

SINTEF Fiskeri og havbruk AS

 Postadresse: 7465 Trondheim
 Besøksadresse:
 SINTEF Sealab
 Brattørkaia 17B

 Telefon: 4000 5350
 Telefaks: 932 70 701

 E-post: fish@sintef.no
 Internet: www.sintef.no

Foretaksregisteret: NO 980 478 270 MVA

TITTEL

**Rapport fra delprosjekt –
 Utvikling av sikre oppdrettsanlegg Fase 2:**
Nøter med høy soliditet – modellforsøk

FORFATTER(E)

Pål Lader, Heidi Moe, Østen Jensen og Egil Lien

OPPDRAGSGIVER(E)

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond

RAPPORTNR. SFH80 A106030	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Kjell Maroni	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 9788-82-14-04946-6	PROSJEKTNR. 860147.09	ANTALL SIDER OG BILAG 19
ELEKTRONISK ARKIVKODE 86014709 - Nøter med høy soliditet - modellforsøk_endelig.doc		PROSJEKTLÉDER (NAVN, SIGN.) Ulf Winther 	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Arne Fredheim 
ARKIVKODE	DATO 2009-05-19	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Ulf Winther, Forsknings sjef 	

SAMMENDRAG

De fleste kjente metoder for beregning av krefter på nøter er ikke verifisert for høye soliditeter. En sammenligning av modellforsøkene og med eksisterende modeller viste at dragkraften overestimeres i numeriske analyser og da spesielt ved høye hastigheter og høy soliditet. Nedenfor er de viktigste funnene oppsummert. Den praktiske betydningen for oppdrettere, utstysleverandører og leverandører av fortøyningsanalyser er også poengtert hvis aktuelt.

- Notdeformasjon, drag og løft kraft øker med økende hastighet og økende soliditet.
- Selv om notdeformasjon kan reduseres med økende nedlodning vil deformasjonen være markant spesielt ved store strømhastigheter.
- For den laveste soliditeten ble dragkraft relativt bra beregnet for alle hastigheter.
- For de resterende nøtene ble dragkraften overestimert når hastigheten nådde en grensehastigheten.
- Denne grensehastigheten ser ut til å reduseres ved økende soliditet.
- Dette medfører at dragkraften som beregnes i forbindelse med fortøyningsanalyser, overestimeres.
- Sammenhengen mellom beregnet løftkraft og løftkraft fra modellforsøk er ikke så klar og entydig som tilfellet er for dragkraft.
- Variasjonene i beregning av løftkraft er større enn variasjonene i beregnet dragkraft.
- Avvik i beregnet løftkraft har mindre betydning for fortøyningsanalyser, men vil ha betydning for beregnet notvolumsreduksjon.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Havbruk	Aquaculture
GRUPPE 2	Forsøk	Experiments
EGENVALGTE	Not	Netcage
	Dragkraft	Drag force
	Løftkraft	Lift force

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Innledning	3
2	Mål	3
3	Forsøksoppsett	4
3.1	Notlin og notmodellkonfigurasjoner	5
4	Resultater	7
5	Diskusjon og oppsummering	18
5.1	Valg av soliditet ved beregninger	18
5.2	Oppsummering.....	18

1 Innledning

Modellforsøkene er gjort som en del av prosjektet "Utvikling av sikre oppdrettsanlegg Fase 2". Prosjektet som er finansiert av FHF, ble startet opp i 2009 og skal etter planen avsluttes i 2010.

Prosjektet omhandler tradisjonelle nøter (nylon), forankringsliner (PE/PP) og plastringer (PE). Det vil fokuseres på riktig valg av materialparametre og metoder ved dokumentasjon og beregning av oppdrettsanlegg, samt å utvikle forslag til standardiserte metoder og løsninger.

Økende størrelse av merder og nøter har også medført nye dimensjoner for notlin og økt soliditet. Eksisterende datamodeller for beregning av strømbelastning på nøter baserer seg på modellforsøk gjennomført rundt 1990, med andre typer notlin og soliditet opp til ca 0,317. Det benyttes i dag nøter med soliditet på over 0,25, og når man i tillegg skal ta hensyn til begroing vil den "numeriske" soliditeten være i størrelsesorden 0,4. Det finnes i dag ikke verifiserte modeller for beregning av strømbelastning på nøter med så stor soliditet. I dette prosjektet ble det derfor gjennomført modellforsøk for å bestemme strømkrefter og deformasjon på nøter med høy soliditet og doble nøter ved forskjellige strømhastigheter.

Utspilingssystem (lodd) har stor påvirkning på strømbelastning og deformasjon av not. Effekt på deformasjon og strømbelastning av forskjellige utspilingssystem (loddveker og plassering) ble undersøkt gjennom modellforsøk. Det ble gjennomført numerisk analyse for å vurdere om dagens metoder kan håndtere høye soliditeter og deformasjoner (sammenligne med gjennomførte modellforsøk).

Modellforsøk på nøter med høy soliditet vil, sammen med resultat fra tidligere modellforsøk, danne et datagrunnlag som kan benyttes til verifikasjon av beregningsverktøy, beregningsmodeller og metoder. På bakgrunn av tidligere erfaringer ble modellene laget av fullskala notlin, noe som gjør at resultater fra beregninger kan sammenlignes direkte med modellforsøkene.

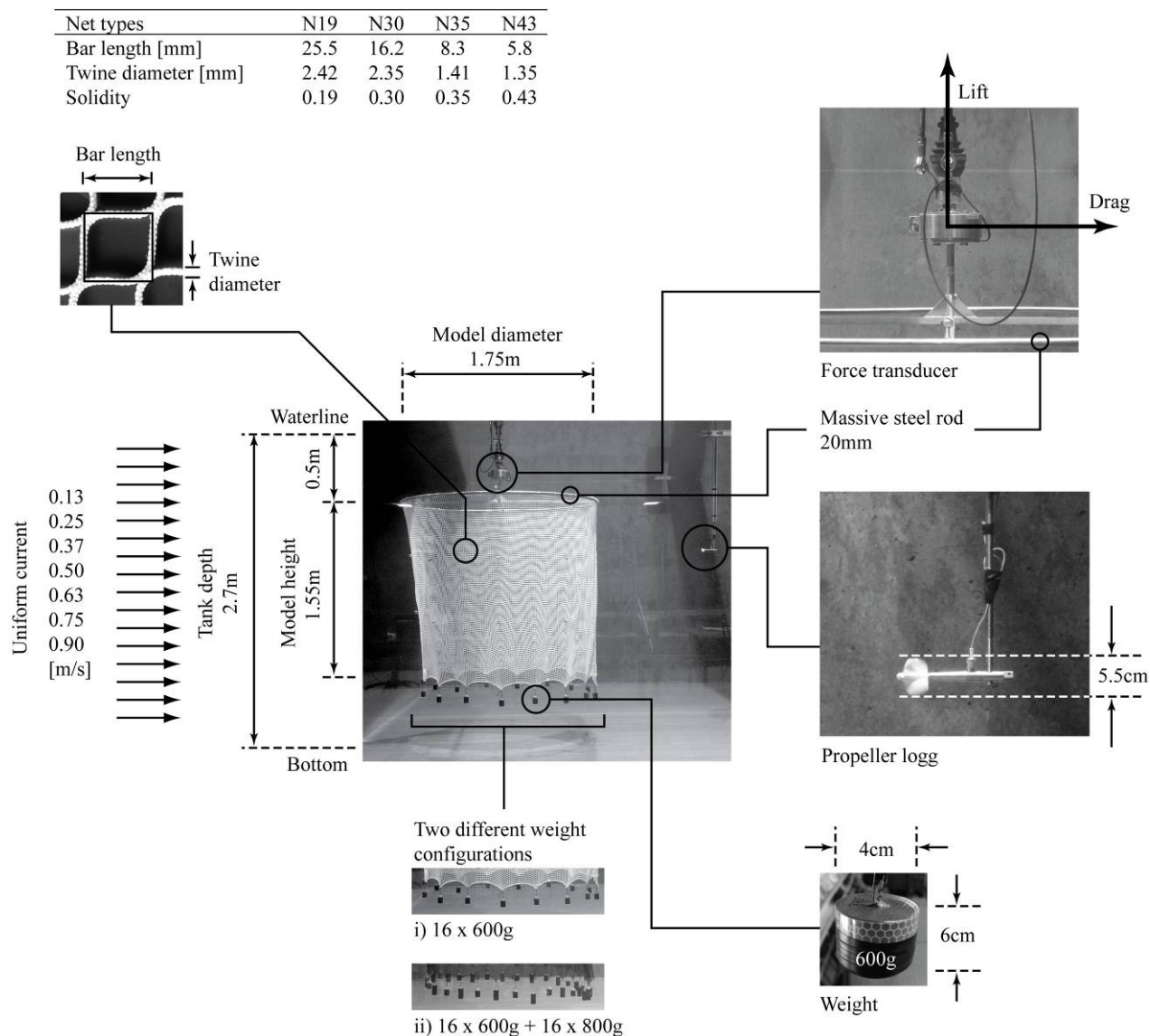
2 Mål

Hovedmålet til delprosjektet er å bidra til sikrere og mer robuste oppdrettsanlegg gjennom å frambringe ny kunnskap om polymere materialer og konstruksjoner, samt å gjøre eksisterende kunnskap mer tilgjengelig for oppdrettsnæringa.

Hovedformålet med modellforsøkene var å vurdere gyldigheten til dagens metoder for å beregne drag og løft på notlin med høy soliditet.

