

Kunnskap for en bedre verden

Bacheloroppgave

IP305012 - Bacheloroppgave

**Verifisering av forenklet metode for beregning av
bølgeinduserte skipsbevegelser ved hjelp av
ShipX/VERES**

Kandidatnummer: 1009, 1031

Totalt antall sider inkludert forsiden: 107

Ålesund, 01.06.2016

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§14 og 15.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at NTNU vil behandle alle saker hvor det foreligger mistanke om fusk etter NTNUs studieforskrift §31	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Studiepoeng: 20 per kandidat

Veileder: Karl Henning Halse

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten ([Åndsverkloven §2](#)).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved NTNU i Ålesund en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja nei

Er oppgaven unntatt offentlighet?

ja nei

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13/Fvl. §13](#))

Dato: 03.06.2016

Hovedprosjekt

For

Jens Berg Ildstad og Thomas Mordt Kolstad

**NTNU i Ålesund,
Avd. for maritim teknologi og operasjoner,
Skipsdesign**

Vårsemester 2016

Tittel:

Verifisering av forenklet metode for beregning av bølgeinduserte skipsbevegelser ved hjelp av ShipX/VERES

Juncher Jensen et al. har publisert en artikkel om en forenklet metode å beregne bevegelser til et skip i bølger. Målet med artikkelen er å gi et bilde på hvordan et skip vil bevege seg i bølger tidlig i designfasen. På bakgrunn av disse formlene har NTNU i Ålesund utarbeidet en web-basert applikasjon som viser bølgebevegelsene med enkle input som hoveddimensjoner, fart og retning på bølgene. Denne applikasjonen kan anvendes i en tidlig designfase for å få oversikt over hvordan hoveddimensjonene påvirker skipets oppførsel i bølger.

Denne oppgaven går ut på å danne seg erfaring med hvor godt den forenklete metoden klarer å estimere skipets oppførsel i bølger. Kandidatene skal sammenligne resultat fra denne metoden med numeriske beregninger gjennomført med et beregningsprogram som blir mye brukt av skipsdesignere i dag, ShipX/VERES.

Opgavens omfang kan deles inn i følgende deler:

- Sette seg inn i bakgrunnen for Juncher Jensens forenklete metode
- Sette seg inn i teorien bak ShipX/Veres, og bruke god tid på å lære seg programmet godt.
- Gjennomføre en casestudie og sammenligne de to metodene. Forslag til mulig case-studie kan være:
 - Lekter
 - Eksempelfartøy i ShipX (S-175)
 - OSV
 - Fiskefartøy (tråler, brønnbåt)
 - Kan justeres på et senere tidspunkt med flere eller færre case.
- Avgjøre om den forenklete metoden er god nok og hvordan dette eventuelt vil påvirke designprosessen.

Kandidatene er ansvarlig for å innhente nødvendig informasjon fra samarbeidende part. Veileder ved Høgskolen i Ålesund er Karl H. Halse.

Oppgaven kan vise seg å være mer omfattende enn først antatt. I samråd med veileder kan omfanget av oppgaven reduseres.

Besvarelsen redigeres som en teknisk rapport, med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte og diskuteres utførlig.

Kandidaten skal i arbeidet med hovedprosjektet lage en tydelig fremdriftsplan med kritiske milepeler, samt presentere oppgaven og redegjøre for hvordan han tenker å gå fram for å løse den.

Tidspunkt: **torsdag 28. januar 2016, kl.12:15 – 14:00**

Sted: **auditorium Sukkertoppen**

Ved denne presentasjonen leveres også inn et A3 ark som illustrerer oppgavens utfordringer. En mal for dette finnes på *Classfronter - Hovedprosjekt*. Arket skal oppdateres ved sluttinnlevering av hovedprosjektet.

For innlevering av avsluttende oppgaver til bachelorstudiet ved NTNU i Ålesund vises det til: http://www.hials.no/nor/hials/student/studiehverdag/eksamen/innlevering_av_avsluttende_oppgaver hvor det står beskrevet hva som kreves.

Avdelingen skal også ha prosjektrapport, statusrapport, tegninger og lignende levert på en CD, som legges ved hovedprosjektrapporten.

Ålesund 31. januar 2016

Jens Berg Ildstad
Student

Thomas Mordt Kolstad
Student

Karl H Halse
Veileder

Sammendrag

Denne oppgaven tar for seg to ulike metoder for å beregne bølgeinduserte skipsbevegelser. Det er gjennomført en sammenlikning mellom dataprogrammet ShipX VERES, utviklet av Norsk Marinteknisk Forskningsinstitutt, og en forenklet metode utarbeidet av professor Jørgen Juncher Jensen ved Danmarks Tekniske Universitet. Den forenklete metoden er senere kodet inn i en internettapplikasjon, *Ship Motion Application*, av Henrique Gaspar og Stephano Andrade ved NTNU i Ålesund. Hensikten med oppgaven er å verifisere den forenklete metoden og vurdere om resultatene er akseptable. Deler av rapporten fokuserer på teorien bak de to metodene, samt generell skipsdesignteori for å kunne gi en viss praktisk vinkling i oppgaven.

Sammenlikningen er gjennomført for fire ulike skip: En lekter, et containerskip, en ankerhåndterer og en tråler, alle i et diverse utvalg hastigheter. Det er analysert aktuelle bølgeretninger fra 0 til 180 grader, og studert bevegelser i hiv, rull og stamp samt kombinert vertikal bevegelse og akselerasjon. I tillegg er det gjort en sammenlikning på to forskjellige ankerhåndterere med like hoveddimensjoner for å se om den forenklete metoden fanger opp ulikheter i skrogform.

J.J. Jensens forenklete metode gir vesentlige avvik i responsamplitude og resonansområde. Forskjellene stammer hovedsakelig fra Jensens antakelser om konstant tilleggsmasse, definering av dempingskoeffisienten og at skip betraktes som boks-formede. Disse forskjellene gjør at den forenklete metoden ikke egner seg som et verktøy for detaljdesign av skip. Det faktum at det er raskt å gjøre endringer og lett å se hva som påvirker bevegelsene til fartøyene. Gjør at den passer bedre som et hjelpemiddel i konseptutvikling og ikke minst som et godt undervisningsverktøy.

Abstract

This thesis examines two different methods to calculate the wave-induced ship motions. It is carried out a comparison between the computer program ShipX VERES, developed by The Norwegian Marine Technology Research Institute, and a simplified method developed by Professor Jørgen Juncher Jensen at the Technical University of Denmark. The simplified method has later been coded into a web application, Ship Motion Application, by Henrique Gaspar and Stephano Andrade at NTNU in Aalesund. The purpose of the exercise is to verify the simplified method and assess whether the results are acceptable. Parts of the report focuses on the theory behind the two methods, as well as overall ship design theory to provide a practical approach to the task.

The comparison is carried out on four different vessels: A barge, a container ship, an anchor handler and a trawler, all in a diverse range of speeds. It is analyzed relevant wave directions from 0 to 180 degrees. It is studied movements in heave, roll and pitch and combined vertical movement and acceleration. In addition, there is made a comparison of two different anchor handlers with identical main dimensions to see if the simplified method captures differences in the hull shape.

J.J. Jensen's simplified method delivers significant differences in response amplitude and resonance range. The differences originate mainly from Jensen's assumptions about constant added mass, the definition of the damping coefficient and that the ship is considered box-shaped. These differences give that the simplified method is not suitable as a tool for detail design of ships. Because of the fact that it is easy to make quick changes and easy to see what influences the movements of the vessel. The simplified method fits better as support during concept development and as a good educational tool.

Forord

Med denne oppgaven avslutter vi vår bachelorgrad i Skipsdesign og dermed tre fine år ved NTNU i Ålesund. Motivasjonen for å arbeide med denne oppgaven var anledningen til å lære noe nytt og skrive en oppgave som skiller seg ut blant andre hovedoppgaver for skipsdesignstudenter. Læringsutbyttet har vært stort og muligheten til å lære seg et nyttig verktøy brukt i industrien var helt klart verd innsatsen lagt ned i arbeidet.

Vi vil rette en stor takk til Karl Henning Halse ved NTNU i Ålesund for å ha satt av tid til oss hver uke og veiledet oss gjennom hele prosessen. Samt for lån av, og tips til, svært relevant litteratur innen oppgavens fagområde.

Ålesund, 1.juni 2016

Jens Berg Ildstad og Thomas Mordt Kolstad

Innhold

NOTASJON.....	XII
1 INTRODUKSJON	1
1.1 HENSIKT	1
1.2 LESERVEILEDNING	2
2 TEORIGRUNNLAG	3
2.1 SKIPSDESIGN	3
2.2 SKIPSBEVEGELSE	3
2.2.1 Bølgestatistikk.....	6
2.3 SHIPX	6
2.3.1 Stripeteori.....	8
2.3.2 Grensebetingelser.....	8
2.3.3 Laster.....	10
2.4 SHIP MOTION APPLICATION	11
2.4.1 J.J. Jensens metode	12
3 METODE.....	16
3.1 CASE.....	16
3.1.1 Lekter	17
3.1.2 AHTS	18
3.1.3 Tråler.....	18
3.1.4 Containerskip	19
3.2 SHIPX VERES	19
3.3 SHIP MOTION APPLICATION	21
3.4 PLOTTING.....	22
3.5 LITTERATURGJENNOMGANG	23
4 RESULTATER	24
4.1 Hiv	24
4.1.1 Null knop	24
4.1.2 Hastighet	25
4.2 RULL.....	25
4.3 STAMP	27
4.3.1 Null knop	27
4.3.2 Hastighet	27

4.4	VERTIKAL BEVEGELSE	28
4.4.1	FP	28
4.4.2	AP	29
4.4.3	Bro.....	30
4.5	VERTIKAL AKSELERASJON.....	30
4.5.1	FP	30
4.5.2	AP	31
4.5.3	Bro.....	31
4.6	SAMMENLIKNING AV ANKERHÅNTERERE.....	32
4.6.1	Hiv.....	32
4.6.2	Stamp	33
4.6.3	Rull.....	34
5	DISKUSJON.....	35
6	KONKLUSJON.....	40
	REFERANSER	42

VEDLEGG A: DATA FRA SAMTLIGE RESULTATER

VEDLEGG B: KONVERTERINGSTABELL FOR BØLGELENGDEFORHOLD

Notasjon

η_i	Skipsbevegelser
∇	Gradient
A_{jk}	Tilleggsmasse
A_w	Vannlinjeareal
B	Bredde
B_{jk}	Dempningsledd
C_B	Blokkoeffisient
C_{jk}	Stivhetsledd
C_{WP}	Vannlinjearealkoeffisient
F	Krefter som virker på skipet
g	Tyngdeakselerasjon
GM_T	Transvers metasenterhøyde
i, j, k	Enhetsvektorer langs x, y, z -aksen
k, k_e	Bølgetall, effektivt bølgetall
L	Skipets lengde
M_{jk}	Masseledd
n	Normalvektor
p	Trykk
Q	Kildestyrke
T	Dypgang
T_n	Egenperiode
U	Skipets hastighet
V	Hastighetsvektor til væsken
Γ	Moment som ruller fartøyet i J.J. Jensens metode
Δ	Deplasement
Λ	Hydrodynamisk demping i J.J. Jensens metode
Φ	Frekvensrespons funksjoner
w	Hivbevegelser
x, \dot{x}, \ddot{x}	Translasjon/rotasjon, Hastighet, Akselerasjon
α	Parameter for hastighet og vinkel

δ	Prismatisk lengdeforhold
ζ, ζ_a, a	Bølgehevning, Bølgeamplitude
θ	Stampbevegelser
λ	Bølgelengde
μ	Prosentvis kritisk demping
ρ	Tetthet
φ	Rullbevegelser
$\omega, \bar{\omega}$	Frekvens, møtefrekvens
∂	Partielt derivert
ϕ	Hastighetspotensial

Forkortelser

AHTS	Anchor Handling Tug and Supply
AP	Aktre perpendikulær
CSV	Kommaseparert fil
FP	Forre perpendikulær
RAO	Response Amplitude Operator
S.AHTS	Skalert ankerhåndterer, profesjonelt designet
VERES	Vessel Responses
VLCC	Very Large Container Carrier

1 Introduksjon

Beregning av bølgeinduserte bevegelser er en viktig del av skipsdesignprosessen. Med disse beregningene kan man bestemme under hvilke forhold et skip kan operere og hvilke begrensninger det har, både med hensyn til komfort og sikkerhet for mannskap og passasjerer om bord.

For å finne disse bevegelsene kan det utføres en modelltest, noe som er tidskrevende og kostbart. Som et annet alternativ kan en bruke programvare basert på en numeriske metoder, som for eksempel stripeteori. ShipX VERES er et godt eksempel på et slikt program, det er relativt enkelt å bruke og gir resultater som samsvarer godt med modellforsøk.

I 2004 publiserte Jensen og Mansour artikkelen *Estimation of ship motions using closed form expressions*, som presenterte analytiske formler for å beregne skipsbevegelser for hiv, stamp og rull. Ved å programmere inn disse formlene har Gaspar og Andrade (2015) laget den internettbaserte applikasjonen *Ship Motion Application*. Med få input gir den responsfunksjonene til hiv, stamp, rull, samt vertikal bevegelse og akselerasjon.

Det hersker tvil om denne beregningsmetoden gir resultater som er gode nok til at de kan brukes i en designprosess. Gjennom en casestudie har det blitt testet og sammenliknet resultater for fire forskjellige fartøy: En tråler, en ankerhåndterer, et containerskip og en lekter. For å gi svar på dette spørsmålet.

1.1 Hensikt

Hensikten med oppgaven er å verifisere den forenklete metoden (Jensen, mfl., 2004), mot det velkjente og mye brukte programmet ShipX. Sammenlikningen av disse to metodene skal brukes til å avgjøre om JJ Jensens metode gir akseptable resultater og hvilke bruksområder *Ship Motion Application* eventuelt passer til.

Oppgavens natur gjør at det har vært hensiktsmessig å bruke mye tid på å sette seg inn i og lære seg ShipX. Programmet har mye funksjonalitet og for å få gode sammenlikninger har det vært nødvendig med god kunnskap om programmet.

1.2 Leserveiledning

Oppgaven er bygd opp etter følgende format:

1. Teori
2. Metode
3. Resultater
4. Diskusjon og Konklusjon

Teoridelen tar for seg teorien bak de to beregningsmetodene og generell skipsdesignteori, i metodedelen er det en gjennomgang av de utførte casene og beskrivelse av det som har blitt gjort i oppsettet av analysen. I resultatkapitlet er det presentert et utvalg av analyseresultat med generelle kommentarer, samtlige resultat er lagt ved som vedlegg til rapporten. Diskusjonen vil kommentere de generelle funnene fra resultatet og bygger videre til en konklusjon. I begynnelsen av hvert kapittel er det en innledende forklaring til hva som blir tatt opp.

Det er viktig å påpeke at ShipX ansees som fasit i oppgaven og at resultatene er kommentert i forhold til det ShipX oppfatter som virkelighet. Det er ikke tatt hensyn til nøyaktigheten eller begrensningene til ShipX i forhold til modellforsøk eller virkelige skip.

2 Teorigrunnlag

Dette kapitlet forklarer teorien som ligger til grunn for oppgaven. I tillegg til å se på det matematiske grunnlaget bak de ulike metodene, er det inkludert grunnleggende skipsdesignteori. Dette for å gi en mer praktisk tilnærming til bruken av de ulike beregningsmodellene.

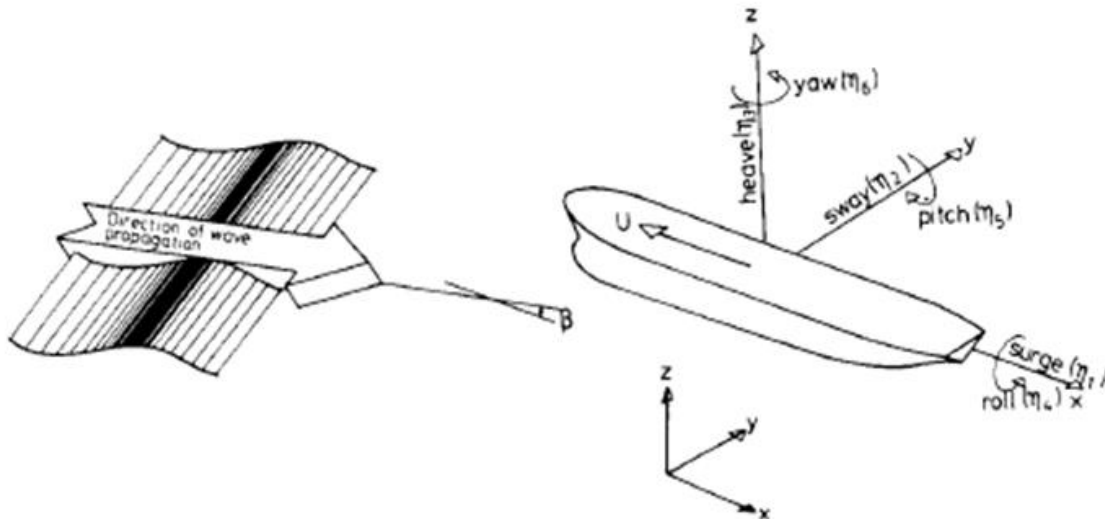
2.1 Skipsdesign

Skipsdesign er en kontinuerlig iterativ prosess. Prosessen starter typisk med ønske fra en reder om et nytt skip, han har ofte visse krav til type fartøy, lasteevne og hastighet. For å utforske mulige kombinasjoner av hoveddimensjoner, går en nå inn i en konseptutviklingsfase. Denne bør gjøres i tett samarbeid med skipets fremtidige eier. Her har en ikke nødvendigvis bestemt seg for linjeutforming, men er mer interessert i kombinasjoner av hoveddimensjoner som vil oppfylle kravene til rederen. Her kan det også være interessant å se hvordan de ulike kombinasjonene påvirker bevegelsene til skipet og få en viss pekepinn på dette før linjene blir utarbeidet. Konseptfasen er viktig for å ikke binde seg til et konsept men å se på flere muligheter før en velger hvilken retning prosjektet utvikler seg.

Når en har bestemt seg for et konsept, starter linjeutformingen og den iterative prosessen, hvor man hele tiden gjør små endringer for å komme frem til det endelige resultatet. I denne delen av prosessen må man prøve og feile, her vil man gjerne ha mer nøyaktige svar på hvordan skipet oppfører seg i sjø, stabiliteten til skipet og plassering av tanker og rom. Når linjene er på plass vil man gjerne gjøre et modellforsøk for å finne ut hvordan skipet vil oppføre seg i virkeligheten. Deretter blir det foretatt styrke- og strukturberegninger og skipet blir bygget.

2.2 Skipsbevegelse

For å kunne beskrive et skips bevegelser er det nødvendig å definere et koordinatsystem med origo i skipets samlede tyngdepunkt. Translasjoner i x-, y- og z-retning kalles henholdsvis jag, svai og hiv. Rotasjon om x-, y-, og z-aksene kalles henholdsvis rull, stamp og gir, se figur 2.1.



Figur 2.1 Skipets frihetsgrader (Faltinsen, 1990, s. 41)

I matematikken er disse bevegelsene ofte uttrykt på matrisform. Se likning 2.1.

$$\eta = [\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5, \eta_6] \quad (2.1)$$

$$\eta_1 = Jag \quad \eta_2 = Svai \quad \eta_3 = Hiv \quad \eta_4 = Rull \quad \eta_5 = Stamp \quad \eta_6 = Gir$$

I et 6-frihetsgradssystem har vi en bevegelsesligning som ser slik ut:

$$[M_{jk} + A_{jk}]\ddot{x} + [B_{jk}]\dot{x} + [C_{jk}]x = F, \quad (j = 1, 2, \dots, 6, k = 1, 2, \dots, 6) \quad (2.2)$$

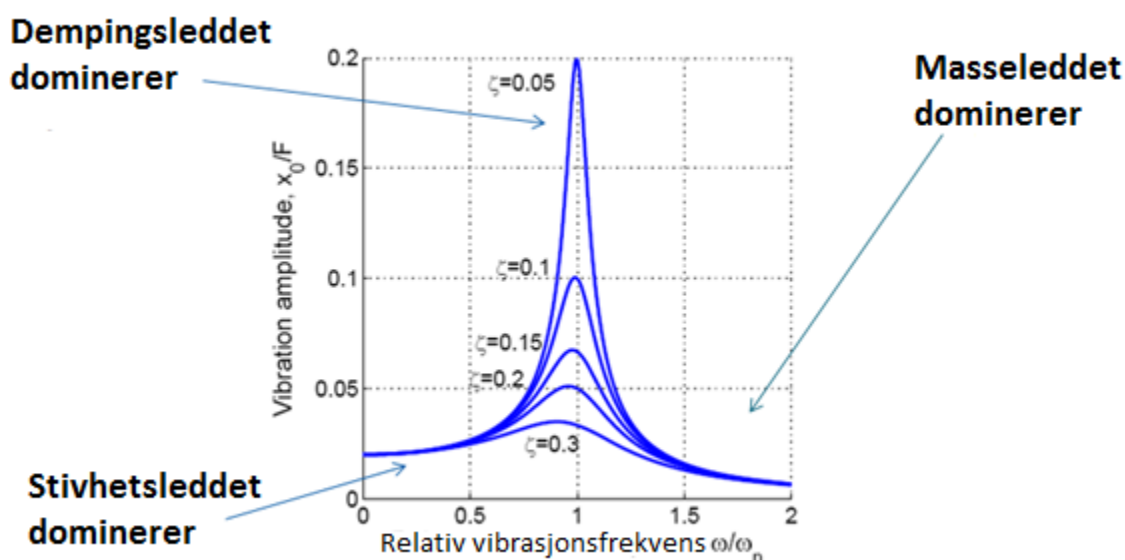
Der F er den totale kraften som påvirker objektet som blir satt i bevegelse. $M+A$ er masseleddet, hvor M er skipets masse og A er tilleggs masse fra vannet som blir akselerert rundt skipet. B er dempingsleddet, og C er stivhetsleddet. Disse blir regnet ut for hver frihetsgrad og vi får da en en 6x6 matrise for hver av konstantene M , A , B og C . Se figur 2.2 for et eksempel.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 & 0 & A_{15} & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 & A_{24} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A_{42} & 0 & A_{44} & 0 & 0 \\ A_{51} & 0 & 0 & 0 & A_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_{66} \end{bmatrix}$$

Figur 2.2 Eksempel på matrise for tilleggs masse (Bergdahl, 2009)

Det er vanlig praksis å se bort fra bevegelsene som ikke opptrer ut av xy-planet (vannoverflaten), gir, svai og jag, altså kun se på hiv, stamp og rull. Dette er fordi de tre siste er bevegelser som skjer ut av planet slik at skipet vil tilstrebe å komme tilbake til likevektposisjonen. Dette skaper svingninger og gjør at skipet oscillerer.

I et slikt system kan en se at de forskjellige leddene har ulik påvirkning i forhold til egenfrekvensen, se Figur 2.3. I resonansområdet vil vi ha et dempings-dominert system, for lange bølger vil den hydrostatiske stivheten til fartøyet dominere og for korte bølger vil masseleddene være det dominerende leddet.



Figur 2.3 Transferfunksjon for tvungen harmonisk bevegelse, som funksjon av relativ frekvens (Palm III, 2007, s. 214). ζ er på figuren andel av kritisk demping.

Det er vanlig å presentere skipsbevegelser i såkalte Response Amplitude Operators (RAO). RAO stammer fra en transferfunksjon mellom bølgeheving og krefter som virker på skipet fra regulære bølger, se likning 2.3.

$$H_{F\zeta}(\omega) = \frac{F_a}{\zeta_a} = e^{-kT} \sqrt{\{C - A\omega^2\}^2 + \{B\omega\}^2} \quad (2.3)$$

Der F_a er bølgekraftene, ζ_a er bølgeheving, e^{-kT} er smith effekten, A, B og C er hydrodynamiske koeffisienter. ω er bølgefrequensen. Denne transferfunksjonen blir så kombinert med

transferfunksjonen for bølgekrefter og respons, som kommer fra skipets bevegelsessystem (likning 2.4).

$$|H_{\eta F}(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(C_{33} - \omega^2(M + A_{33}))^2 + (\omega B_{33})^2}} \quad (2.4)$$

Den kombinerte transferfunksjonen viser bevegelser per meter bølgeamplitude, likning 2.5. I en RAO blir Transferfunksjon presentert som en funksjon av bølgefrequens, se figur 2.3.

$$H_{\eta \zeta}(\omega) = H_{\eta F}(\omega) \cdot H_{F \zeta}(\omega) = \frac{\eta_0}{\zeta_0}(\omega) \quad (2.5)$$

2.2.1 Bølgestatistikk

For å kunne beregne bølgekrefter er det naturligvis nødvendig å beskrive bølgene eller den aktuelle sjøtilstanden. I de fleste beregningsmetodene blir det benyttet et bølgespekter. Et slikt spekter består av flere regulære sinusbølger med ulike frekvenser, amplituder, bølgelengder og bølgeretning. Ved bruk av det lineære superposisjonprinsippet legges disse bølgene over hverandre, og simulerer på den måten en irregulær sjøtilstand som beskriver virkelige tilstander i havet. Dette stammer fra St. Denis og Piersons (1953) artikkel der det antas at responsen til et skip i irregulære bølger kan sees på som summen av responsen i regulære bølger med ulike frekvenser. For å beskrive flere ulike sjøtilstander er det utviklet forskjellige bølgespekter. Ifølge Faltinsen (1990) er bølgespekter regnet som korttids statistikk da det beskriver sjøtilstanden i alt fra 30 minutter til 10 timer. Ønsker vi å se på langsiktig statistikk, må vi se på et såkalt *wave scatter diagram*. Dette er en tabell som beskriver sannsynligheten for å få en bølge med gitt signifikant bølgehøyde, som korresponderer med en gitt periode. Det er i denne oppgaven fokusert på bevegelser i regulære sinusbølger. For en grundigere beskrivelse av ulike bølgespekter og bølgestatistikk refereres det derfor til for eksempel *Sea Loads on Ship and Offshore Structures* av O. M Faltinsen(1990).

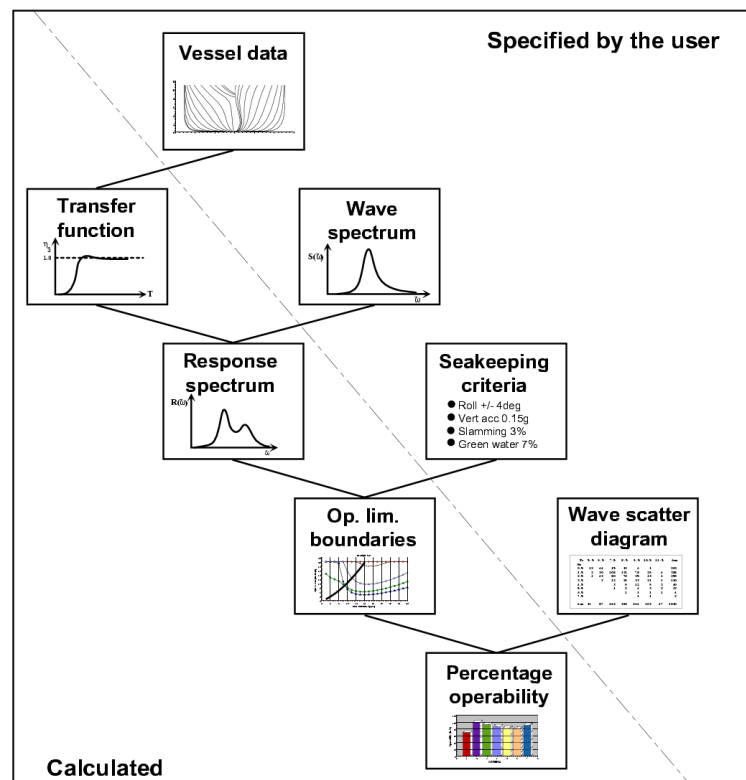
2.3 ShipX

I 1970 skrev N. Salvesen, O. Tuck og O. Faltinsen den velkjente artikkelen *Ship Motions and Sea Loads*. Denne artikkelen tok for seg en da ny og banebrytende teori for beregning av sjølaste og følgende skipsbevegelser. Den er ifølge Jensen (2001, s. 143) en av de mest brukte

og refererte stripeteoriene som eksisterer. Teorien bygger på tradisjonell stripeteori som på denne tiden var i radig utvikling, kombinert med enkel kilde-sluk teori. I årene etter 1970 er det blitt utviklet flere dataprogram som bygger helt eller delvis på Salvesens mfl. (1970) artikkel. Teorien er den dag i dag ansett som en bemerkelsesverdig god metode for å beregne bølgelaster og skipsbevegelse, hvis en sammenlikner opp mot modellforsøk (Fathi, 2015).

ShipX er utviklet som en hydrodynamisk arbeidsbenk for marine ingeniører, den består av flere hydrodynamiske verktøy (plug-ins/moduler) som gir brukeren muligheten til å utføre forskjellige analyser basert på et sett av inputdata. Det er utviklet av Norsk Marinteknisk Forskningsinstitutt gjennom de siste femten årene (Fathi, 2015).

I denne oppgaven er det brukt en modul i ShipX kalt *Vessel responses (VERES)*. *VERES* beregner skipsbevegelse, krefter og moment som oppstår når skipet møter bølger. Det er ment for bruk på det punktet i designfasen da skroggeometrien er kjent. Med utgangspunkt i data fra fartøyet, som linjer og lastdistribusjon beregner programmet en transferfunksjon (RAO) for alle seks frihetsgrader, kort- og langtidsstatistikk samt operasjonsbegrensninger (Fathi, 2015, s. 4).



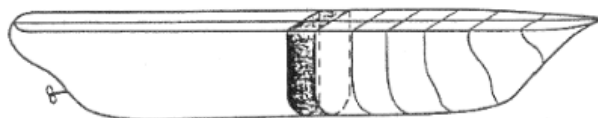
Figur 2.4 Forholdet mellom inputdata fra brukeren og resultatene gitt i VERES

Figur 2.4 viser forholdet mellom inputdata gitt av brukeren og resultatene gitt i VERES. Figuren illustrerer veien fra skrogdata til det prosentvise operasjonsområdet til skipet.

For fartøy med lav til moderat hastighet (Froudetall mellom 0,25-0,3) er utregningene i VERES utelukkende basert på stripeteorien til Salvesen mfl.(1970). For skip som opererer med et Froudetall som overstiger 0,4 er det benyttet en teori presentert av O. Faltinsen og R. Zhao fra 1991 kalt *Numerical Predictions of Ship Motions at High Forward Speed (Fathi, 2015)*. Da vår oppgave ikke omhandler skip med Froudetall høyere enn 0,31 er det valgt å kun fokusere på Salvesens teori fra 1970.

2.3.1 Stripeteori

ShipX VERES bygger altså på stripeteori. Dette er sammen med numerisk kilde/sluk-panel teori de mest benyttete metodene for å anslå skipslaster -og bevegelser. Under er det forsøkt å forklare de grunnleggende prinsippene bak stripeteori.



Figur 2.5 Skrog delt opp i striper (Bergdahl, 2009)

Skipets skrog blir delt inn i skiver eller striper som vist i figur 2.5. Vi får da et todimensjonalt problem, og det er nå mulig å beregne de hydrodynamiske koeffisientene for hver stripe, i hver frihetsgrad. De todimensjonale koeffisientene kombineres og brukes etter hvilken skipsbevegelse en beregner. Det er nødvendig å dele skipet inn i minst 20 seksjoner (Salvesen, mfl., 1970).

2.3.2 Grensebetingelser

For å benytte seg av stripeteori er det en del antagelser, forenklinger og grensebetingelser en må ta stilling til. Før det første antas det at der er mulig å bruke potensialteori. Altså at væskestrømmen rundt skipet er rotasjonsfri, inkompressibel og at alle viskøse effekter er neglisjerbare.

$$\nabla \times V = 0 \quad \text{Rotasjonsfri} \quad (2.6)$$

$$\nabla \cdot V = 0 \quad \text{Inkompressibel} \quad (2.7)$$

$$\nu = 0 \qquad \text{Ingen viskøsitet} \qquad (2.8)$$

Hvor V er hastighetsvektoren til væsken gitt av likning 2.9, ∇ er gradienten.

Vi kan nå beskrive væskestrømmens hastighetsvektor ved en tid, t , og på et punkt, x , ved hjelp av et hastighetspotensial.

$$V = \nabla\phi \equiv i \frac{\partial\phi}{\partial x} + j \frac{\partial\phi}{\partial y} + k \frac{\partial\phi}{\partial z} \qquad (2.9)$$

i , j og k er enhetsvektorer langs x -, y - og z -aksen.

Siden væsken tilfredsstiller kravet som rotasjonsfri og inkompressibelt, må hastighetspotensialet innfri Laplace likningen.

$$\nabla^2\phi = \frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial z^2} = 0 \qquad (2.10)$$

Den komplette likningen for å bestemme et hastighetspotensial består av løsningen på Laplace-likningen kombinert med passende grensebetingelser. Den første betingelsen vi setter er at ingen væske kan trenge gjennom skipsskroget.

$$\frac{\partial\phi}{\partial n} = U \cdot n \text{ på overflaten} \qquad (2.11)$$

der U er skipets hastighet og n er skrogets normalvektor. Denne betingelsen kan òg beskrive havbunnen, da med n som bunnens normalvektor. Det neste vi bestemmer er at en vannpartikkel som befinner seg på havoverflaten, blir værende på havoverflaten. Lineariseres dette ser en at hastighetspotensialet er proporsjonalt med bølgeamplituden. Dette beskrives matematisk slik:

$$\frac{\partial\zeta}{\partial t} = \frac{\partial\phi}{\partial z} \text{ i } z = 0 \qquad (2.12)$$

Likning 2.11 og 2.12 beskrives som kinematiske grensebetingelser. Den siste betingelsen vi ser på her er den dynamiske grensebetingelsen. Den sier at vanntrykket på havoverflaten er lik atmosfæretrykket. Den lineariserte versjonen av den dynamiske betingelsen kan beskrives slik:

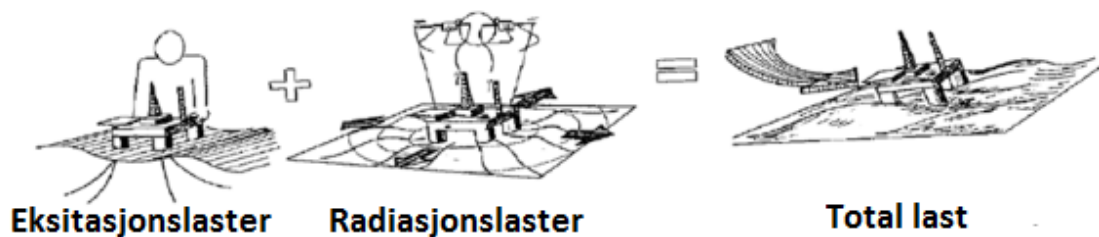
$$g\zeta + \frac{\partial\phi}{\partial t} = 0 \text{ i } z = 0 \quad (2.13)$$

Hvor g er tyngdeakselerasjonen og ζ er bølgehøyningen.

Når grensebetingelsene er satt er det altså mulig å bestemme et hastighetspotensial. Dette skal vise seg å være spesielt nyttig for å beskrive både innkommende bølger og deres effekter på skip, samt bevegelsene til vannmassene rundt skipet.

2.3.3 Laster

For å kunne regne ut den totale bølgelasten deler vi problemet opp i to hydrodynamiske problem (se figur 2.6):



Figur 2.6 Krefter som virker på en marin konstruksjon (Faltinsen, 1990, s. 40)

- A) Lastene blir beregnet som om skipet ble holdt fast. Kraftene fra innkommende bølgepotensial blir målt. Dette kalles eksitasjonslaster. Froude-Krylov kraften er en slik kraft. Diffraksjonskraftene blir òg beregnet på denne metoden.
- B) Ved å la skipet bli tvunget til å oscillere, kan en da finne kraftene fra tilleggs masse, demping og stivhet. Dette kalles radiasjonskrefter, siden det nå blir spredt bølger som følge av ikke-viskøs demping.

Eksitasjonslastene som Froude-Krylov og diffraksjonslaster kommer av de innkommende regulære bølgene. Disse bølgene uttrykkes ved et hastighetspotensial, der vannpartiklenes hastighet enkelt kan bestemmes.

$$\phi = \frac{g\zeta_a}{\omega} e^{kz} \cos(\omega t - kx) \quad (2.14)$$

Hvor ζ_a er bølgeamplituden, k er bølgetall og ω bølgefrequens.

Trykket og den følgende kraften bestemmes av Bernoullis likning og følgende integrering av trykket over den flaten bølgen virker mot, beskrevet av den seksjonen en analyserer.

De hydrodynamiske koeffisientene i bevegelseslikningen (likning 2.2) er tilleggsmasse- og dempningskoeffisienten. Disse blir bestemt ved å finne kreftene fra radiasjonsproblemet. Dette er godt beskrevet i Salvesen mfl. (1970) der det er brukt en metode kalt *the Frank close-fit source distribution method* til å bestemme de todimensjonale koeffisientene ut i fra skrogformen. I følge Salvesen mfl. (1970) er dette den mest krevende delen av skipsbevegelsesberegninger, og det er absolutt nødvendig for å få et brukbart resultat. For å oppnå et nøyaktig resultat må koeffisientene bli beregnet for ca. 20-30 frekvenser for hver seksjon og frihetsgrad.

Skipet blir altså satt i bevegelse, noe som skaper bevegelse i vannet rundt skroget. Bevegelsen til vannet blir simulert ved å plassere kilder langs skroget, hastighetspotensialet bestemmes da av likningen

$$\phi = \frac{Q}{2\pi} \ln r \quad (2.15)$$

hvor Q er kildestyrken og r er radius ut fra senteret.

Trykket bestemmes av den lineariserte Bernoullis likning (likning 2.16). For å finne kraften integreres trykket så over den aktuelle stripens våte overflate.

$$p = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (2.16)$$

2.4 Ship motion application

Ship Motion Application (Andrade and Gaspar, 2015) er en internetapplikasjon for beregning av bølgerespons til skip. Den krever ingen installasjon og har et brukervennlig oppsett, noe som gjør den klar til bruk med en gang. Inputdata som kreves er vannlinjelengde, bredde, dypgang, blokkoeffisient, hastighet og enkle bølgebeskrivelser. Dette er tilgjengelig allerede tidlig i designprosessen og gjerne en del av rederikravene. Resultatene kommer opp i sanntid og gir bevegelsene i hiv, stamp og rull, samt vertikal bevegelse, akselerasjon og bøyemoment.

Applikasjonen er utelukkende basert på artikkelen *Estimation of ship motions using closed-form expressions* (Jensen, mfl. (2004).

