenning [MPa]. (Skalaen på spenningene er justert ned)

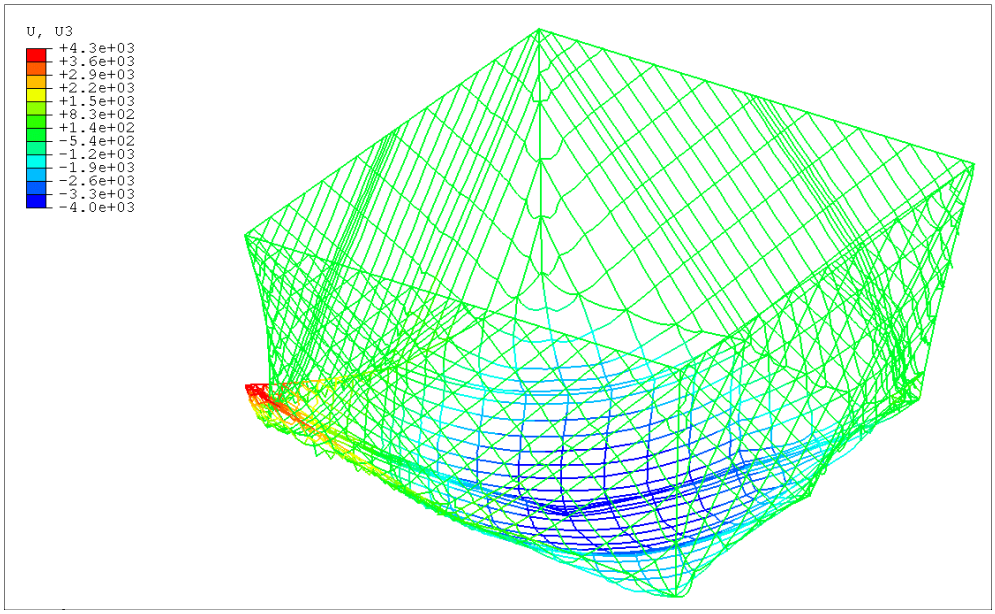
Vedlegg 4: Not med skrå tau



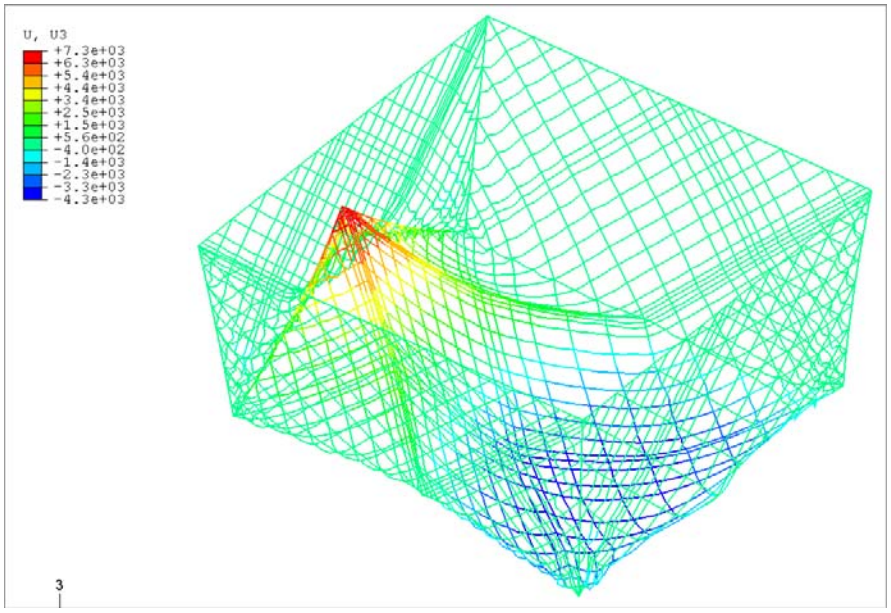
Figur 1: Not med skrå tau i strøm (illustrasjon uten deformasjon).