3 Forsøksoppsett

Modellforsøk med nøter med forskjellig soliditet ble gjennomført i uke 17, 2009, i North Sea Flume Tank i Hirtshals, Danmark. Tanken er 21,3 m lang, 2,7 m dyp og 8 m bred. Syv ulike notmodeller og konfigurasjoner ble testet ved åtte forskjellige strømhastigheter. Dragkraft, løftkraft, notdeformasjon og hastighetsreduksjon bak not ble registrert.



Figur 1 Forsøksoppsett.

Forsøksoppsettet er beskrevet i Figur 1. Modellnøtene¹ ble sydd fast i en stålring med diameter på 1,75 m. Stålringen hadde to krysstag som ga feste til lastcelle i senter av ringen. Lastcellen som ble brukt, var av type ATI Omega 160, og den målte krefter i seks frihetsgrader.

¹ Nøtene er vevd slik at trådene går vekselvis vertikalt og horisontalt (Raschel nett), i stedet for horisontalt og vertikalt. Dette gjør at kraftoverføring langs de to diagonalene i nettet er forskjellig, og følgelig blir nettet potensielt asymmetrisk. For fullskala nøter gir ikke dette noen større effekt, da de interne kreftene i nota (pga. loddsetting, bølger og strøm) i utgangspunktet er relativt mye større enn den potensielle ubalansen i de diagonale kreftene. For en modellskala not derimot blir dette et potensielt problem. For at noten ikke skal bli styrbor/babor asymmetrisk, skjæres nettene slik at de er like på hver side.

Strømningshastigheten ble målt med en propell-logg av typen OttLog. Propell-loggen måler kun strømningshastighet langs propellakseretningen, og den hadde en propelldiameter på ca 5.5 cm, noe som da også følgelig er størrelsen på målecellen (opløsning). Det ble kjørt kalibreringskjøringer med stålring uten nett der drag og løft på ringen, samt fristrøms hastighet ble målt. Krefter på kun ringen ble så trukket fra målingene for ring med nett slik at de resulterende kreftene er krefter kun på noten. Propell-loggen måler hastigheten bak merden, 50 cm under ringen, og 20 cm bak nota. Propelloggens posisjon ble justert relativt til notas deformasjon slik at horisontal avstand mellom not og propell-logg alltid var 20 cm. Under kalibreringskjøringene var propell-loggen plassert 50 cm under overflaten, men på samme horisontale posisjon som modellens senter.

Modellen ble utsatt for syv forskjellige strømhastigheter (0,13, 0,25, 0,37, 0,50, 0,63, 0,75 og 0.9 m/s), og krefter og strømhastighet ble målt og midlet over en periode på 30 sek. Det ble også tatt bilder av den deformerte nota.

3.1 Notlin og notmodellkonfigurasjoner

Notmodellene ble satt sammen av notlinet beskrevet i Tabell 1. Notlinet er av standard knuteløs type (Raschel-strikket), og har soliditet mellom 0,19 og 0,43. Notmodellen hadde (som beskrevet i Figur 1) en diameter på 1,75 m og en cirka dybde på 1,55 m ved innfesting av lodd i våt tilstand. Modellen ble produsert av to like stykker notlin med knutene orientert 90 grader i forhold til hverandre. Dette ga en modell som var symmetrisk om strømrretningen, se fotnote 1. Skeivdrag i nota pga asymmetri i knutene ble strekt ut av notlinet så godt det lot seg gjøre.

Tabell 1. Dimensjoner på anvendt notlin.

	N19	N30	N35	N43
Halvmaskevidde (våt) [mm]	25,5	16,2	8,3	5,8
Trådtykkelse [mm]	2,42	2,35	1,41	1,35
Soliditet (A_e/A_{tot})	0,19	0,30	0,35	0,43
Soliditet ($2t/d$)	0,19	0,29	0,34	0,47

Det ble brukt to forskjellige vektkonfigurasjoner på modellene. I den ene konfigurasjonen ble det brukt 16 sylinderformede stållodd med en vekt på 600 gram hver, noe som tilsvarer en tyngde i vann på 4,48 N pr lodd. I den andre konfigurasjonen ble det brukt 32 lodd jevnt fordelt over omkretsen: 16 á 6600 gram og 16 á 800 gram (5,98 N neddykket), dvs. loddvekten ble økt med 133 %.

Til sammen ble det kjørt syv forskjellige konfigurasjoner av soliditet og vekt. De fleste modellene ble kjørt uten bunn, men for en av modellene det ble påmontert bunn for å gi en indikasjon på hvor stor effekt dette har. Bunnen besto av et tilnærmet sirkulært stykke notlin (med diameter lik notas diameter) med en soliditet på 0,23. Det ble også kjørt en modell der det ble brukt dobbelnot. Modellkonfigurasjonene er oppsummert i Tabell 2.

Tabell 2. Notmodellkonfigurasjoner.

Modell	1	2	3	4	5	6	7
Not	20 % (N19) ²	20 % (N19) med bunn	30 % (N30)	35 % (N35)	45 % (N43)	45 % (N43)	20 % + 30 % (N19 + N30)
Vekt	16x600 gram	16x600 gram	16x600 gram	16x600 gram	16x600 gram	16x600 gram + 16x800 gram	16x600 gram

Modellene representerer en dyp fullskala not, og avhengig av valgt skaleringsfaktor kan dette representere fullskala notdimensjoner med tilhørende vekt som gitt i Tabell 3. Grunnen til at nota er relativt dyp, er måletekniske hensyn. Dybden på nota er allikevel ikke større enn det vi ser i næringen i dag.

Da formålet med disse forsøkene var å produsere data for å verifisere beregningsprogram, ble kvalitet på måledata prioritert framfor å lage en grunnere og mer virkelighetsnær modell. Dybden øker kreftene som virker på nota og reduserer dermed den relative usikkerheten i målingene.

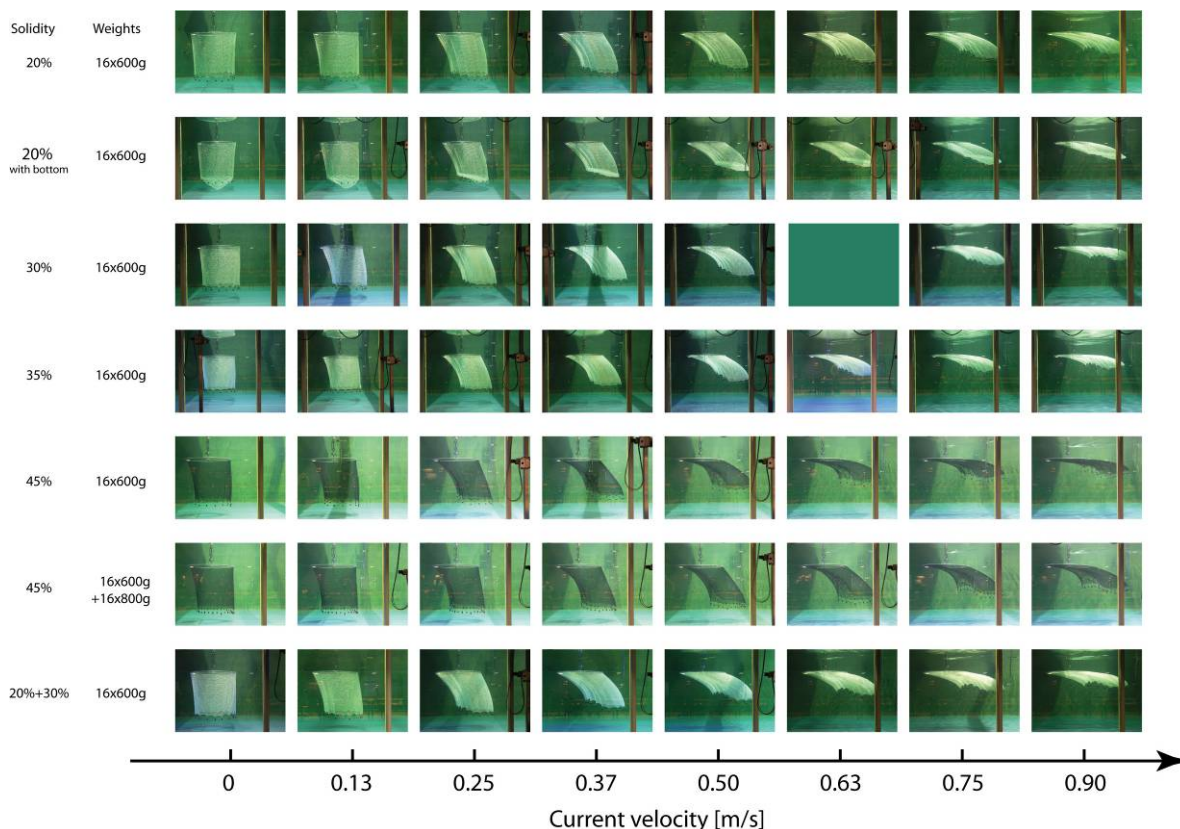
Tabell 3. Mål og loddvekt av modellen, samt eksempelvis fullskalamål for forskjellige modellskala tilfeller.

	Modell	S3 16,4	S1 21,8	S2 29,1
Omkrets	5,5 m	90 m	120 m	160 m
Diameter	1,75 m	29 m	38 m	51 m
Dybde	1,55 m	25 m	34 m	45 m
Loddvekt	0,600 kg	161 kg	286 kg	508 kg
	1,745 kg/m	28,56 kg/m	38,08 kg/m	50,78 kg/m
Vekt i vann	4,48 N			

² Soliditeten av en not er en størrelse som det er vanskelig å tallfeste nøyaktig, bla. fordi når nota deformeres, endres også soliditeten. En kan beregne soliditeten ut ifra definisjonen basert på tråddiameter og maskestørrelse og beregne dette fra fabrikkoppgitte størrelser. Dette er oppgitt i Tabell 1. Der er soliditeten beregnet til hhv 19 %, 30 %, 35 % og 43 %. Vi har allikevel valgt å avrunde dette til nærmeste 5 % når vi benevner modellen (20 %, 30 %, 35 % og 45 %).