2.4.1 J.J. Jensens metode

Jensen mfl. (2004) tar utgangspunkt i lineær stripeteori foreslått av Gerritsma og Beukelman (1964), etter modellforsøk med en segmentert modell. Jensen har så analytisk avledet en funksjon for en RAO til et boks-formet fartøy. Ved å se bort fra koblingene mellom hiv og stamp og anta at tilleggsmassen er konstant lik massen til den fortrenkte væsken, kan bevegelsesligningen i regulære bølger med amplitude a skrives (Jensen, 2001):

$$\text{For hiv: } 2 \frac{kT}{\omega^2} \ddot{w} + \frac{\Lambda^2}{kB\alpha^3 \omega} \dot{w} + w = aF \cos(\omega t) \quad (2.17)$$

$$\text{For stamp: } 2 \frac{kT}{\omega^2} \ddot{\theta} + \frac{\Lambda^2}{kB\alpha^3 \omega} \dot{\theta} + \theta = aG \sin(\omega t) \quad (2.18)$$

Hvor k er bølgetall, ω er bølgefrequens og B , T er boksens bredde og dypgang. Den tidsderiverte er skrevet med en prikk. α er en parameter som tar hensyn til hastighet, lengde og bølgeretning. Λ er den hydrodynamiske dempingen, modellert av det dimensjonsløse forholdet mellom den innkommende og diffrakterte bølgeamplituden (Yamamoto, mfl., 1986).

$$\Lambda = 2 \sin\left(\frac{1}{2} kB\alpha^2\right) e^{(-kT\alpha^2)} \quad (2.19)$$

Kraftfunksjonene fra bølgene F og G er gitt av:

$$F = \kappa f \frac{2}{k_e L} \sin\left(\frac{k_e L}{2}\right) \quad (2.20)$$

$$G = \kappa f \frac{24}{(k_e L)^2 L} \left[\sin\left(\frac{k_e L}{2}\right) - \frac{k_e L}{2} \cos\left(\frac{k_e L}{2}\right) \right] \quad (2.21)$$

k_e er effektivt bølgetall, korrigert for bølgeretningen. f er et uttrykk for eksitasjonskreftene som bølgene utøver på skipet. κ er Smiths korreksjonsfaktor (Jensen, 2001, s.129), den har blitt introdusert for å korrigere for diffraksjonseffektene som oppstår når bølgene treffer skroget (Wang, mfl., 2000, s. 115). Det siste leddet tar på nytt hensyn til bølgeretningen.

Løsningen av ligningene (2.19) og (2.20) gir responsfunksjonene

$$\text{For hiv:} \quad \Phi_w = \eta F \quad (2.22)$$

$$\text{For Stamp:} \quad \Phi_\theta = \eta G \quad (2.23)$$

$$\text{Hvor} \quad \eta = \left(\sqrt{(1 - 2kT\alpha^2)^2 + \left(\frac{\Lambda^2}{kB\alpha^2}\right)^2} \right)^{-1} \quad (2.24)$$

Vertikal bevegelse er en kombinasjon av hiv (w) og stamp (θ) i en gitt langskipsposisjon x på skipet. Hiv-bevegelsen vil være lik over hele, mens stamp vil øke proporsjonalt med avstanden fra tyngdepunktet. Det gir likningen $u = w - x\theta$ for vertikal bevegelse og $v = -\omega^2(w - x\theta)$ for vertikal akselerasjon. Akselerasjonen er den andrederiverte av bevegelsen. Disse formlene gir responsfunksjonene:

$$\text{Vertikal bevegelse:} \quad \Phi_u = \sqrt{\Phi_w^2 + x^2\Phi_\theta^2} \quad (2.25)$$

$$\text{Vertikal akselerasjon:} \quad \Phi_v = \omega^2\Phi_u = \alpha^2kg\Phi_u \quad (2.26)$$

For å ta hensyn til effekten som kommer av skrogformen har Jensen gjennom forsøk funnet at bredden B kan skrives som

$$B = B_o C_B \quad (2.27)$$

Hvor B_o er den maksimale vannlinjebredden og C_B er blokkoeffisienten til skipet.

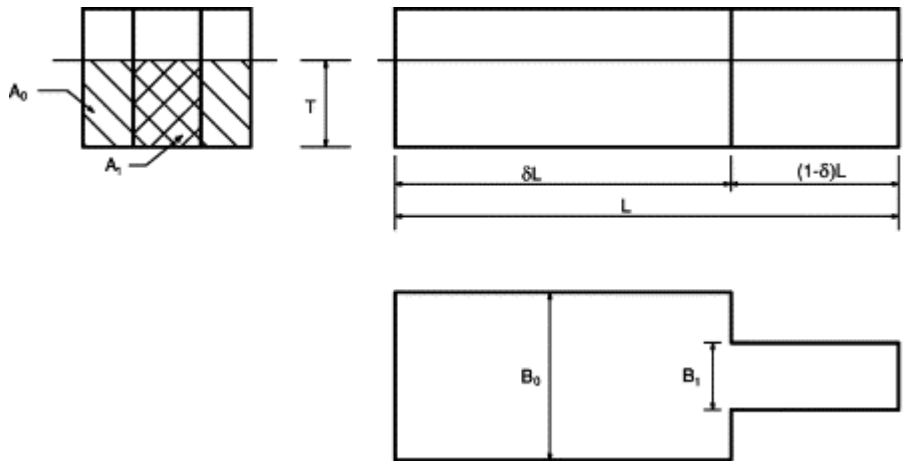
For rull ser Jensen også bort i fra koblingene med de andre transverse bevegelsene, svai og gir. Masseleddet er neglisjert, og substituert med GM-avhengige størrelser. Bevegelseslikningen for rull i regulære bølger blir da

$$\left(\frac{T_N}{2\pi}\right)^2 C_{44} \ddot{\varphi} + B_{44} \dot{\varphi} + C_{44} \varphi = \Gamma \quad (2.28)$$

hvor φ er rullevinkelen og T_N er egenperioden for rull (se likn 3.1). Stivhetskoeffisienten for rull $C_{44} = g\Delta GM_T$, med Δ som deplasement og GM_T er den transverse metasenterhøyden til skipet. B_{44} er den hydrodynamiske dempingen til skipet basert på kurvetilpasning fra forsøk gjennomført med stripeteori. Γ er eksitasjonsmomentet som gjør at skipet ruller. Løsningen til bevegelsesligningen i rull er

$$\Phi_\varphi = \frac{|\Gamma|}{([- \omega^2 (T_N/2\pi)^2 + 1]^2 C_{44}^2 + \omega^2 B_{44}^2)^{1/2}} \quad (2.29)$$

For å fange opp effektene til skrogutforming i rullebevegelsen er lekteren brukt til å beregne de vertikale bevegelsene endret noe. Modellen for rull består av to prismatiske bjelker med ulik bredde, men samme dypgang, se figur 2.7. Forholdet mellom B_0 og B_1 er slik at vannlinjeareal koeffisienten C_{WP} er lik for det ekte skipet og den forenklete modellen. δ må gis som input og kan ikke være større enn C_{WP} .



Figur 2.7 Skrogform for beregning av rull-respons (Jensen, mfl., 2004, s. 73)

B_{44} er den totale uviskøse hydrodynamiske dempingen, for å kompensere for viskøse effekter har Jensen definert en kritisk demping B_{44}^* som legges til den totale dempingen.

$$B_{44}^* = \frac{C_{44} T_N}{\pi} \quad (2.30)$$

$$B_{44}^{tot} = B_{44} + \mu B_{44}^* \quad (2.31)$$

Der μ er prosentandel av kritisk demping, som legges inn som inputdata.

Jensen mfl. (2004) har gjennom egne valideringer av formlene for 4 fartøy: to hurtiggående ferger, et containerskip og en VLCC (very large container carrier) konkludert med at formlene gir resultater der

- Hiv er for liten for $\lambda/L > 1$
- Stamp er for stor rundt $\lambda/L = 1$ for Froude tall større enn 0,2
- Rull er for stor rundt egenfrekvensen til fartøyet

3 Metode

Dette kapitlet beskriver fremgangsmetodene brukt for å svare på problemstillingen. Det blir forklart hvilke valg som ble tatt og hvordan disse ble utredet. Skipene analysert i oppgaven er presentert her, samt en kort innføring i den praktiske bruken av *Ship motion Application* og ShipX VERES.

3.1 Case

Det ble valgt en case-studie som metodeform i denne oppgaven. Skip er kompliserte konstruksjoner hvor skrogform og hoveddimensjoner varierer stort etter hva og hvordan de skal brukes. En ankerhåndterer (AHTS) har for eksempel andre bruksområder enn et containerskip. Dette medførte at for å verifisere beregningene til Jensen mfl. (2004) var det nødvendig å analysere bevegelsene til forskjellige typer skip i ulike hastigheter og bølgeretninger. En case-studie ga muligheten til å innhente store datamengder og slik avgjøre på detaljnivå hva eventuelt påvirkende faktorene var for de forskjellige skipene.

I denne rapporten ble resultater fra *Ship Motion Application* sammenliknet med resultater fra ShipX for 4 ulike fartøy; en lekter, en ankerhåndterer, en tråler og et containerskip. De forskjellige fartøyene hadde ulike hoveddimensjoner og skrogform, noe som ga et godt grunnlag for å verifisere *Ship Motion Application*. Hvert enkelt fartøy ble testet i følgende bevegelser:

- Hiv
- Stamp
- Rull
- Vertikal bevegelse (kombinert hiv og stamp)
- Vertikal akselerasjon (kombinert hiv og stamp)

Det ble òg gjort en sammenligning av to ulike ankerhåndterere, disse hadde lik lengde, bredde og dyppgang men ulik blokk-koeffisient og skrogform. Denne analysen ble gjennomført for å se om JJ Jensens metode var i stand til å fange opp forskjeller i linjeutformingen til to relativt like skip med samme hoveddimensjoner. Her ble det altså ikke fokusert på forskjeller mellom ShipX og J. J. Jensens metode, men forskjeller mellom to ulike skip med samme lengde, bredde og dyppgang. Det ble gjennomført sammenlikninger i hiv, stamp og rull.

Alle casene, foruten rull, ble testet i 7 bølgeretninger: 0, 30, 60, 90, 120, 150 og 180°, hvor 0° er bølger rett forut. I rull er det ikke interessant å se på verken 0 eller 180° siden JJ Jensens metode gir null respons for disse retningene. For bevegelsene hiv og stamp ble skipene analysert for 0 knop og ved en passende hastighet. Rull ble kun vurdert i 0 knop, fordi maksimal respons opptrer her. For vertikal bevegelse og akselerasjon ble hvert fartøy analysert i en relevant hastighet for en lastkondisjon passende sin skipstype.

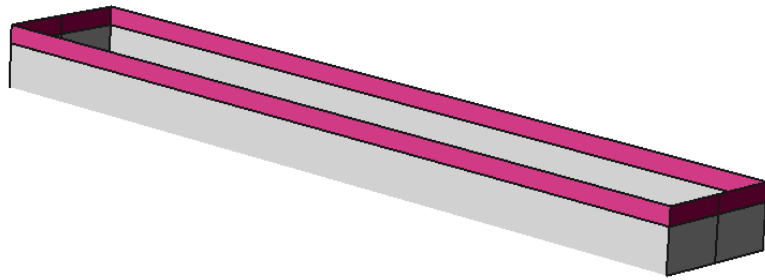
Vertikal bevegelse og vertikal akselerasjon er kombinerte hiv og stamp bevegelser. Ettersom hiv-bevegelsen er lik over hele fartøyet og stamp øker på lik linje med avstanden fra tyngdepunktet, COG, ble analysene foretatt i tre posisjoner med ulik avstand fra COG: Forre perpendikulær, akter perpendikulær og på broen. Broen ble plassert forskjellig på alle fartøyene etter hvor den befinner seg på lignende fartøy i virkeligheten, f.eks. for en ankerhåndterer vil broen ligge langt forut, mens det for et containerskip eller en tråler typisk ligger akter eller mer midtskips. I J.J.Jensens metode er det kun mulig å endre på x-posisjonen til det aktuelle punktet. Vi valgte likevel å ta med broen for å undersøke om det var forskjeller i vertikal bevegelse og akselerasjon hvis en beveger seg langs z-aksen.

Videre følger en presentasjon av de ulike fartøyene som er brukt i analysen, og kort om deres bruksområder. Det er spesielt verdt å merke seg fartøyenes hoveddimensjoner og linjeutforming. Tre av skipene ble utstyrt med slingrekjøler, dette er ikke synlig på skipsfigurene.

3.1.1 Lekter

En lekter er den enkleste formen for et skip da de har form mer eller mindre som en rektangulær boks. Lektere brukes som flytende lasteplattformer som stort sett ligger stille eller blir slept rundt av andre skip i lavere hastigheter. Lekteren analysert i denne oppgaven ble konstruert i ShipXs egen designmodul, og er å betrakte som en stor flytende boks. Det ble valgt 10 knop som en passende hastighet, da dette er en passende slepehastighet av en lekter. Analysene ble foretatt i 0 kn og 10 kn ($F_n = 0.15$). Se figur 3.1 for hoveddimensjoner, ulike inputdata og skrogform.

Lengde	120 m
Bredde	20 m
Dypgang	6 m
C_b	1
C_{wp}	1
GMt	2,56 m
δ	1
Slingrekjøl	Ingen

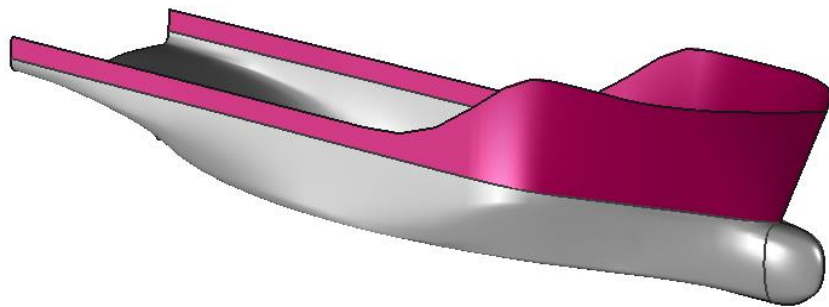


Figur 3.1 Lekter med tilhørende inputdata

3.1.2 AHTS

AHTS står for “Achor Handling Tug and Supply”, og skip av denne typen har varierte oppgaver. Som regel består de av sleping av ulike marine installasjoner og levering av utstyr og materialer til offshore industri. Varierte oppdrag gjør den til et komplisert fartøy som gjør alt fra å seile i transitt til å ligge i ro ved hjelp av dynamisk posisjonering. Valgt hastighet ble derfor 17 knop for hiv, stamp og rull og null knop igjen for vertikal bevegelse og akselerasjon. Den ble testet i 0 kn og 17 kn ($F_n=0,30$). Se figur 3.2.

Lengde	84 m
Bredde	20 m
Dypgang	6 m
C_b	0,65
C_{wp}	0,83
GMt	3,66 m
δ	0,65
Slingrekjøl	0,3 m



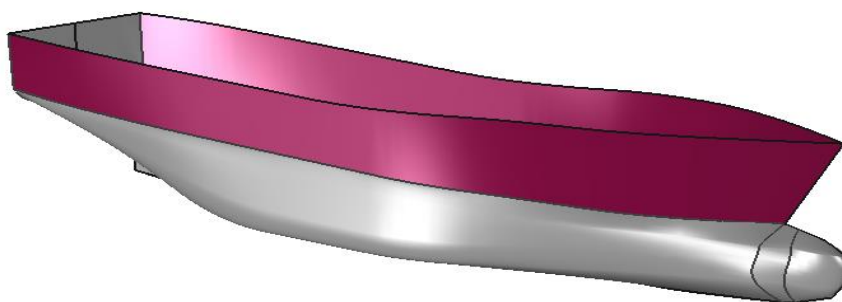
Figur 3.2 Ankerhåndterer med tilhørende inputdata

Den andre ankerhåndtereren kalt “Skalert AHTS” i analysen, har like hoveddimensjoner som ankerhåndtereren presentert her, men med annen skrogform og $C_b=0,72$.

3.1.3 Tråler

En tråler skal operere godt under flere forskjellige dypganger avhengig av lastkondisjonen. Hastighetene varierer også avhengig av om det tråles, fiskes med line eller om skipet er i transitt. For hiv, stamp og rull ble hastigheten satt til 10 knop, mens den for vertikal bevegelse og akselerasjon ble satt til 3 knop som simulerer at skipet er under tråling. For denne tråleren ble analysene altså kjørt i 0 kn, 3 kn og 10 kn ($F_n = 0,25$). Se figur 3.3.

Lengde	60 m
Bredde	13 m
Dypgang	5,5 m
C_b	0,62
C_{wp}	0,78
GMt	1,4 m
δ	0,6
Slingrekjøl	0,3 m

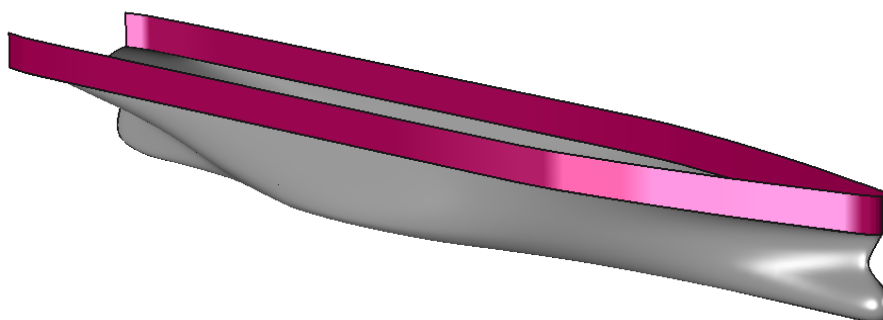


Figur 3.3 Tråler med tilhørende inputdata

3.1.4 Containerskip

Containerskipet brukt i analysen er et standardskip som følger med som et eksempelfartøy i databasen til ShipX. Containerskip er designet for å frakte et visst antall containere over lengre avstander i en uniform hastighet med minst mulig motstand. En relativt høy hastighet på 22 knop ble valgt for både hiv, stamp og rull samt vertikal bevegelse og akselerasjon. I analysen ble skipet testet for 0 kn og 22 kn ($F_n = 0,27$) Se figur 3.4.

Lengde	175 m
Bredde	25,4 m
Dypgang	9,5 m
C_b	0,57
C_{wp}	0,69
GMt	1,5 m
δ	0,5
Slingrekjøl	0,35 m



Figur 3.4 Containerskip med tilhørende inputdata

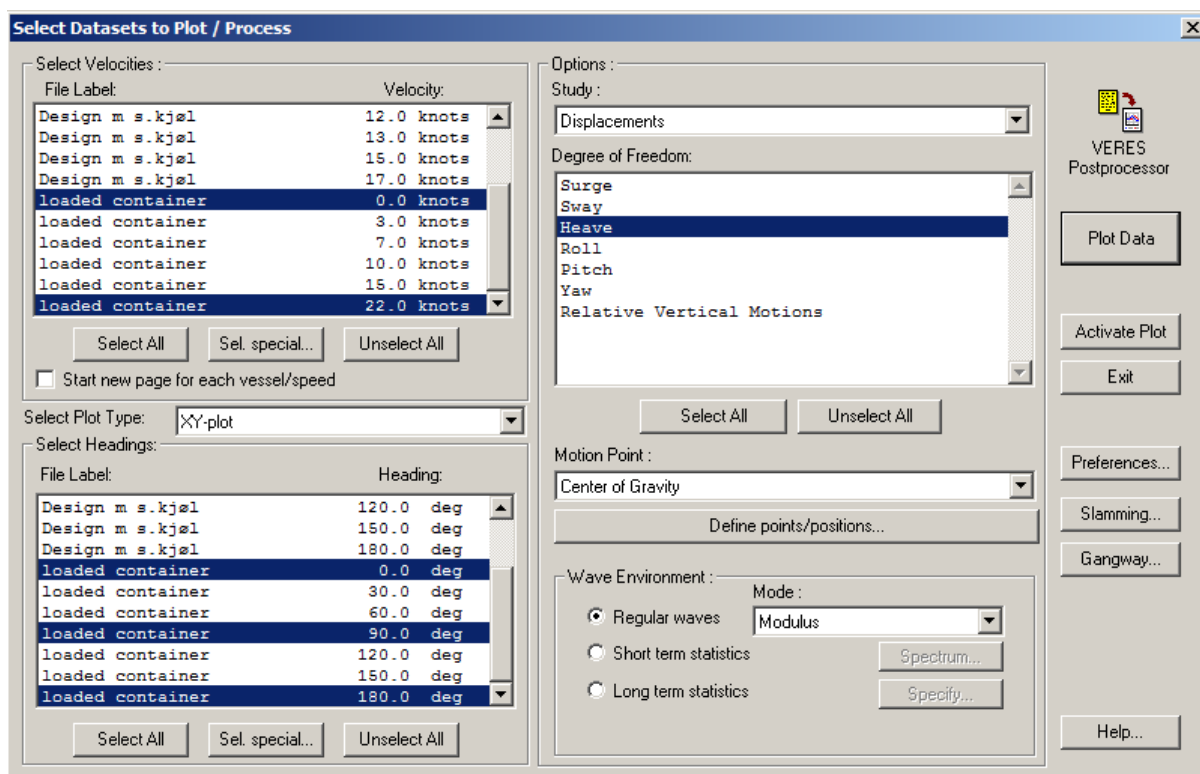
3.2 ShipX VERES

Det første steget i analysene i ShipX var å importere de ulike skipene fra det dataprogrammet skroget ble utformet. I denne rapporten er to av fire skip modellert i skrogmodelleringsprogrammet *Maxsurf Modeller*. De andre to fartøyene stammer fra ShipX, der det ene er standard containerskipet. Lekteren ble produsert i ShipX's egen modelleringsmodul.

Etter at skipene ble identifisert og importert til ShipX, ble det definert lastkondisjoner med hver sin dypgang. Det ble i denne oppgaven sett bort fra både trim og krenkning da dette ikke var relevant for problemstillingen. Hvert skip ble kun beregnet for en dypgang. Treghetsradiusen i

rull, R_{44} , som var nødvendig å bestemme før analysen, ble satt til en tredel av skipets bredde (Fathi, 2015, s. 42). For å øke den viskøse dempingen og slik begrense rullresponsen ble det på tre av fartøyene påsatt slingrekjøler langs de midtre seksjonene. Skipenes hastighet, innkommende bølgefrequenser og bølgeretninger ble så bestemt før programmet kjørte analysene.

Bevegelsene vertikal bevegelse og akselerasjon er det beregnet i de egendefinerte posisjonene, AP, FP og bro. Disse blir definert i et *postprocessor* vindu, se figur 3.5. Her ble det og bestemt at resultatene skulle basere seg på regulære bølger, da dette korresponderte med JJ Jensens metode. Etter å valgt den aktuelle skipsbevegelsen ble det plottet RAOer for de ulike bevegelsene.

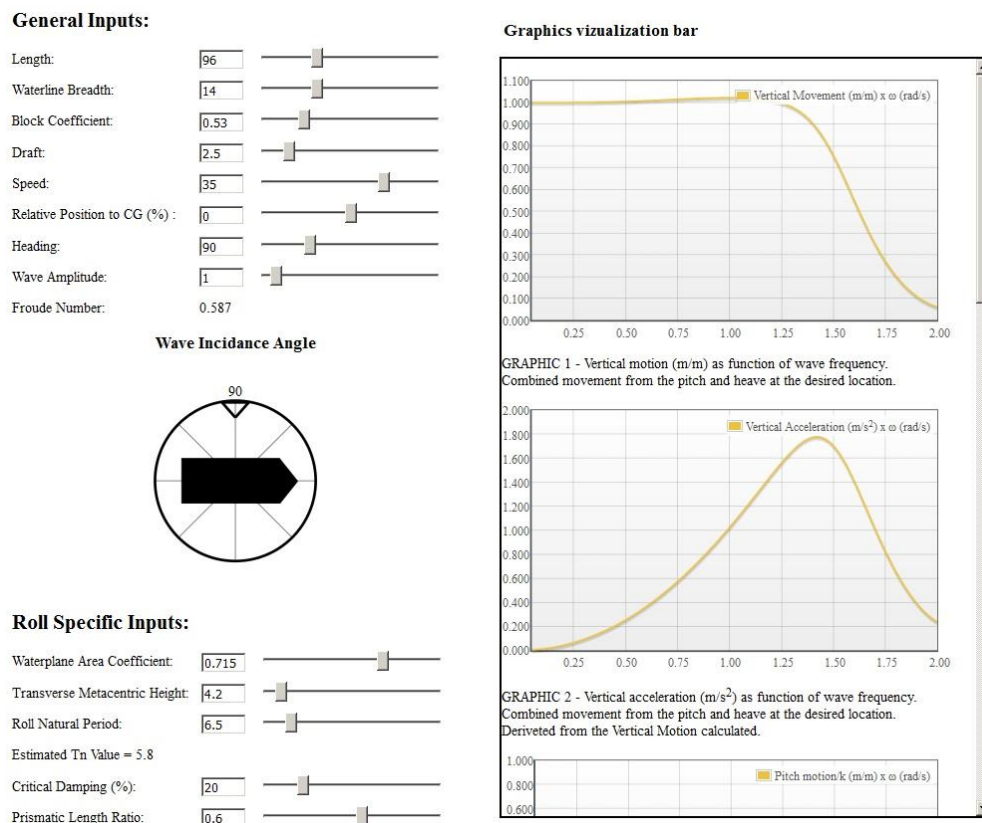


Figur 3.5 Skjermdump av postprocessor i ShipX

For en mer utfyllende gjennomgang av analysen i VERES refereres det til *ShipX VERES User's Manual* (Fathi, 2015).

3.3 Ship Motion Application

Bruken av *Ship Motion Application* er svært enkel og selvforklarende, selv for en bruker med kun grunnleggende skipskunnskaper. Hoveddimensjonene kan justeres for lengder mellom 10 og 300 meter, bredden fra 3 til 40 meter, og dypgang mellom 0 og 20 meter. Hoveddimensjonene og hastigheten til det aktuelle fartøyet ble lagt inn samtidig med ønsket bølgeretningen og amplitude. Resultatene ble umiddelbart presentert på høyresiden i vinduet. I programmet er bølgeretningene definert slik at 180° tilsvarer bølger rett forut, for å få samsvar med ShipX ble koordinatsystemet snudd slik at 0° i resultatene er lik 180° i inputen fra programmet. Figur 3.6 viser regulatorene for inputdata og den følgende frekvensavhengige responsen.



Figur 3.6 Skjermdump av grensesnitt i Ship Motion Application

I rull kreves det egne input i tillegg til de som allerede er gitt. C_{wp} og GM_T ble hentet fra de hydrostatistiske dataene til det aktuelle fartøylene. Egenperiode for rull har vi bestemt ut i fra følgende formel (Comstock, 1967):

$$T_n = \frac{2\pi R_{44}}{\sqrt{gGM_T}} \quad (3.1)$$

Hvor R_{44} er treghetsradiusen i rull.

Egenperioden som *Ship Motion Application* foreslo ga stor forskjell fra ShipX, det ble derfor bestemt å bruke en formel som ga en mer lik egenperiode. På den måten sto responsamplituden bedre i fokus.

Den prosentvise andelen av kritisk demping μ er en viktig variabel som kan endres på. Dette vil gi vesentlige endringer på resultatet. Fra Chakrabarti (2001) kan en se at typiske verdier for μ er 3-20%, noe som er et vidt spenn, og både Jensen mfl. (2004) og Bergdahl (2009) bruker verdier innenfor disse rammene. Analysene i rull ble derfor gjennomført for 3, 10 og 20%. Disse verdiene ble sammenlignet med responsen i ShipX.

Det prismatiske lengdeforholdet δ , se figur Figur 2.7, er en annen faktor som må gis som inputdata. For å bestemme denne så vi på overgangen mellom baugseksjonen og midtseksjonen, altså hvor skulderen til skipet omtrentlig ligger, og antok så en passende verdi.

3.4 Plotting

I arbeidet med å sammenligne de to modellene ble det brukt forskjellig programvare for å plote resultatene inn i en samlet graf. Både ShipX og *Ship Motion Application* presenterer resultatet i en ferdig plottet RAO som et bilde. For å få ut datapunkter fra disse ble programmet *Web Plot Digitizer* (Rohatgi, 2015) brukt. Dette programmet baserer seg på avstander mellom punkter målt i piksler og ved å definere aksene på bildet kan programmet regne seg frem til koordinatene til punktene på grafen. Datasettet kan så lastes ned som en CSV-fil (Komma separert fil) og brukes til å lage grafer i Matlab.

Matlab er et databehandlingsprogram med et eget programmeringsspråk som egner seg for blant annet tegning av grafer, i tillegg til mye annet. Det krever få forkunnskaper og er relativt lett å ta i bruk hvis en har noe kjennskap til programmering fra før. CSV-filene fra *Web Plot Digitizer* ble importert inn i Matlab og for å få en jevn kurve ble det brukt interpolering med kubisk spline.

Til plottingen kunne også *Microsoft Excel* blitt brukt, Matlab ble valgt på grunn av den effektive måten grafene kunne produseres og endres på. Ved å behandle vært datasett som en enkelt fil ble det enklere å holde oversikt på hvilken grafer som tilhørte hvilken bevegelse, spesielt siden datamengdene var betydelig. Etterbehandling av grafer og muligheten til å plote flere grafer inn i en figur gjorde at utseende på sammenlikningene fikk en oversiktlig og profesjonell karakter.

3.5 Litteraturgjennomgang

Det er skrevet mange artikler, studier og bøker om bølgeinduserte bevegelser på marine konstruksjoner. Her er det nevnt noen viktige verk der temaer som har vært nyttige i arbeidet med oppgaven blir diskutert.

Bakgrunnen for begge de to metodene brukt i denne oppgaven bygger faktisk på grunnleggende stripeteori. Flere av Jensens antakelser stammer fra Gerritsma og Beukelman (1964), bruk av modelltester til å bestemme en empirisk metode for bestemmelse av de de hydrodynamiske koeffisientene. Mens ShipX er basert på den velkjente artikkelen av Salvesen mfl. (1970). Mye av vårt læringsutbytte og tilegnet kunnskap stammer fra disse rapportene.

Load and Global Response of Ships (Jensen, 2001) tar for seg bølgelast og respons på skip. Den går inn i bakgrunnen for mye av teorien presentert av Jensen mfl. (2004) og forklarer enkelte elementer på et mer detaljert nivå.

Boken *Sea Loads on Ships and Offshore Structures* (Faltinsen, 1990) går gjennom generell bølge teori, bølgeinduserte bevegelser og forklarer stripeteori på en systematisk og forståelig måte. I boken blir det blant annet presentert en forenklet metode for å se på vertikale bølgebevegelse, hvor det blir sett på et skip med konstant tverrsnitt i motgående sjø. Denne metoden har store likhetstrekk med hvordan Jensen mfl. (2004) har valgt å se på kraftfunksjonene, likning 2.2.5. Likningen Faltinsen presenterer gjelder for beregning av de vertikale eksitasjonskreftene fra bølgene i motgående sjø, som en funksjon av eksitasjonskreftene med sjø fra siden (Faltinsen, 1990, s. 82).

$$|F_3|_{head\ sea} = |F_3|_{beam\ sea} \cdot \frac{2}{kL} \left| \sin\left(\frac{kL}{2}\right) \right|$$

Faltinsen anbefaler ikke denne metoden for nøyaktige beregninger, men for å vise generelle trender.

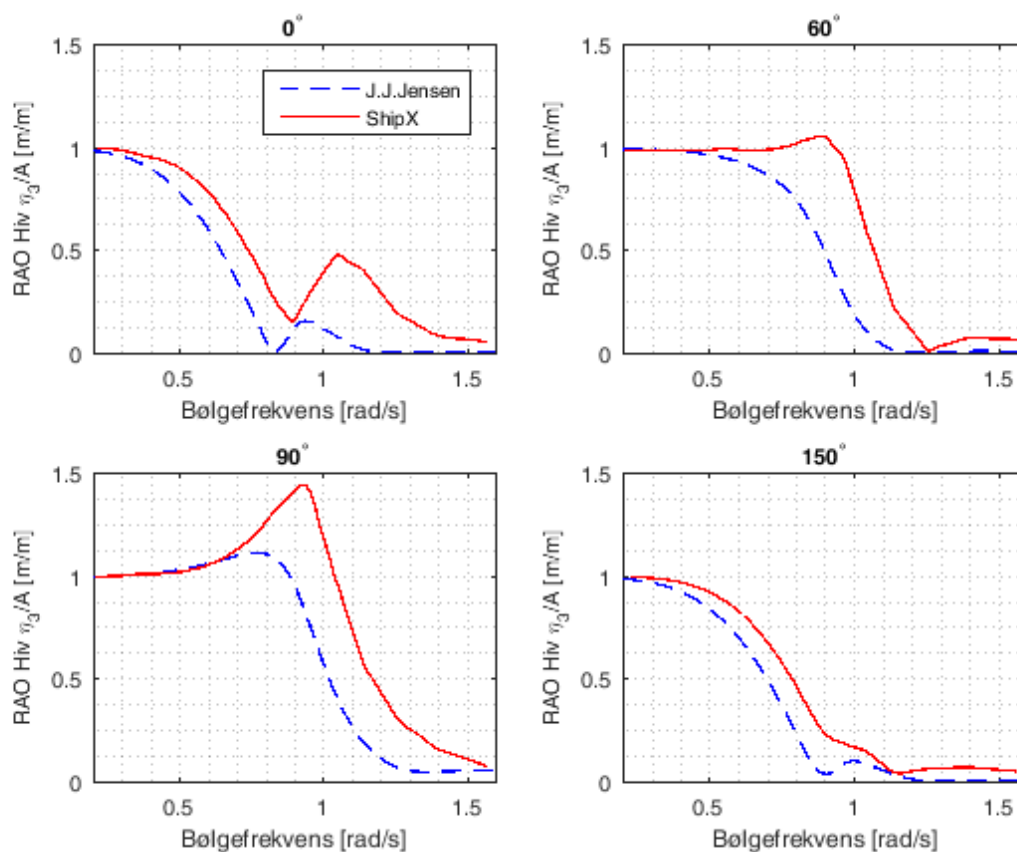
4 Resultater

I denne delen av rapporten blir det presentert et selektert utvalg av resultatene fra den gjennomførte analysen. Seleksjonen er basert på hvilke frihetsgrader og hastigheter som gir et godt bilde av de overordnede funnene. For resultater fra samtlige analyser refereres det til vedlegg A. Resultatene er i rapporten sortert etter bevegelsene, der tilhørende hastigheter er presentert i egne avsnitt med underoverskrifter.

4.1 Hiv

4.1.1 Null knop

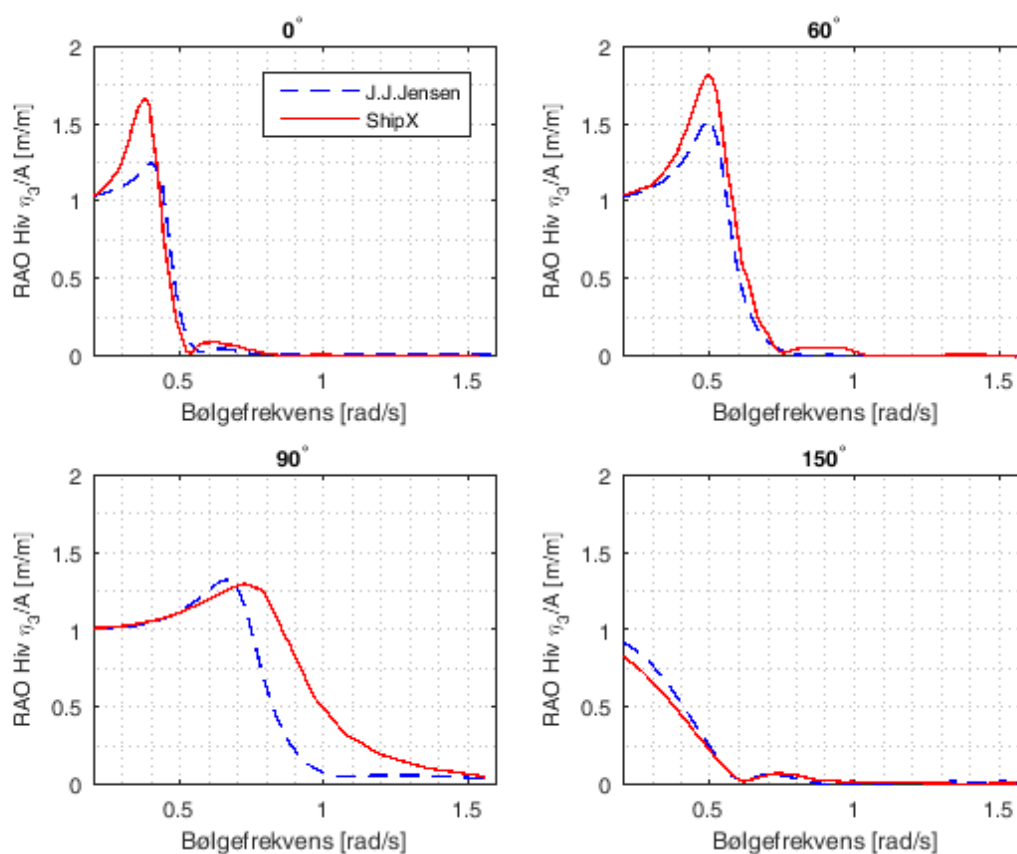
For de fleste skipene ser en at hiv-bevegelsen samsvarer relativt godt mellom Jensens metode og ShipX hvis en ser på tendensene til bevegelsene. Generelt er responsen fra Jensen lavere og faller tidligere enn det den gjør i ShipX, se figur 4.1. Fra figuren ser en at lange bølger med frekvens mindre enn 0,5 rad/s gir god korrespondanse. Når bølgene kommer fra 90 grader, rett fra siden, er avviket størst. Der Jensen ikke får med responstoppen rundt bølgefrekvens 1 rad/s.



Figur 4.1 Hivrespons for ankerhåndterer i 0 knop, responsen [m/m] er gitt som en funksjon av bølgefrekvens [rad/s]

4.1.2 Hastighet

For hiv-respons i fart ser vi mye av de samme tendensene som for 0 knop, med relativt godt samsvar mellom Jensens metode og ShipX. Av figur 4.2 kan en se at rundt egenfrekvensområdet er responsen fra Jensen en del lavere enn fra ShipX, med en forskjell på nesten 1m. For de slanke fartøyene med L/B-forhold større enn 6 som for eksempel containerskipet ser en et godt samsvar i plasseringen av resonansområdet. Når fartøyene blir kortere og L/B-forholdet blir lavere ser man en større forskjell på hvilken frekvens resonansområdet oppstår.