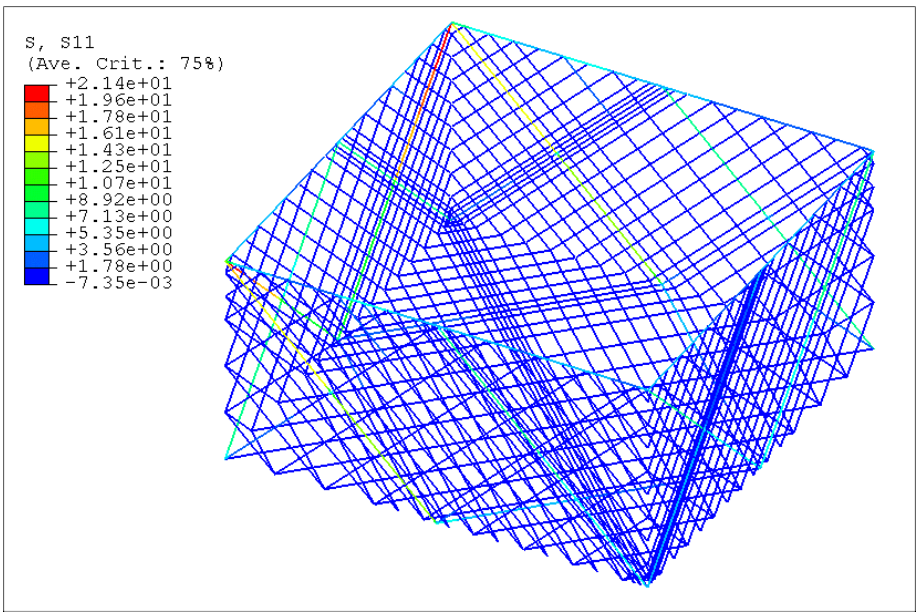
Figur 2: Not med skrå tau i strøm (illustrasjon uten deformasjon, skalaen på spenningene er justert ned).



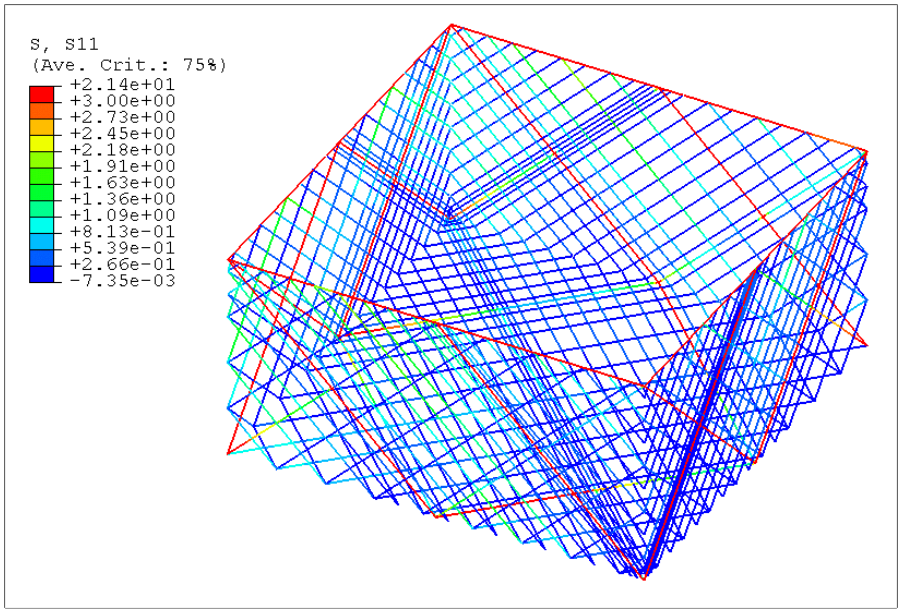
Figur 3: Heving av not med skrå tau via hjørne. Vertikal deformasjon [mm].



Figur 4: Heving av not med skrå tau via side. Vertikal deformasjon [mm].



Figur 5: Not med skrå tau uten hjørne- og bunntau i strøm (illustrasjon uten deformasjon).



