

# TAP AV POSISJON SOM FØLGE AV IMPULSLAST FRA BØLGER

KONSTRUKSJONSDAGEN 2021

2021-09-01

Karl E. Kaasen  
SINTEF Ocean

# Studien gjelder halvt nedsenkbar plattform under operasjonsforhold

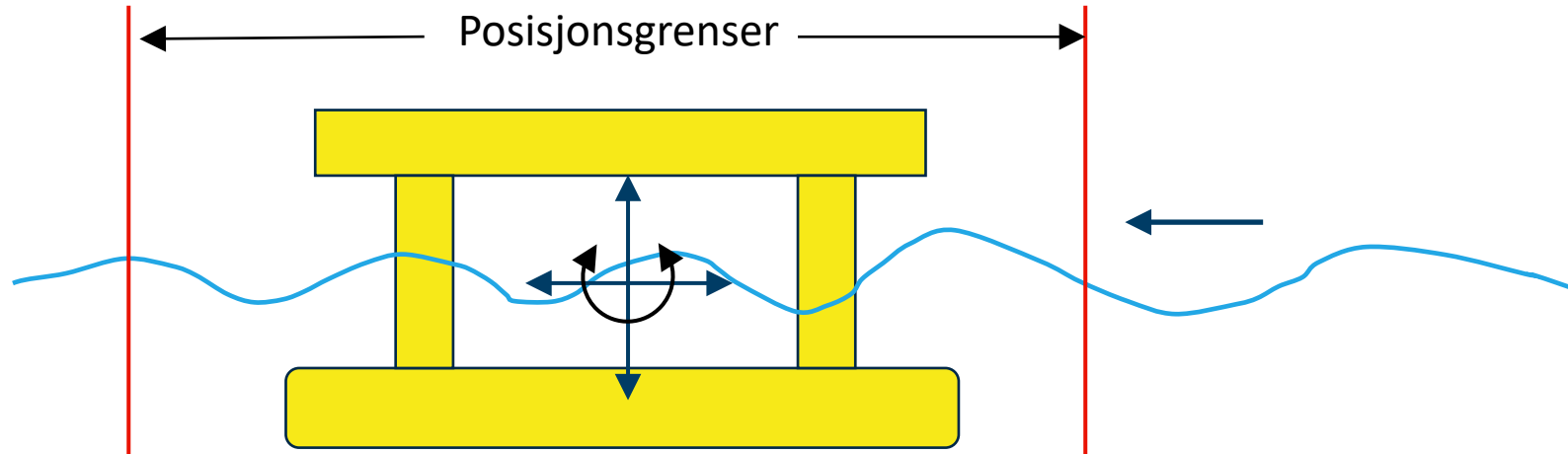
---

Der har vært hendelser med tap av posisjon som var uventet under de rådende værforhold.

En hypotese har vært at slike hendelser kan skyldes impulslast fra bølger på semiens søyler.

Slik last er det vanligvis ikke tatt hensyn til i beregninger.