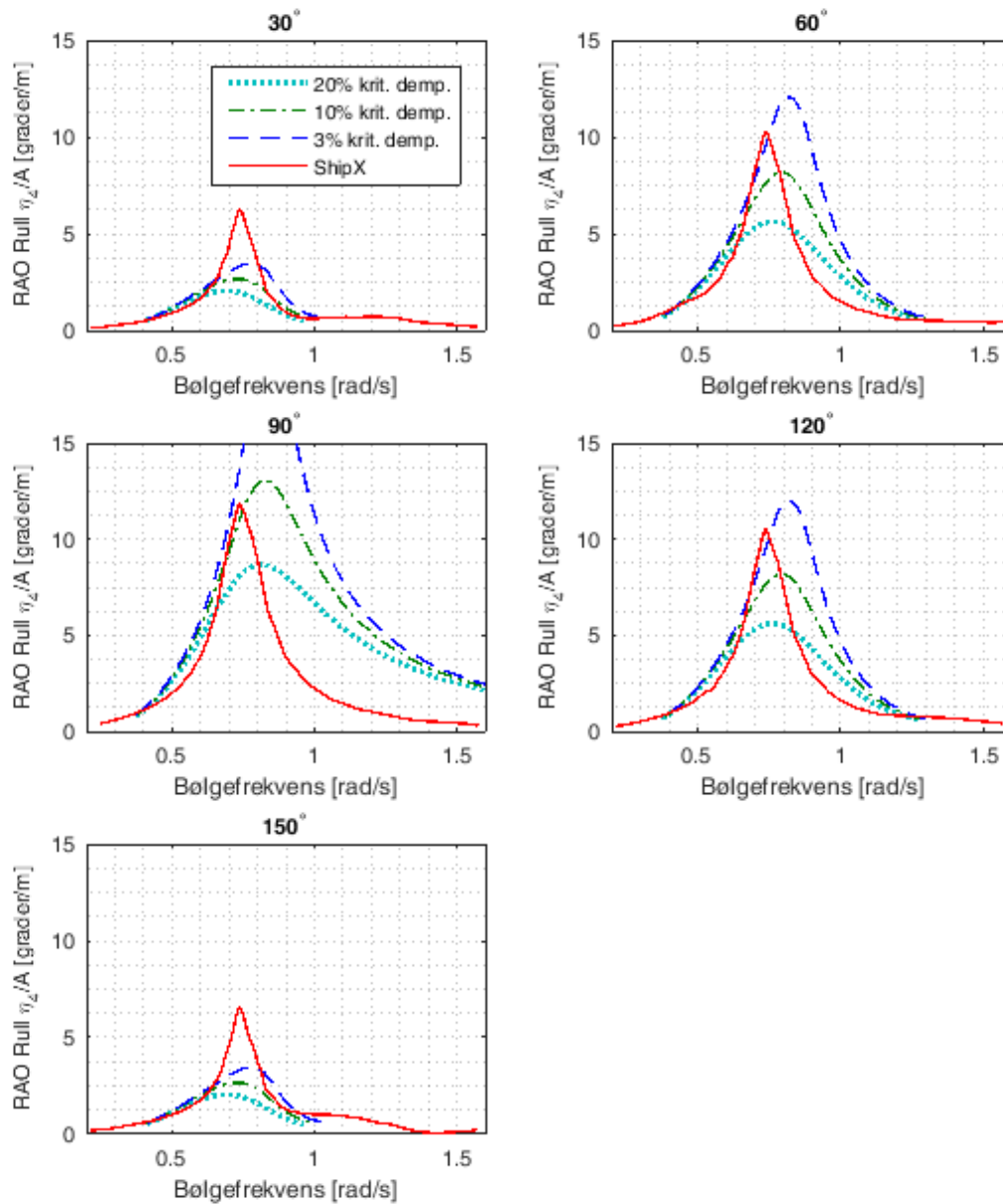


Figur 4.2 Hivrespons for containerskip i 22 knop, responsen [m/m] er gitt som en funksjon av bølgefrequens [rad/s]

4.2 Rull

Bevegelsene i rull spriker for de ulike fartøyene og det er ikke lett å finne et konkret mønster. Men noen tendenser er gjenkjennelig for de fleste skip og bølgeretninger. Tjue prosent av kritisk damping gir generelt en for liten respons, mens tre prosent gir for stor. For alle skipene med unntak av tråleren er egenfrekvensen fra Jensen forskjøvet noe i forhold til ShipX. I frekvensområdet rundt responstoppen gitt fra ShipX gir Jensen for store utslag. Når bølgefrequensen er høy, er responsen gitt i Jensens metode som regel for høy.

Fra figur 4.3 kan en se at for 30 og 150 grader er responsen fra Jensen som regel for liten rundt egenfrekvensen, selv ved kun tre prosent av kritisk demping.

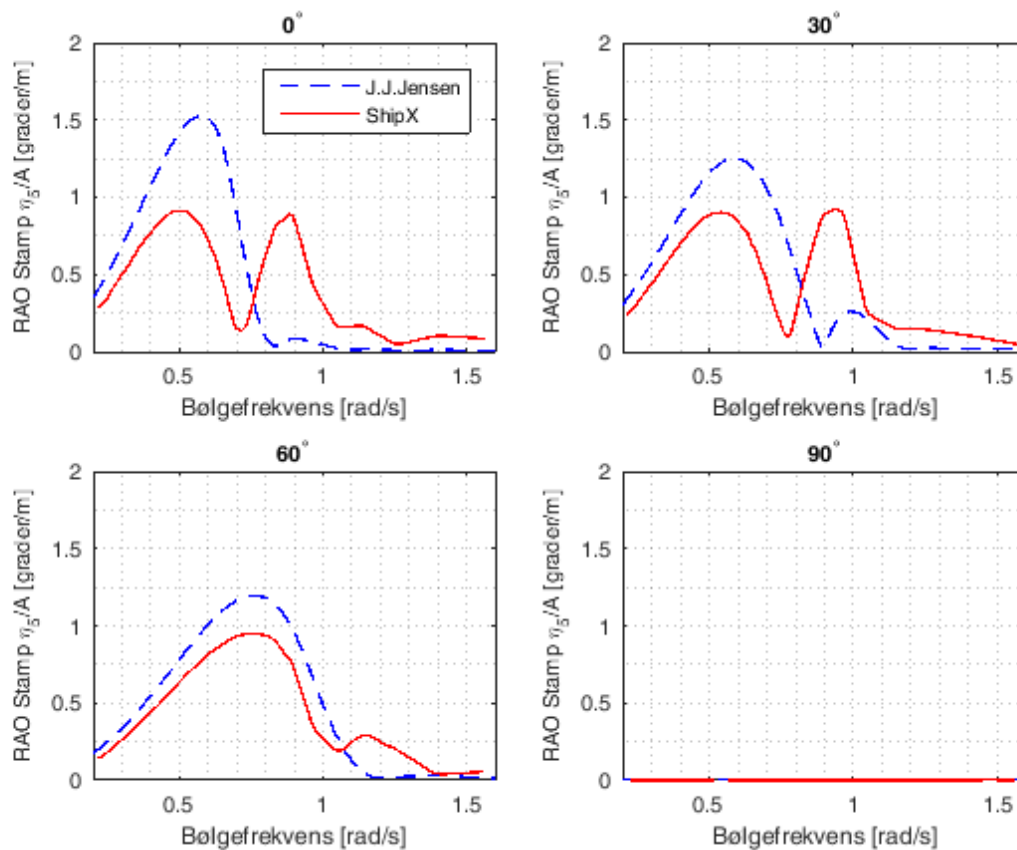


Figur 4.3 Rullsepons for ankerh nderer i 0 knop, responsen [grader/m] er gitt som en funksjon av bølgefrequens [rad/s]

4.3 Stamp

4.3.1 Null knop

For alle fartøyene ser vi en god korrelasjon for lavere frekvenser. Når det nærmer seg egenfrekvensen til fartøyet oppstår det et skille hvor ShipX gir en vesentlig høyere responstopp på egenfrekvensen enn det Jensen gjør. Lekteren er et unntak, hvor en ser at det faktisk er motsatt og at Jensen er vesentlig større en ShipX. De slanke skipene med høyt L/B-forhold har to topper hvor den andre er mindre enn den første, for lekteren har toppene omtrent samme verdi. De fyldige fartøyene har høyere respons enn de slanke. Fra figur 4.4 ser en at for lekteren er det ingen respons i stamp for hverken Jensens metode eller ShipX.

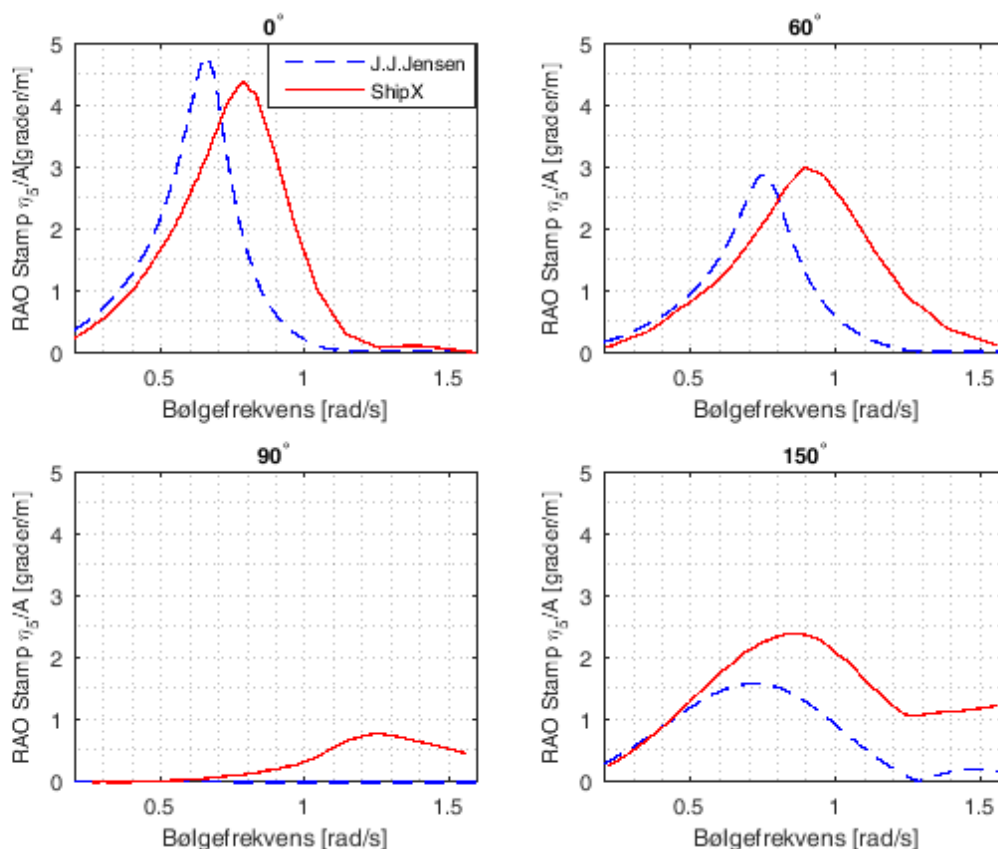


Figur 4.4 Stamp for lekter i 0 knop, responsen [grader/m] er gitt som en funksjon av bølgefrequens [rad/s]

4.3.2 Hastighet

I fart er toppverdiene i stamp mer like enn for 0 knop, her er også Jensen høyere enn ShipX for noen fartøy. I figur 4.5 kan en se at i 90 grader gir Jensen ingen respons, mens det ifølge ShipX oppstår en liten respons for korte bølger. Det viste seg at metoden som ga høyest toppverdi varierer med innkommende bølgeretning. Når bølgene kommer inn akter, bølgeretning 120, 150

og 180 grader, er det ingen markant topp slik som når bølgene kommer forut, her gir Jensen en lavere respons enn ShipX, men med de samme tendensene.



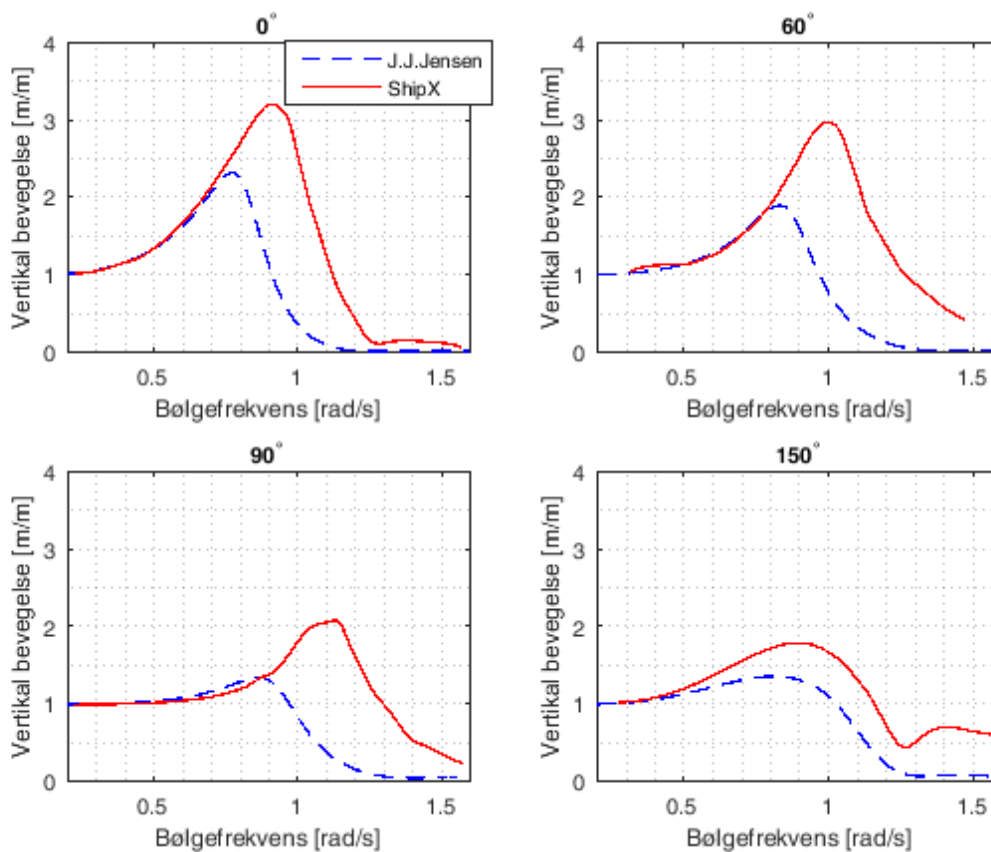
Figur 4.5 Stamp for tråler i 10 knop, responsen [grader/m] er gitt som en funksjon av bølgefrequens [rad/s]

4.4 Vertikal bevegelse

4.4.1 FP

Helt forut på skipene ser vi mye av de samme tendensene som for hiv og stamp. For alle fartøyene bortsett fra lekteren er responsen fra ShipX høyere enn Jensen. For lekteren er det nemlig omvendt da Jensens metode gir større respons enn ShipX. For lav frekvens kan en se at de to metodene samsvarer veldig godt, når frekvensen øker og nærmer seg egenfrekvensen ser vi en betydelig forskjell opptil en meter bevegelse per meter bølgeamplitude. For bølger aktenfra, 120-180 grader, kan man se at det er en mer avrundet topp enn for bølger forut.

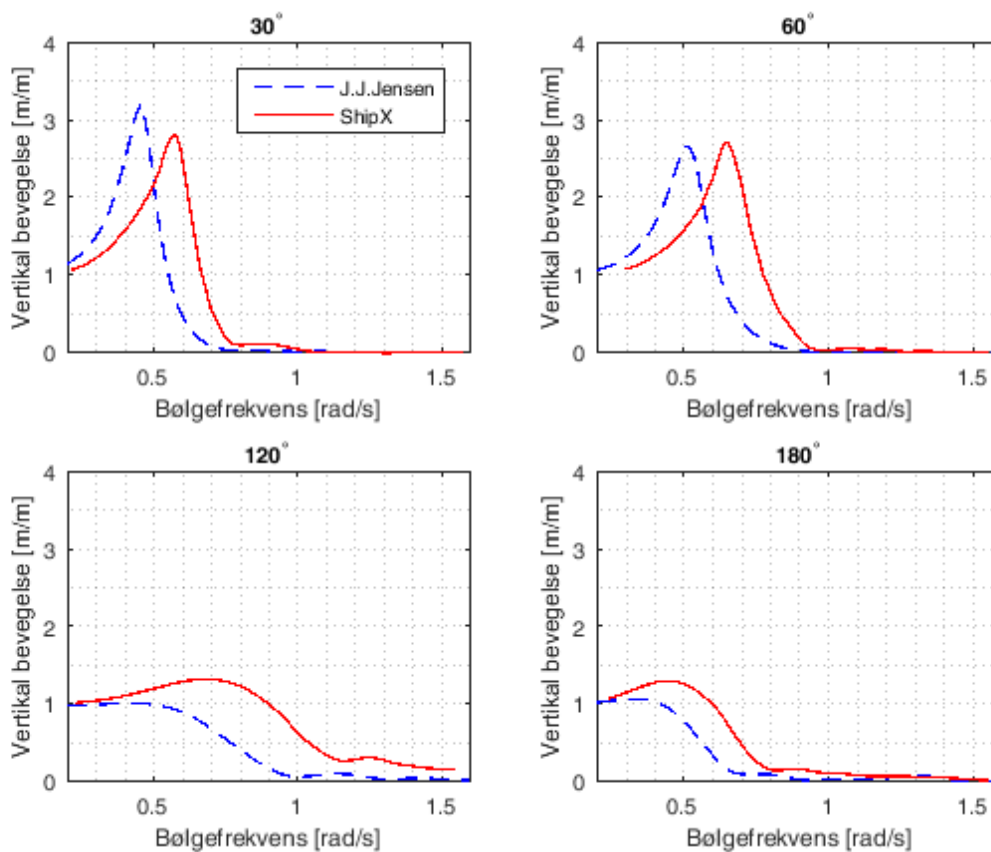
Resonansområdet forekommer også her ved ulik frekvens, da ShipX gir en høyere egenfrekvens enn Jensens metode. Figur 4.6 viser den kombinerte vertikale bevegelsen til tråleren ved 3 knops hastighet i forre perpendikulær.



Figur 4.6 Vertikal bevegelse for tråler i 3 knop, posisjon: FP, responsen [m/m] er gitt som en funksjon av bølgefrequens [rad/s]

4.4.2 AP

Helt bak på skipene ser vi at det er store forskjeller i hvordan modellene oppfører seg for de ulike bølgeretningene. Jensen gir lik respons som i FP, mens ShipX gir ulik, dette gjør at samsvaret mellom metodene varierer veldig i forhold til bølgeretning og skip. For containerskipet ser vi at for 30 grader er Jensen høyere mens for 60 grader er den lavere. For 90 grader ser vi at det for alle skipene er godt samsvar, men at ShipX har en noe høyere topp i egenfrekvensområdet. Igjen ser vi at Jensen viser tendensene til responsene godt, men at den ofte bommer på egenfrekvensen, både på hvilken frekvens den forekommer på og hvor stor responsen er. Vertikal bevegelse i AP er illustrert i figur 4.7 med responsen til containerskipet.



Figur 4.7 Vertikal bevegelse containerskip i 22 knop, posisjon: AP, responsen [m/m] er gitt som en funksjon av bølgefrequens [rad/s]

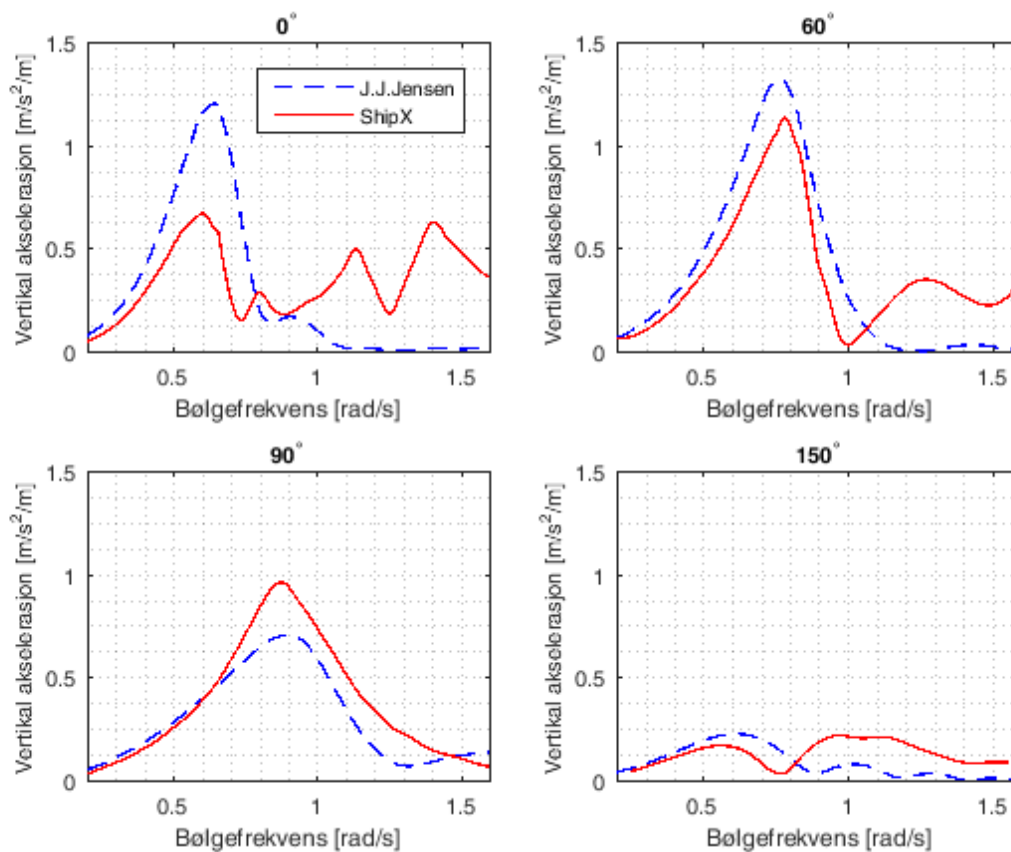
4.4.3 Bro

På broen er det vanskelig å finne et entydig mønster for responsen til de ulike fartøyene. En ser at det er mye av det samme som går igjen, med at tendensene er like og at de store forskjellene ligger rundt egenfrekvensen, som er enten for stor eller for liten i forhold til ShipX. Se vedlegg for resultater fra bro.

4.5 Vertikal Akselerasjon

4.5.1 FP

I baugen på fartøyene ser en at ShipX gir en høyere respons. For containerskipet og tråleren er denne veldig mye større, opp mot 2 m/s^2 . Lekteren skiller seg ut hvor Jensen er høyere enn ShipX, og hvor ShipX har flere toppen mot Jensens ene. Tendensene er gode og egenfrekvensen treffer nesten, men bommer på størrelse. Med bølger bakfra ser en at responsen varierer veldig og er mye mindre enn med bølgene forfra, den varierer også veldig mye med hastigheten. Se figur 4.8.



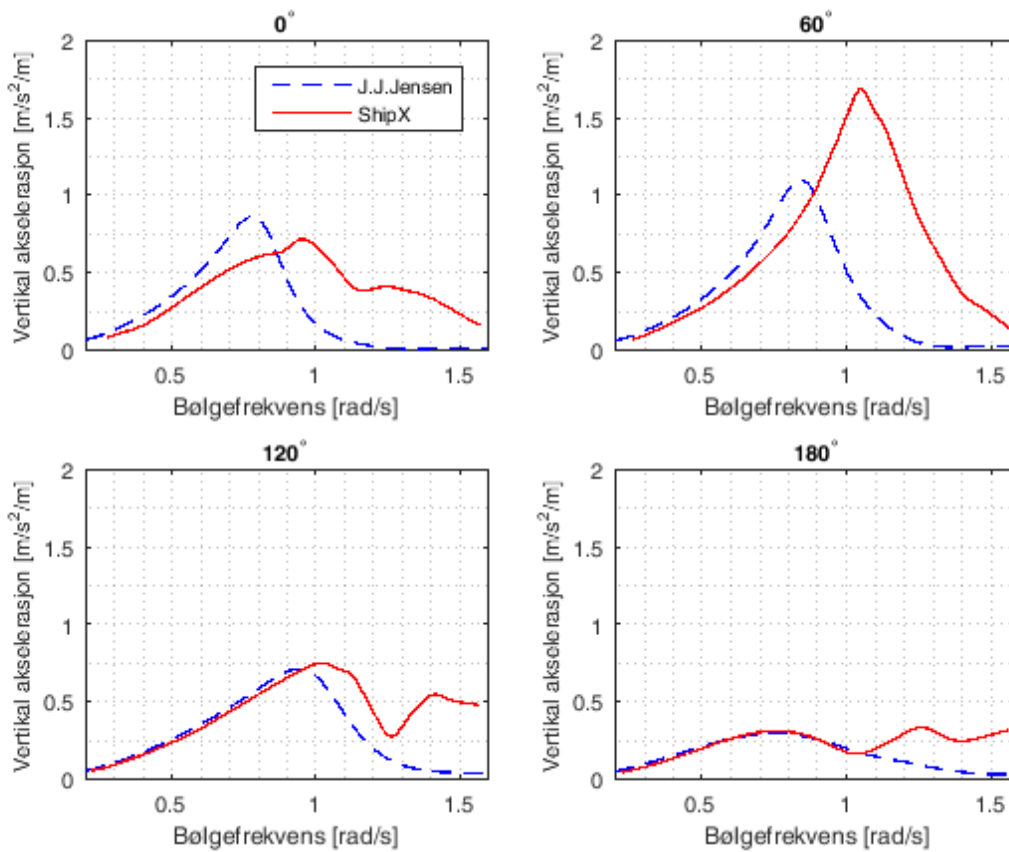
Figur 4.8 Vertikal akselerasjon leker i 10 knop, posisjon: FP, responsen $[m/s^2/m]$ er gitt som en funksjon av bølgefrekvens $[rad/s]$

4.5.2 AP

Akselerasjonen bak på fartøyene er stort sett lik som i FP. Jensen gir den samme responsen, mens ShipX gir en noe lavere respons enn i baugen. Forskjellene mellom ShipX og Jensen er stort sett de samme som i FP. Ulikhetene på størrelsen til responsen er mindre enn i baugen og er på opptil 1 m/s. Refereres til vedlegg for resultat.

4.5.3 Bro

Vi ser mye av det samme på broen som i AP og FP, hvor containerskipet og ankerhåndtereren gir en respons fra ShipX som er større enn for Jensen. For tråleren ser vi at for 30 grader er Jensen størst, men for 60 grader er ShipX igjen større. Responsen minker drastisk da bølgene kom inn akterut. Figur 4.9 viser akselerasjonen på broa til tråleren ved 3 knops hastighet.

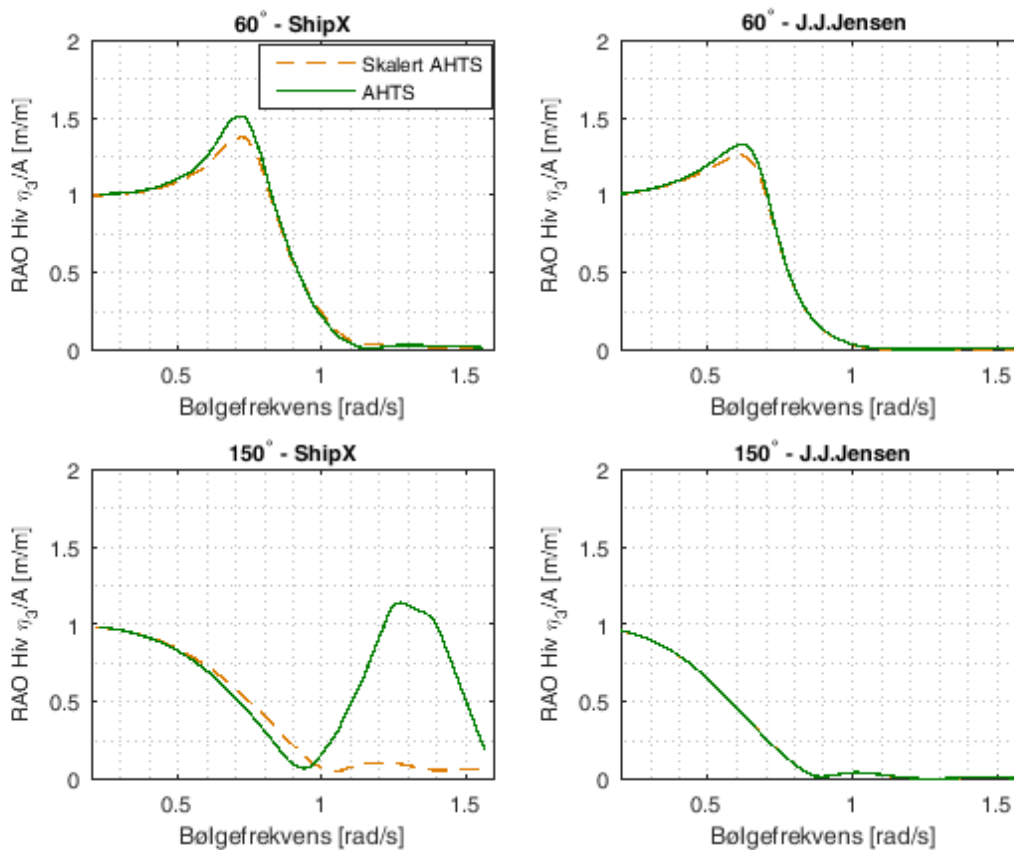


Figur 4.9 Vertikal akselerasjon for tråler i 3 knop, posisjon: Bro, responsen $[m/s^2/m]$ er gitt som en funksjon av bølgefrequens $[rad/s]$

4.6 Sammenlikning av ankerhåndterere

4.6.1 Hiv

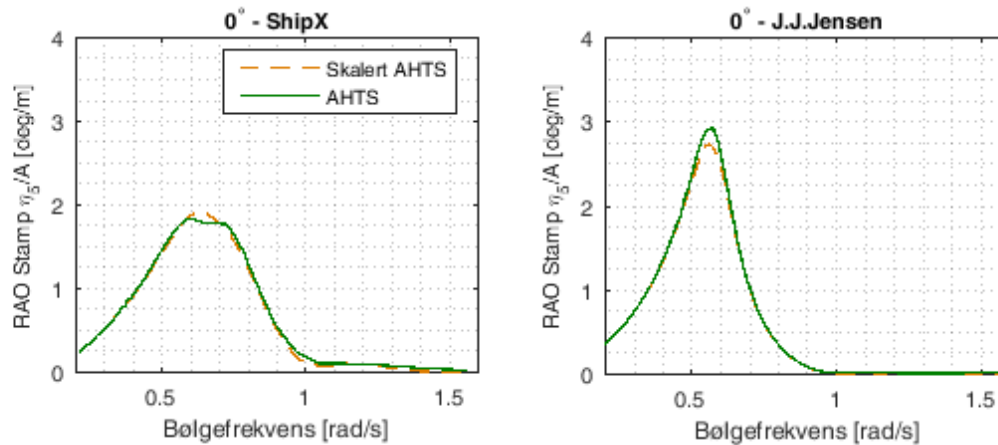
Ser vi på hiv-bevegelse så gir ShipX en noe høyere respons for ankerhåndtereren med $C_b = 0,65$. Denne tendensen er gjenkjennelig når vi sammenlikner skipene i JJ Jensens metode, men kun for 0, 30, 60 og 90 graders bølgeretning. Ser vi på 150 og 180 graders bølgeretning i ShipX, oppstår det store forskjeller på AHTS og S.AHTS for korte bølger. Denne vesentlige forskjellen er ikke synlig ved bruk av J. J. Jensens metode. Se figur 4.10.



Figur 4.10 Sammenligning av ankerhåndterere i hiv for 60° og 150° bølgeretning

4.6.2 Stamp

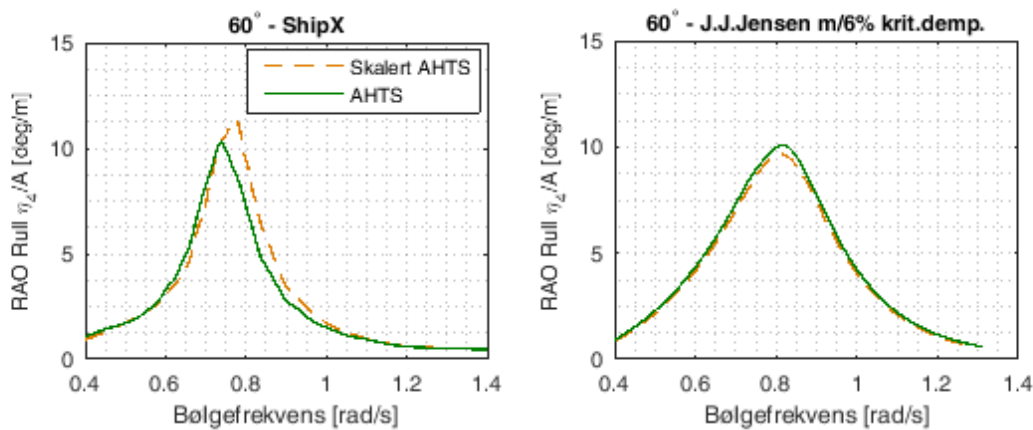
I stamp kan vi observere en minimal forskjell mellom de to ankerhåndtererne. Der S.AHTS har en minimalt høyere topp for bølgeretninger fra 0 til og med 30 grader. Ser vi på JJ Jensens metode er det derimot bevegelsen til AHTS som viser det største utslaget for nevnte bølgeretninger. I ShipX for innkommende bølger akterut, 150 og 180 grader, oppstår de samme tendensene som ved hivbevegelse. Denne vesentlige responsen for AHTS ved høy frekvens er ikke å spore i den forenklete metoden hvor skipene responderer helt likt. Se figur 4.11 for stampsammenligninger i 0 grader bølgeretning.



Figur 4.11 Sammenligning av ankerhåndterere i stamp for 0° bølgeretning

4.6.3 Rull

I rull-sammenlikningen er det i J.J. Jensens metode valgt den prosentverdien av kritisk demping som korresponderer best med resultatene fra ShipX. Rull-sammenlikningen fra ShipX viser at det er en forskjell både i respons og egenfrekvens for de to skipene. Det viser seg at S.AHTS har en noe større rullrespons og en litt forskjøvet egenfrekvens i forhold til AHTS. Resultatene fra sammenlikningen i J.J. Jensens metode viser ingen tegn til slike forskjeller. Se figur 4.12.



Figur 4.12 Sammenligning av ankerhåndterere i rull for 60°

5 Diskusjon

Denne delen av rapporten vil ta for seg de viktigste funnene som er blitt gjort i analysen samt diskutere mulige årsaker til ulikheter, med bakgrunn i teorien presentert tidligere. Vi vil diskutere arbeidet som ble gjennomført og mulige feilkilder som kan ha påvirket resultatet.

Vi ser jevnt over at det er forskjeller på de to beregningsmetodene. I hovedsak lå responstoppe, som kommer av egenfrekvensen til fartøyet, på lavere frekvenser med J.J. Jensens metode i forhold til ShipX. Jensens metode ga i tillegg en lavere respons. Skal en vurdere plasseringen av resonansområdet for hiv- og stamp-induserte bevegelser, må en se på hvilke variabler som inngår i beregningen av egenfrekvensen. Egenfrekvensen er gitt av masseleddet fra bevegelseslikningen, $M+A$, og stivhetsleddet C (Faltinsen, 1990, s. 69). Beregningen av tilleggsmassen i de forskjellige metodene er den tydeligste forskjellen som kan forklare forskyvningen av toppene. Jensen antar at tilleggsmassen er konstant lik massen av det fortrenge vannet. Mens ShipX beregner den som en funksjon av bølgefrekvens, hastighet og de todimensjonale koeffisientene som kommer fra skrogformen. Det vil si at det ikke er et konstant masseledd som bestemmer hvor resonansområdet forekommer. De slanke fartøyene hadde to responstopper i ShipX som ikke ble synlig med den forenklete metoden, se for eksempel figur 4.8. Dette er også noe som kan forklares av disse faktorene.

I følge Faltinsen (1990) er også dempingskoeffisienten avhengig av skrogutforming, innkommende bølgefrekvens og hastighet. Dette stemmer godt med teorien bak ShipX som regner ut en dempingskoeffisient for hver skrogseksjon (Fathi og Hoff, 2015). I Jensens metode er det definert en hydrodynamisk demping som funksjon av hastighet, frekvens og kun bredde og dypgang, se likning 2.19. Antageligvis er den modellerte dempingen fra Jensen for stor da responsen i hiv- og stampbevegelser var for liten.

Også stivhetsleddet blir påvirket av Jensens boks-antakelser. Vannlinjearealet er en viktig del av stivhetsleddet i hiv, C_{33} . For et boks-format fartøy vil denne være lik lengden multiplisert med bredden. I Jensens metode er bredden multiplisert med blokkoeffisienten. I faktiske forhold beskrives vannlinjearealet ved en vannlinjekoeffisient som veier opp for skrogform i vannlinjen, C_{wp} . Ser vi på ankerhåndtereren som har $C_b=0,65$ og $C_{wp}=0,83$, vil vi for eksempel se en forskjell på ca 300 m² i vannlinjeareal ved bruk av de to metodene. Dette, i sammenheng med

tilleggsmassen er også faktorer som gjør at resonansområdet forekommer på forskjellige frekvenser med de to metodene og at responsen har forskjellig verdi.

Kraftfunksjonene, se likning 2.20 og 2.21, minner om metoden presentert av Faltinsen (1990, s. 82) hvor de maksimale eksitasjonskreftene blir dekomponert for å ta hensyn til bølgeretningen. Denne metoden ble ikke anbefalt av Faltinsen, på grunn av manglende nøyaktighet.

Eksitasjonskreftene i ShipX blir regnet ut som funksjoner av trykk og form for små seksjoner summert over hele skroget. I Jensens metode derimot er de en funksjon av bredde, dypgang, hastighet og bølgetall for et enkelt tverrsnitt. Dette kan også ha en påvirkning på nøyaktigheten til skrogresponsen mellom de to metodene.

Det gode samsvaret for lav frekvens kommer av at det for lange bølger er de hydrostatiske kreftene som dominerer. Da kommer ikke skilnaden i tilleggsmasse- og dempingsberegning like godt fram som ved moderat til høy frekvens. Siden utregningen av disse er svært frekvensavhengig.

En av grunnene til at det gjennomføres analyser av skipsbevegelsene er for å fange opp eventuelt uheldige skrogformer som gir ugunstige responser. På denne måten kan en optimalisere linjetegningene slik at dette kan unngås. Fra figur 4.10 ser en for ankerhåndtereren i 150 grader at det blir voldsom respons i området mellom 1 og 1,5 rad/s. Det er tydelig at det oppstår resonans mellom skipet og bølgene her. Dette kan være en indikasjon på at skroget har et uheldig design. Jensens boks-antakelser gjør at metoden hans ikke har mulighet til å fange opp slike uheldigheter.

Forskjellen i behandling av skrogform kommer godt fram i resultatene fra sammenligningen av de to ankerhåndtererne. Her ser vi relativt små, men klare ulikheter i responsen ved å sammenlikne skipene i ShipX. Disse forskjellene stammer da sannsynligvis fra skrogutformingen som er den eneste forskjellen mellom de to fartøyene. I Jensens forenklede metode er det kun C_b en kan registrere som ulikt mellom skipene. Det prismatiske lengdeforholdet, δ , som representerer linjeutforming, ble i denne analysen satt likt da slankheten og skulderutforming er så og si lik for de to ankerhåndtererne. Denne kunne vært satt ulik for å simulere forskjeller i linjeutforming. Variasjon av δ viste seg uansett å ha svært liten effekt på rullresponsen.

Egenperioden i rull blir i J.J. Jensens metode regnet ut og gitt som forslag til inputdata. I vår sammenligning valgte vi å bruke en annen formel enn Jensen for å beregne denne, se likning 3.1. Avvik for resonans og toppverdiforskyvning kan da blant annet forklares ved denne parameteren.

Verken ShipX eller Juncher Jensen evner å beregne den totale viskøse dempingen for rullbevegelser. Det blir isteden brukt ulike metoder for å kompensere for dette. I Jensens metode er dette løst ved å legge til den tidligere nevnte prosentandelen av kritisk demping. Av figur 2.3 kan en se at en forandring i dempningsverdier kun har påvirkning på responstoppen. Dette kom òg fram fra våre resultater med forsøk med tre, ti og tjue prosent av kritisk demping, se figur 4.3. I ShipX er kompensasjonen for viskøs demping mer omfattende. Da den inkluderer matematiske modeller for friksjons-, kant-, løft- og slingrekjøldemping, som nevnt i teorikapittelet. RAOen fra ShipX antas derfor å gi et mer nøyaktig bilde av den rullresponsen en kan forvente i virkeligheten.

Resultatene for responsen i rull viser det største avviket mellom de to metodene i det området der frekvens er høyest, se figur 4.3. I dette området er det ifølge figur 2.3 masseleddene som spiller den største rollen. Avviket kan da igjen forklares ved å se på antakelsene for hvordan en beregner masseleddene i de to metodene. I J. J. Jensens metode, der hele masseleddet er erstattet med egenperioden i rull multiplisert med stivhetskonstanten, er masse og tilleggsmasse altså neglisjert. I ShipX derimot er tilleggsmasse, som tidligere nevnt, behandlet som en funksjon av både bølgefrequens, skipets hastighet og skrogform. Det bør nevnes at stivhetskonstanten i rull, C44, er likt beregnet både for ShipX og J.J. Jensens metode. Dette gjenspeiler seg i resultatene som viser en relativt stor likhet mellom de to metodene i området med lav frekvens som altså domineres av stivhetsleddet.