4 Resultater

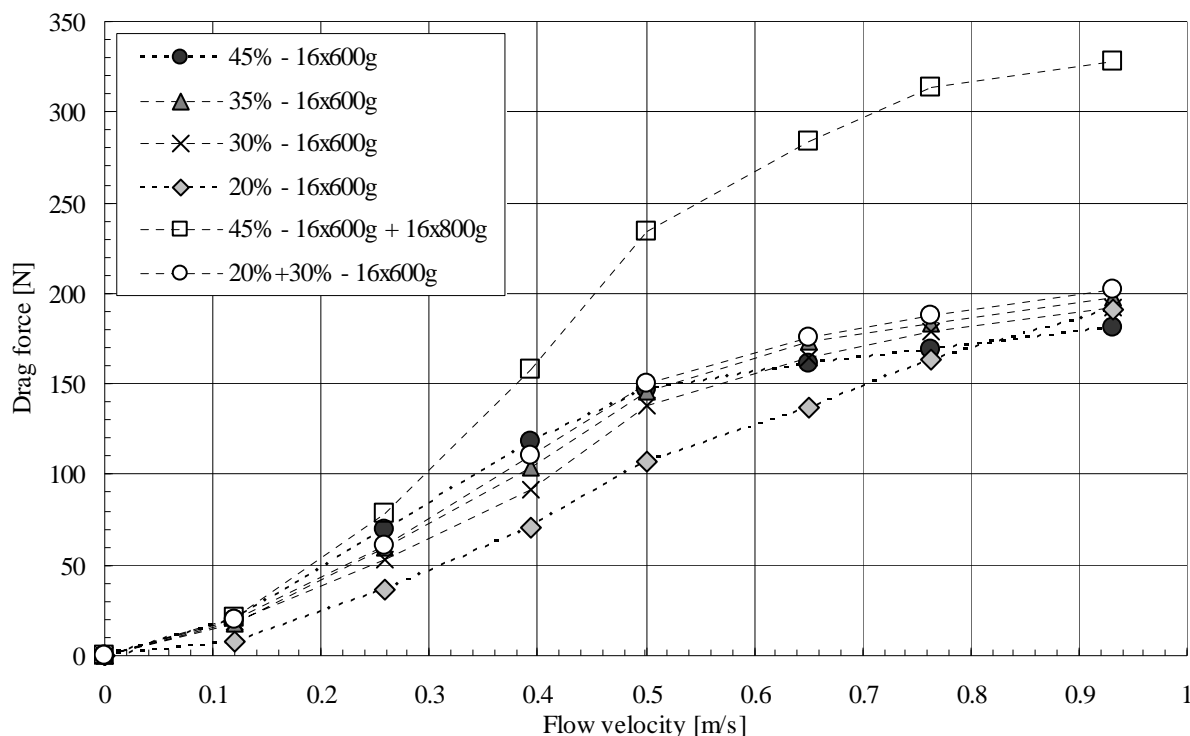
I Figur 2 er forsøksmatrisen med bilder av notas deformasjon vist for alle kombinasjonene av nettsoliditet/vektkonfigurasjoner og strømhastighet som ble kjørt. Som man skulle tro, øker deformasjonen tilsynelatende med økende hastighet og økende soliditet, og det er også tydelig at en økning i bunnvekt gir betydelig mindre deformasjon.



Figur 2 Forsøksmatrisen. Figuren viser deformasjonen av nettet for de forskjellige nettsoliditetene og vektkonfigurasjon som funksjon av strømhastighet.

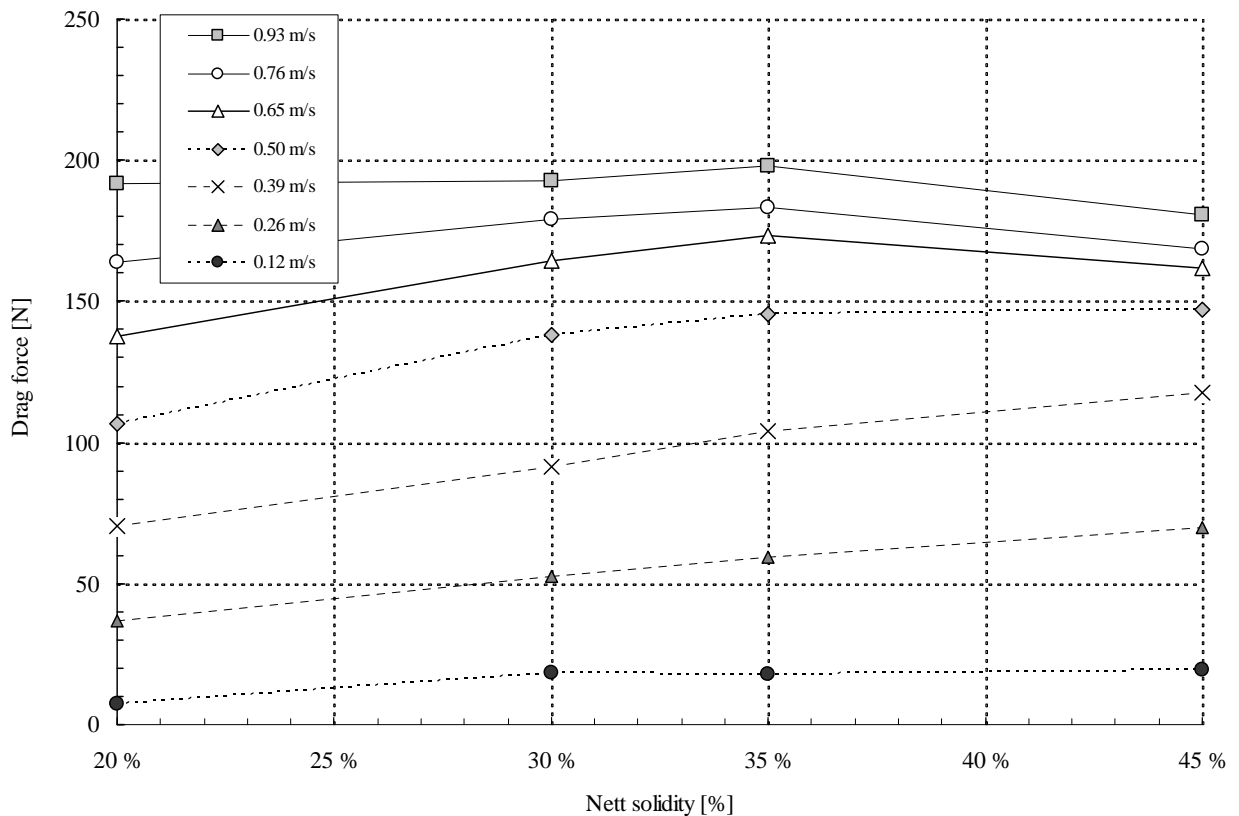
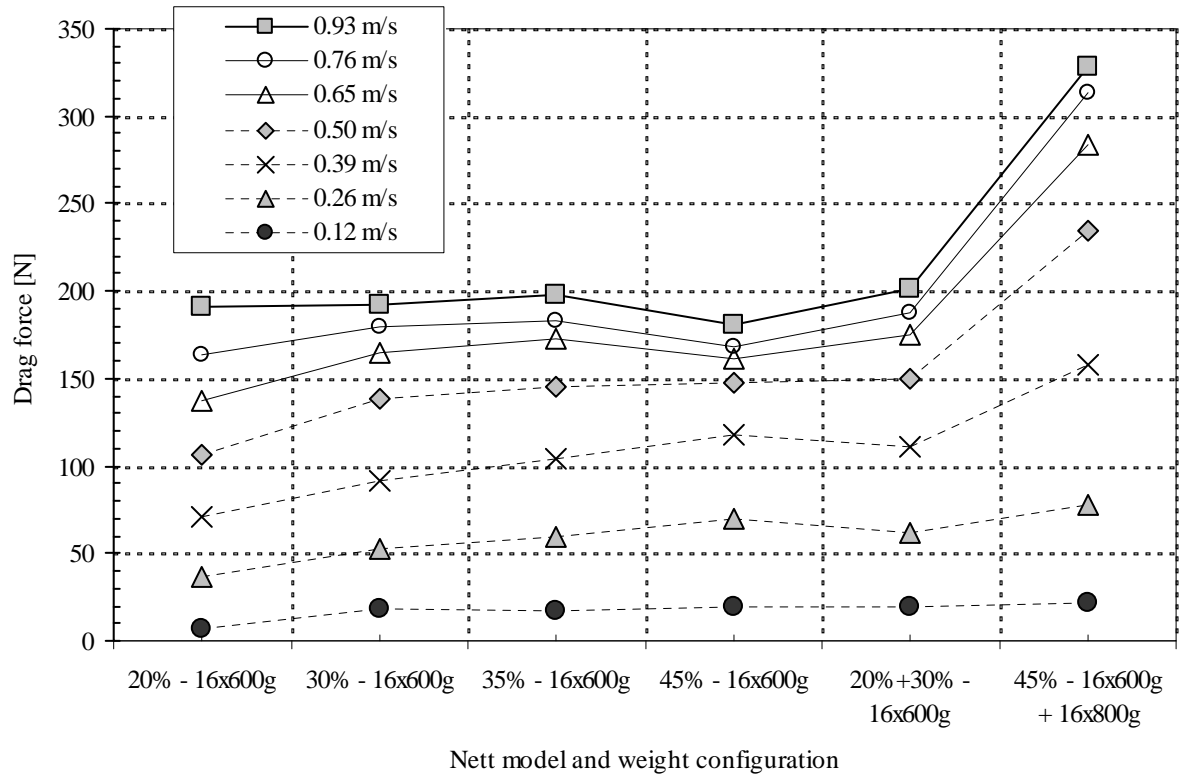
I Figur 3 vises målt dragkraft for de forskjellige nettsoliditetene/vektkonfigurasjonene. For et stivt legeme (for eksempel en båt eller en sylinder) vil dragkraften være proporsjonalt med hastigheten i andre potens. For lavere hastigheter (under 0.4 m/s) vil dragkraften på nettmodellen også tilnæringsvis følge dette, men for høyere hastigheter flater kurven ut. Det er dermed tydelig at dragkraften på en fleksibel not ikke er proporsjonalt med hastigheten i andre potens. Dette kommer av at noten deformerer seg og tilter en annen form etter hvert som hastigheten øker. Projisert areal i strømrretningen minker dermed, og denne effekten er med på å redusere dragkraften og gjøre at global dragkraft ikke følger hastighet i andre potens.