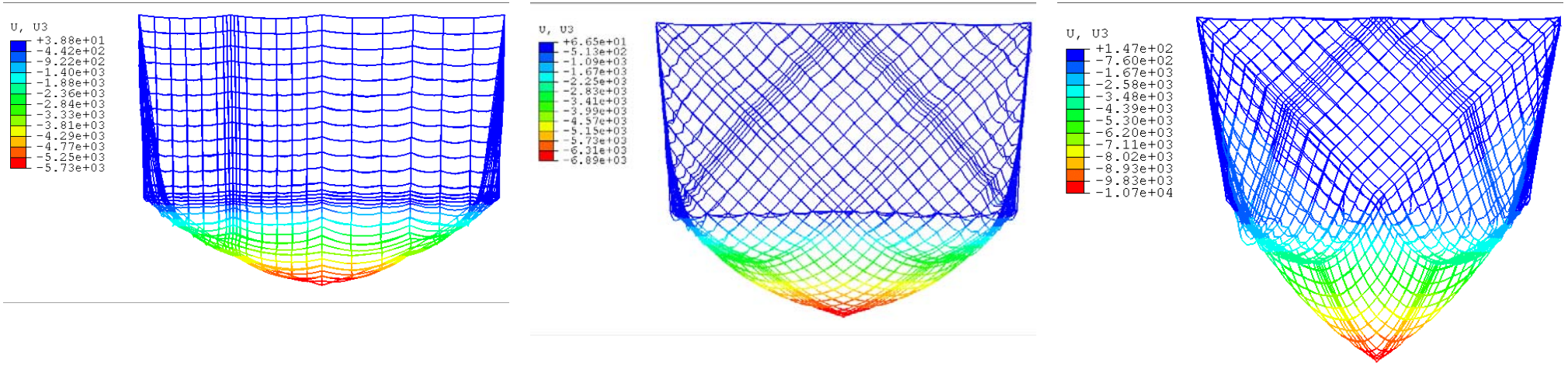
Figur 6: Not med skrå tau uten hjørne- og bunntau i strøm (illustrasjon uten deformasjon, skalaen på spenningene er justert ned).

Vedlegg 5: Deformasjon av loddsatte nøter i stille vann

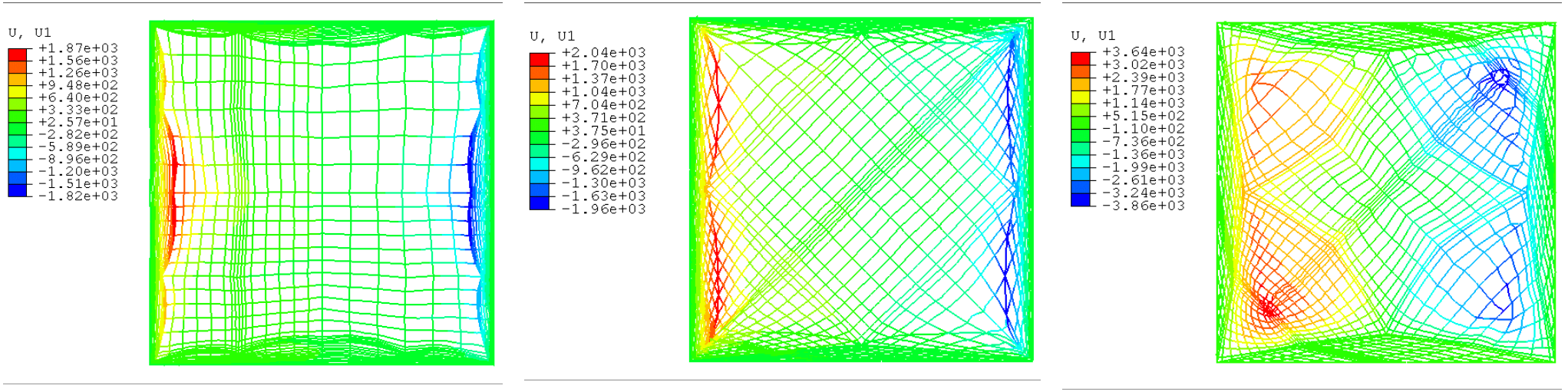
Dette vedlegget viser deformasjonene i standard not, not med skrå tau og not med skrå tau uten hjørne- og bunntau. Alle nøtene har en dybde på 12 m. Deformasjonene er gitt i Tabell 1 og illustrert i Figur 1 og Figur 2.

Tabell 1: Deformasjon av loddsatte nøter i stille vann.

	Maksimal vertikal deformasjon	Maksimal horisontal deformasjon
Standard not	5.7 m	1.9 m
Not med skrå tau	6.9 m	2.0 m
Not med skrå tau uten hjørne- og bunntau	10.7 m	3.6 m



Figur 1: Vertikal deformasjon i tre typer loddsatt not (standard not, not med skrå tau, not med skrå tau uten hjørne- og bunntau) i millimeter.