Av likning 2.28 kan en lese at Jensens antakelser i stor grad involverer GMt. Både egenperioden og stivhetskonstanten er funksjoner av GMt. Dette gjenspeiler resultatene i rullanalysen, da Jensens metode gir større utslag for skip med lavere GMt. Se figur 4.3 og vedlegg (rull tråler) der Jensens metode gir dobbelt så stor respons for tråleren med $GMt = 1,4$ enn for AHTS med $GMt = 3,66$. Resultatene fra ShipX gir òg, som forventet, større rullrespons for skip med lavere GMt, men kun med 2-3 grader forskjell. Tråleren og AHTS har omtrent det samme L/B forholdet. Den vertikale bevegelsen og vertikale akselerasjon er som tidligere nevnt kombinerte hiv- og stampbevegelser, dette gjorde at mange av de samme ulikhetene gikk igjen som da vi så på hiv

og stamp hver for seg. En viktig ting å legge merke til er at Jensen gir like verdier i FP og i AP, og tar ikke hensyn til at disse faktisk kan være ulike, slik en faktisk så av resultatene i ShipX. Dette kommer av at skip som regel ikke er symmetriske forut og akter. Dette er noe Jensen neglisjerer med sine boks-formede fartøy.

En annen ting som går på symmetri er stampbevegelsen i 90 graders bølgeretning, hvor Jensen ga ingen respons. Så vi på de testede fartøyene i ShipX så var det er en liten respons allikevel. Dette kan komme av at skipene i virkeligheten altså ikke er symmetriske om yz-planet og at forskjeller i trykk framme og bak vil gi en stampbevegelse. Dette viste og resultatene for den symmetriske lekteren i ShipX, der det heller ikke oppstår stampbevegelser (figur 4.4).

Til nå er det i denne rapporten fokusert på avvik mellom de to metodene og hva de kommer av. En kan vurdere viktigheten av slike relativt nøyaktige avvik, spesielt tidlig i en skipsdesignprosess. J.J. Jensen konkluderer selv i artikkelen (2004) med at resultatene fra hans metode er ment som et hjelpemiddel i konseptutviklingen for et skip. Det vil alltid være et spørsmål rundt nøyaktigheten til metoder hvor det må gjøres forenklinger, dette gjelder også ShipX. Den eneste «fasiten» en har er målinger gjort for virkelige skip i virkelige bølger. Samtidig er konseptutviklingen er fase der man vil utforske og se tendenser fremfor å bruke lang tid på å få frem veldig nøyaktige resultater.

Uthenting av datasettene kan være en mulig årsak til feilkilde, programmet brukt til dette er funnet på nettet og kan selvfølgelig gi noe unøyaktig resultat. Samtidig har dataene fra programmet blitt sjekket opp mot de originale RAOene og ikke funnet noen merkbare forskjeller. En annen potensiell feilkilde er variablene i rullberegningene i J. J. Jensens metode og da spesielt kritisk dempning og δ . Disse variablene kan variere veldig og er avhengig av god ingeniørfaglig dømmekraft. Den kritiske dempingen har vi testet flere verdier for å se etter tendenser i forhold til ShipX. For ShipX spiller også slingrekjøler inn, både størrelse og plassering. Det prismatiske lengdeforholdet vil variere fra skip til skip og kan tolkes forskjellig ut i fra hvem som utfører analysen og selv med liten effekt kan denne påvirke resultatet.

I denne oppgaven har vi forsøkt å dekke et variert utvalg skip, med forskjellige operasjonsområder og arbeidsoppgaver, for å gi et så godt bilde som mulig av den forenklede metoden og resultatene den gir. Det fins mange typer skip som opererer under ulike hastigheter.

Derfor kan det argumenteres for at mer testing bør gjøres for å kunne trekke en absolutt konklusjon. Men å verifisere *Ship Motion Application* for alle disse fartøyene hadde vært svært tidskrevende og var i grunn urealistisk for denne oppgaven. Typer skip som katamaraner kunne vært interessant å sett på, men har ikke blitt testet da J. J. Jensens metode er utarbeidet for fartøy med ett skrog. Skip i høyere hastighet, som hurtiggående ferger, og større skip, som VLCC, har tidligere blitt testet med akseptable resultater (Jensen, mfl., 2004).

6 Konklusjon

Hovedmålet til denne oppgaven var å verifisere den forenklede metoden opp mot ShipX og bestemme om den gir akseptable resultater og om denne kan brukes i en designprosess for et skip.

Den grunnleggende teorien bak skipsdesign og skipsbevegelser har blitt forklart i teoridelen av oppgaven, samt teorien som ligger bak de to sammenlignede metodene *Ship Motion Application* og *ShipX*. Det har blitt gjennomført analyser for fire forskjellige fartøy: En lekter, en tråler, et containerskip og en ankerhåndterer. Disse er blitt gjort i tre frihetsgrader, hiv, stamp og rull, og for vertikal bevegelse og vertikal akselerasjon, i forskjellige hastigheter og innkommende bølgeretninger. Resultatene ble plottet som en funksjon av bølgefrekvens og respons per bølgeamplitude og sammenlignet opp mot hverandre. Det har blitt diskutert mulige årsaker til både forskjellene og likhetene mellom de to metodene. Samt årsaker til feilkilder og variasjon i resultater.

Funnene gjort i denne oppgaven kan oppsummeres slik:

- Jensens metode samsvarer godt for lav frekvens hvor stivhetsleddet er dominerende.
- I resonansområdet er forskjellene i respons vesentlige, Jensens metode gir for stor respons.
- Egenfrekvensområdet opptrer for lavere frekvenser ved bruk av Jensens metode enn ShipX. Blant annet på grunn av forenklingene gjort med utregning av skipets tilleggsmasse, dempingskoeffisient og stivhet.
- I rull er det ingen spesifikk prosent av kritisk demping som passer for hvert fartøy. I stedet må en finne en passende prosent ut i fra hvilket fartøy og hvilken bølgeretning en vurderer. Rullresponsen i J. J. Jensens metode baserer seg for mye på GMt i forhold til hva som er realistisk.
- Det prismatiske lengdeforholdet δ er en usikker variabel og krever en viss dømmekraft før bestemmelse.
- Den forenklede metoden fanger ikke opp forskjeller i skrogform på to ellers like skip, da den eneste verdien som skiller dem her, C_b , ikke påvirker resultatene tilstrekkelig.

- Metodene til Juncher Jensen er utarbeidet for å fange opp bevegelsesmønsteret til et skip, kun med enkle hoveddimensjoner, dette mener vi han lyktes med, da resultatene våre viser en svært god korrelasjon i bevegelsesmønsteret i resultatet fra ShipX.
- Funnene Jensen mfl. (2004) har gjort i egne sammenlikninger av den forenklete metoden samsvarer svært godt med resultatene fra vår analyse.

Den forenklete metoden ansees ikke som nøyaktig nok til bruk i detaljdesign av skip. Den passer bedre til det den er tiltenkt som, et raskt verktøy i konseptutviklingsfasen, hvor det er mange alternativ som undersøkes og vurderes. Jensens metode sammen med *Ship Motion Application* kan være et meget godt undervisningsverktøy. Muligheten til å kunne gjøre enkle endringer og se effektene av dette gir et godt bilde av samspillet mellom hoveddimensjoner og skipets respons i bølger. Et godt eksempel på dette er videreutviklingen av *Ship Motion Application* kalt *Ship Motion Simulator*, laget av Chaves og Gaspar (Chaves and Gaspar, 2016). Simulatoren viser et 3D-animert skip som beveger seg i innkommende bølger. Der skipets respons er beregnet ved bruk av Jensens metode.

Et forslag til videre arbeid med disse forenklete metodene kan være å inkludere mer avanserte bølgebeskrivelser. For eksempel ved å programmere inn et bølgespekter for slik å beskrive en aktuell sjøtilstand.

Referanser

- Andrade, S. L., & Gaspar, H. M. (2015). *Ship Motion Application*. Hentet 2016 fra <http://www.shiplab.hials.org/app/shipmotion/>
- Bergdahl, L. (2009). *Wave-Induced Loads and Ship Motions*. Gøteborg: Chalmers University of Technology.
- Chakrabarti, S. (2001, July). Empirical calculation of roll damping for ships and barges. *Ocean Engineering*(7), ss. 915-932.
- Chaves, O., & Gaspar, H. M. (2016). *A Web Based Real-Time 3D Simulator for Ship Design Virtual Prototype and Motion Prediction*. Ålesund/Brasil.
- Comstock, J. (1967). *Principals of Naval Architecture*. New york: Society of Naval Architecture and Marine Engineers.
- Faltinsen, O. M. (1990). *Sea Loads on Ships and Offshore Structures* (1. utg.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Fathi, D. E. (2015). *ShipX Vessel Responses (VERES) - User's Manual*. Trondheim: MARINTEK A/S.
- Fathi, D. E., & Hoff, J. R. (2015). *ShipX Vessel Responses(VERES) - Theory Manual*. Trondheim: MARINTEK A/S.
- Gerritsman, J., & Beukelman, W. (1964). The distribution of hydrodynamic forces on a heaving and pitching ship model in still water. Bergen: Proceedings of the Fifth Symposium on Naval Hydrodynamics.
- Jensen, J. J. (2001). *Loads and global response of ships*. Oxford: Elsevier Science.
- Jensen, J. J., Mansour, A. E., & Olsen, A. S. (2004, Januar). Estimation of ship motions using closed-form expressions. *Ocean Engineering*, ss. 61-85.
- Larsen, C. M. (2011). *Krefter og bevegelser på marine konstruksjoner*. Trondheim: NTNU - Institutt for Marin Teknikk.
- Palm III, W. J. (2007). *Mechanical Vibration*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Rohatgi, A. (2015). *WebPlotDigitizer*. Hentet April 2016 fra <http://arohatgi.info/WebPlotDigitizer>
- Salvesen, N., Tuck, E. O., & Faltinsen, O. (1970). Ship Motions And Sea Loads. *Trans. SNAME*(17), ss. 250-287.
- St. Denis, M., & Pierson, J. W. (1953, Oktober). On the Motion of Ships in Confused Seas. *Trans. SNAME*, ss. 61-81.

Wang, Z., Xia, J., Jensen, J., & Braathen, A. (2000). Prediction of vertical-plane wave loading and ship responses in high seas. *Proceedings of the 23rd Symposium on Naval Hydrodynamics*, s. 115.

Yamamoto, Y., Sugai, K., Inoue, H., Yoshida, K., Fugino, M., & Ohtsubu, H. (1986). Wave loads and response of ships and offshore structures from the viewpoint of hydroelasticity. Dunfermline, Skotland: Proceedings of the International Conference on Advances in Marine Structures Admiralty Research Establishment.

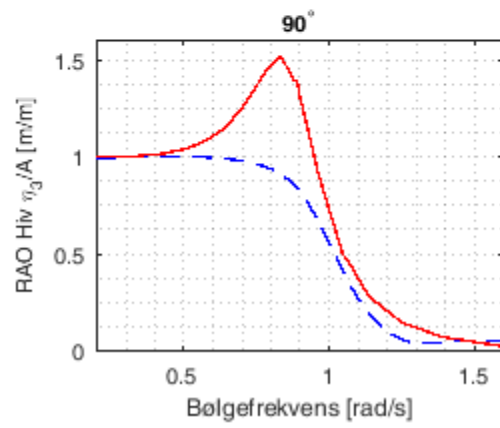
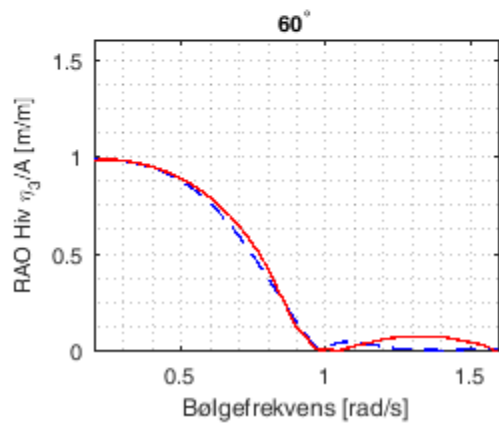
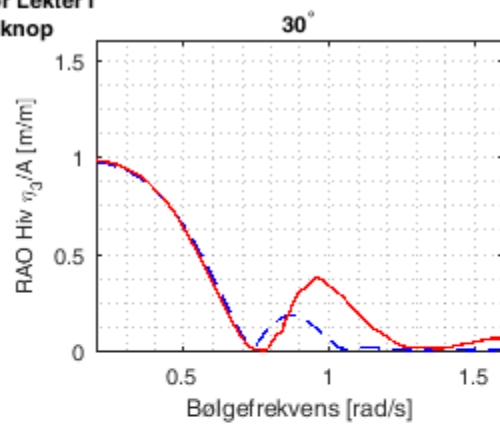
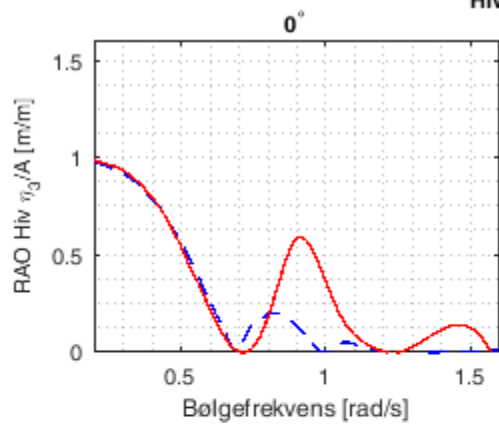
Vedlegg A: Data fra samtlige resultater

Dette vedlegget inneholder de dataene som ikke fikk plass i resultatdelen av rapporten.

De er sortert etter type skip og ordnet i denne rekkefølgen

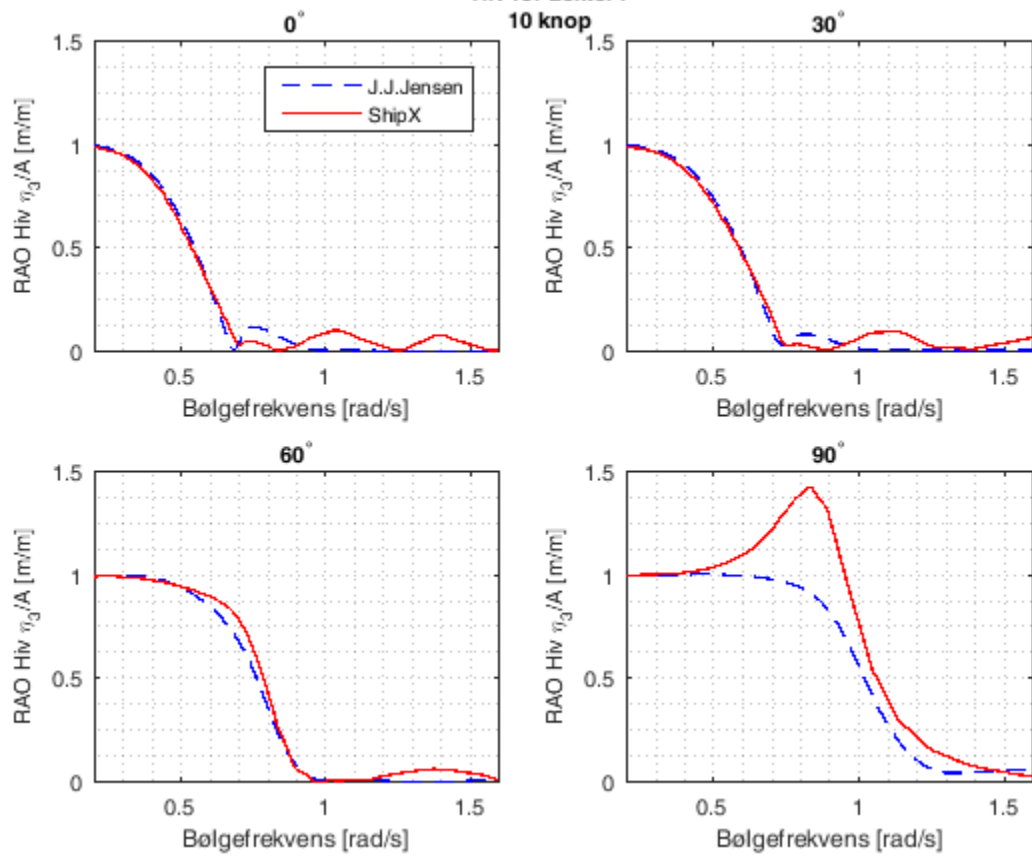
- Hiv
- Rull
- Stamp
- Vertikal Bevegelse
- Vertikal Akselerasjon

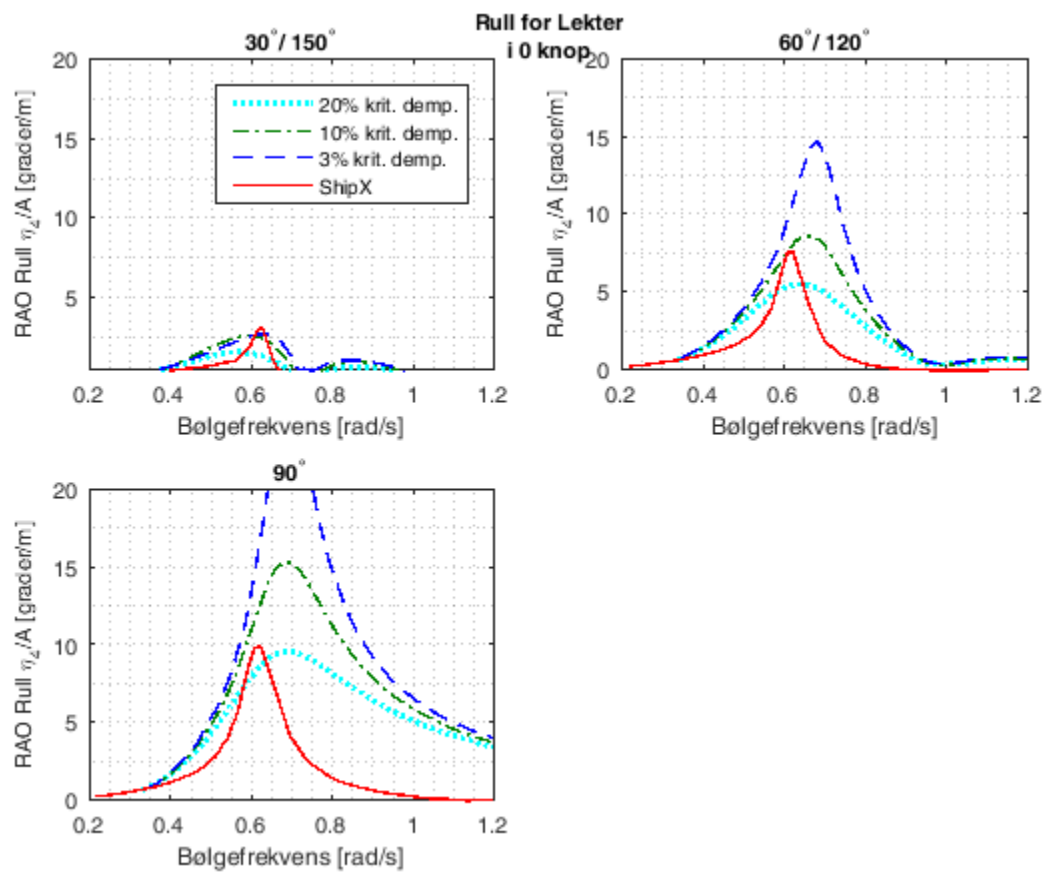
Hiv for Lektor i
0 knop



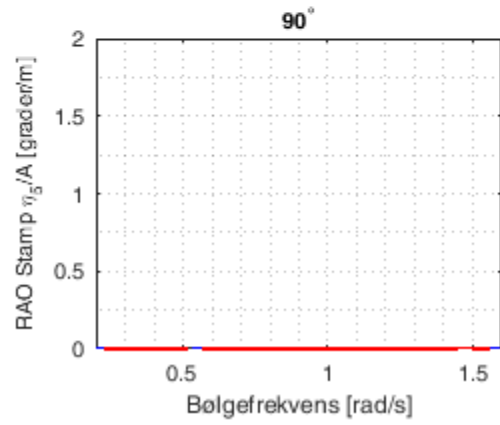
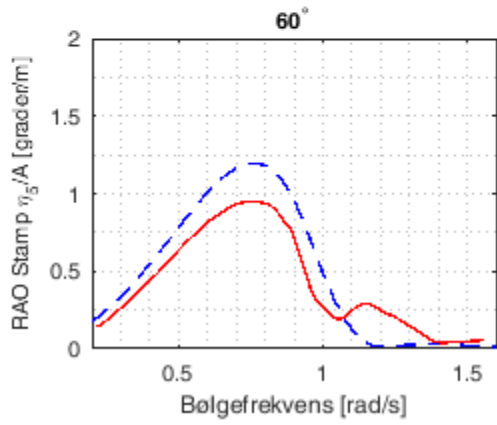
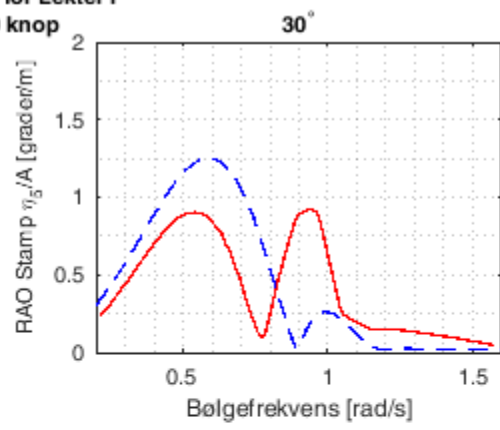
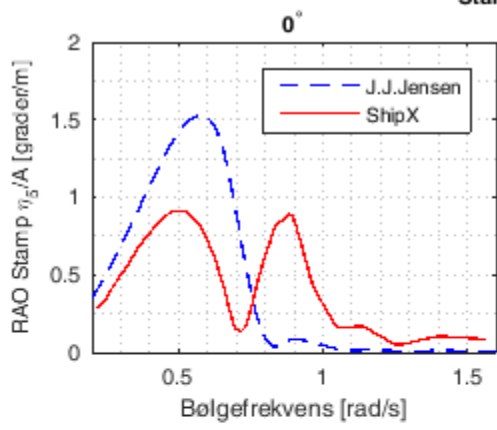
Hiv for Lektor i

10 knop

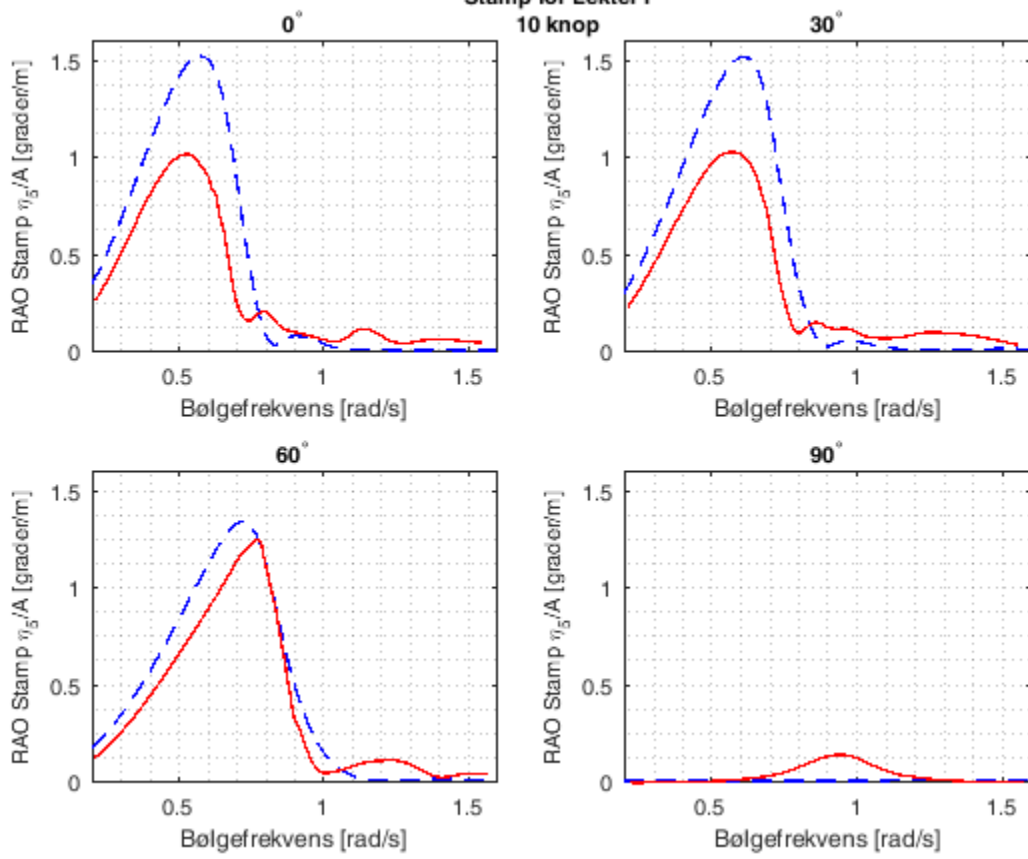




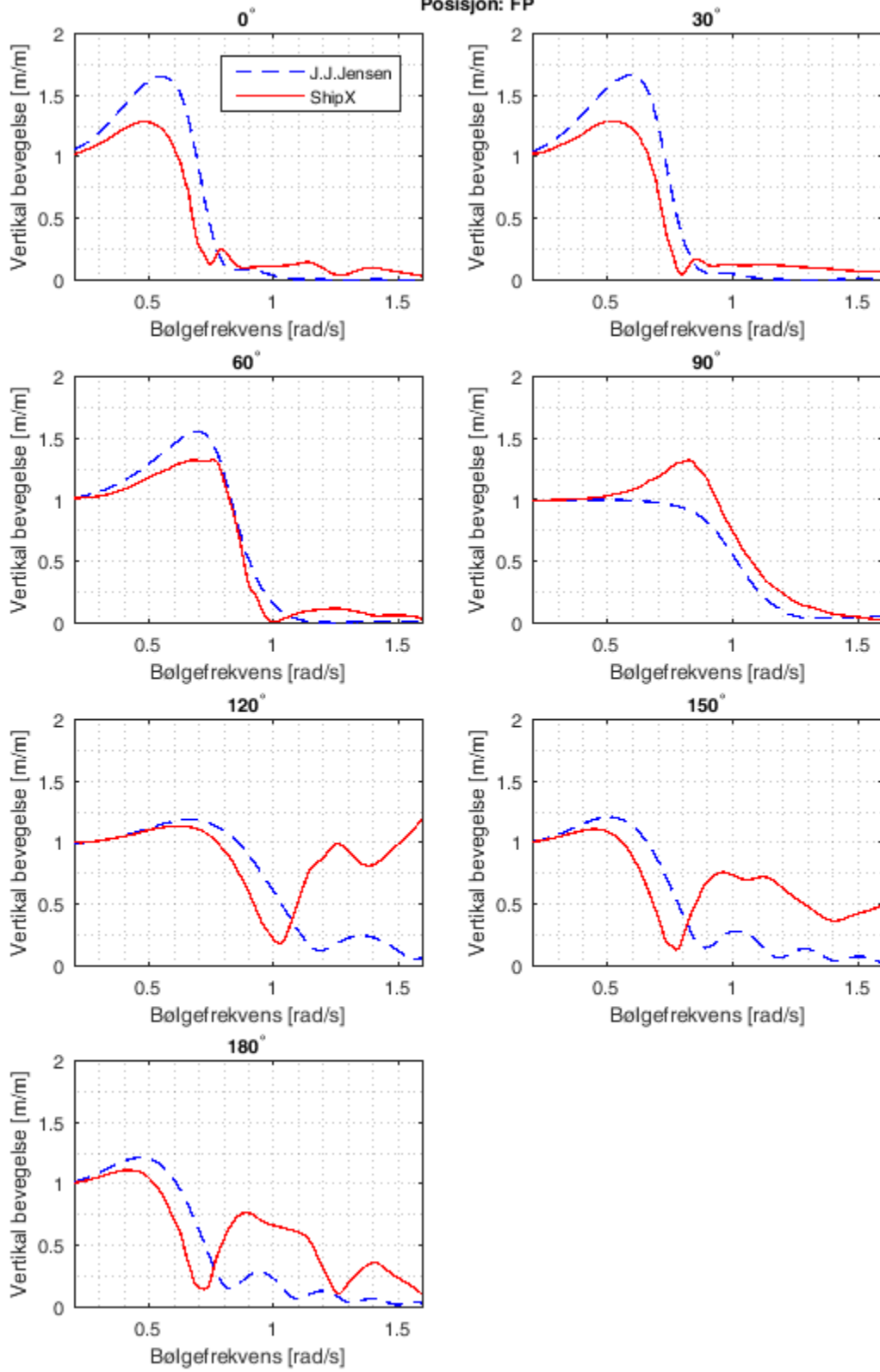
Stamp for Lektor i
0 knop



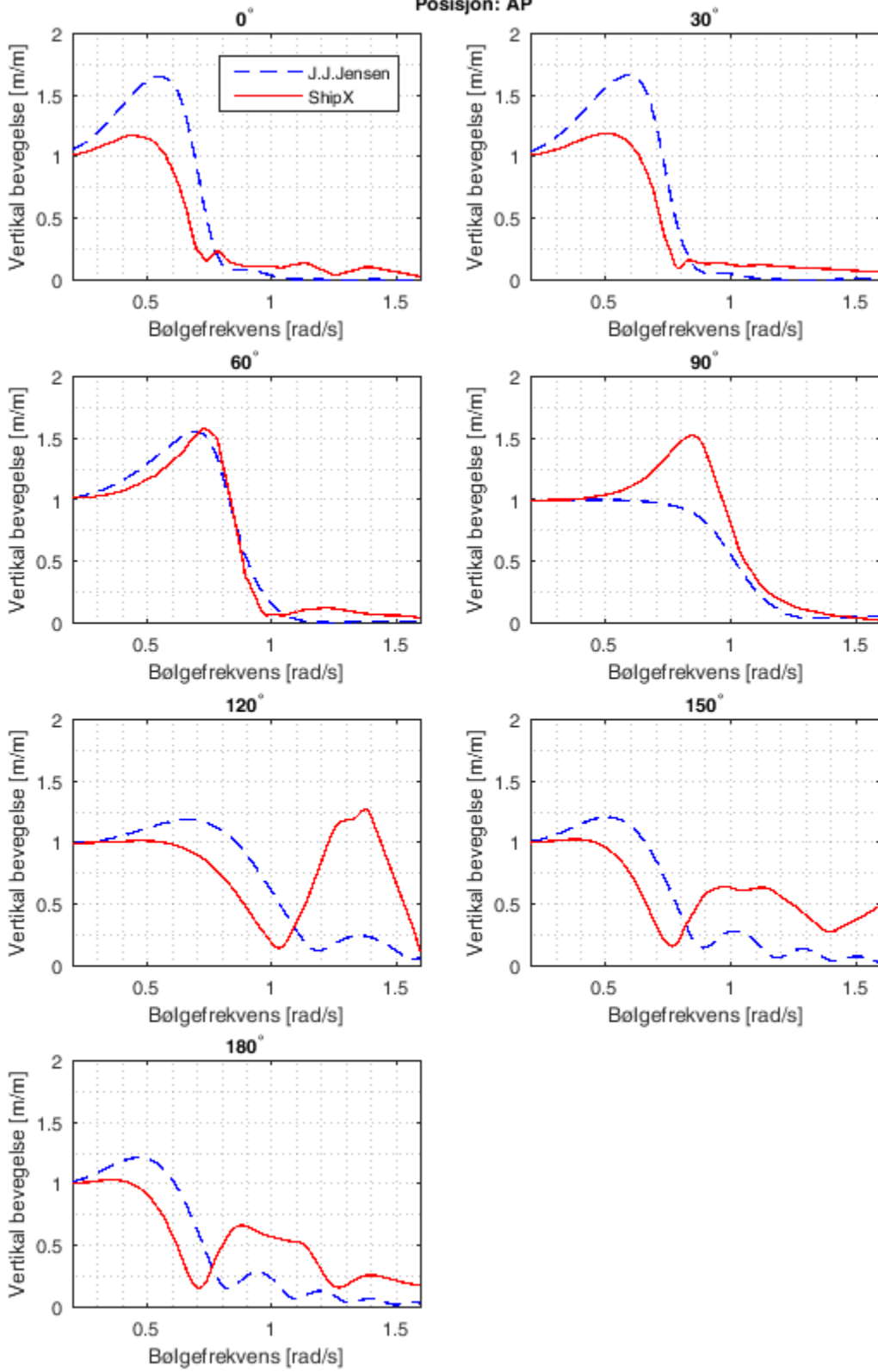
Stamp for Lektor i
10 knop



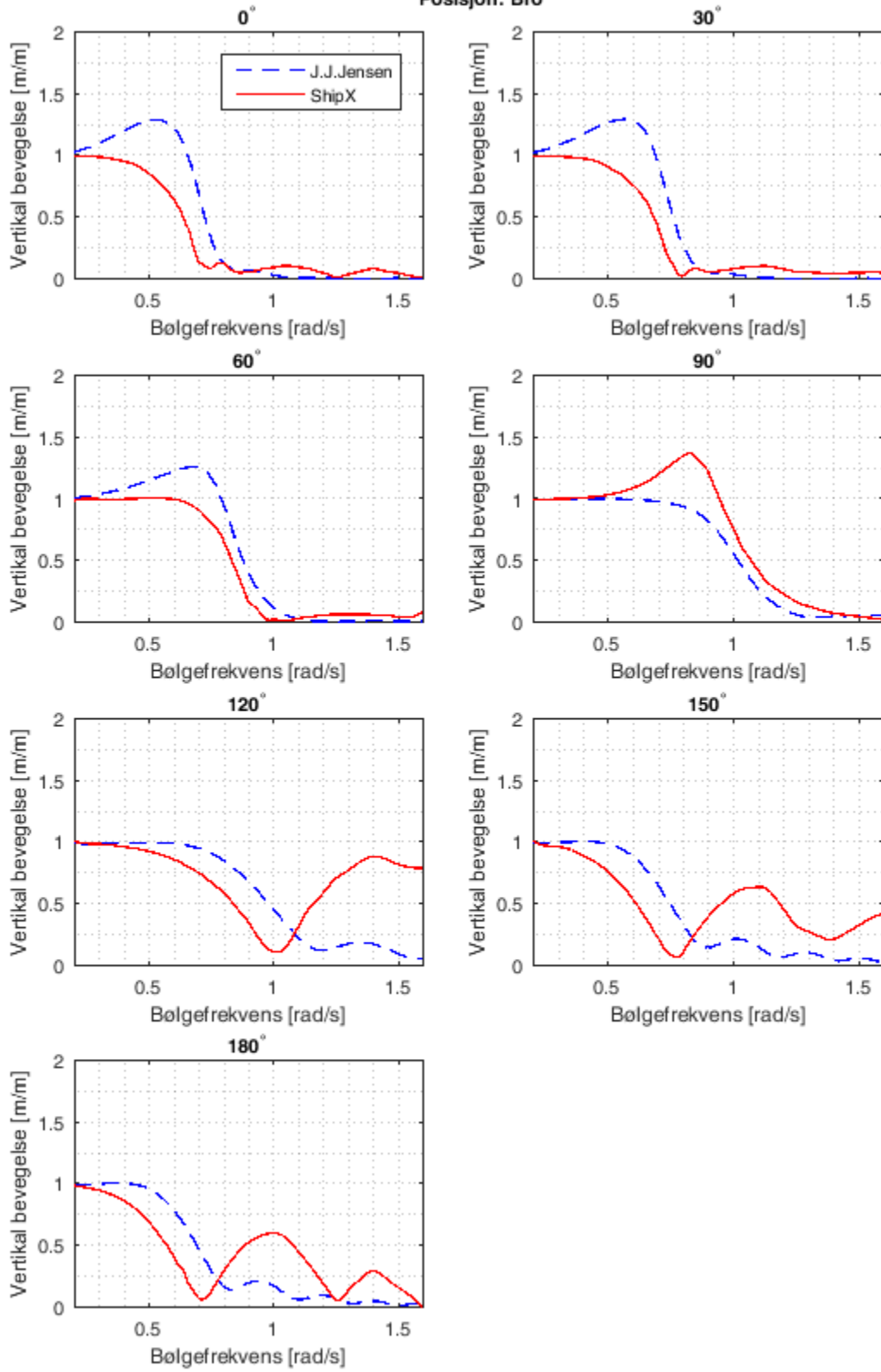
Vertikal bevegelse for Lektor i
10 knop
Posisjon: FP



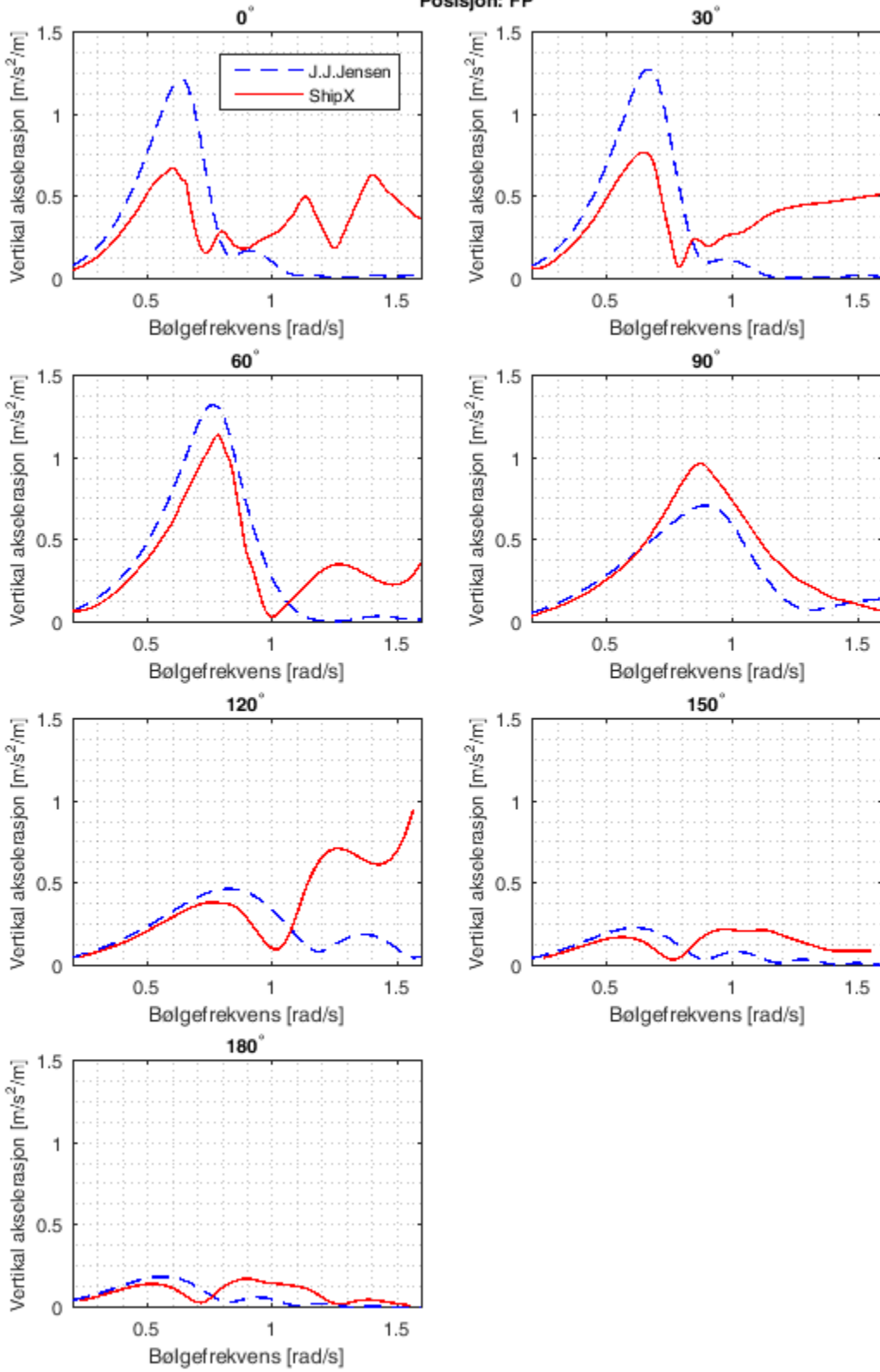
Vertikal bevegelse for Leter i
10 knop
Posisjon: AP