Figuren viser at det er tilfellet der bunnvekten er økt som gir størst dragkraft for hastigheter over 0,3 m/s. Sammenligner man dragkraften for modellen med soliditet 45 % for de to forskjellige vektkonfigurasjonene (16x600g og 16x600+16x800g), ser man at dragkraften øker med nesten 80 % for hastigheter over 0,4 m/s. Årsaken til dette er at ved å øke bunnvektene vil nettet deformere seg mindre, noe som også kan sees i Figur 2 Som man ser i denne figuren, vil det projiserte arealet i strømrretningen være tilnærmet doblet for høye hastigheter, mens den for lavere hastigheter ikke vil være så betydelig endret, akkurat som for dragkraften.



Figur 3 Dragkraft for de forskjellige modellene som funksjon av strømningshastighet.

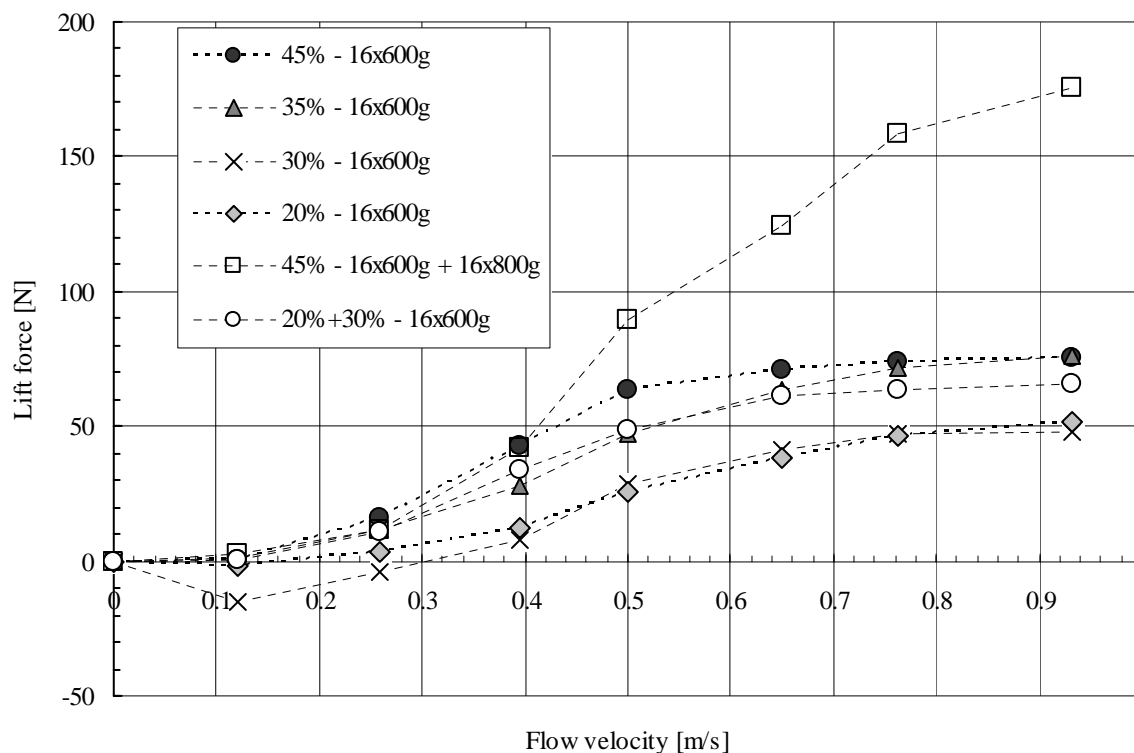
Det som kanskje er enda mer interessant, er å se på utviklingen av dragkraften for de forskjellige nettsoliditetene med samme bunnvekt, se Figur 4. For lavere hastigheter (under 0.4 m/s) øker dragkraften på modellen med økende soliditet. Dette bildet endrer seg etter hvert som hastigheten øker, og for den høyeste hastigheten er det faktisk modellen med høyest soliditet som gir minst dragkraft. Dette strider i utgangspunktet mot hva man intuitivt skulle tro. Økt soliditet skulle gi økt dragkraft, men årsaken til at dette ikke er tilfellet, er todelt: 1) nettets *effektive* soliditet endrer seg når det deformeres og 2) for høye soliditeter strømmer mer av vannet *rundt* istedenfor *gjennom* nota, noe som igjen påvirker dragkraften. Etter hvert som hastigheten økes, blir nota mer og mer deformert, og når dette skjer, vil soliditeten spille mindre og mindre rolle, og den overordnede geometrien til nota vil være det som bestemmer dragkraften. Det vil være naturlig å tro at denne effekten også kan forekomme på nøter som er begrodd. Dvs. at en begrodd not kan i tilfeller med sterk strøm faktisk ha mindre global drag enn en ubegrodd not. Da denne effekten er avhengig av notas deformasjon, vil det også være naturlig å anta at dette vil være avhengig av loddsettingen av nota, og at denne effekten vil avta med økende loddsetting. Siden en begrodd not også i flere tilfeller øker sin vekt, vil dette kunne være med på å motvirke effekten, men i de tilfeller der begroingen er nøytral i vann (f.eks. hydroidebegroing), vil nettet faktisk kunne få lavere globalt drag ved begroing



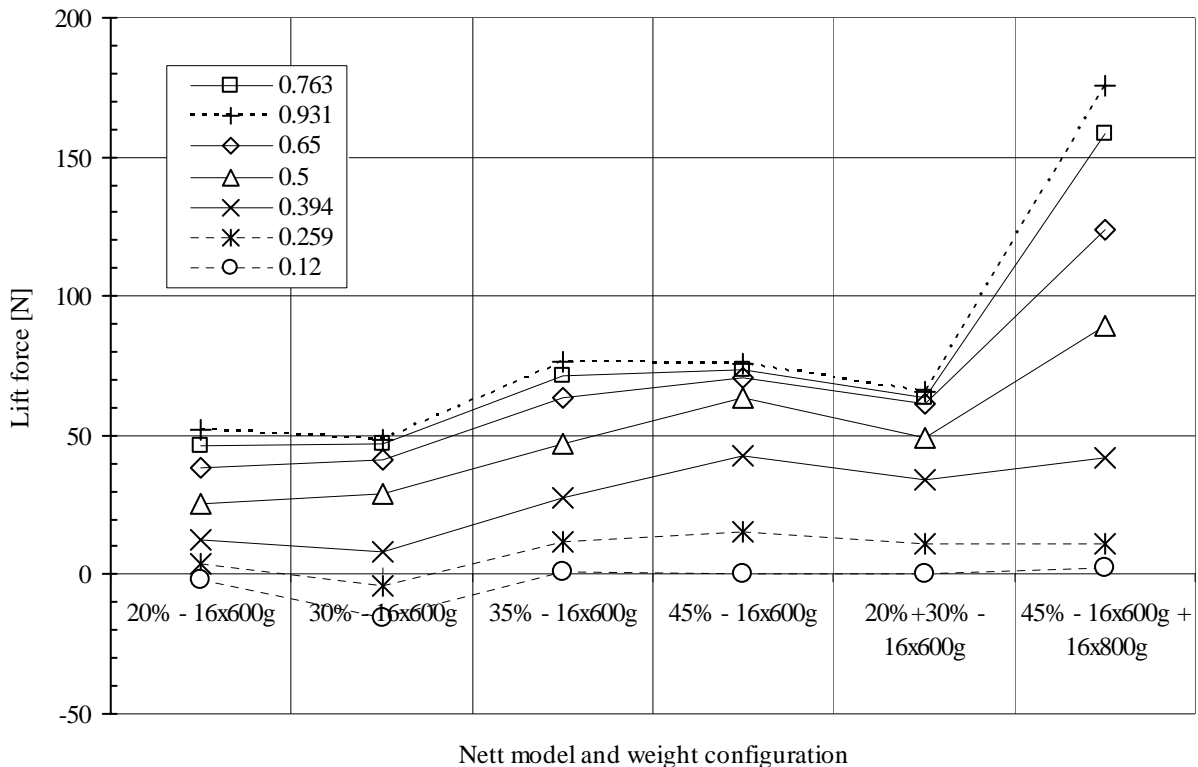
Figur 4 Dragkraft for de forskjellige modellene og for forskjellige strømningshastighet (øverst). Dragkraft som funksjon av soliditet for de fire modellene med ellers lik konfigurasjon (nederst)

I tillegg til å måle dragkraft ble det også målt løft, og tilsvarende data for løftkraft er gitt i Figur 5 og Figur 6. Negativ løftkraft betyr at global vertikal kraft på modellen er rettet nedover. Dette er intuitivt underlig, da deformasjonen av modellen skulle tilsi en oppoverrettet løftkraft, noe som jo nesten alltid er tilfellet. For modellen med 30 % og 20 % soliditet er løftkraften ved lave

hastigheter negativ. Dette kan forklares ved å dekomponere kraften på nettet i en kraft normalt på nettet og tangentielt til nettet. Løftkraften er summen av de vertikale komponentene til disse to kreftene. Vertikalkomponent av normalkraften virker oppover, mens vertikalkomponenten av tangentialkraften virker nedover. Negativ løftkraft betyr derfor at det er tangentialkraftens vertikale komponent som er dominerende, mens for positiv løftkraft vil det være normalkraftens vertikale komponent som dominerer. Den praktiske konsekvensen av dette vil ikke være stor, da det uansett er snakk om ganske små krefter, men samspillet mellom de forskjellige kraftkomponentene er i seg selv interessant og kan med fordel undersøkes nærmere.