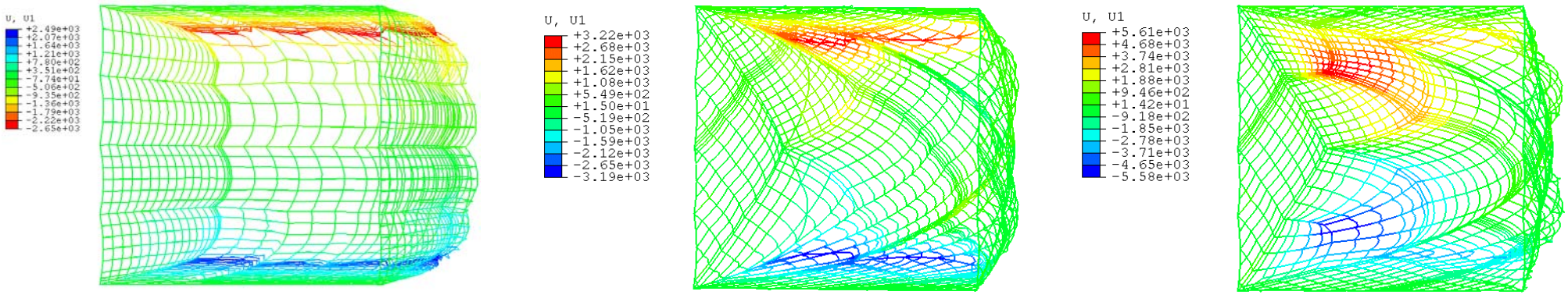
Figur 2: Horisontal deformasjon i tre typer loddsatt not (standard not, not med skrå tau, not med skrå tau uten hjørne- og bunntau) i millimeter, sett ovenfra.

Vedlegg 6: Deformasjon i strøm

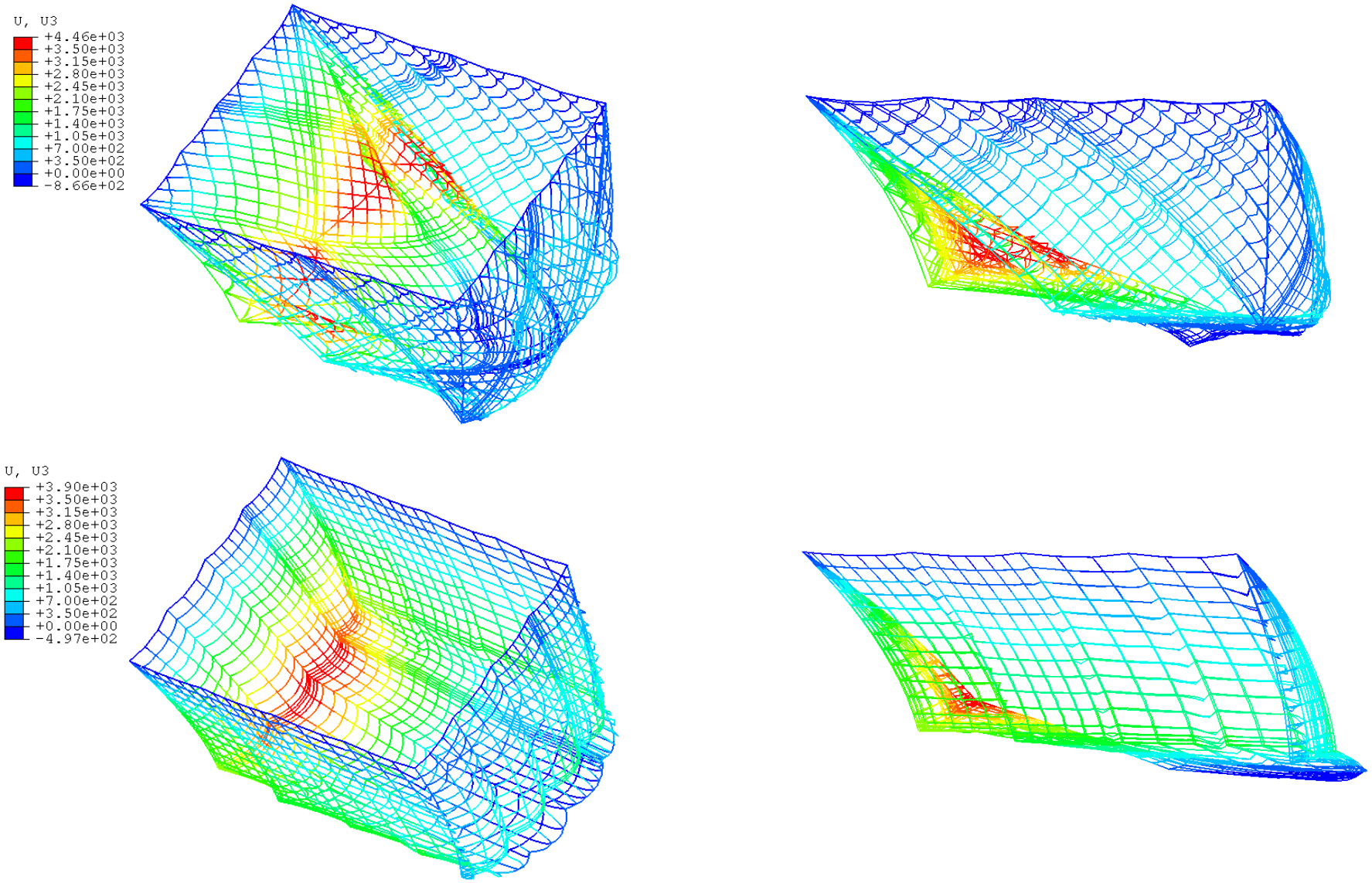
Dette vedlegget viser deformasjon i strøm for standard not, not med skrå tau og not med skrå tau uten hjørne- og bunntau. Alle nøtene har en dybde på 12 m. Deformasjonene er gitt i Tabell 1 og illustrert i Figur 1 til Figur 3.