Vertikal bevegelse for Lektor i
10 knop
Posisjon: Bro

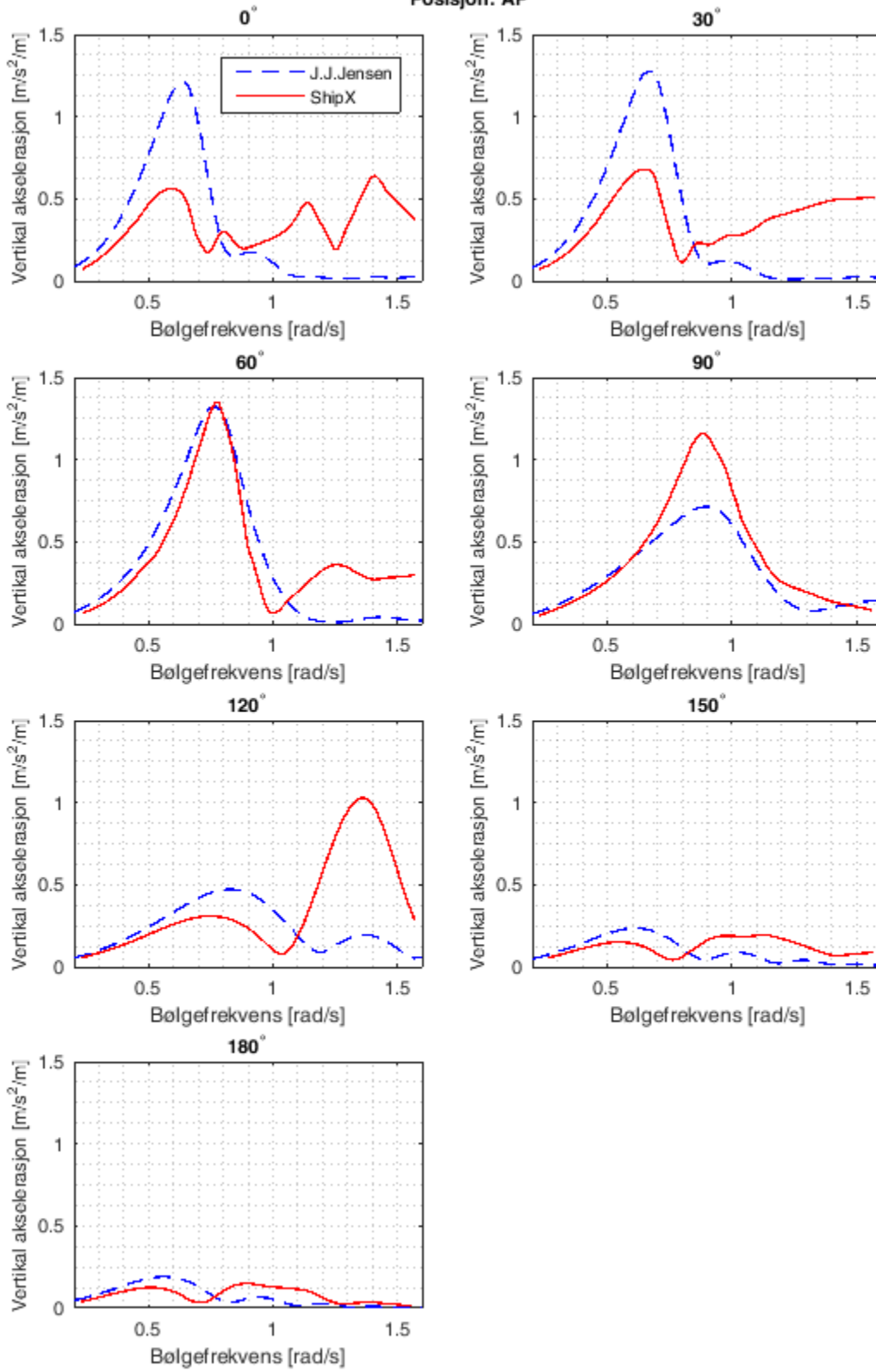


Vertikal akselerasjon for Lektor
i 10 knop
Posisjon: FP

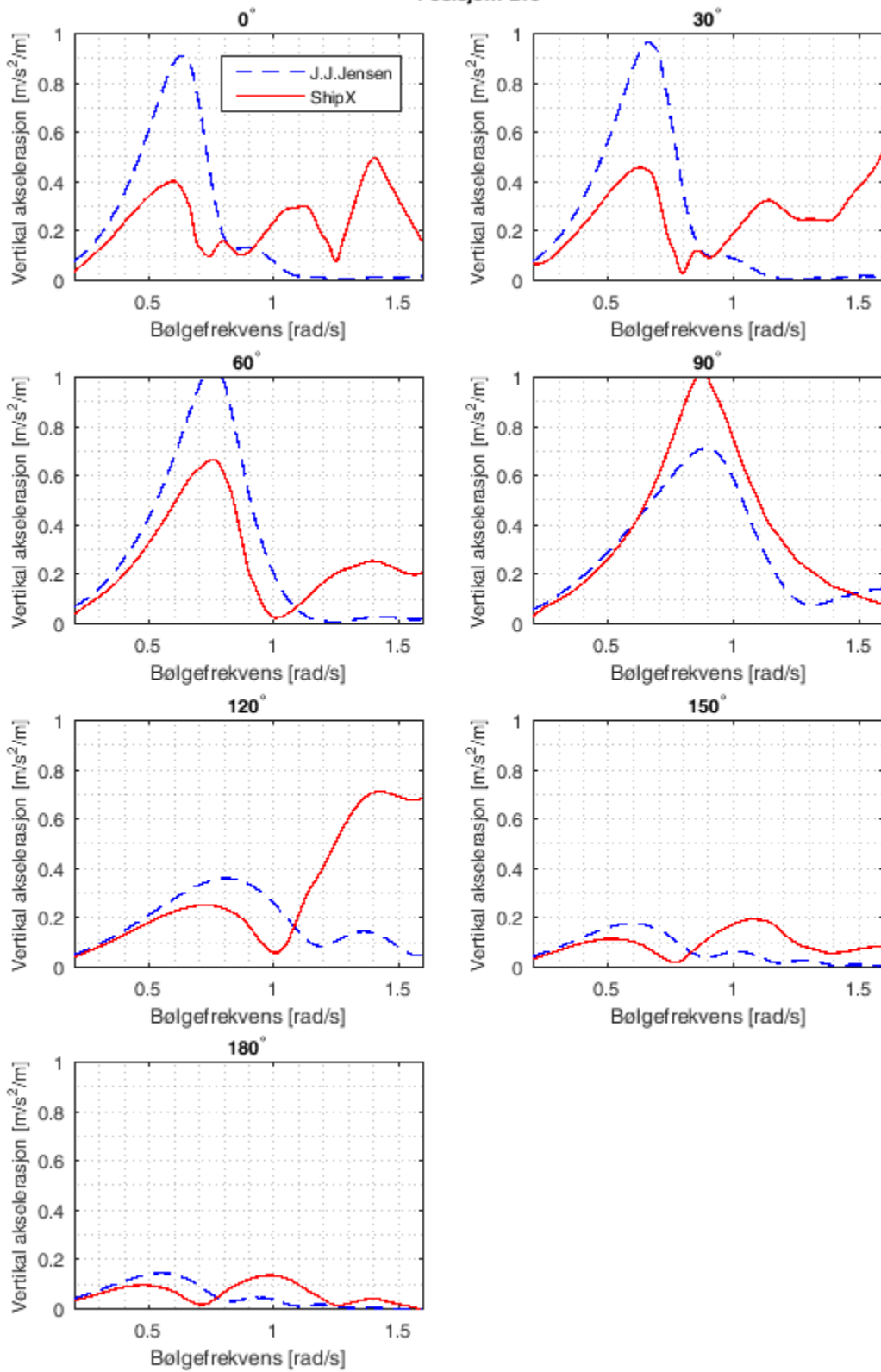


Vertikal akselerasjon for Lektor i
10 knop

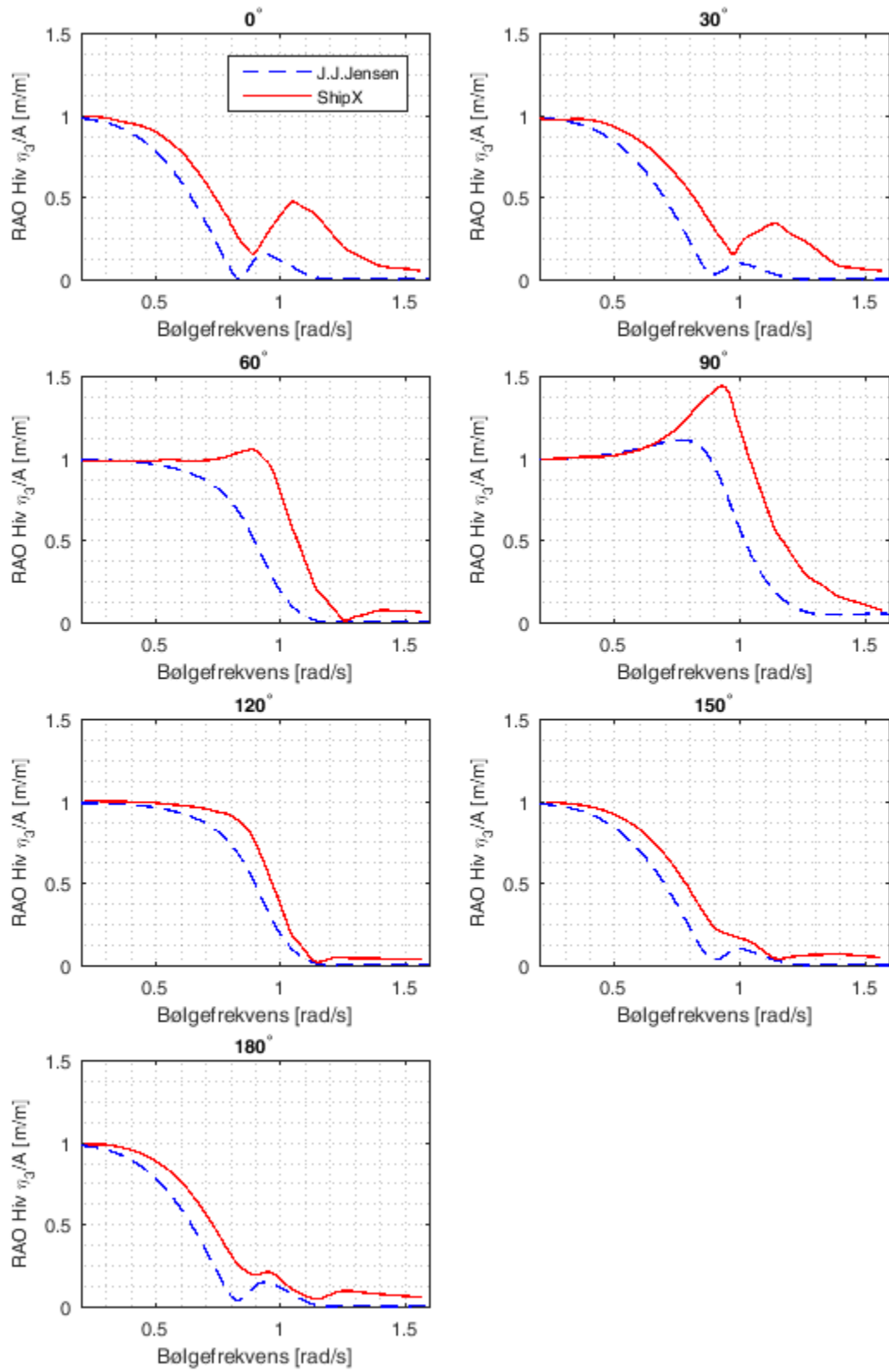
Posisjon: AP



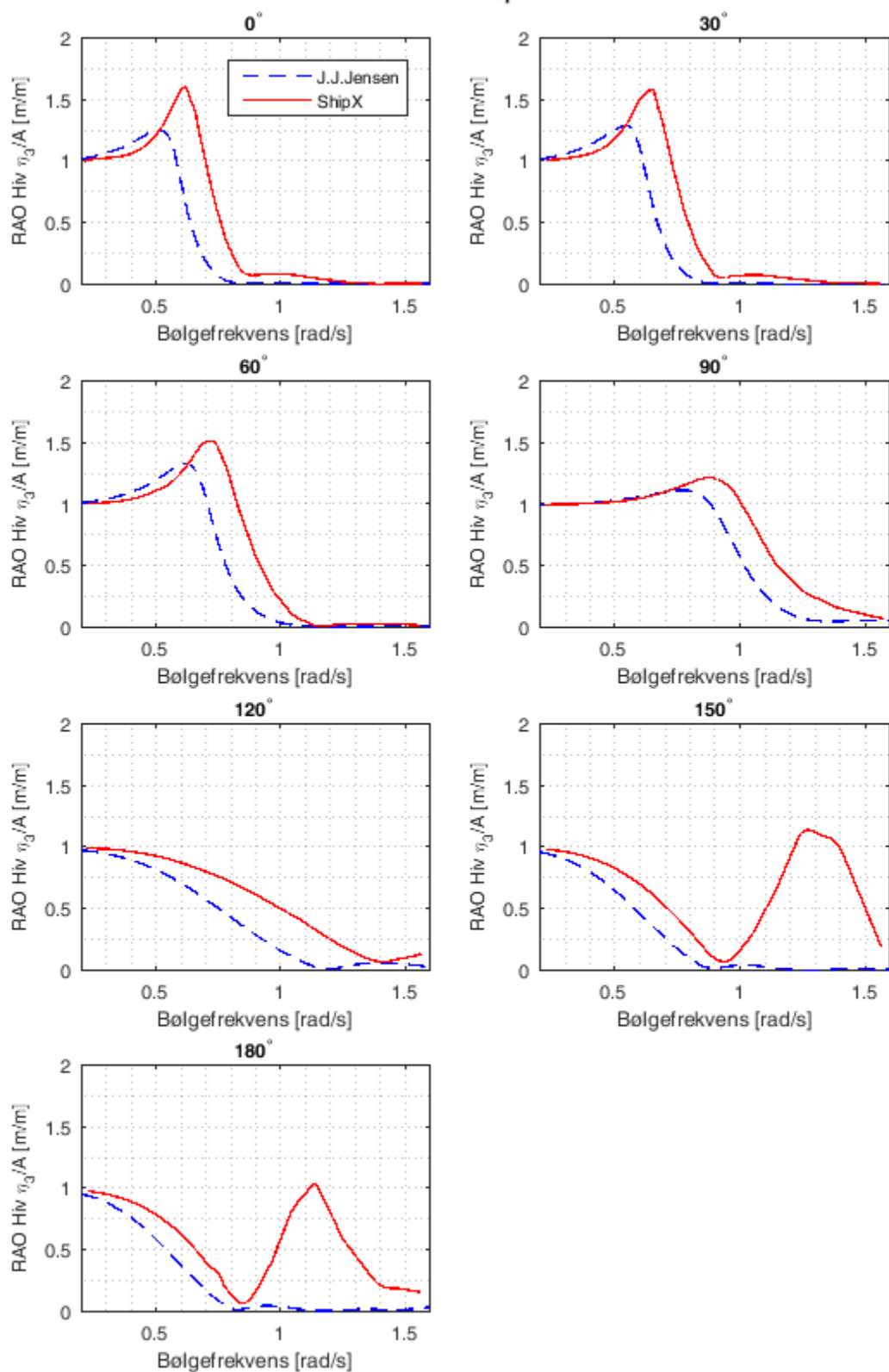
Vertikal akselerasjon for lekter i
10 knop
Posisjon: Bro



Hiv for AHTS i
0kn

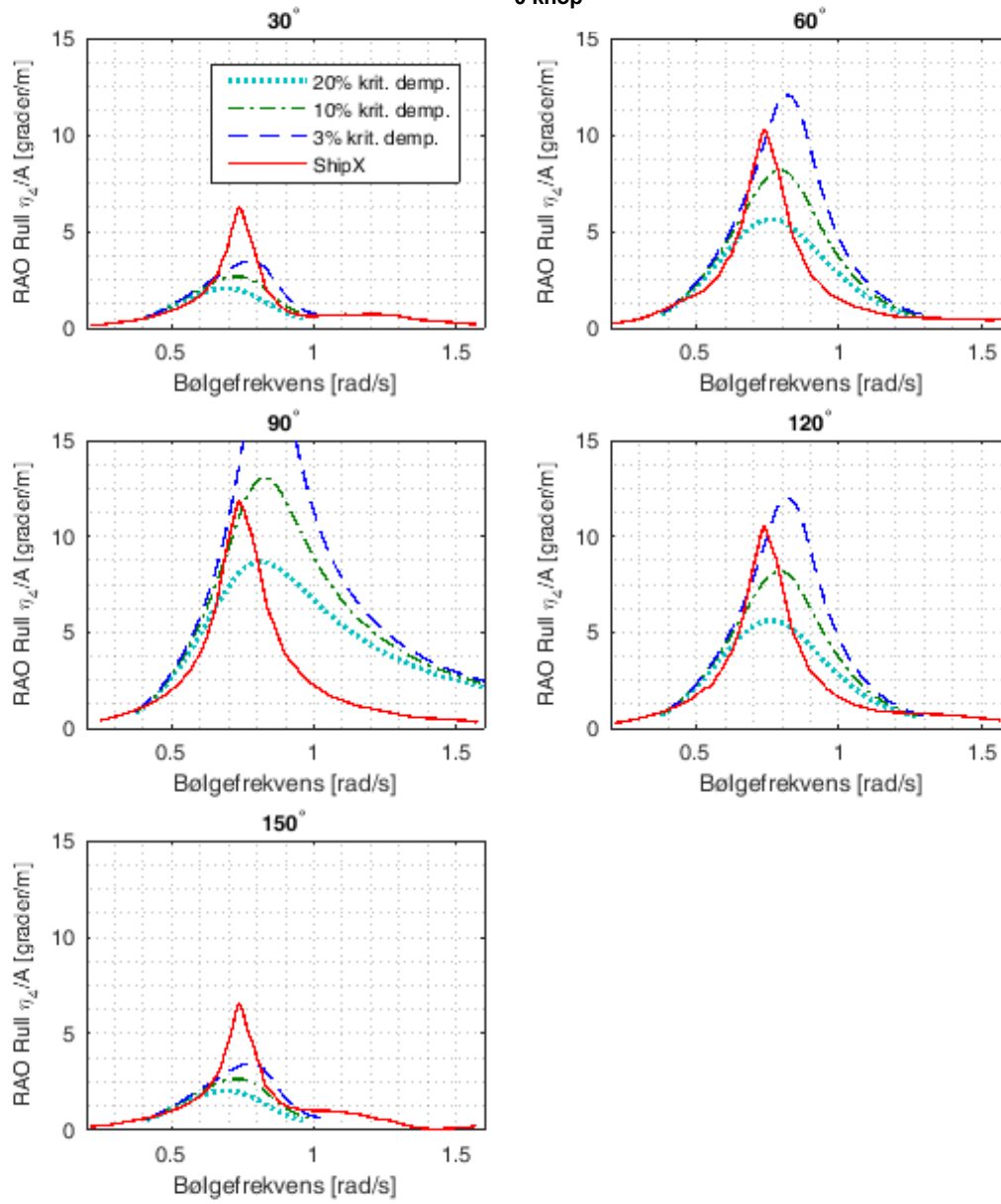


Hiv for AHTS i
17 knop

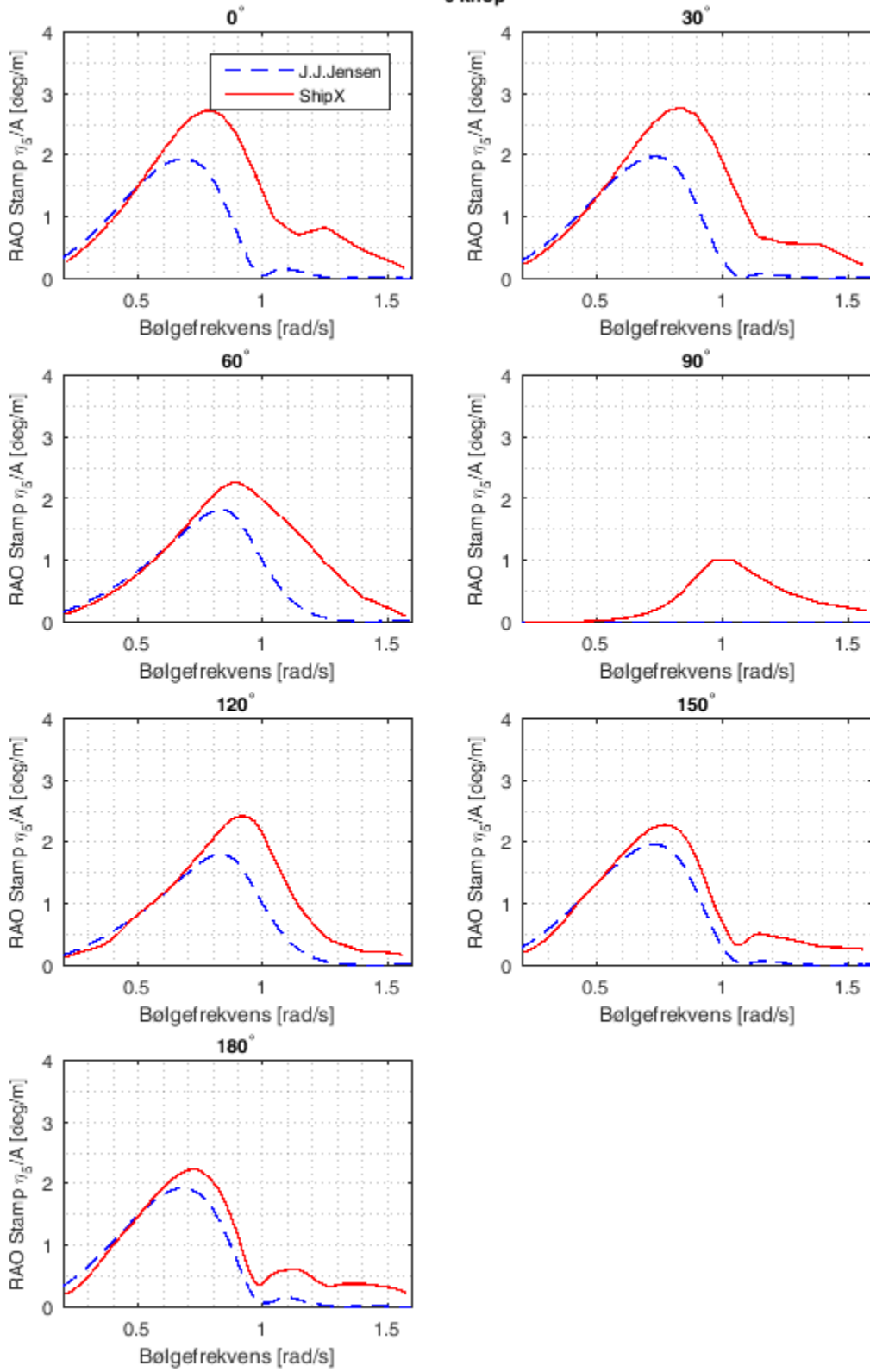


Rull for AHTS i

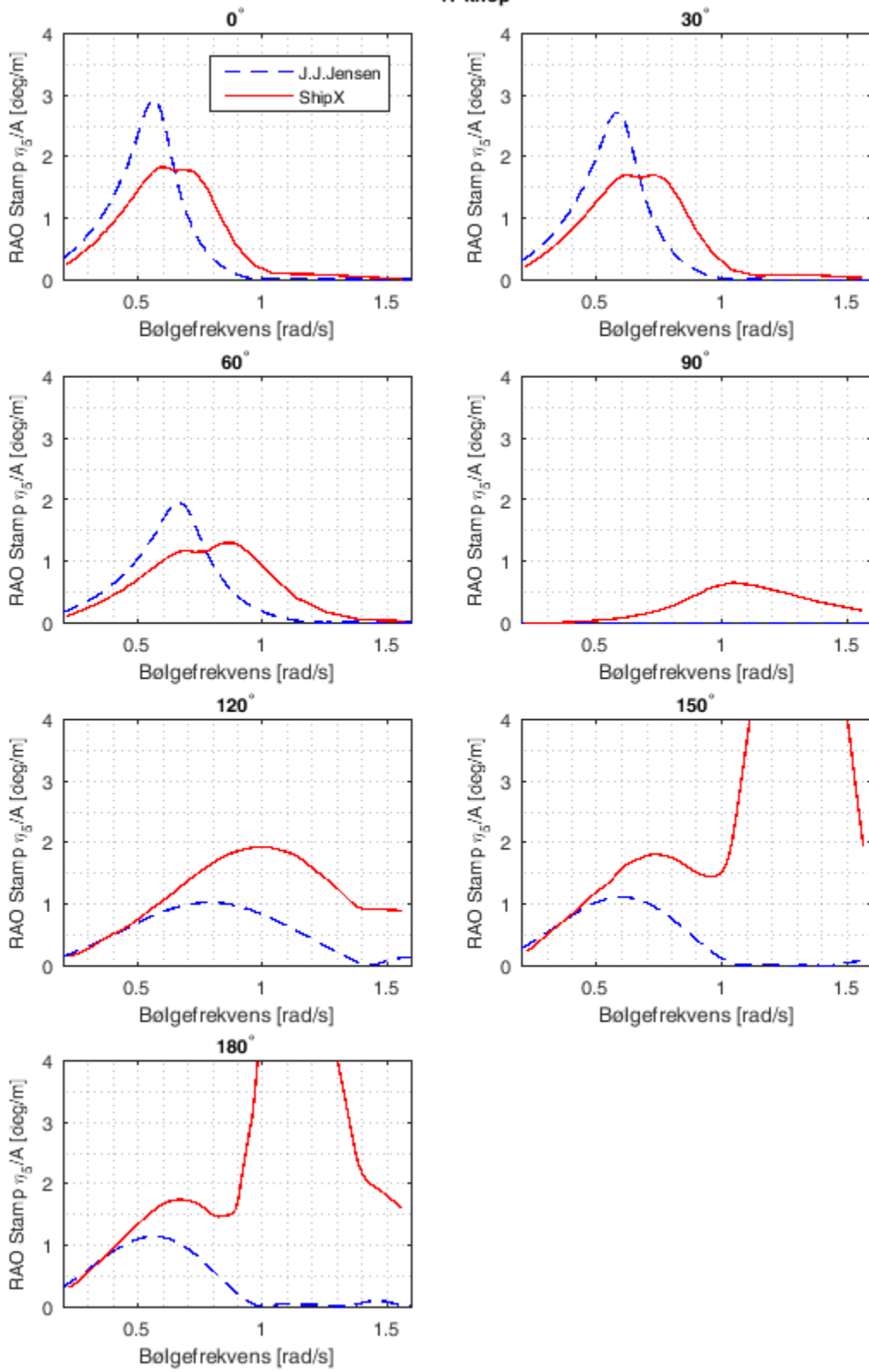
0 knop



Stamp for AHTS i
0 knop



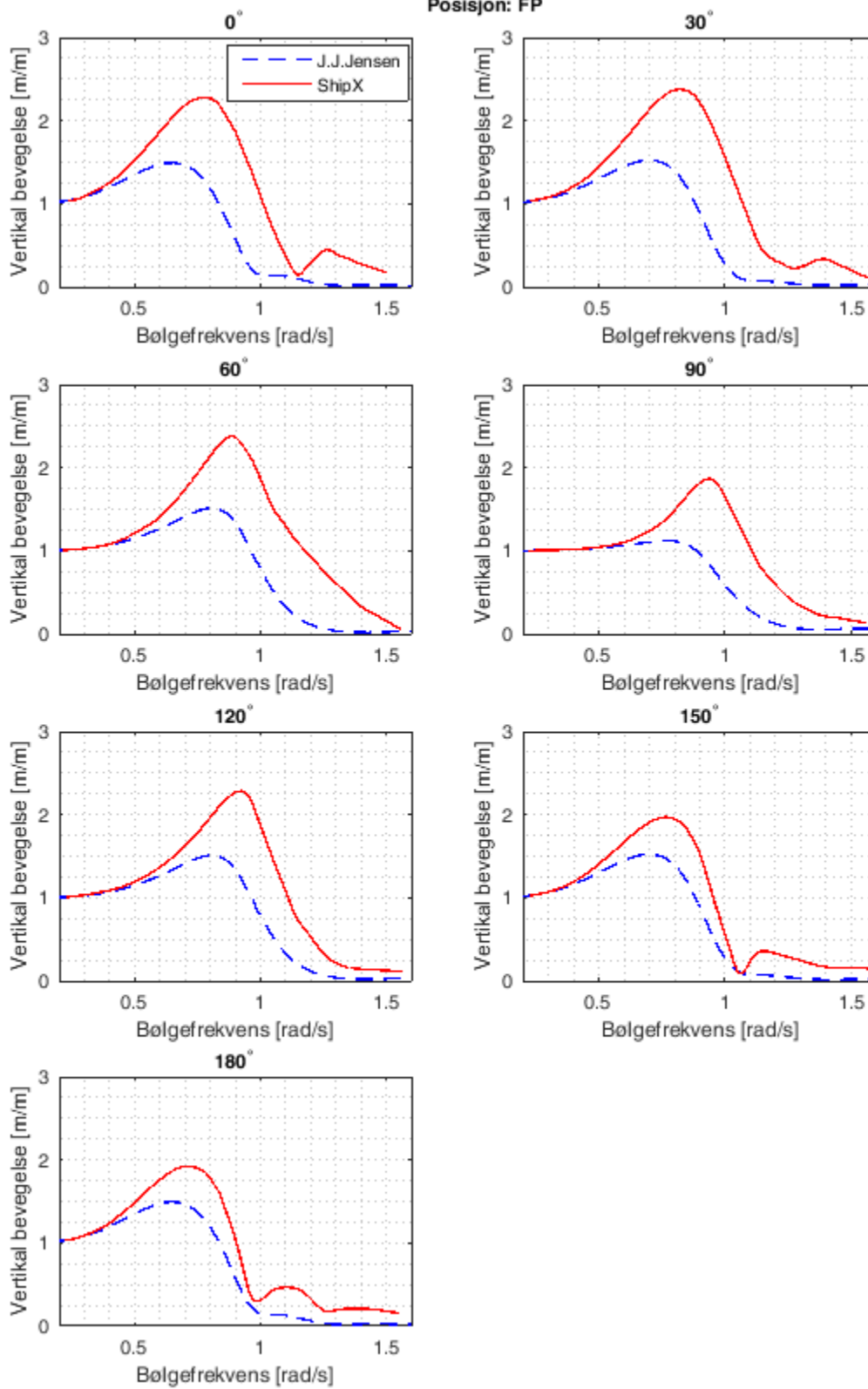
Stamp for AHTS i
17 knop



Vertikal bevægelse for AHTS i

0 knop

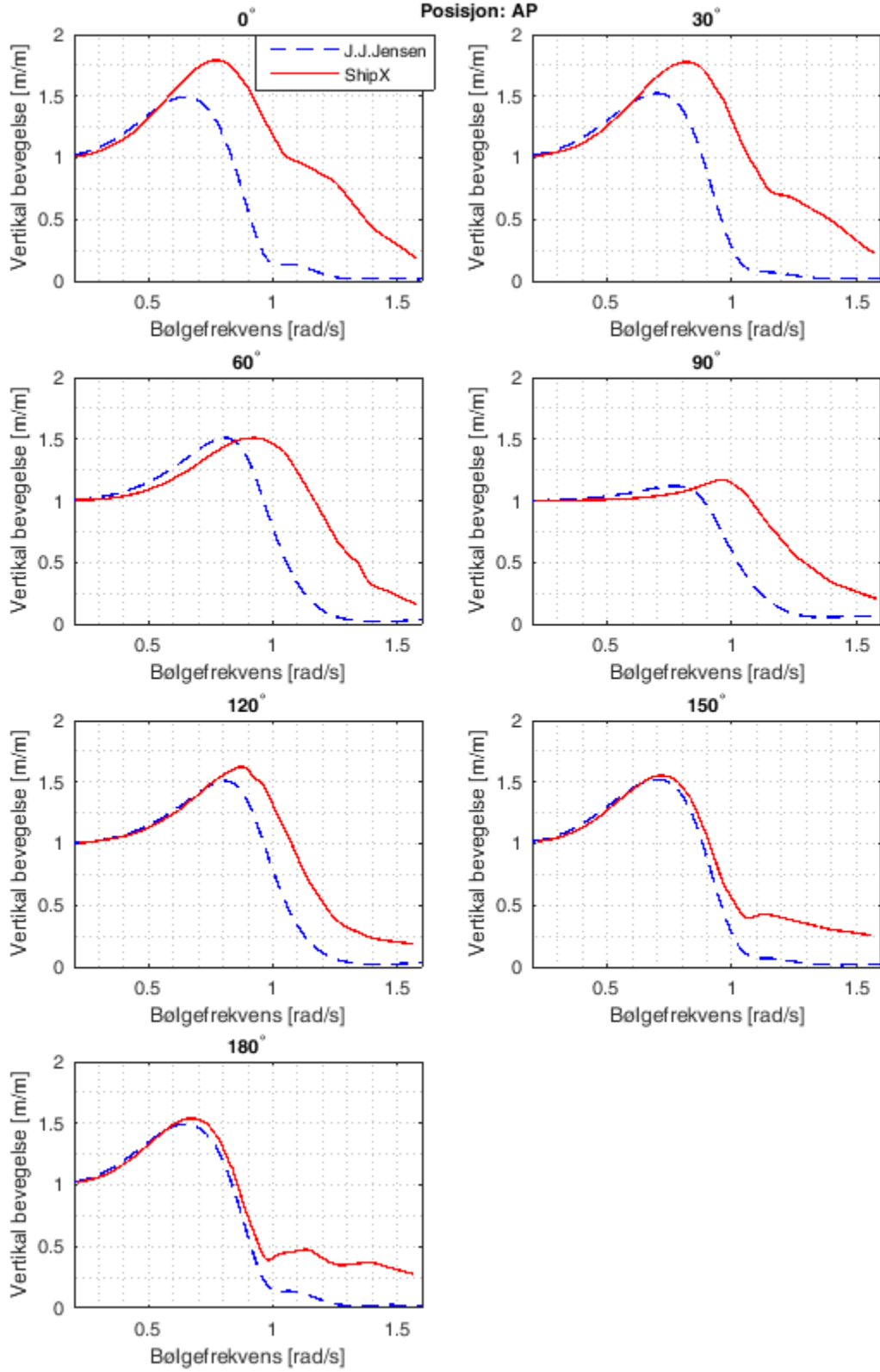
Posisjon: FP



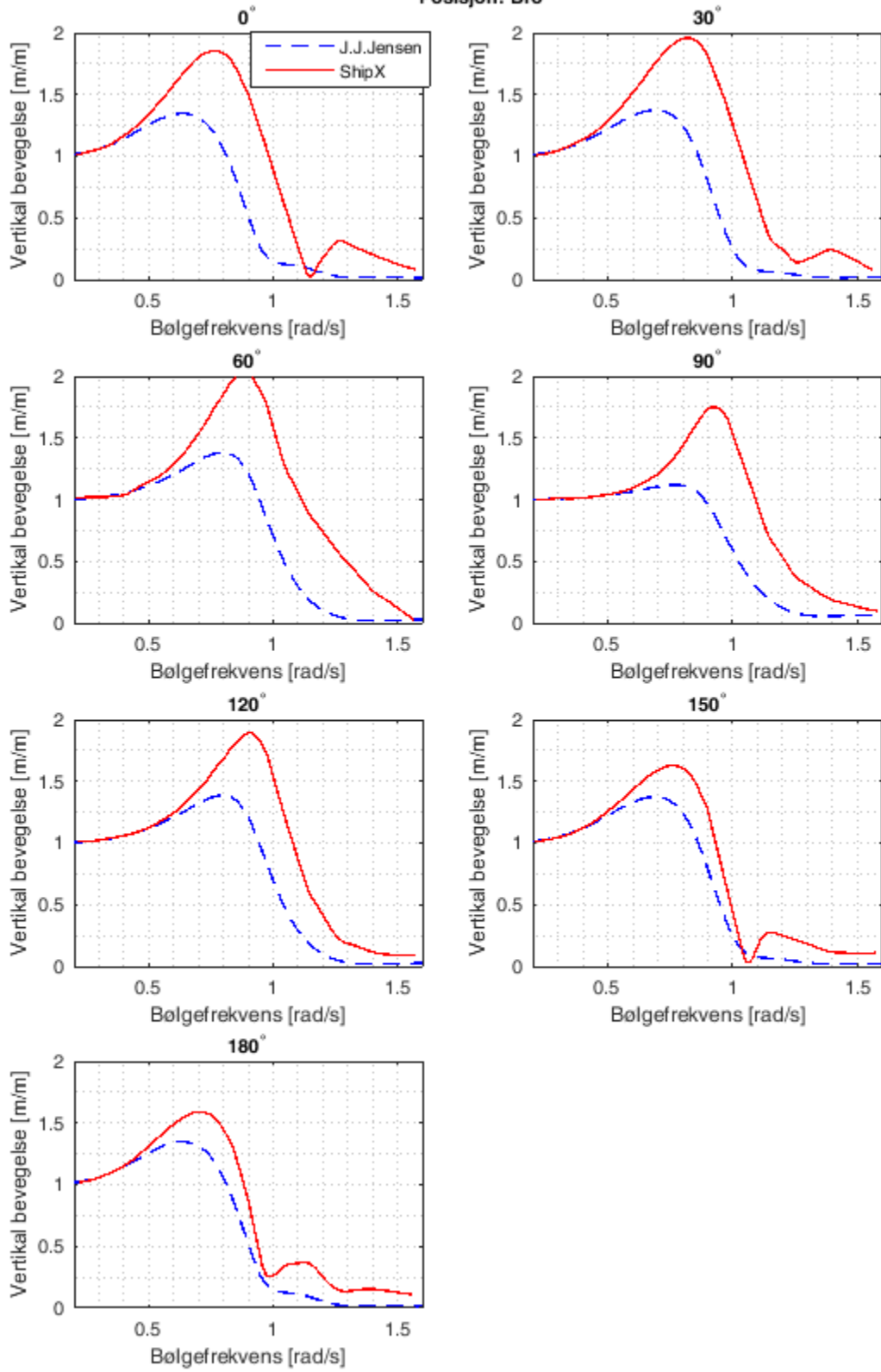
Vertikal bevegelse for AHTS i

0 knop

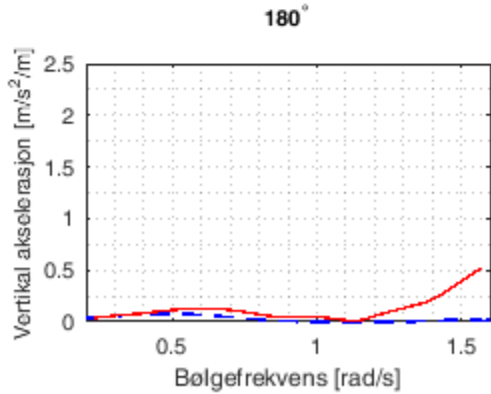
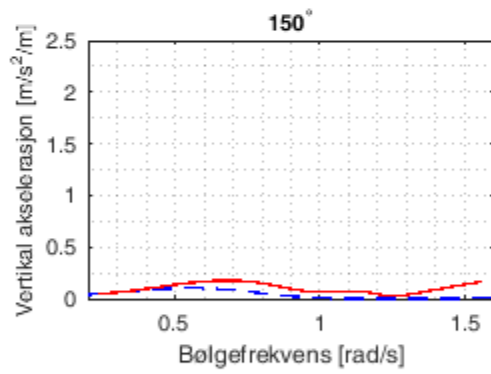
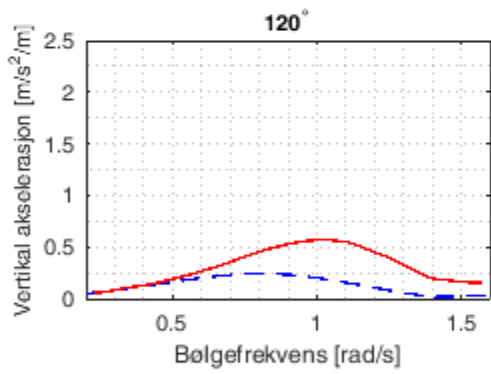
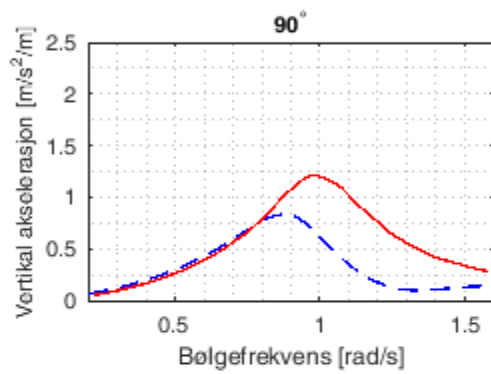
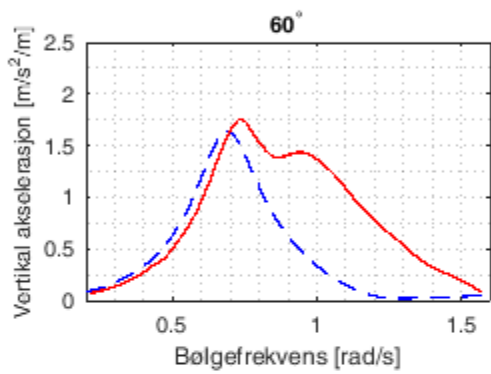
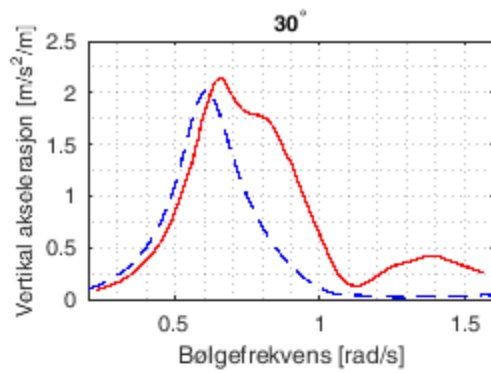
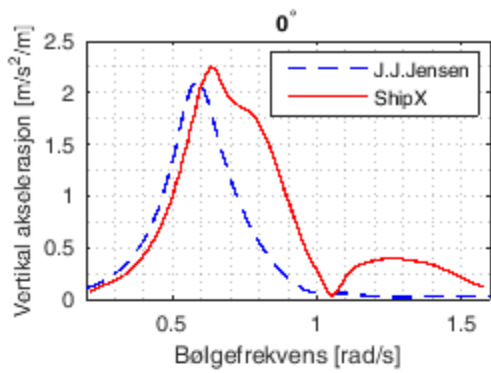
Posisjon: AP