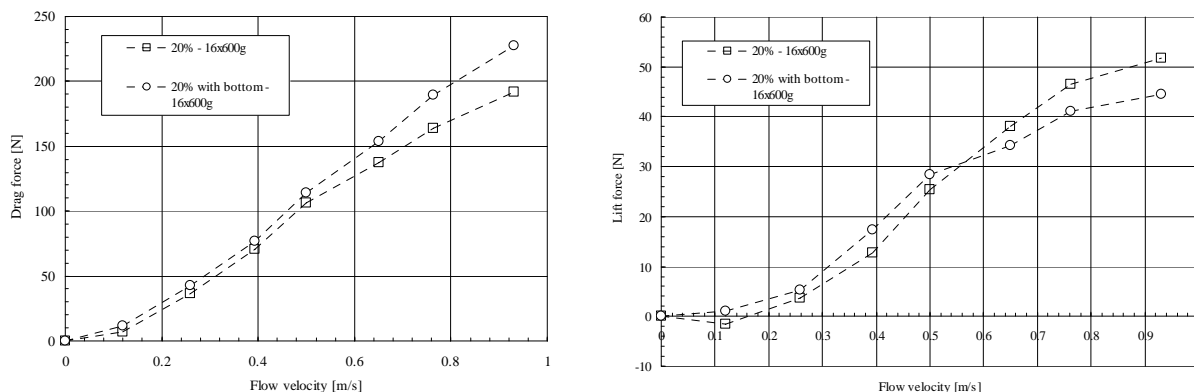


Figur 5 Løftkraft for de forskjellige modellene som funksjon av strømningshastighet.



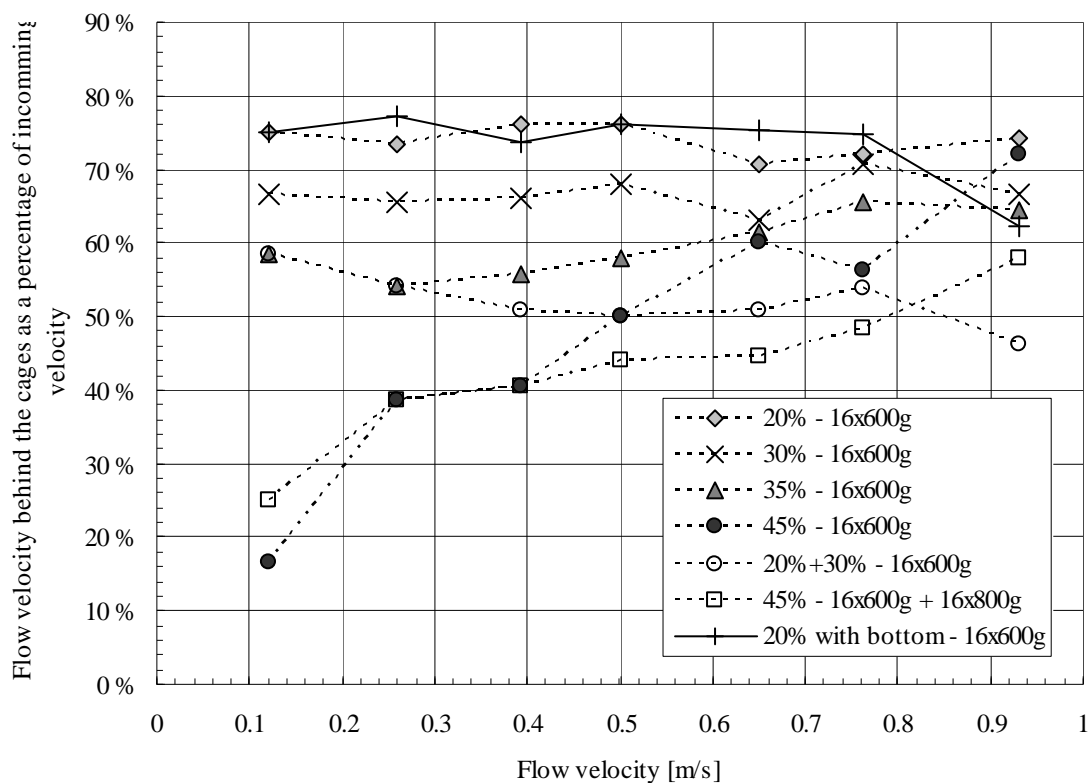
Figur 6 Løftkraft for de forskjellige modellene og for forskjellige strømningshastigheter.

Forsøkene ble av praktiske hensyn hovedsakelig gjort med en notsylander uten bunn. Dette ble gjort for å forenkle forsøksoppsettet og heller bruke ressurser på å kjøre flere soliditeter. Siden det ble brukt fullskalanot ville det også vært vanskelig å få skjært og bunnet en bunn som var geometrisk representativ i forhold til en fullskala not. Dermed kunne bunnen gi effekter som ikke stemte overens med hva en vil oppleve for en fullskala not. For å gjøre en kontroll på hvor stor innvirkning bunnen har, ble 20 % modellen kjørt både med og uten bunn. Sammenligningen av drag- og løftkraft er gitt i Figur 7. Som det framgår av figuren, gir tilstedeværelsen av bunnen et bidrag både på dragkraften og løftkraften. Hvis en ser bort fra de to laveste hastighetene, gir bunnen en 20 % dragøkning og mellom 15 % reduksjon og 45 % økning på løftkrafta. Bunnen kan derfor gi betydelig innvirkning på hele kraftbildet, men det må presiseres at dette kun kan tas som en indikasjon da bunnens geometri i modellen kan avvike betydelig fra en bunn i en fullskala not.



Figur 7 Dragkraft og løftkraft som funksjon av strømhastighet på nota med 20 % soliditet for tilfellet med og uten bunn i nota.

I Figur 8 er reduksjon i strømhastigheten bak nota gitt. Målingene er tatt 20 cm bak nedstrøms notvegg og 50 cm under ringens posisjon. For lave hastigheter gir økende soliditet større demping av hastigheten, mens det for større hastigheter er en mer komplisert sammenheng. Dette er på grunn av at nota deformerer seg i forskjellig grad noe som påvirker strømningsbildet rundt og bak nota. Dempningen av hastigheten er ikke kun et resultat av at vannet som strømmer gjennom nota, blir endret, men også hvordan vannet som beveger seg rundt nota, oppfører seg. Når nota er lite deformert, er det i hovedsak gjennomstrømningen som avgjør hastigheten bak nota, mens etter hvert som nota deformerer seg, får innvirkningen av vannet som strømmer rundt og under, økende betydning. Det som er viktig å merke seg, er at det for alle not-typene er relativ stor grad av demping av hastigheten bak nota. For hastigheter over 0,2m/s er reduksjonen av hastighet fra 60 % til 25 %.