Tabell 1: Deformasjon av loddsatte nøter i strøm.

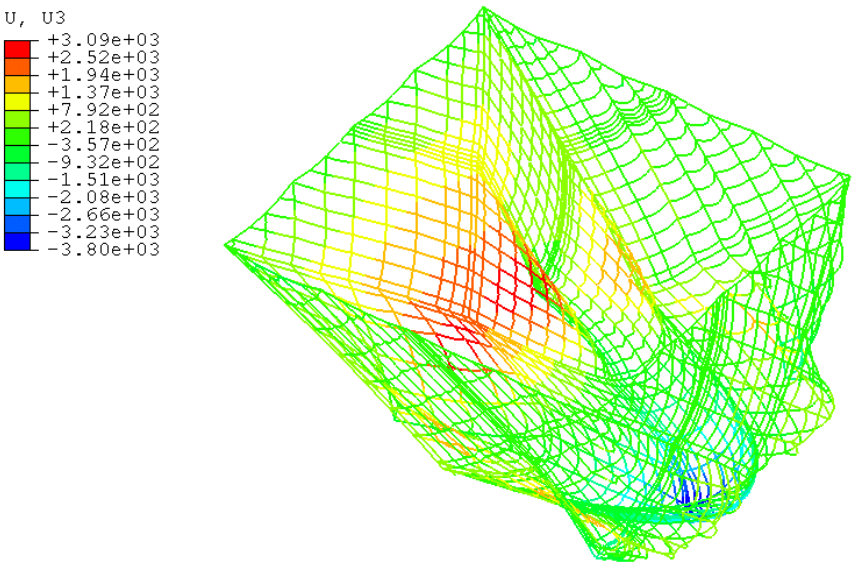
	Maksimal vertikal deformasjon (pos / neg)	Maksimal horisontal deformasjon
Standard not	3.9 m / -0.5 m	2.7 m
Not med skrå tau	4.5 m / -0.9 m	3.2 m
Not med skrå tau uten hjørne- og bunntau	3.1 / -3.8 m	5.6 m



Figur 1: Deformasjon på tvers av strømretningen (1-retning), [mm]. Standard not, not med skrå tau og not med skrå tau uten hjørne- og bunntau



Figur 2: Sammenligning av deformasjon i strøm (to perspektiv per not). Fargeskalaen gir vertikal forskyvning i millimeter.



Figur 3: Vertikal deformasjon (3-retning), [mm].