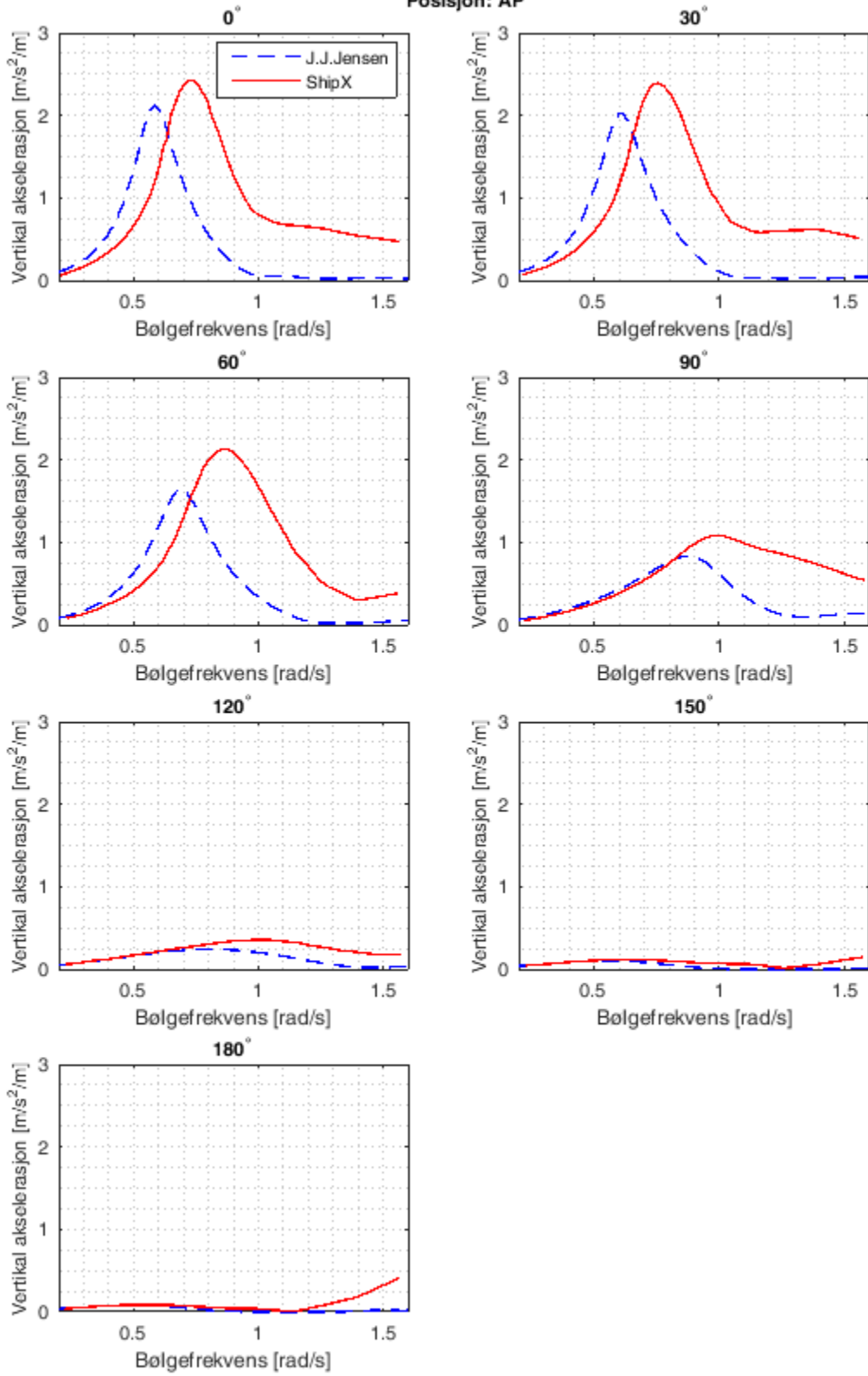
Vertikal bevegelse for AHTS i
0 knop
Posisjon: Bro



Vertikal akselerasjon for AHTS i
17 knop
Posisjon: FP

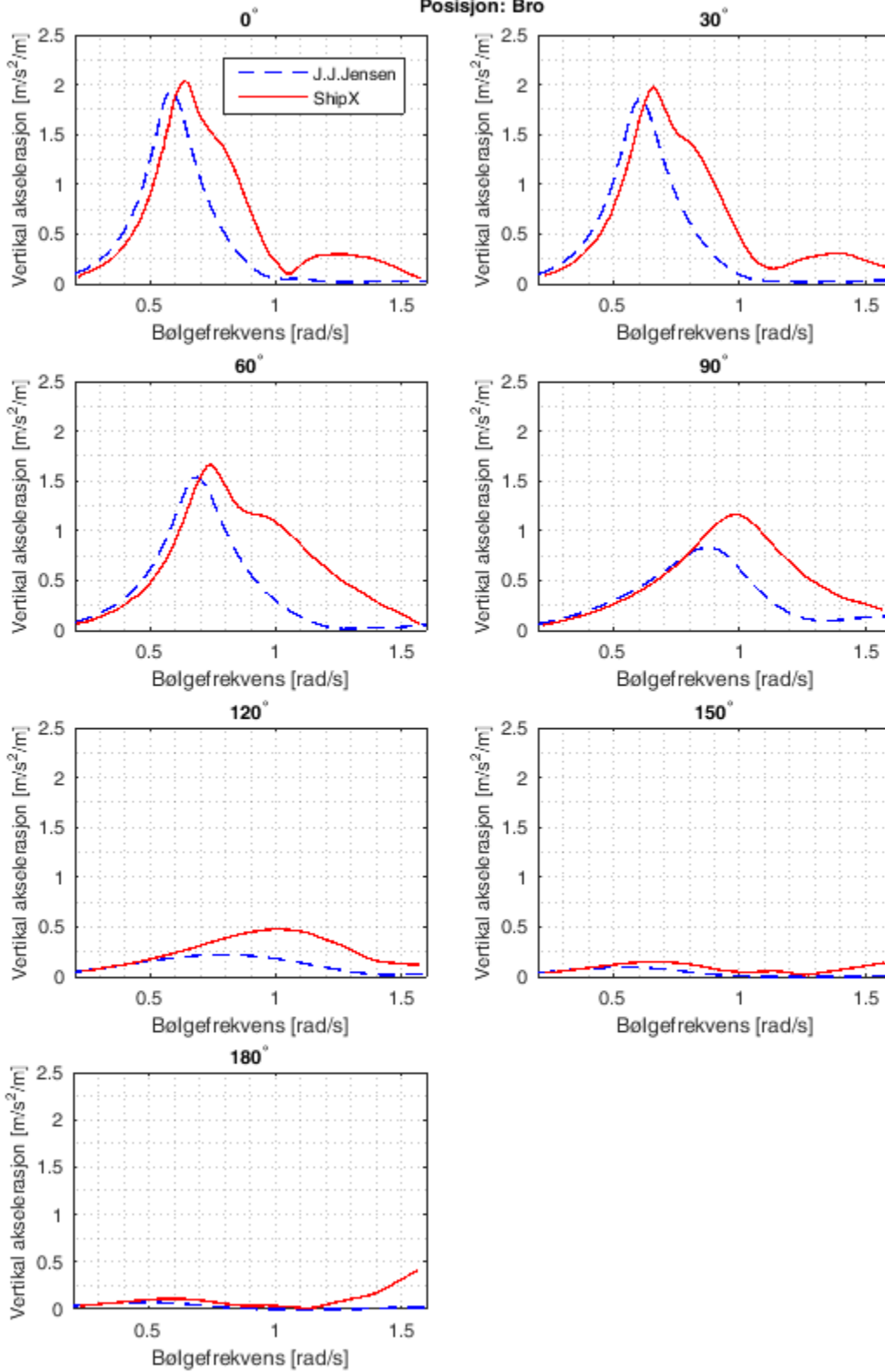


Vertikal akselerasjon for AHTS i
17 knop
Posisjon: AP

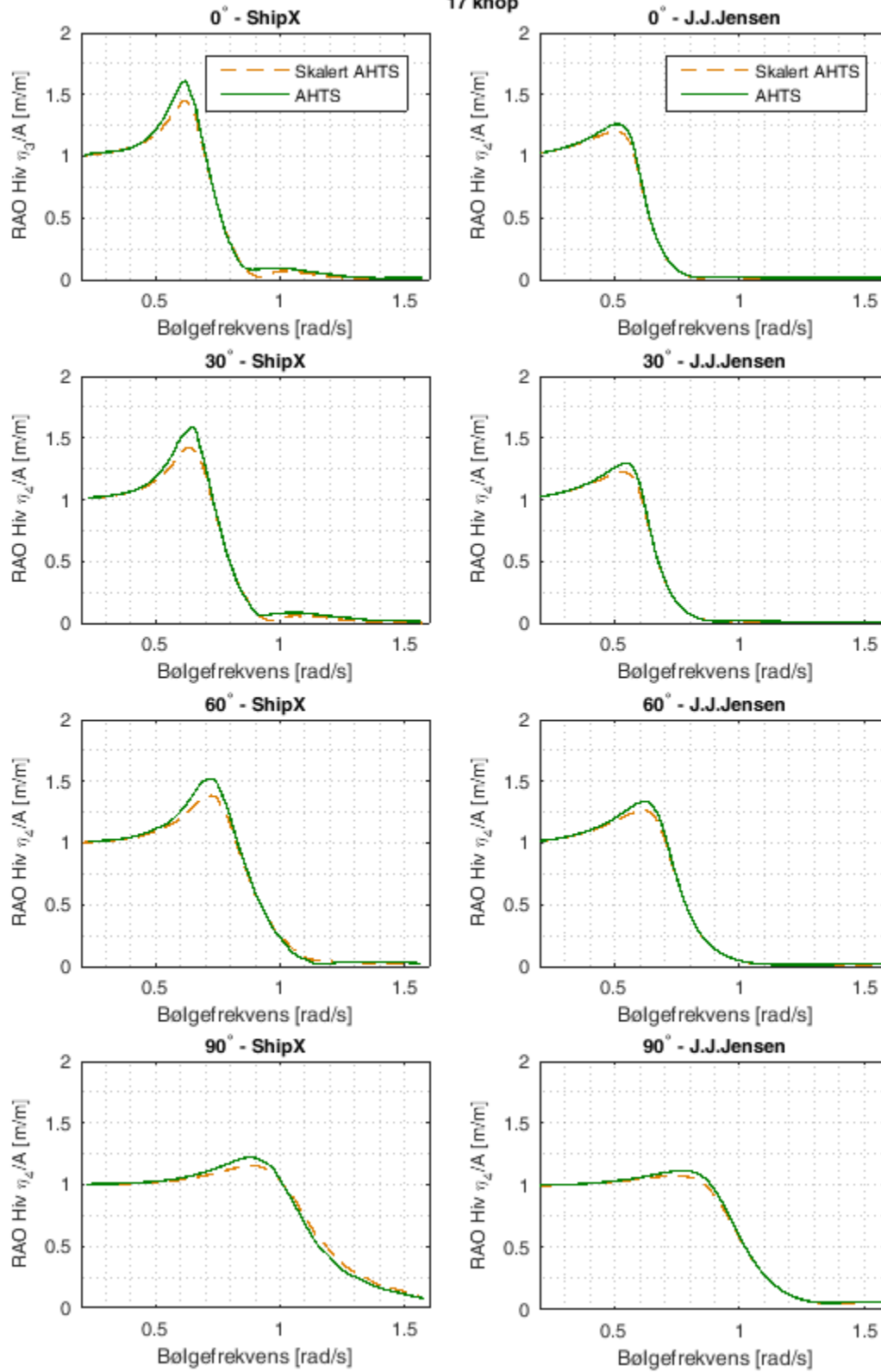


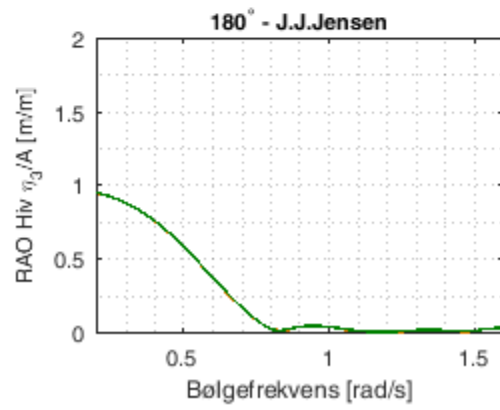
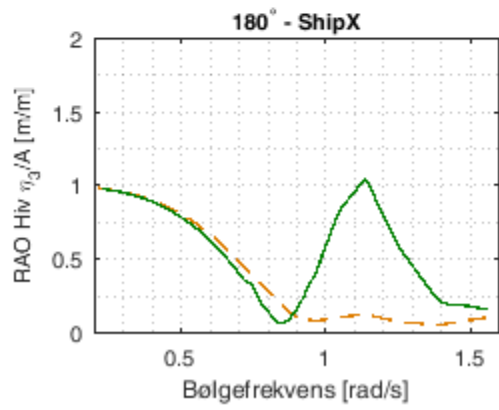
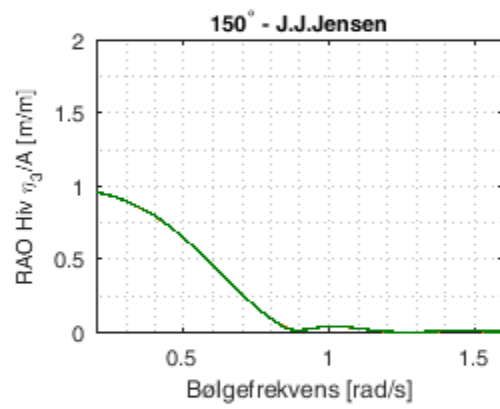
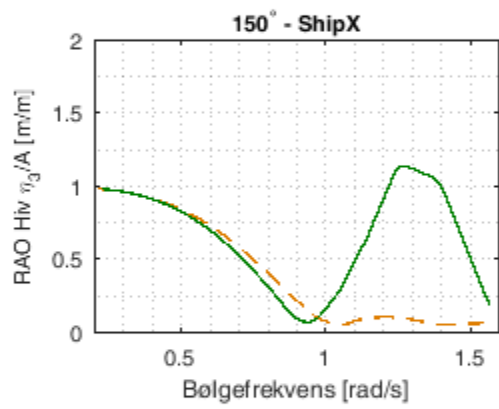
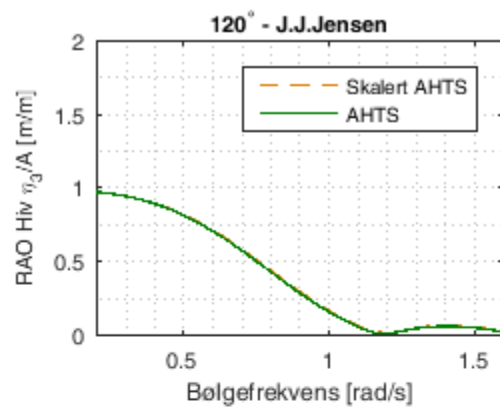
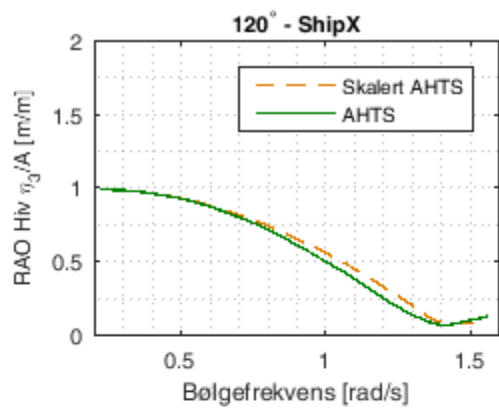
Vertikal akselerasjon for AHTS i
17 knop

Posisjon: Bro

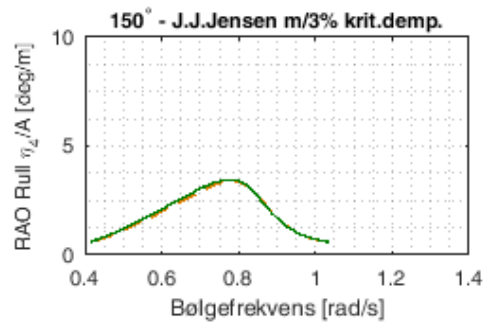
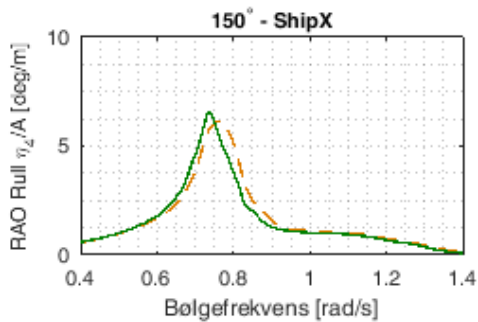
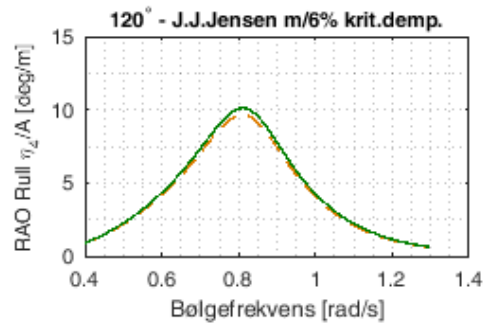
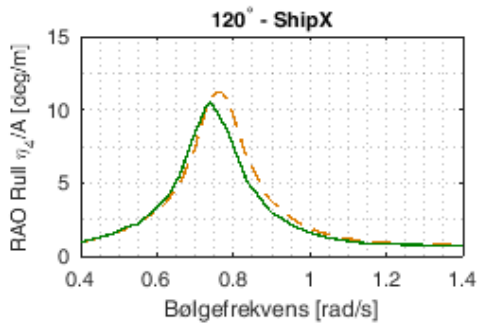
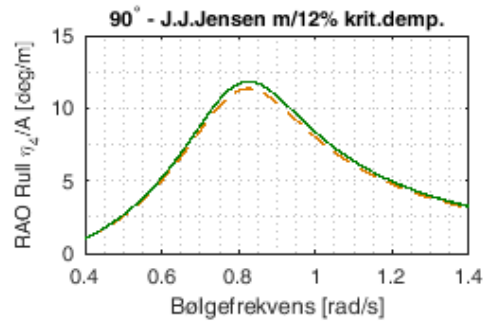
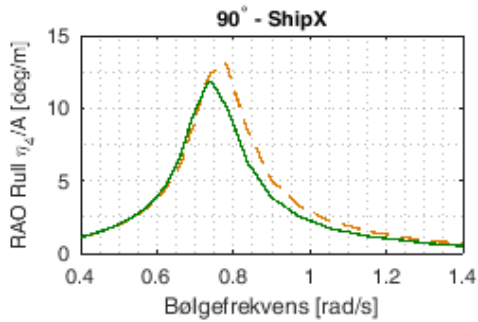
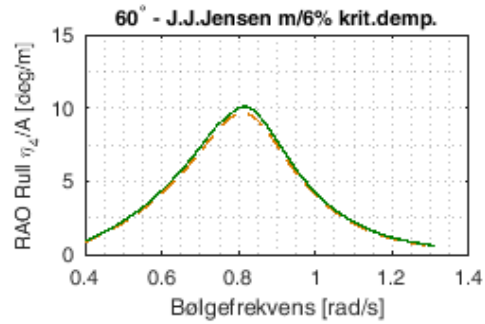
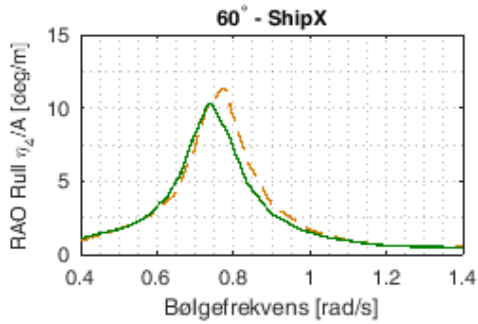
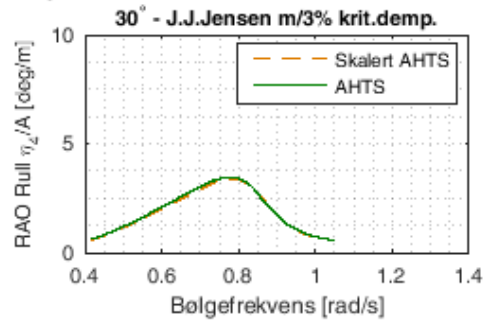
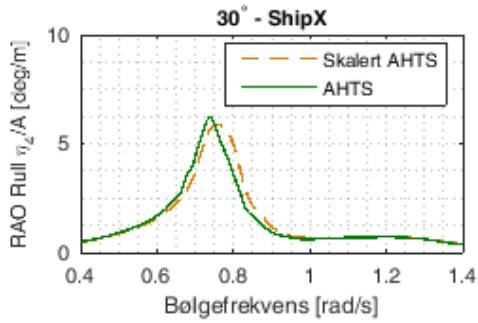


Hiv-sammenligning av
Ankerhåndterere i
17 knop

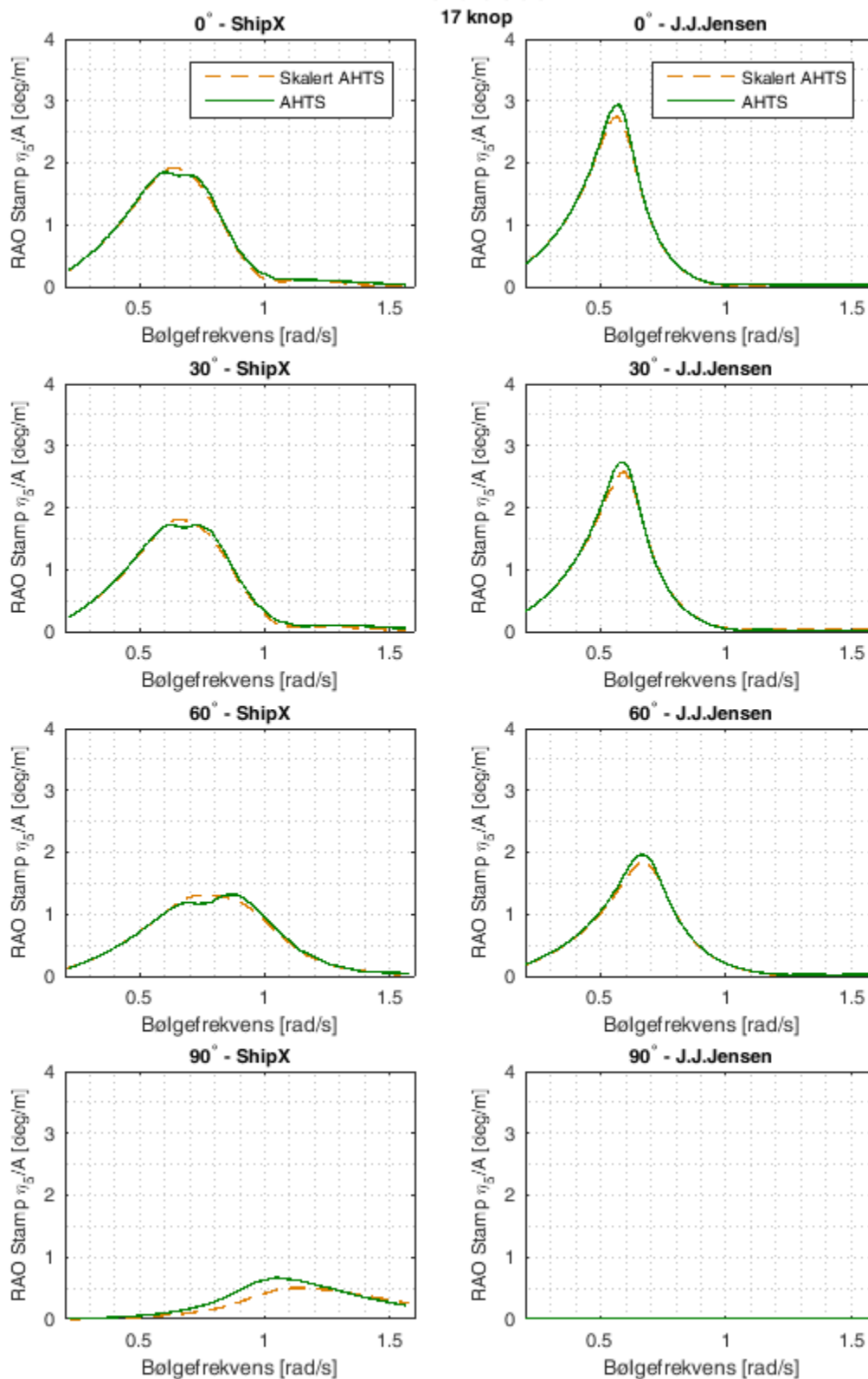


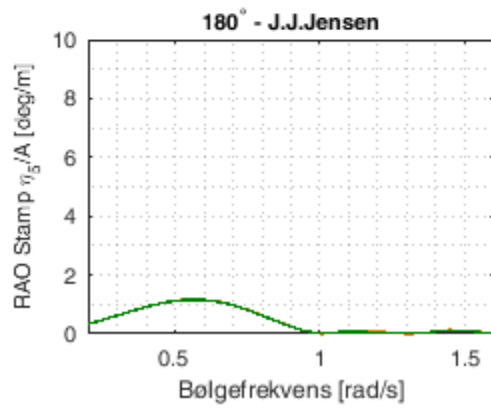
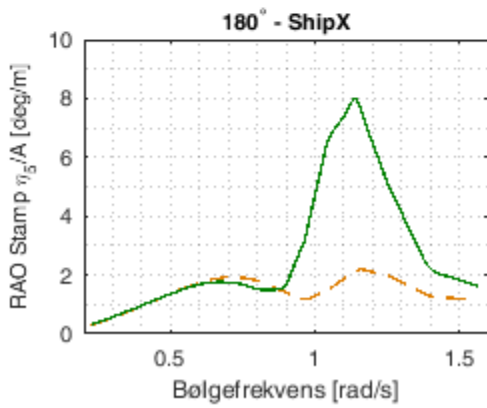
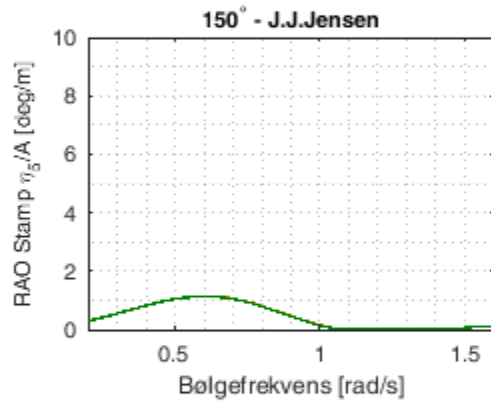
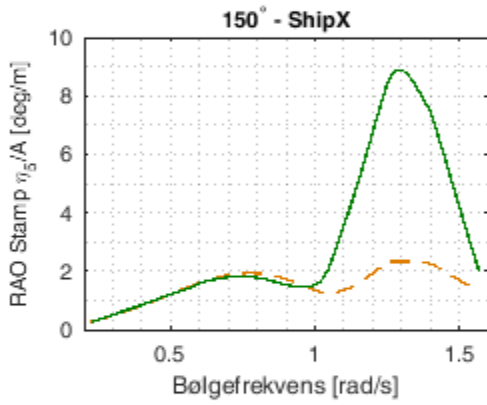
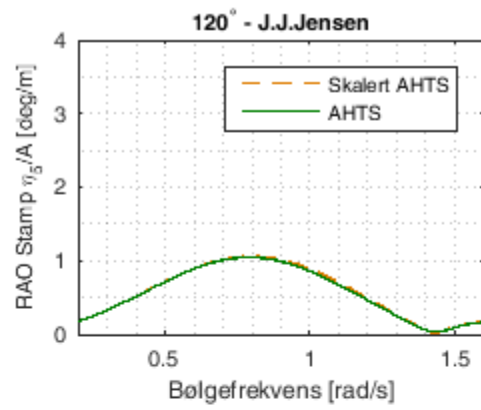
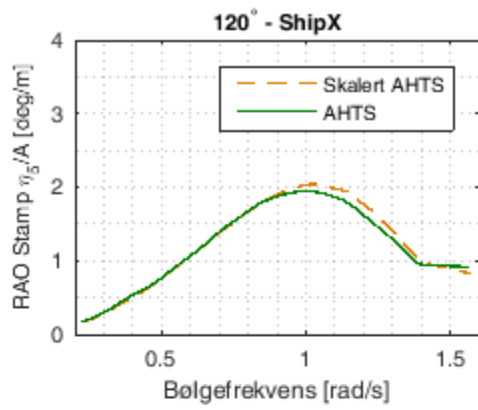