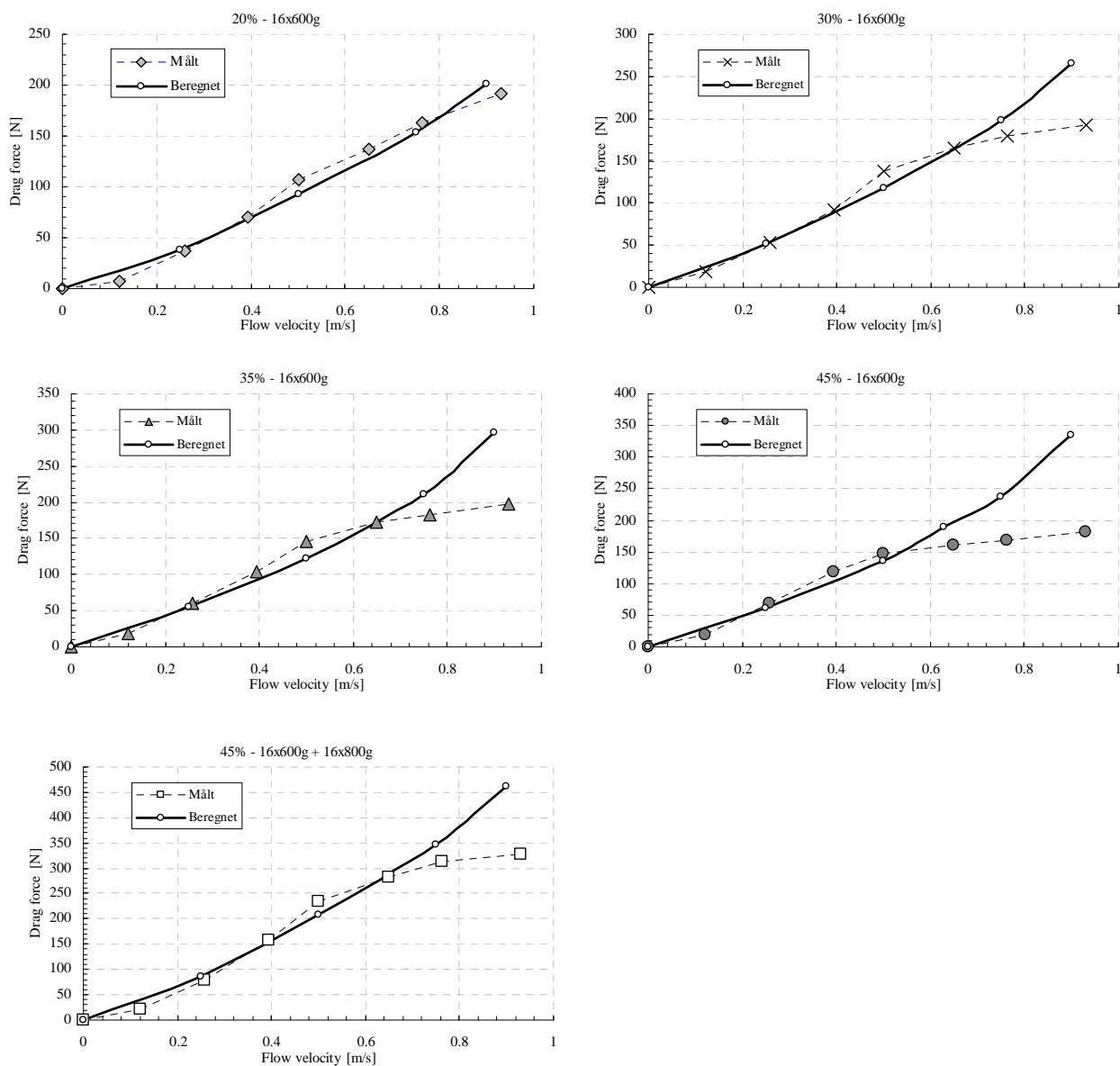


Figur 8 Reduksjon av strømhastigheten bak nota relativt til innkommende strøm som funksjon av strømhastighet for de forskjellige nøtene. Hastigheten måles 50cm under ringen og 20cm bak posisjonen til nedstrøms notvegg.

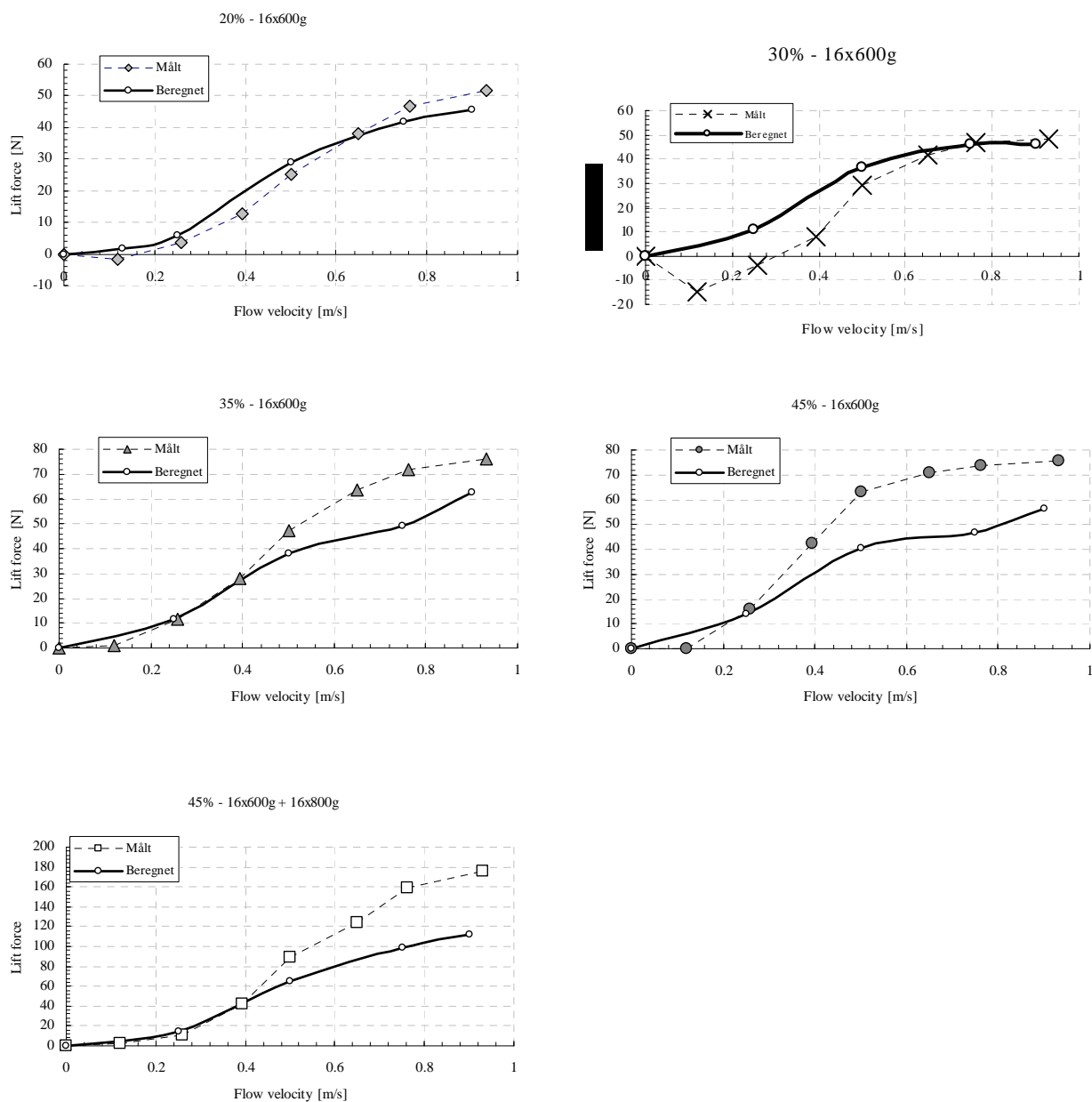
Modellforsøk er kostbart og tidkrevende, det er derfor viktig å kunne forutsi kreftene på en rask og relativt nøyaktig måte ved hjelp av beregninger og simuleringer. Det finnes i dag flere metoder og kommersielt tilgjengelige programmer for å gjøre beregninger av strømbelastning på nøter. En av metodene som brukes, er å benytte beregningsprogrammet ABAQUS³. I ABAQUS ble nota modellert ved hjelp av bjelkeelementer, og de hydrodynamiske kreftene ble beregnet ved en Morrisonformulering.

³ ABAQUS baserer seg på "Finite Element Methode" (FEM) og brukes til å gjøre en rekke forskjellige beregninger av last og lastvirkning. For mer detaljer om den numeriske modellen henvises det til Heidi Moes doktorgradsarbeid (Styrkeanalyse av oppdrettsnøter).

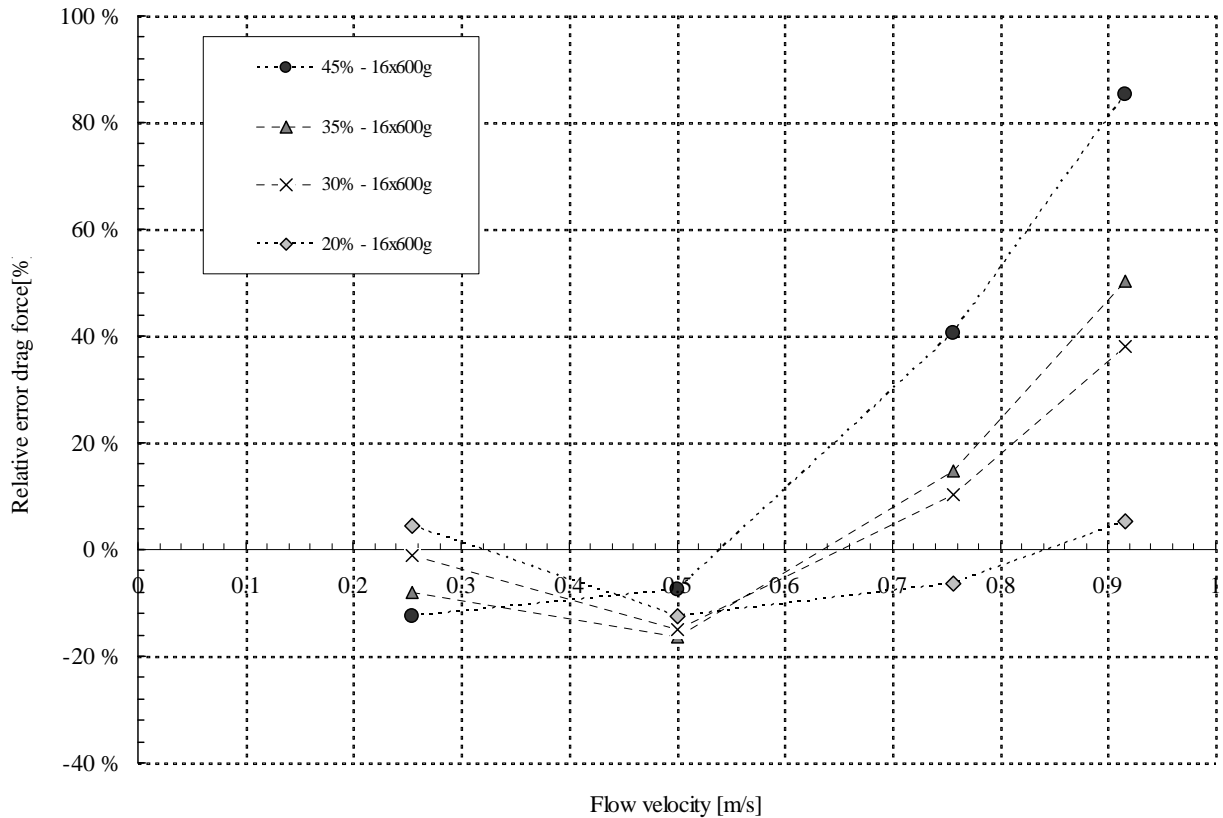
I Figur 9 og Figur 10 er det vist en sammenligning mellom beregninger gjort i ABAQUS og de målte kreftene. Relativ feil er vist i Figur 11 og Figur 12 Det som er viktig å merke seg, er at beregningsmetoden gir større avvik for de høyeste soliditetene. En annen viktig observasjon er at beregninger avviker fra modellforsøk ved en lavere hastighet for økende soliditet. For den laveste soliditeten (20 %) er avviket mindre enn 15 %, mens det for de høyere soliditetene er betydelig høyere avvik opp mot 45 %. Avviket for løftkraft er betydelig større, og også her er det nøtene med høyeste soliditet som gir størst avvik.



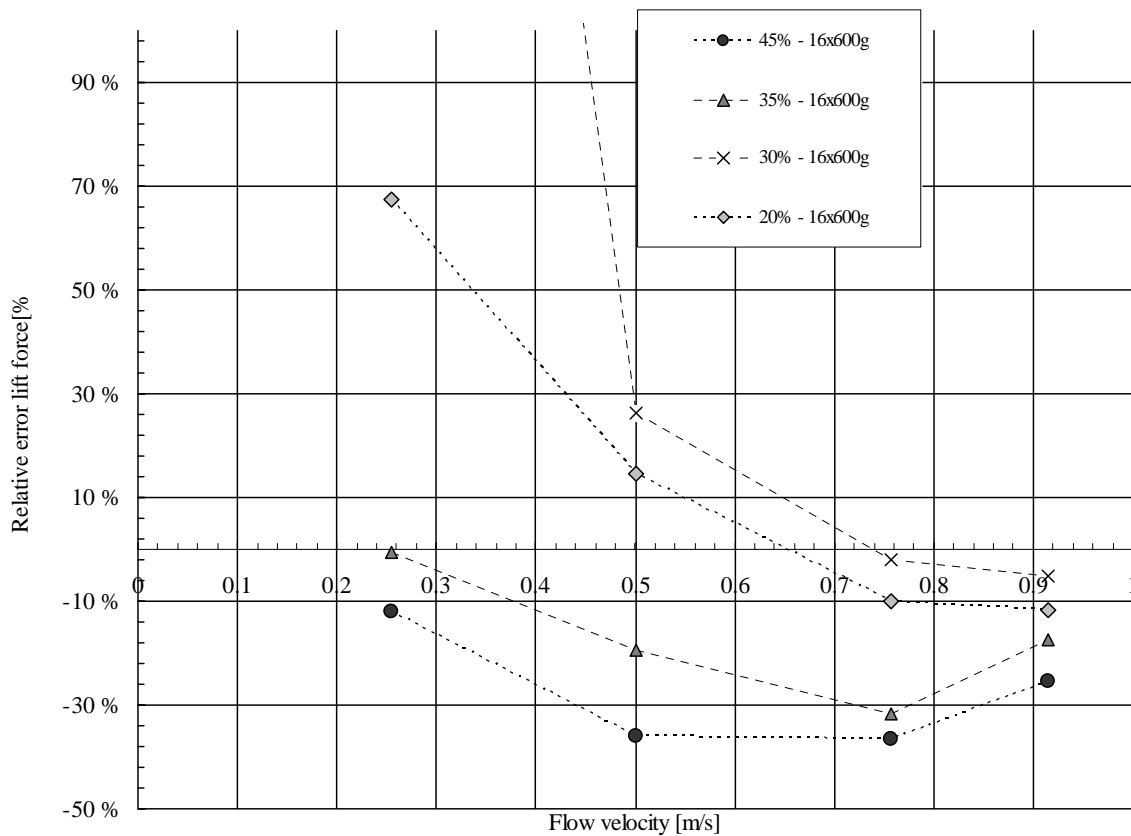
Figur 9 Beregnet (heltrukken linje) og målt dragkraft (stiplet linje) for de forskjellige konfigurasjonene.



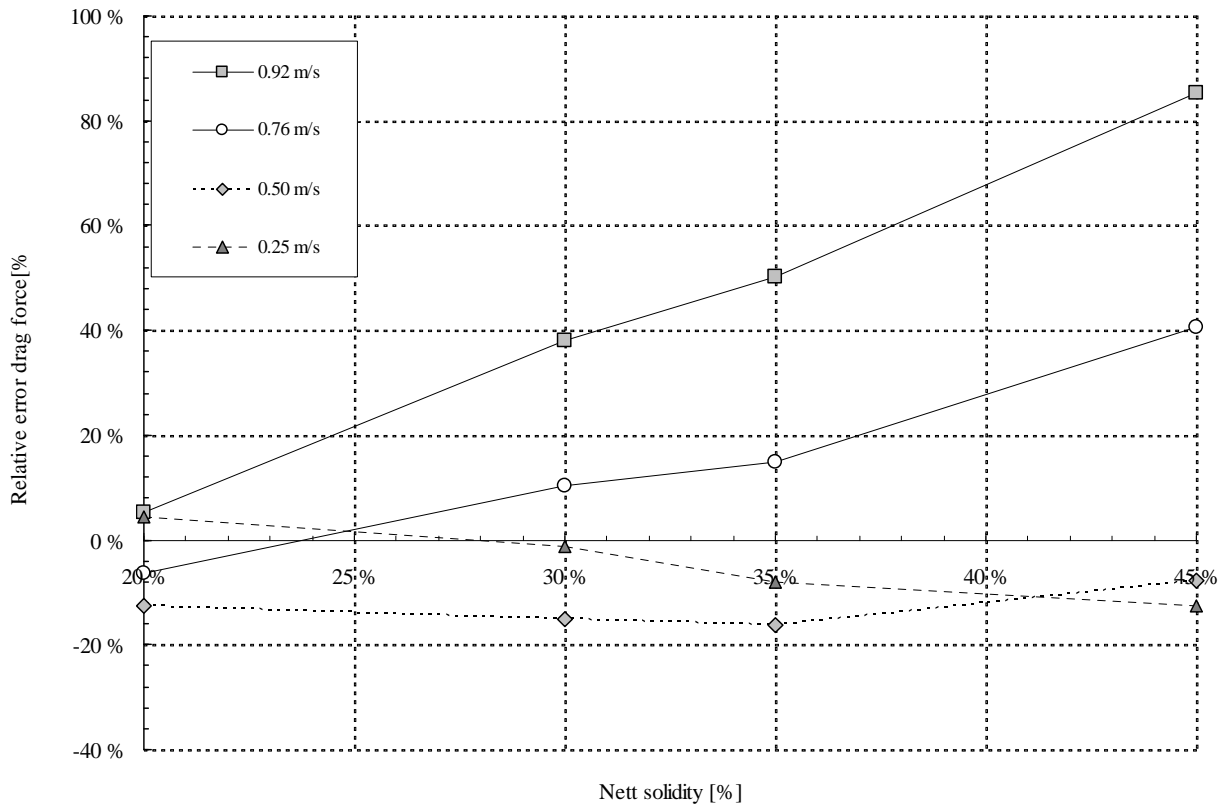
Figur 10 Beregnet (heltrukken linje) og målt løftkraft (stiplet linje) for de forskjellige konfigurasjonene.



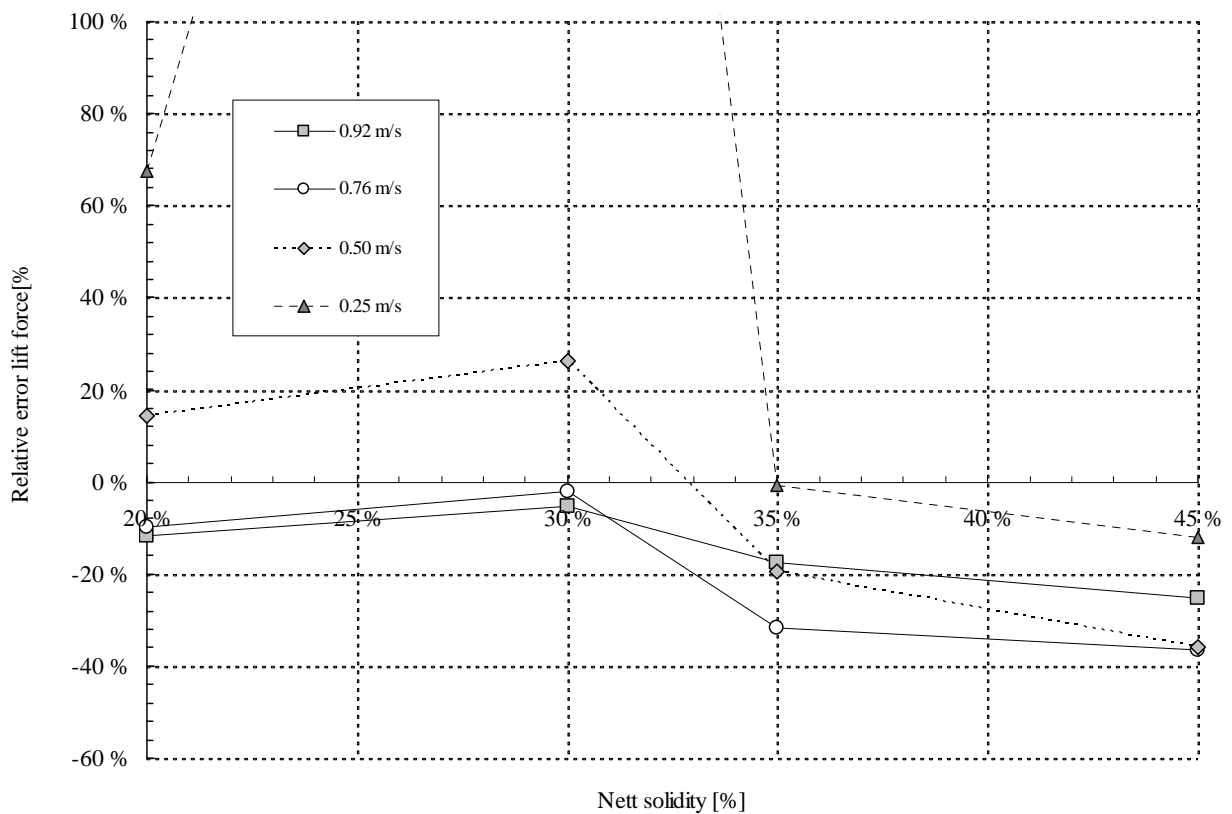
Figur 11 Relativ avvik (som funksjon av strømningshastighet) mellom beregnet og målt drag som gitt i Figur 9 for de fire forskjellige notmodellene.