Rull-sammenlikning av
Ankerhåndterere i
0 knop

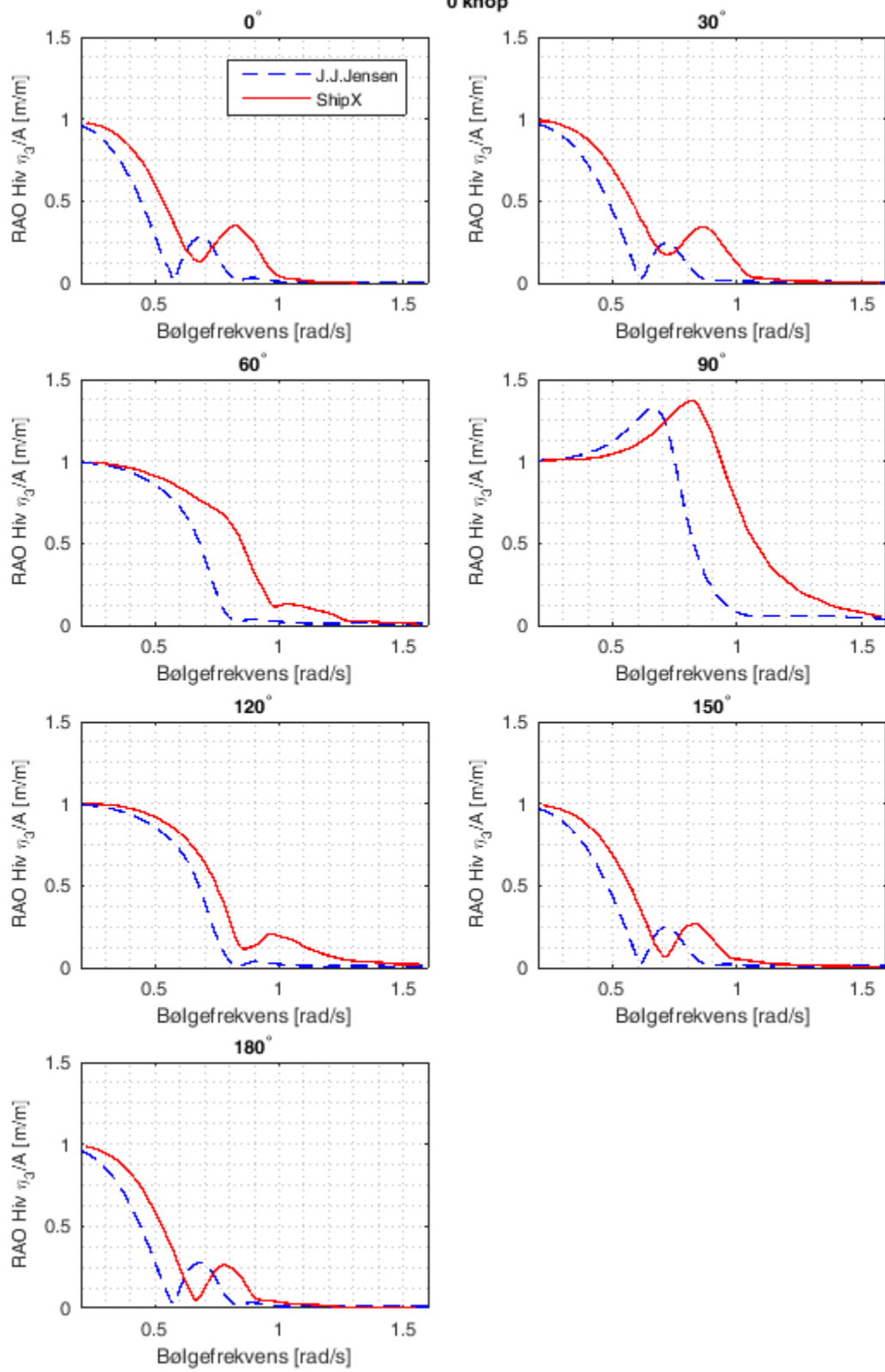


Stamp-sammenlikning
for
Ankerh nderere i
17 knop

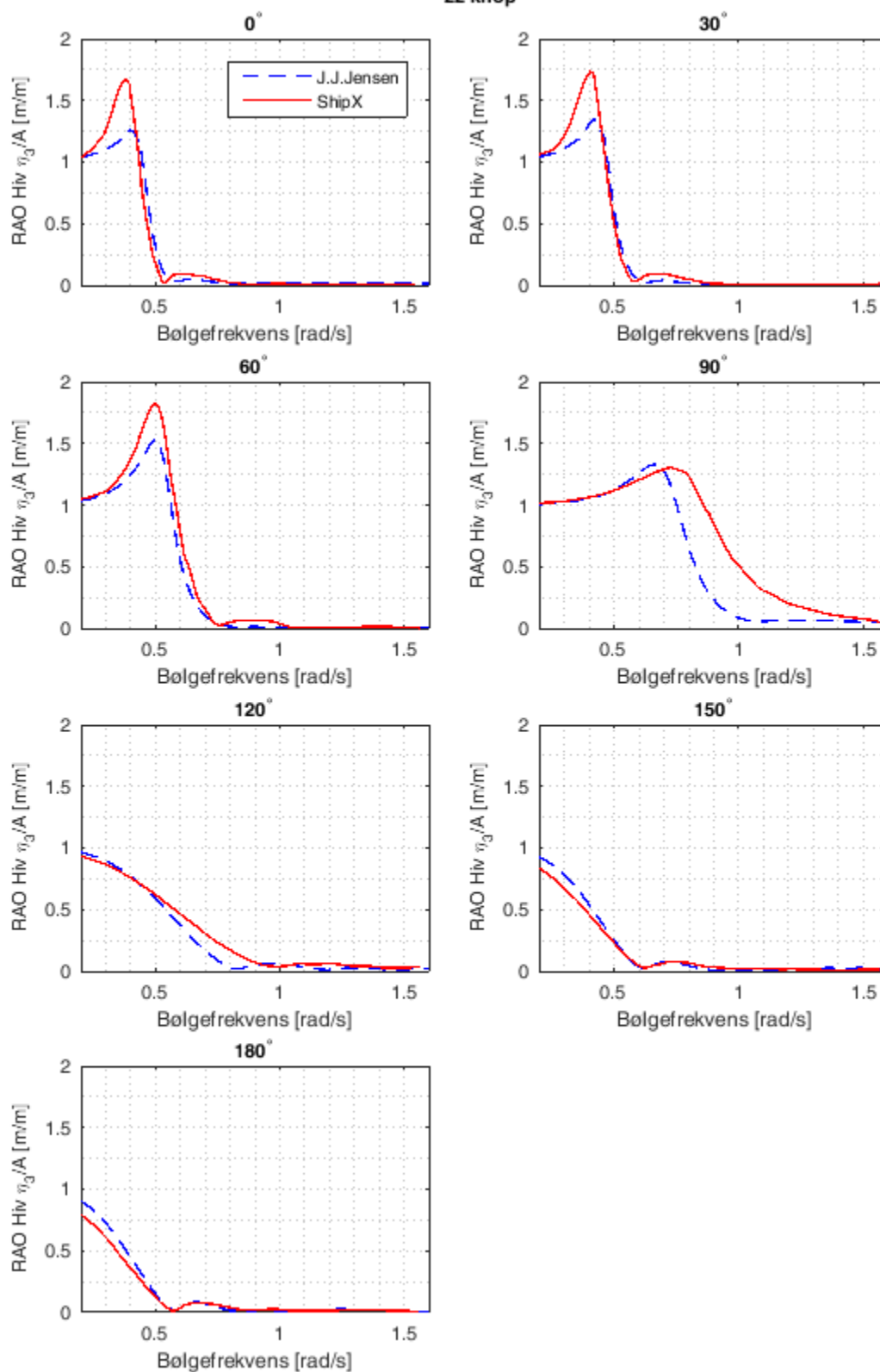




Hiv for Containerskip i
0 knop

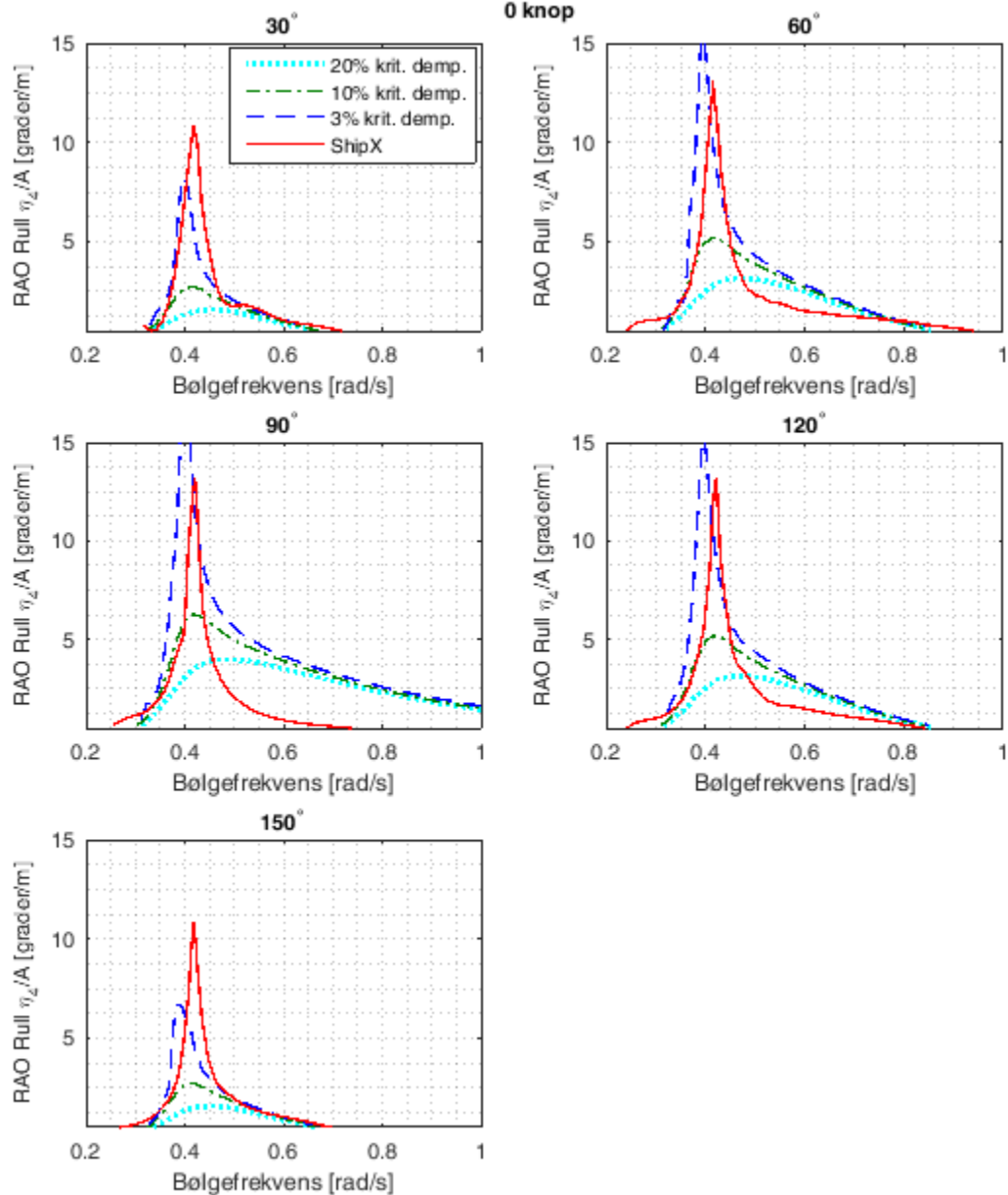


Hiv for Containerskip i
22 knop

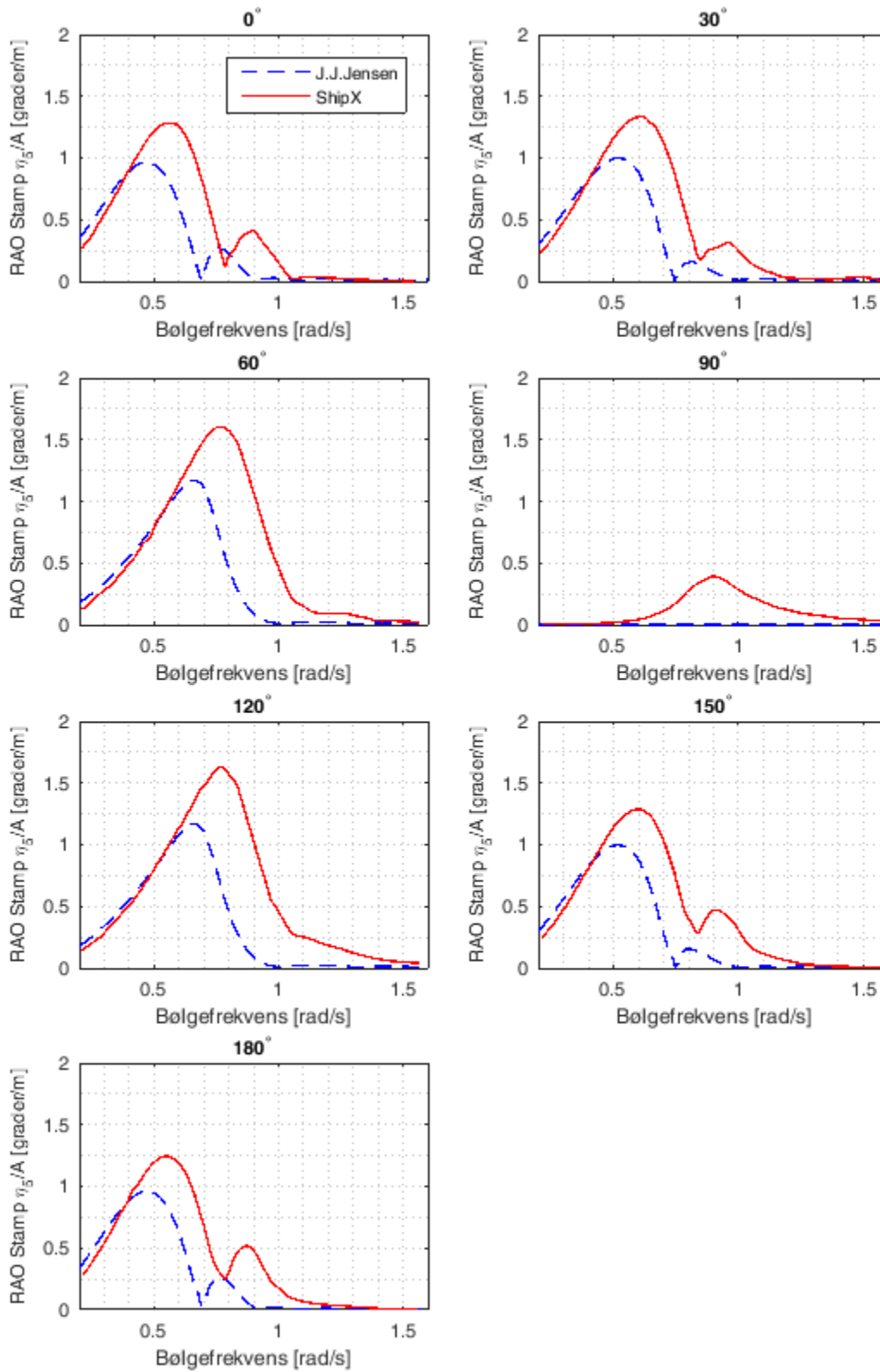


Rull for Containerskip i

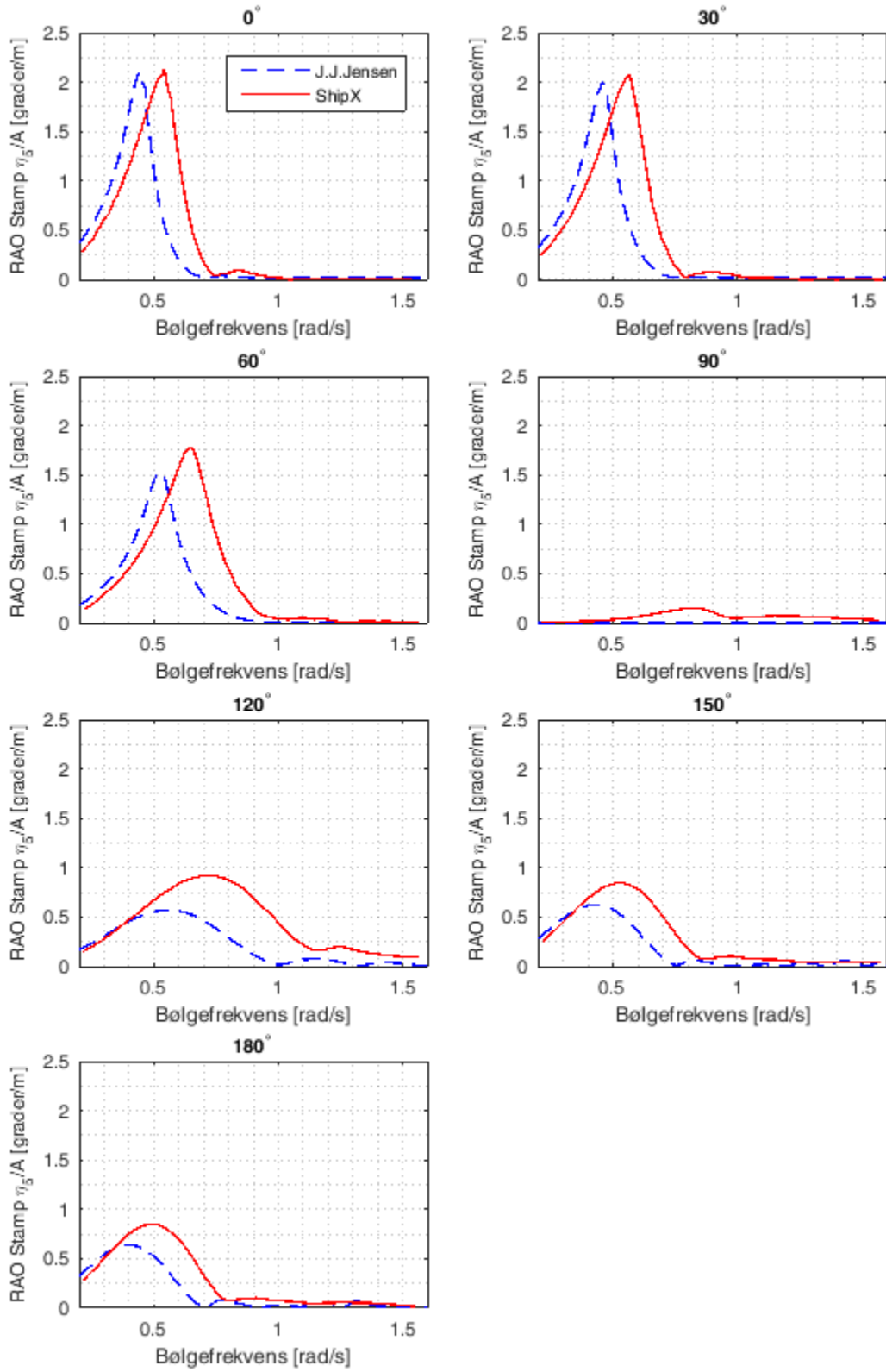
0 knop



Stamp for Containerskip i
0 knop

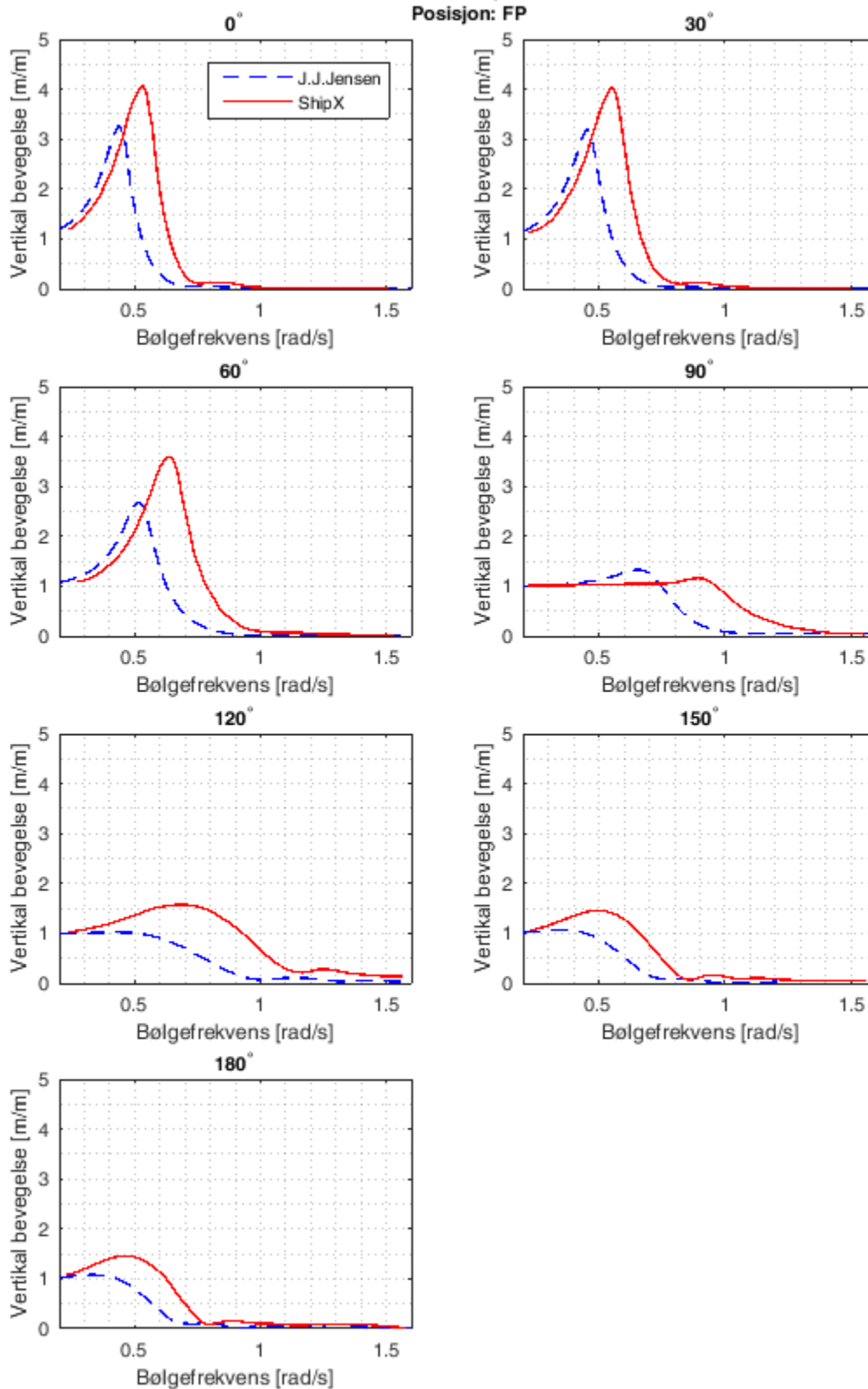


Stamp for Containerskip i
22 knop

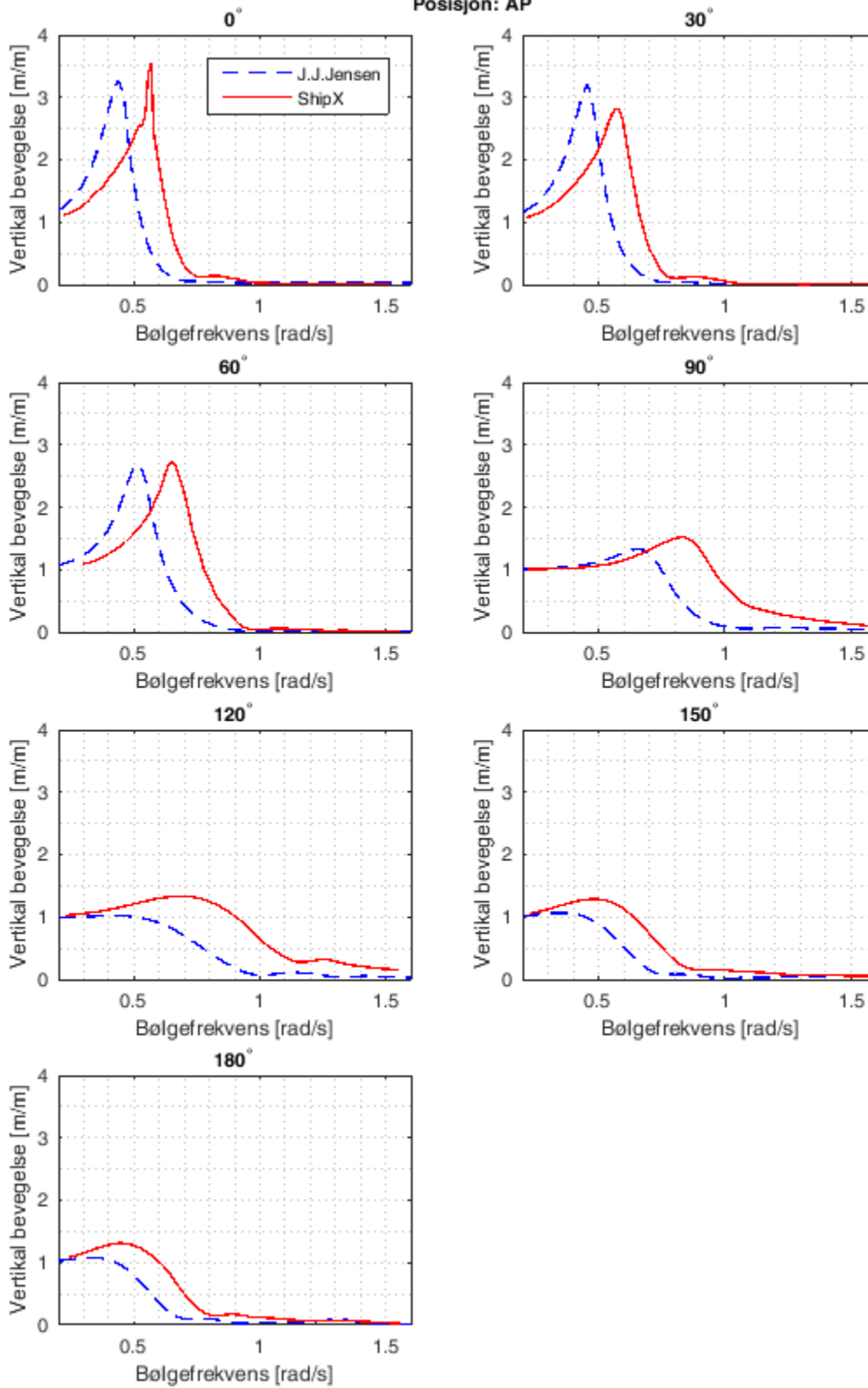


Vertikal bevegelse for Containerskip i
22 knop

Posisjon: FP

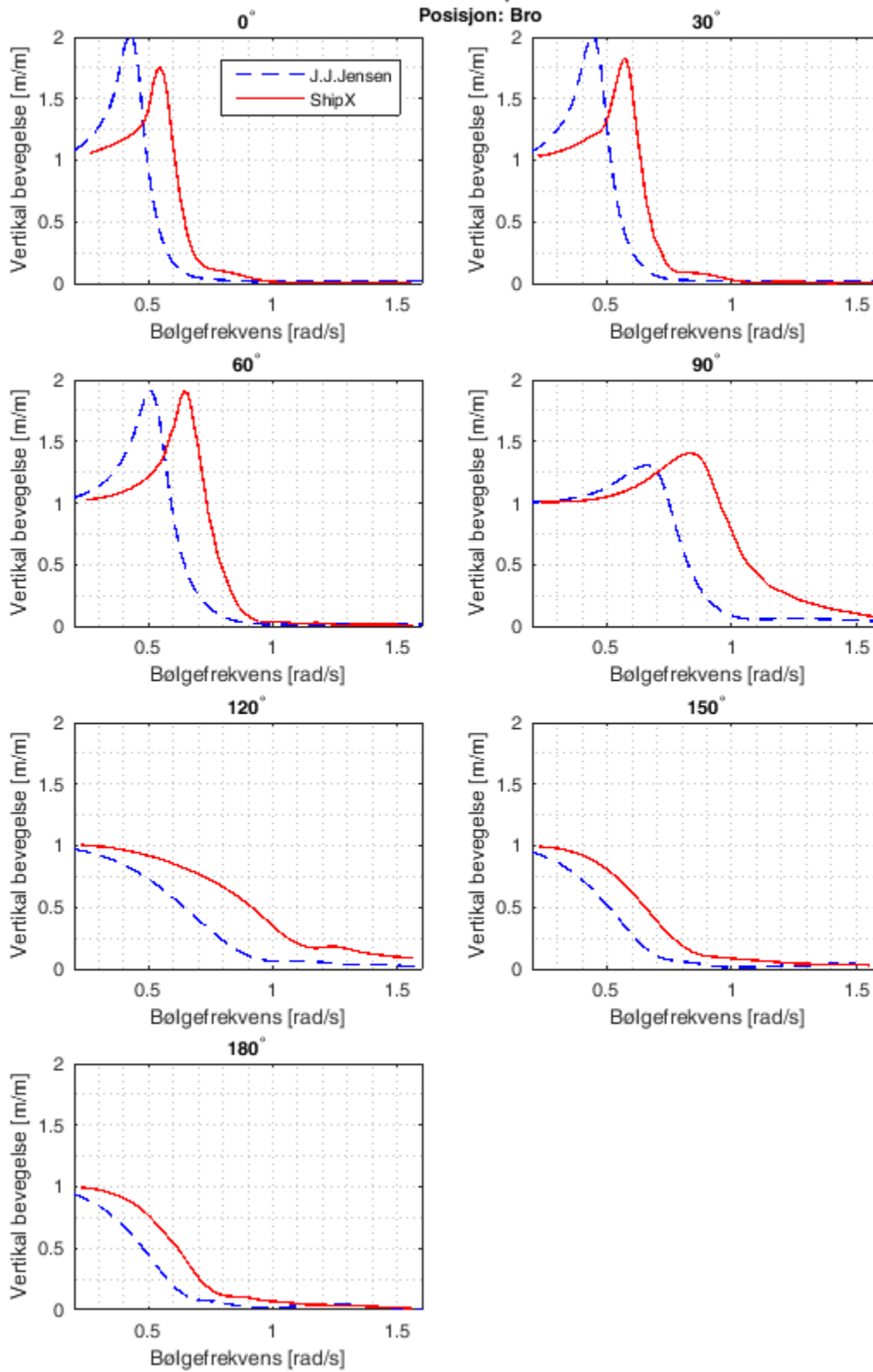


Vertikal bevegelse for Containerskip i
22 knop
Posisjon: AP



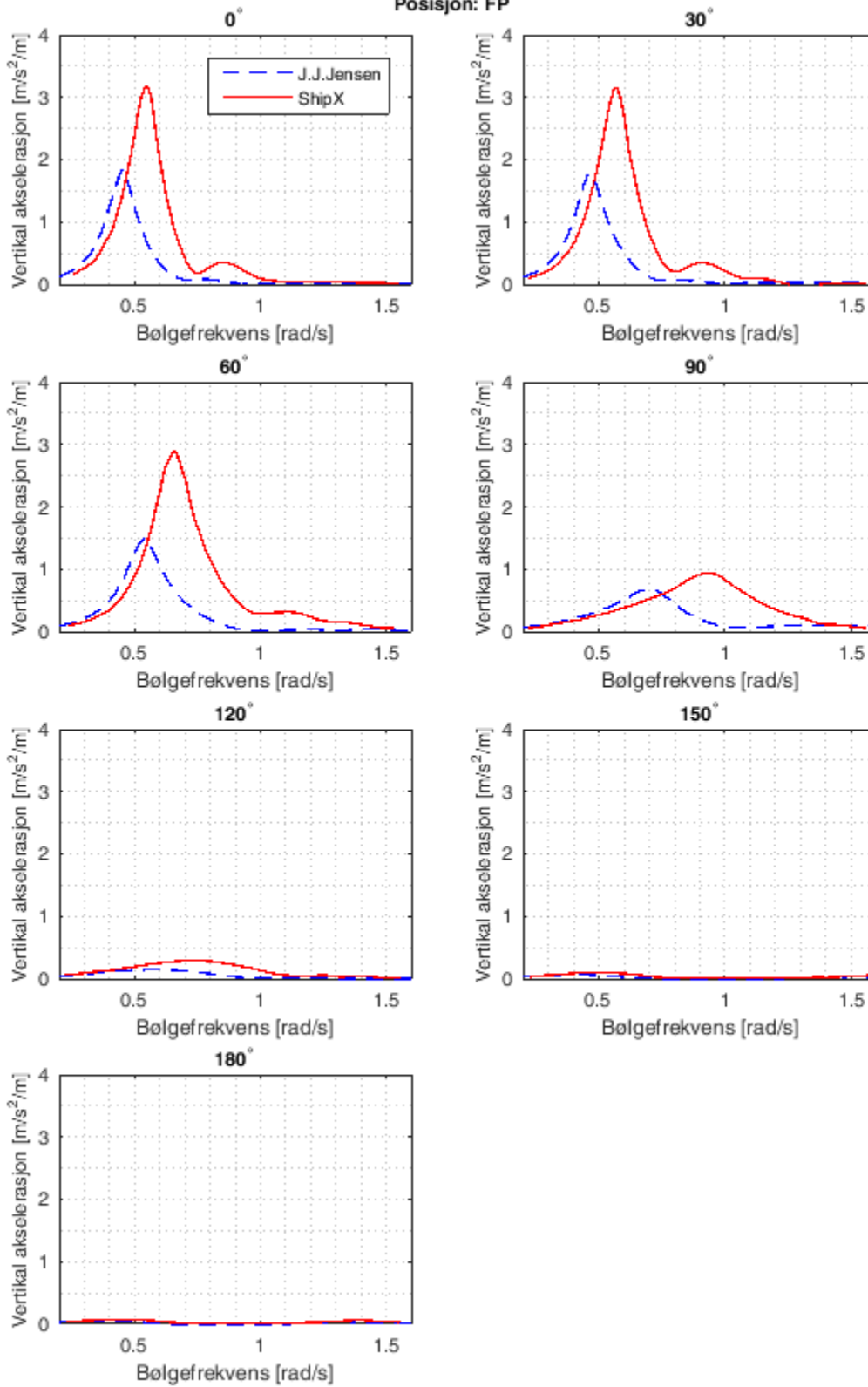
Vertikal bevegelse for Containerskip i
22 knop