Figur 12 Relativ avvik (som funksjon av strømningshastighet) mellom beregnet og målt løft som gitt i Figur 10 for de fire forskjellige notmodellene. Relativt avvik for not med 30 % soliditet ved strømhastighet på 0.25 m/s var på 375 %. Det store avviket skyldes negativt løft i modellforsøkene mens løft ble beregnet til å være positivt i analysene.

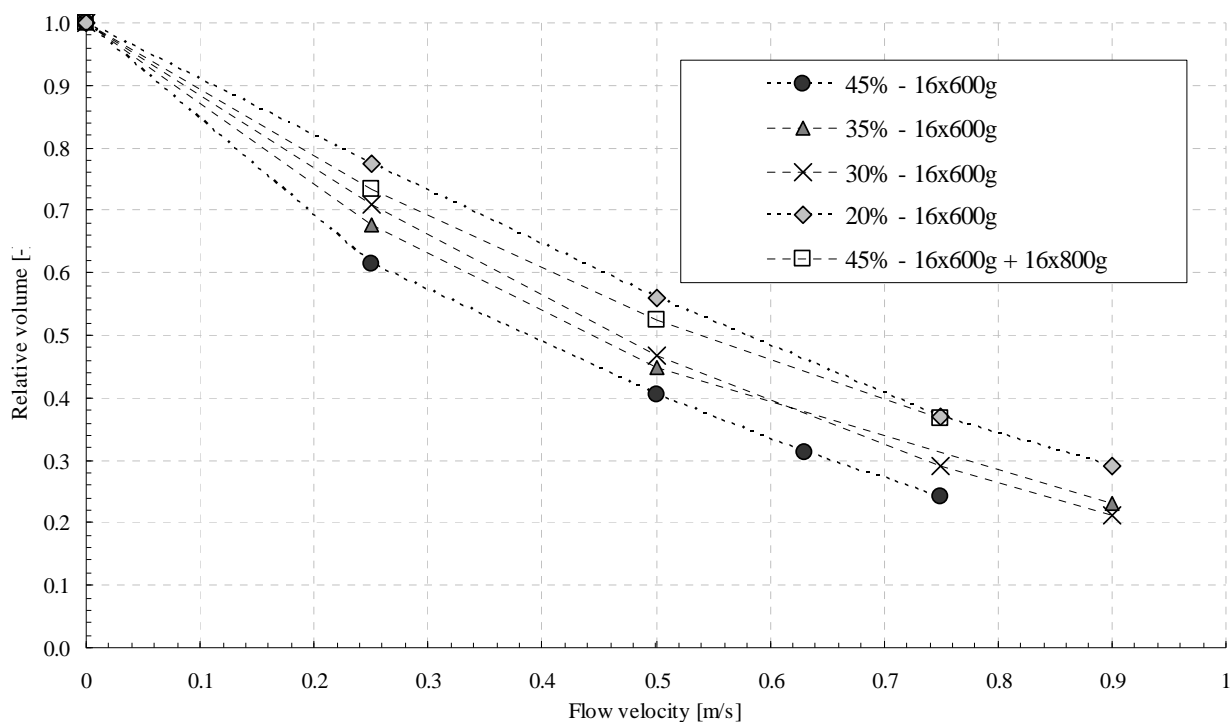


Figur 13 Relativ avvik (som funksjon av soliditet) mellom beregnet og målt drag som gitt i Figur 9 for de fire forskjellige notmodellene.



Figur 14 Relativ avvik (som funksjon av soliditet) mellom beregnet og målt løft som gitt i Figur 10 for de fire forskjellige notmodellene. Relativt avvik for not med 30 % soliditet ved strøm hastighet på 0,25 m/s var på 375 %. Det store avviket skyldes negativt løft i modellforsøkene mens løft ble beregnet til å være positivt i analysene.

Figur 15 viser reduksjon av notas volum som funksjon av strømhastighet beregnet fra ABAQUS. Som figuren viser, er volumreduksjonen sterkt avhengig av strømhastighet, soliditet og nedlodning. Selv ved en mer enn dobling av loddvekt vil volumreduksjonen være vesentlig, spesielt ved store strømhastigheter.



Figur 15 Beregnet volumendring som funksjon av strømhastighet.

Reduksjon i not volum er hentet fra de numeriske simuleringene og ikke sammenlignet med målte verdier fra modellforsøkene. Nøyaktigheten er noe usikker men vil være god når drag og løft er beregnet med stor nøyaktighet og ikke fullt så god i de tilfellene hvor drag og løft beregnes med lav nøyaktighet.

5 Diskusjon og oppsummering

5.1 Valg av soliditet ved beregninger

Ved beregning og dimensjonering av nøter, flyter og forankring, benyttes i dag ihht NS9415 - en soliditet som tilsvarer 1,5 ganger den største forventede soliditeten til ren not. I praksis betyr dette at dersom man dimensjonerer for smoltnot med en soliditet på rundt 0,25, noe som gir en dimensjonerende soliditet på rundt 0,375 (kan også være høyere hvis nota enten har høyere soliditet i utgangspunktet eller er veldig begrodd). De fleste kjente metoder for beregning av krefter på nøter er ikke verifisert for høye soliditeter (ca større enn 0.3). Vannet begynner delvis å strømme rundt nota istedenfor å gå gjennom ved relativt høye hastigheter (beregningene antyder ca 0.60 m/s i vårt tilfelle). Benyttes for eksempel Morrisons ligning for beregning av krefter, vil denne effekten med strømming rundt nota ikke bli tatt hensyn til. Metoder og programmer som benytter seg av denne angrepsmetoden, vil dermed gi en svært konservativ kraftberegning, og for store strømhastigheter (opp mot 1 m/s) kan den beregnede kraften være dobbel så stor som den faktiske.

Modellforsøkene viser at en økning i soliditet fra 0,30, i dette tilfellet ikke gir en betydelig økning i dragkraft. Dragkraften er tilnærmet lik for nøter med soliditet på 0,30, 0,35 og 0,45 med lik nedlodning. Denne effekten fanges ikke fullt opp av de numeriske analysene. Beregningene vha Morrisons ligning viser at ved en soliditet på 0.20 stemmer beregninger og modellforsøk godt over ens. I dette tilfellet kan man anta at det meste av vannet faktisk strømmer gjennom nota for hastigheter mindre eller lik 0,9 m/s. (den faktiske soliditeten øker med økt deformasjon av nota). Når soliditeten økes til 0,30, ser vi at vi begynner å overestimere kreftene som virker på nota når hastigheten er høyere enn ca 0,6 m/s. En mulig konklusjon kan være at man ved hastigheter mellom 0.6 og 0.9 m/s bør benytte en soliditet på 0,25 ved beregning av nøter, da dette vil gi de største kreftene man kan forvente å få på en oppdrettsnot. Ved beregning av forankringssystemer må man i tillegg ta hensyn til skyggeeffekter, dvs at vannet "bremses opp" når det går gjennom ei not. Dermed kan det også være tilfeller der en relativt lav soliditet (lavere enn 0,25) kan gi de største belastningene på anlegget.

5.2 Oppsummering

Nedenfor er de viktigste funnene fra modellforsøkene og de numeriske simuleringene oppsummert. Den praktiske betydningen for oppdrettere, utstysleverandører og leverandører av fortøyningsanalyser er også poengtert hvis aktuelt. Det vil bli utarbeidet et faktaark som vil bli distribuert gjennom FHF.

- Notdeformasjon, drag- og løftkraft øker med økende hastighet og økende soliditet.
- Selv om notdeformasjon kan reduseres med økende nedlodning, vil deformasjonen være markant spesielt ved store strømhastigheter.
- For den laveste soliditeten (20 %) ble dragkraft relativt bra estimert for alle hastigheter.
- For de resterende nøtene ble dragkraften overestimert (overestimert med over 80 % for soliditet på 45 % ved hastighet på 0,9 m/s) når hastigheten når grensehastigheten.
 - Denne grensehastigheten ser ut til å reduseres ved økende soliditet(ca 0,65 m/s for soliditet på 30 % og ca ved 0,5 m/s ved soliditet på 45 %).
 - Dette medfører at dragkraften som beregnes i forbindelse med fortøyningsanalyser, overestimeres.
- Variasjonene i beregning av løftkraft er større enn variasjonene i beregnet dragkraft.
 - Avvikene i beregnet løftkraft er mindre entydige enn variasjonene for beregnet dragkraft.

- Avvik i beregnet løftkraft har mindre betydning for fortøyningsanalyser, men vil ha betydning for beregnet notvolumsreduksjon.

Trondheim

Adresse: 7465 Trondheim

Telefon: 73 59 30 00

Fax: 73 59 33 50

Oslo

Adresse: P.O. Boks 124, Blindern, 0314 Oslo

Telefon: 22 06 73 00

Fax: 73 06 73 50