Posisjon: Bro

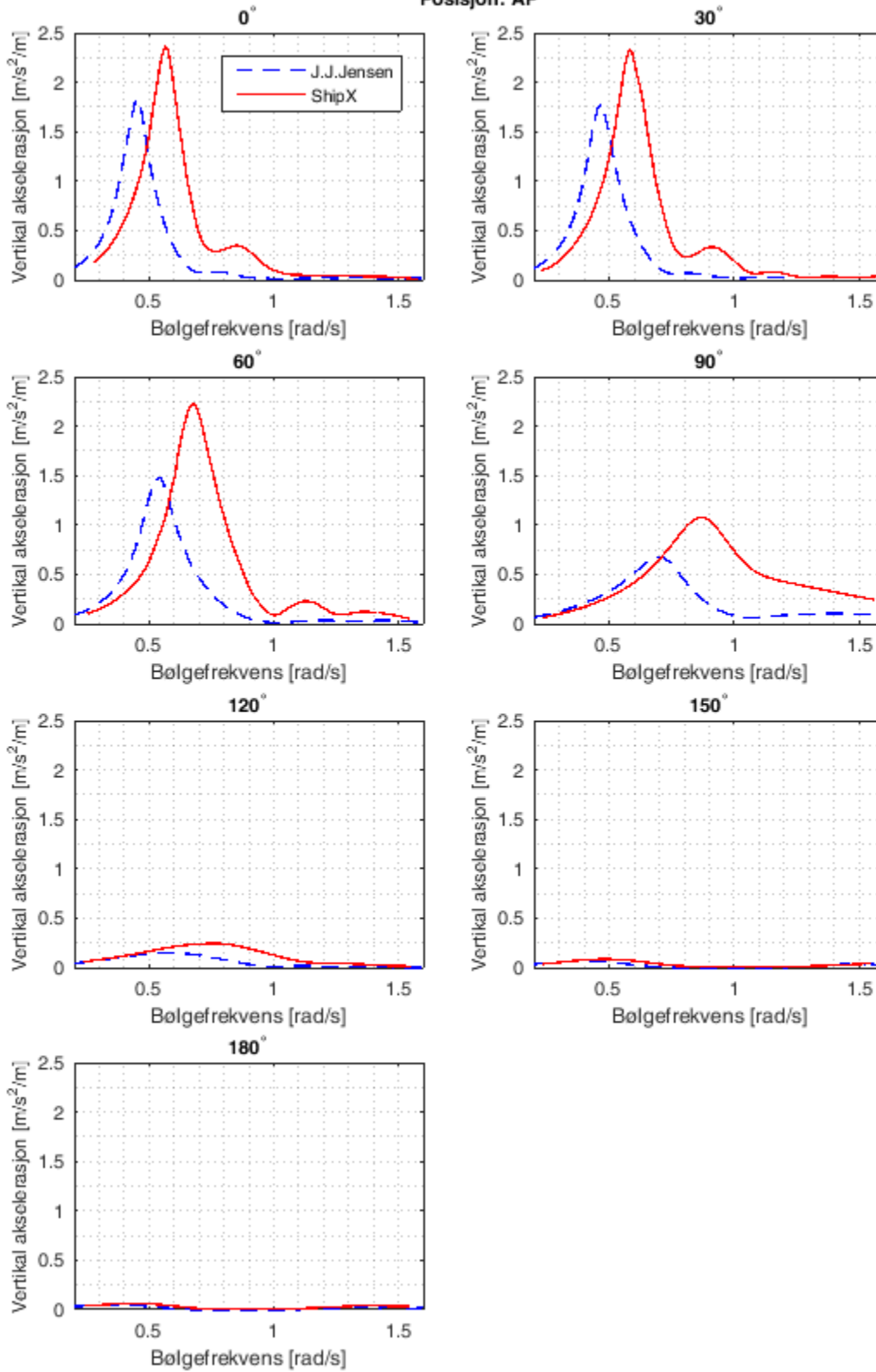


Vertikal akselerasjon for Containerskip i
22 knop

Posisjon: FP

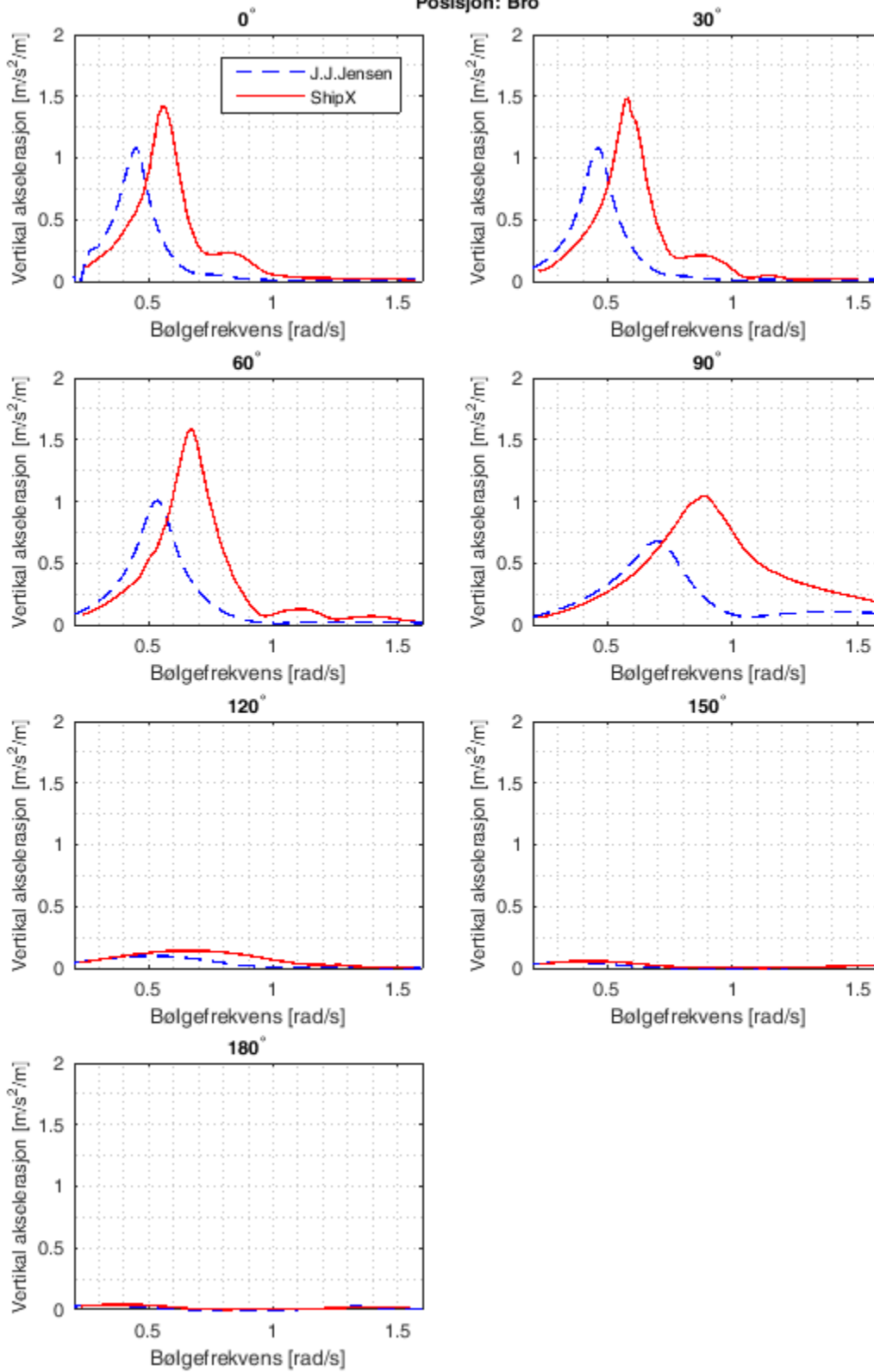


Vertikal akslerasjon for Containerskip i
22 knop
Posisjon: AP

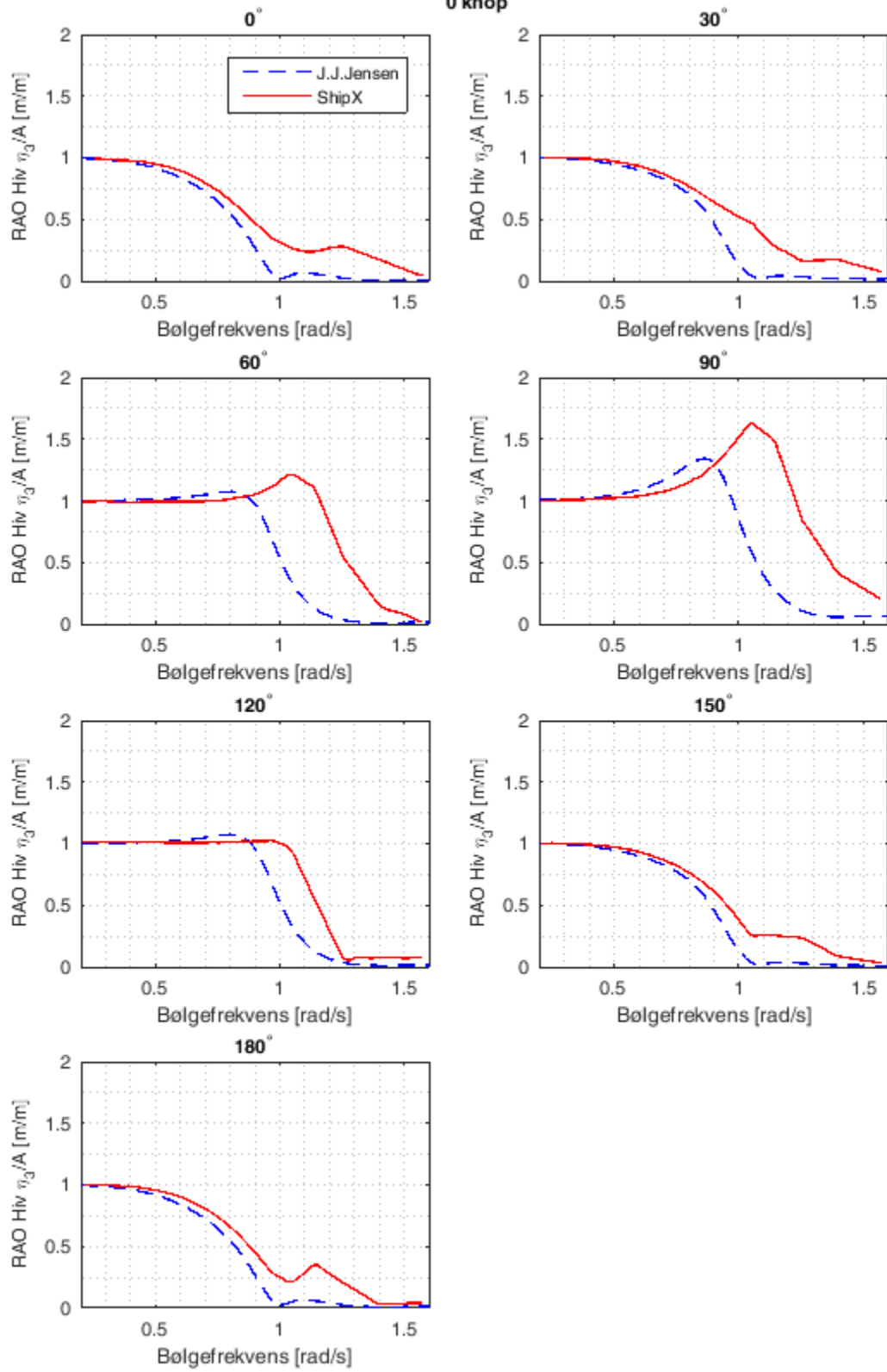


Vertikal akslerasjon for Containerskip i
22 knop

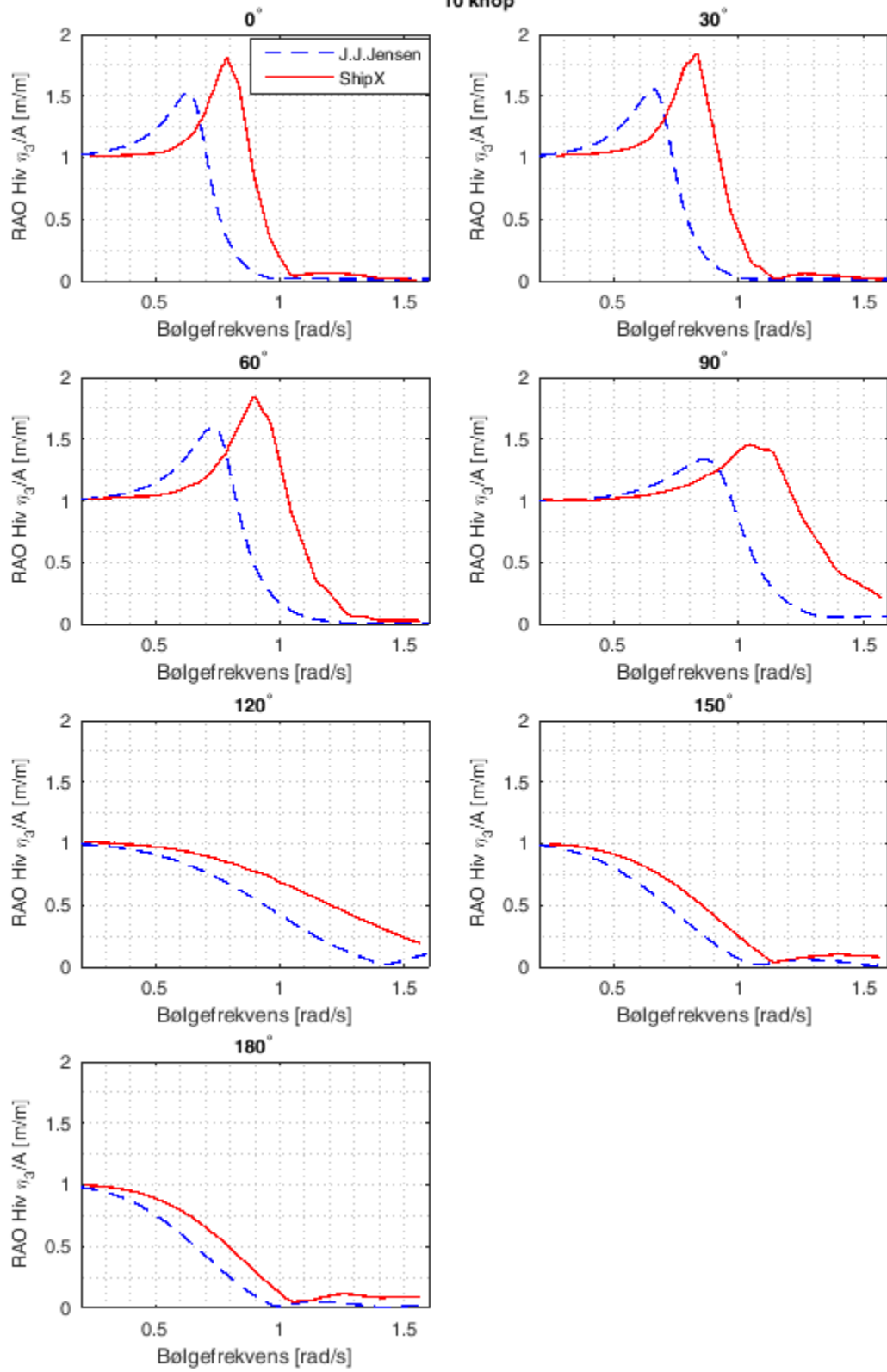
Posisjon: Bro



Hiv for Tråler i
0 knop

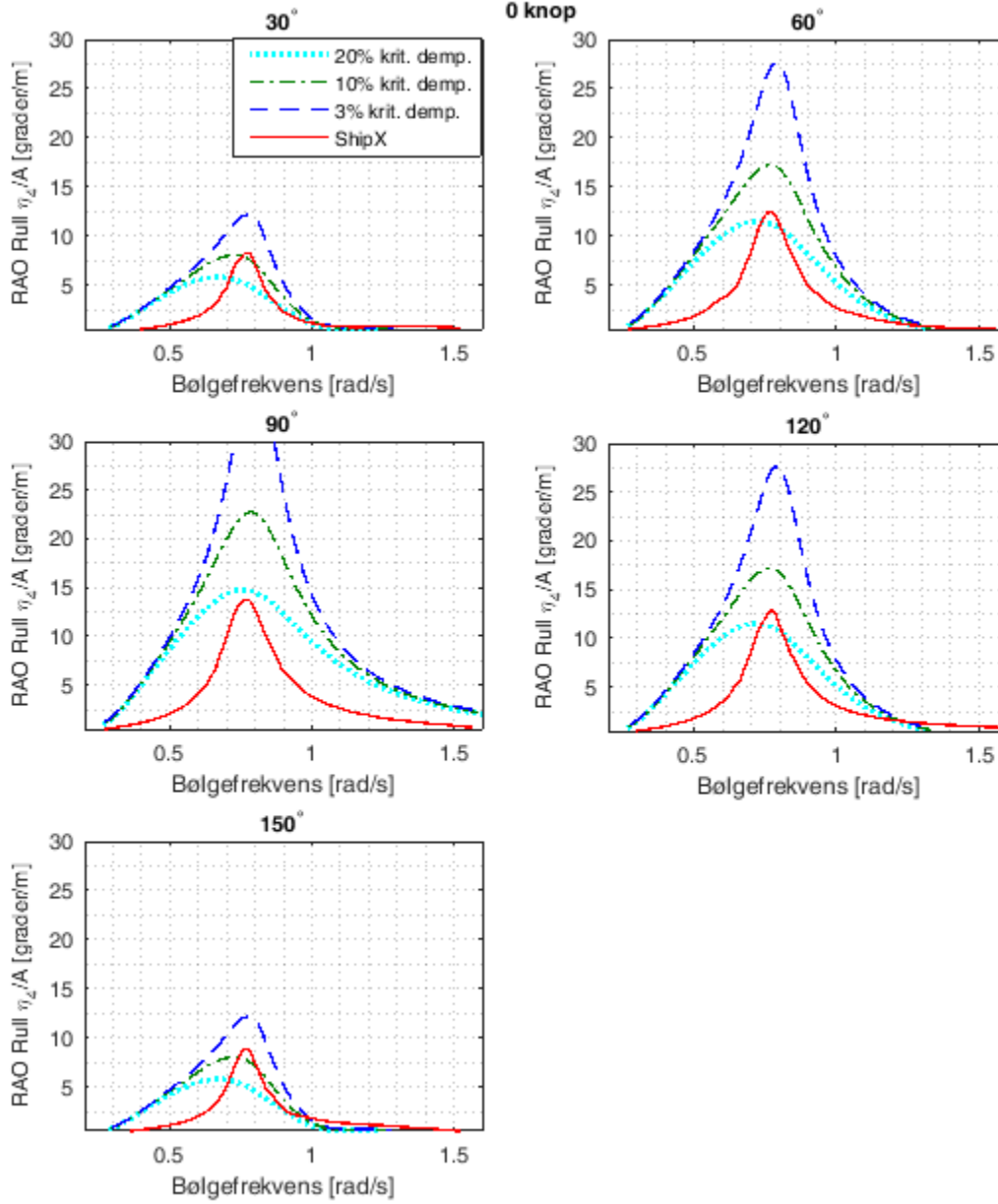


Hiv for Tråler i
10 knop

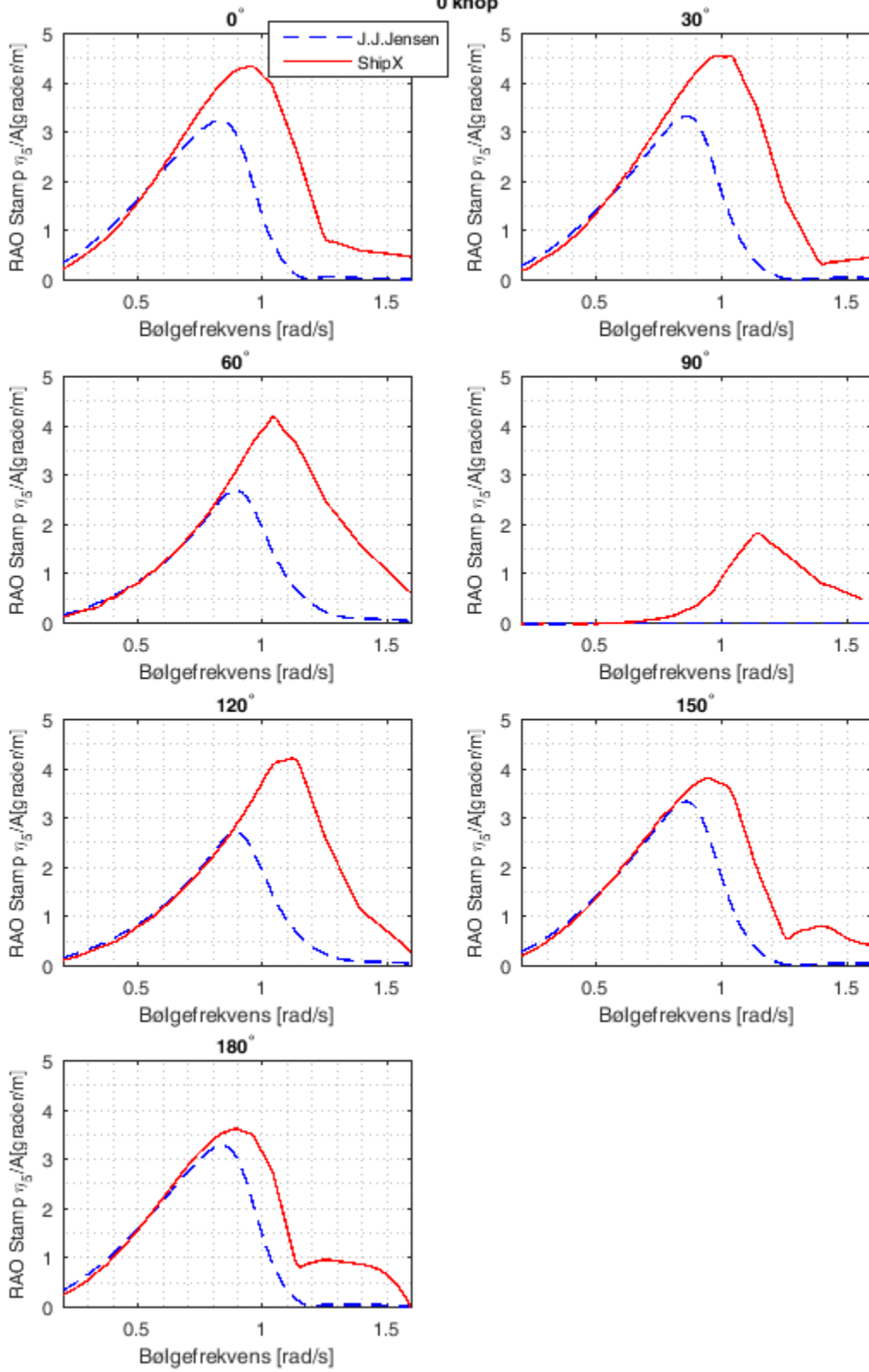


Rull for Tråler i

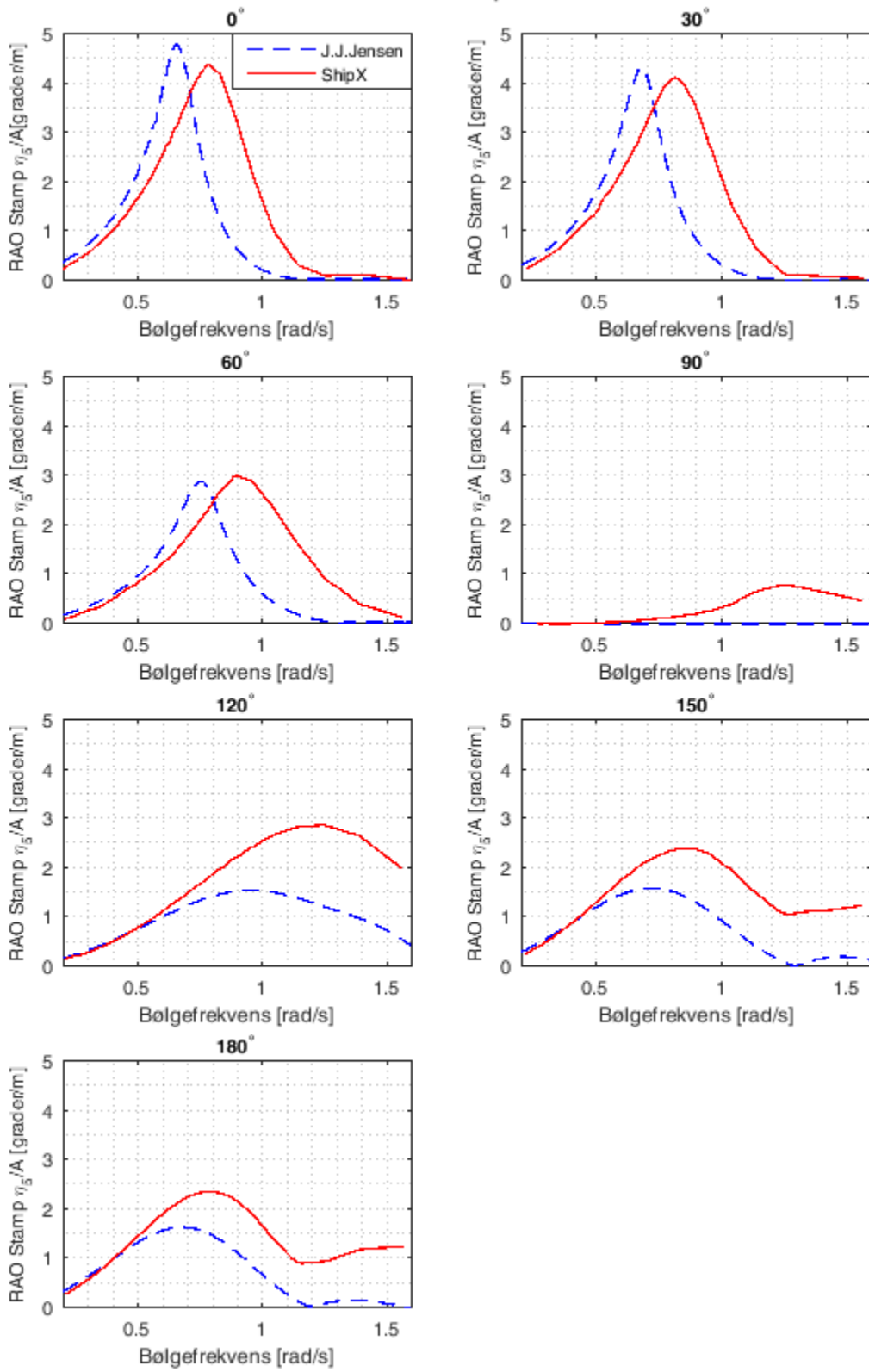
0 knop



Stamp for Tråler i
0 knop

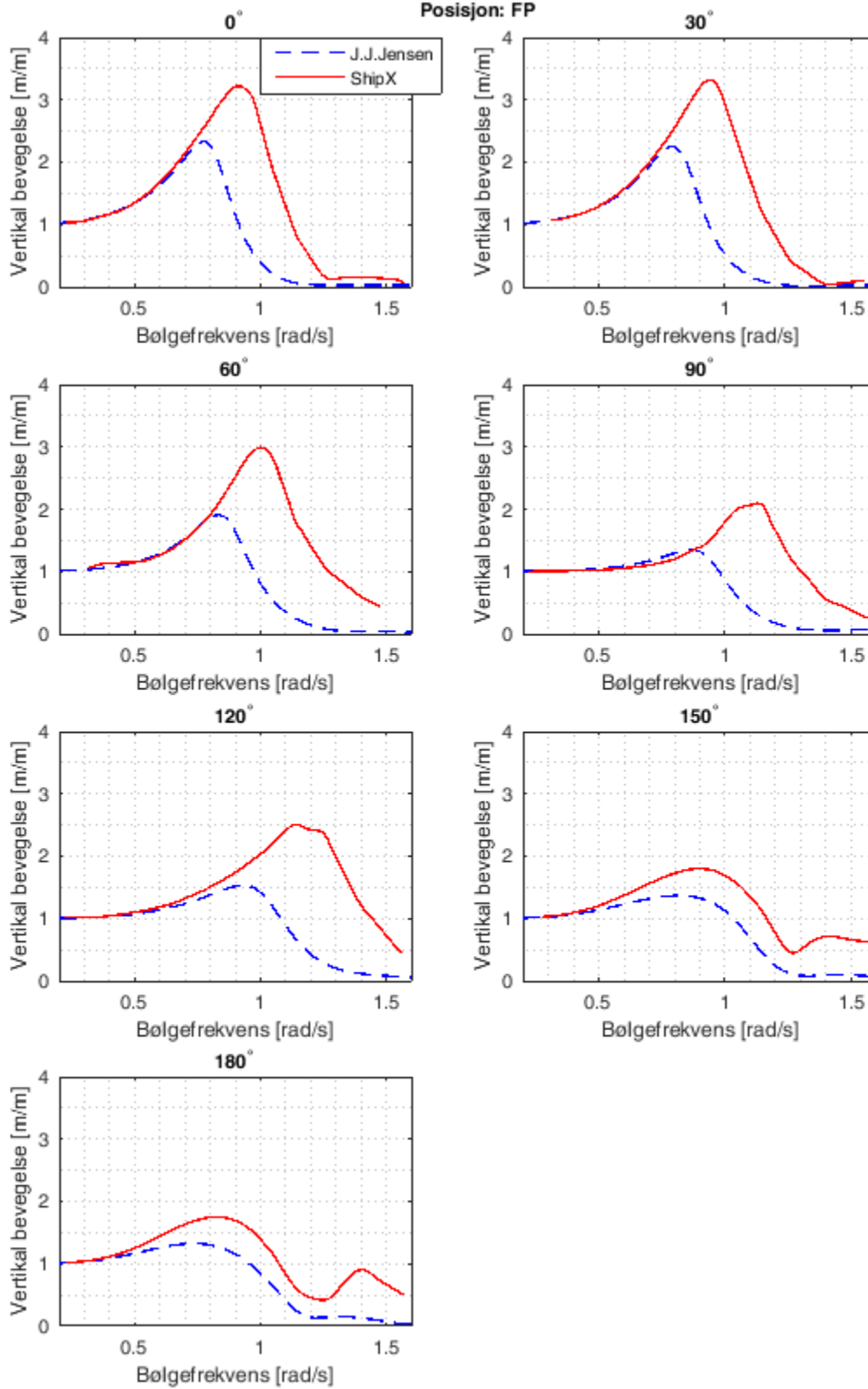


Stamp for Tråler i
10 knop

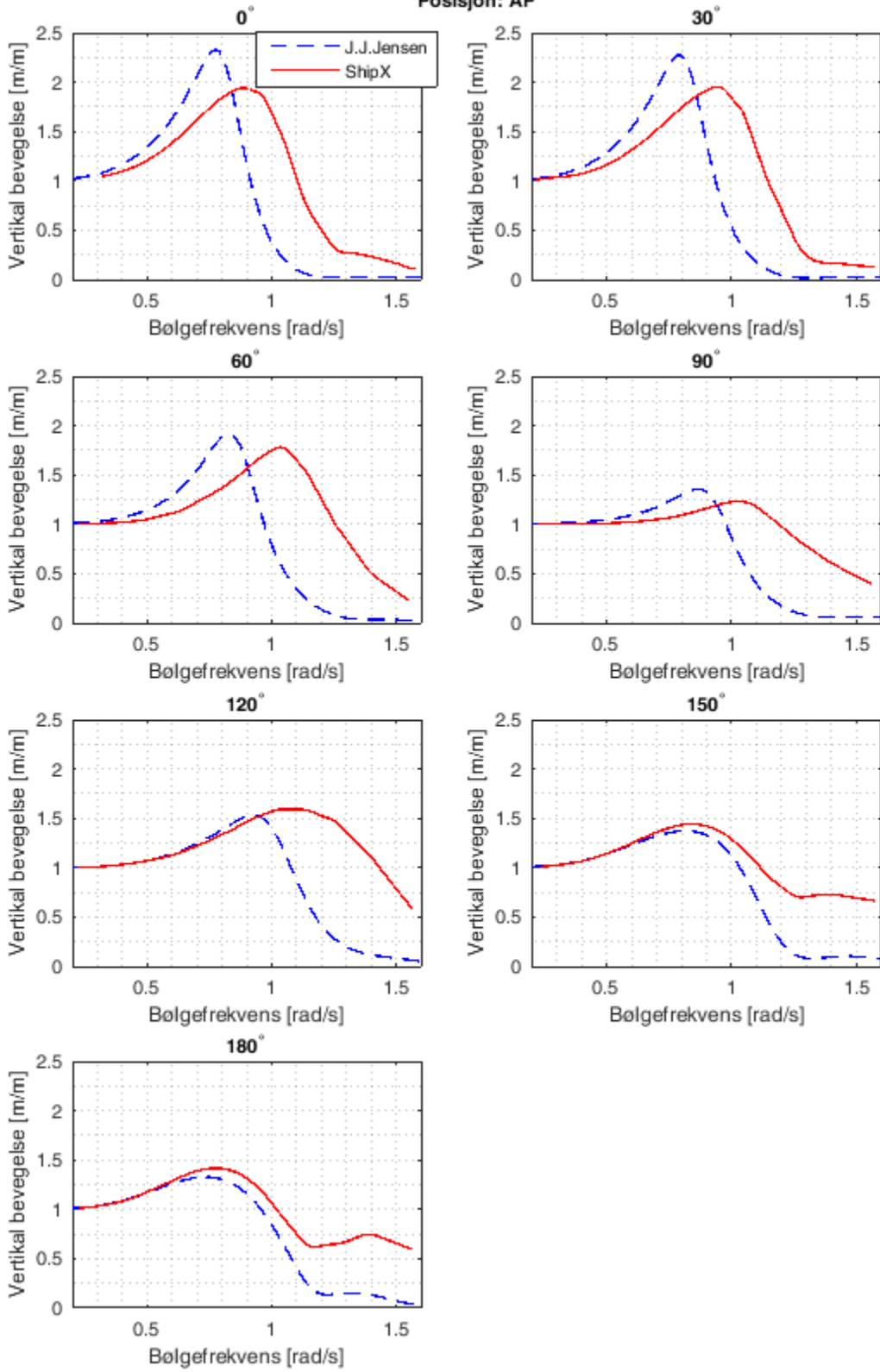


Vertikal bevegelse for Tråler i
3 knop

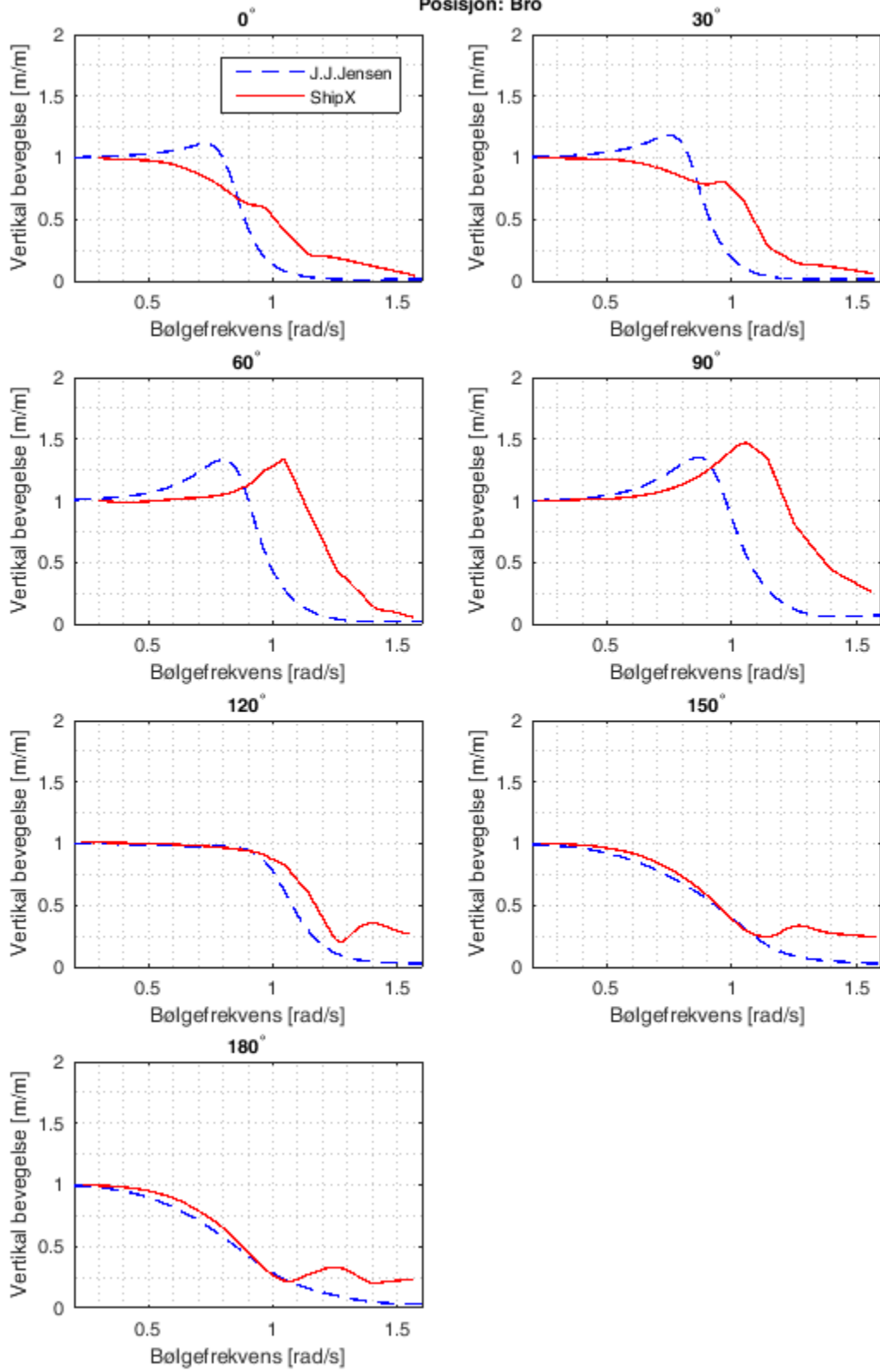
Posisjon: FP



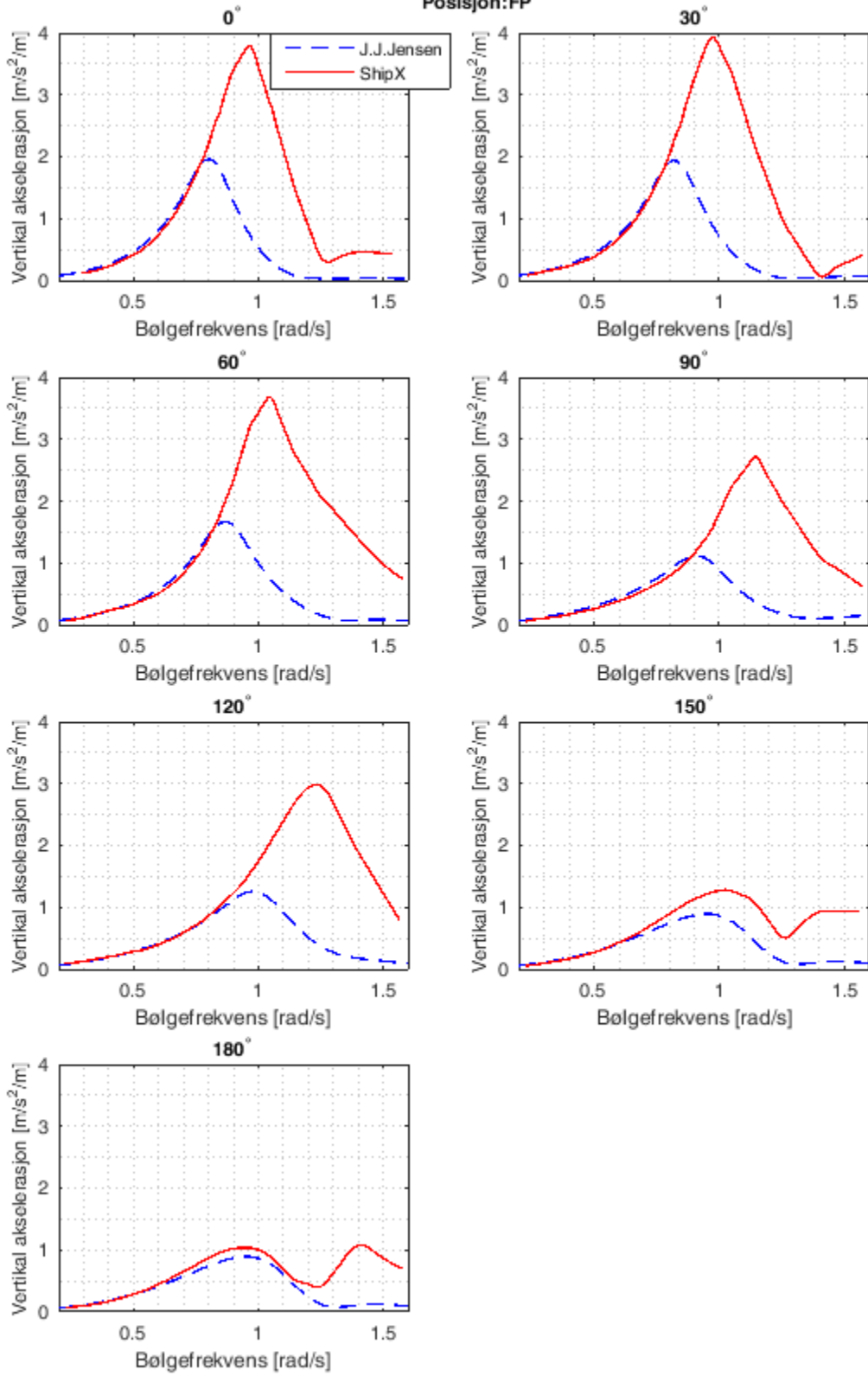
Vertikal bevegelse for Tråler i
3 knop
Posisjon: AP



Vertikal bevegelse for Tråler i
3 knop
Posisjon: Bro

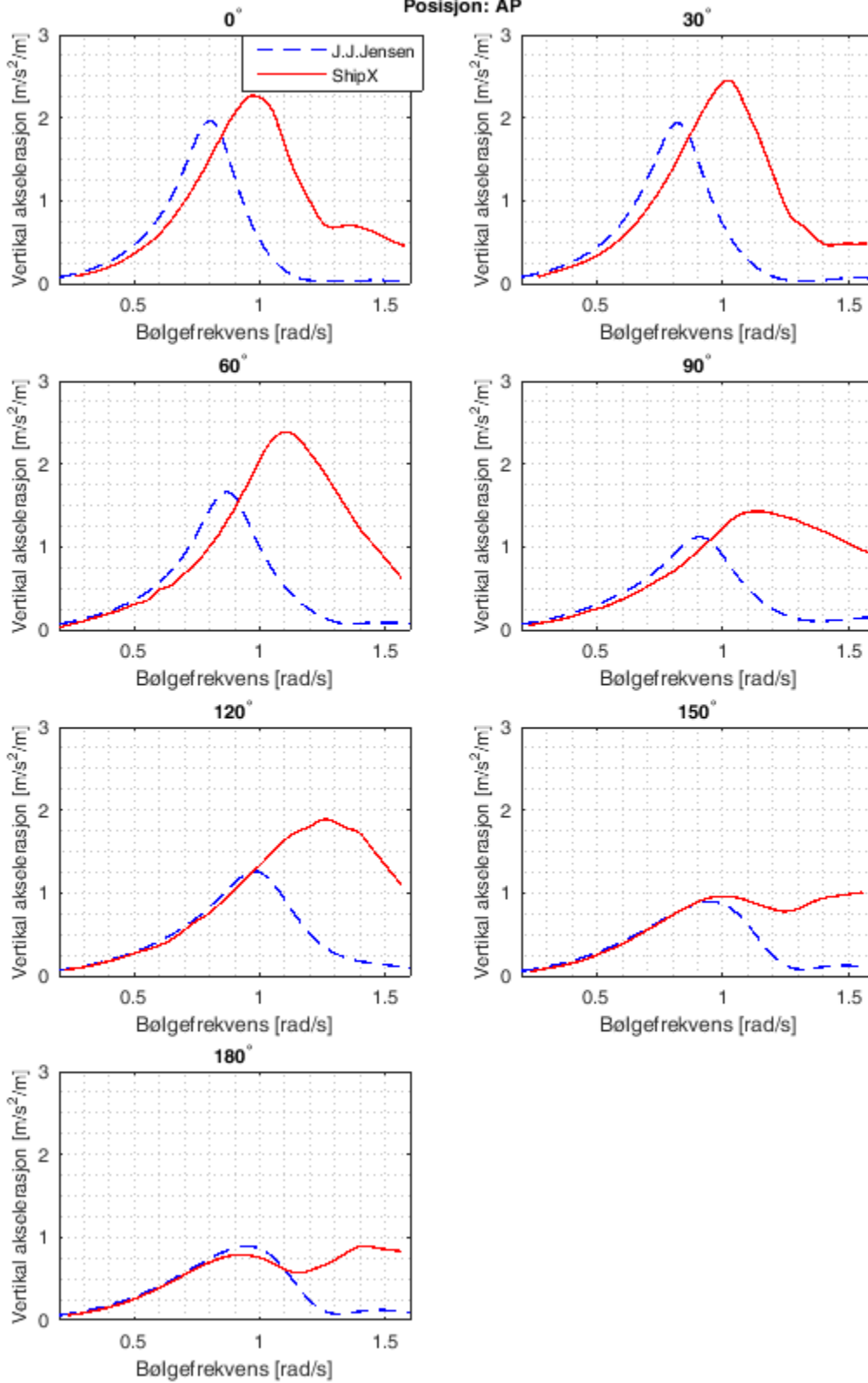


Vertikal akselerasjon for Tråler i
3 knop
Posisjon:FP



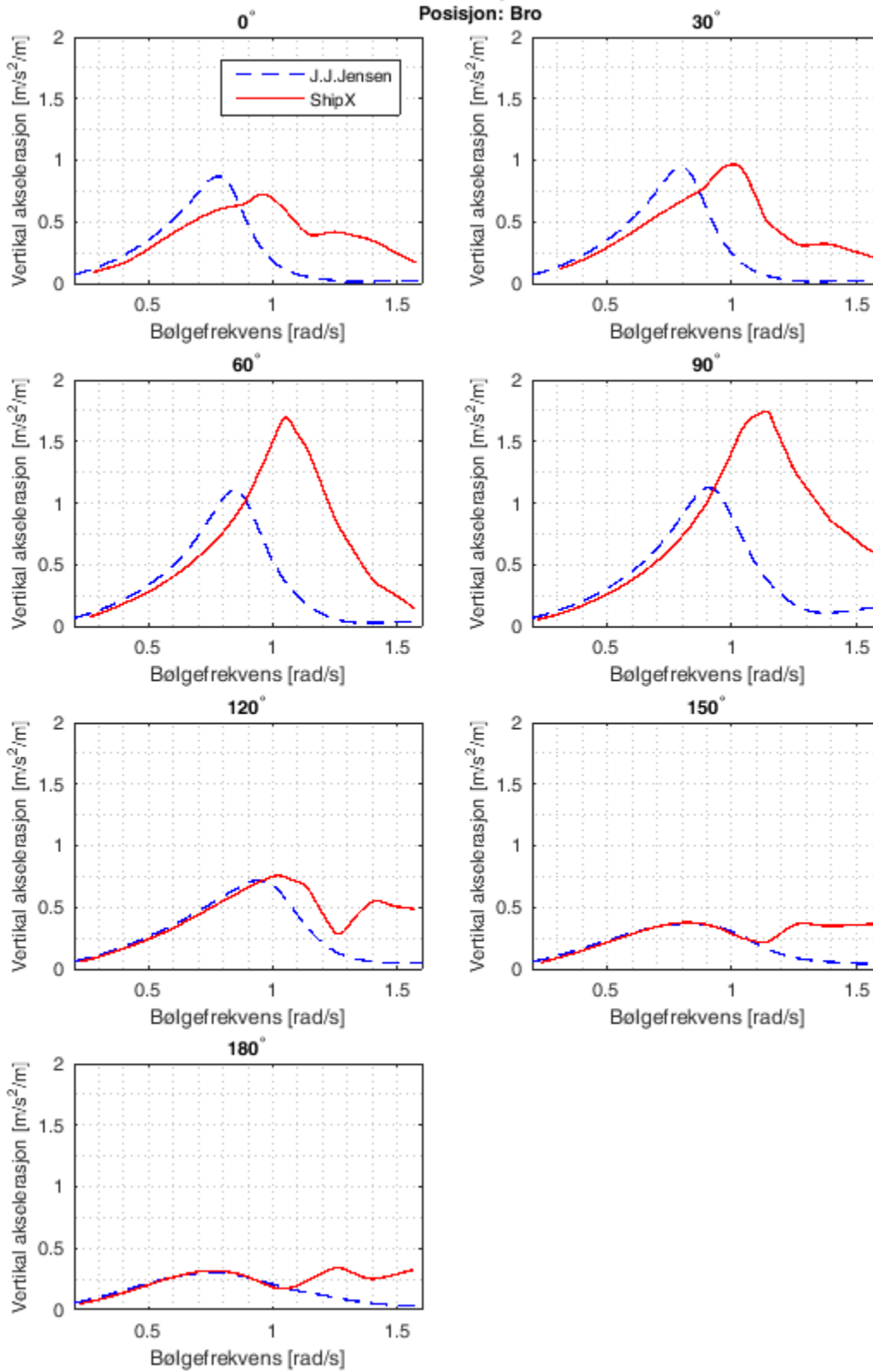
Vertikal akselerasjon for Tråler i
3 knop

Posisjon: AP



Vertikal akselerasjon for Tråler i
3 knop

Posisjon: Bro



Vedlegg B: Konverteringstabell for bølgelengdeforhold

Dette vedlegget er en konverteringstabell som viser forholdet mellom frekvens og bølgelengde. Og mellom bølgelengde og skipets lengde og bredde.

w	λ	k	λ/L				λ/B			
			Lekter	Container	AHTS	Tråler	Lekter	Container	Ahts	Tråler
			L = 120	L = 175	L = 84	L = 59	B = 20	B = 25.4	B = 20	B = 13
0.2	308	0.0204	2.57	1.76	3.67	5.22	15.41	12.13	15.41	23.71
0.3	205	0.0306	1.71	1.17	2.45	3.48	10.27	8.09	10.27	15.80
0.4	154	0.0408	1.28	0.88	1.83	2.61	7.70	6.07	7.70	11.85
0.5	123	0.0510	1.03	0.70	1.47	2.09	6.16	4.85	6.16	9.48
0.6	103	0.0612	0.86	0.59	1.22	1.74	5.14	4.04	5.14	7.90
0.7	88	0.0714	0.73	0.50	1.05	1.49	4.40	3.47	4.40	6.77
0.8	77	0.0815	0.64	0.44	0.92	1.31	3.85	3.03	3.85	5.93
0.9	68	0.0917	0.57	0.39	0.82	1.16	3.42	2.70	3.42	5.27
1	62	0.1019	0.51	0.35	0.73	1.04	3.08	2.43	3.08	4.74
1.1	56	0.1121	0.47	0.32	0.67	0.95	2.80	2.21	2.80	4.31
1.2	51	0.1223	0.43	0.29	0.61	0.87	2.57	2.02	2.57	3.95
1.3	47	0.1325	0.40	0.27	0.56	0.80	2.37	1.87	2.37	3.65
1.4	44	0.1427	0.37	0.25	0.52	0.75	2.20	1.73	2.20	3.39
1.5	41	0.1529	0.34	0.23	0.49	0.70	2.05	1.62	2.05	3.16
1.6	39	0.1631	0.32	0.22	0.46	0.65	1.93	1.52	1.93	2.96
1.7	36	0.1733	0.30	0.21	0.43	0.61	1.81	1.43	1.81	2.79
1.8	34	0.1835	0.29	0.20	0.41	0.58	1.71	1.35	1.71	2.63
1.9	32	0.1937	0.27	0.19	0.39	0.55	1.62	1.28	1.62	2.50
2	31	0.2039	0.26	0.18	0.37	0.52	1.54	1.21	1.54	2.37

λ Bølgelengde [m]

w Bølgefrequens [rad/s]

k Bølgetall [rad/m]