# Beregning av bølgelast og bølgeindusert bevegelse

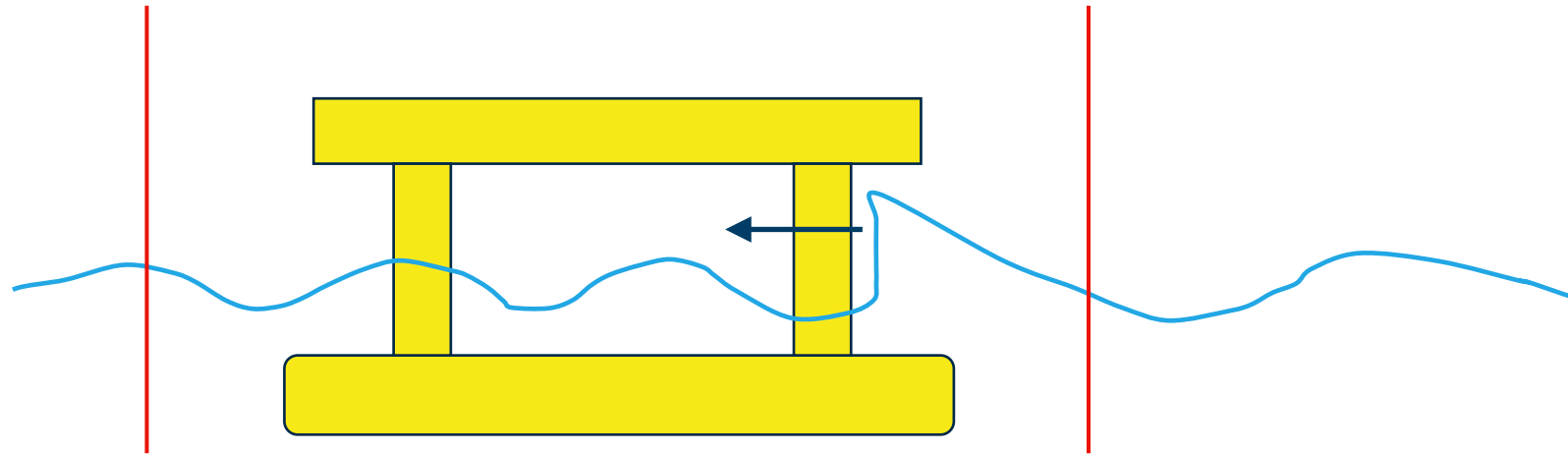


Standardmetoden for beregning er bruk av potensialteori og frekvensplan:

- 1.-ordens (lineære) kraft og bevegelse: Transferfunksjoner for bølgekraft, tilleggsmasse og radiasjonsdemping.
- Ikke-lineær kraft uttrykt ved 2.-ordens teori – kvadratiske transferfunksjoner eller forenklet med Newmans metode. Gir langsomtvarierende kraft.

Potensialteorien neglisjerer viskøs kraft, som må legges til som en korreksjon. Dette er særlig relevant for semier, som vil oppleve viskøs kraft på søylene.

# Impulslast

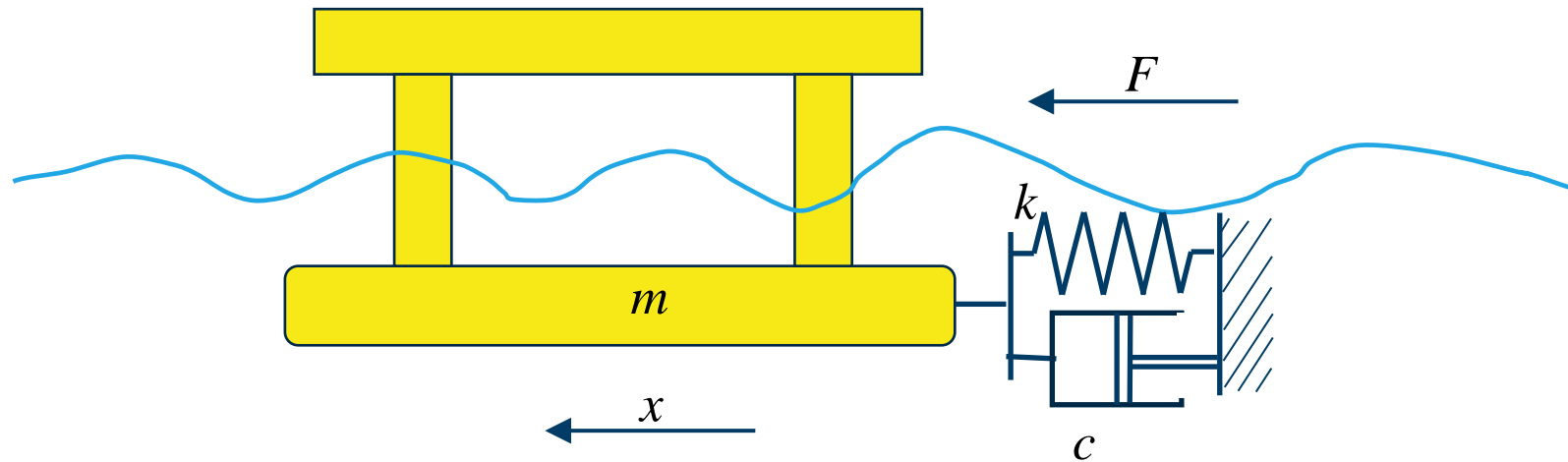


En høy og steil enkeltbølge kan gi en stor og kortvarig last mot søylene. En slik last kan betraktes som en tilnærmet kraftimpuls

Impulskraft kan ikke beregnes ved anvendelse av potensialteori eller viskøs teori

- Vil en impulslast kunne drive fartøyet forbi de tillatte grensene?
- Vil det kunne skje under vanlige operasjonsforhold, altså i moderat sjø?

# Masse-fjær-demper-modell



$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F$$

# Impulsresponsen til masse-fjær-demper-system

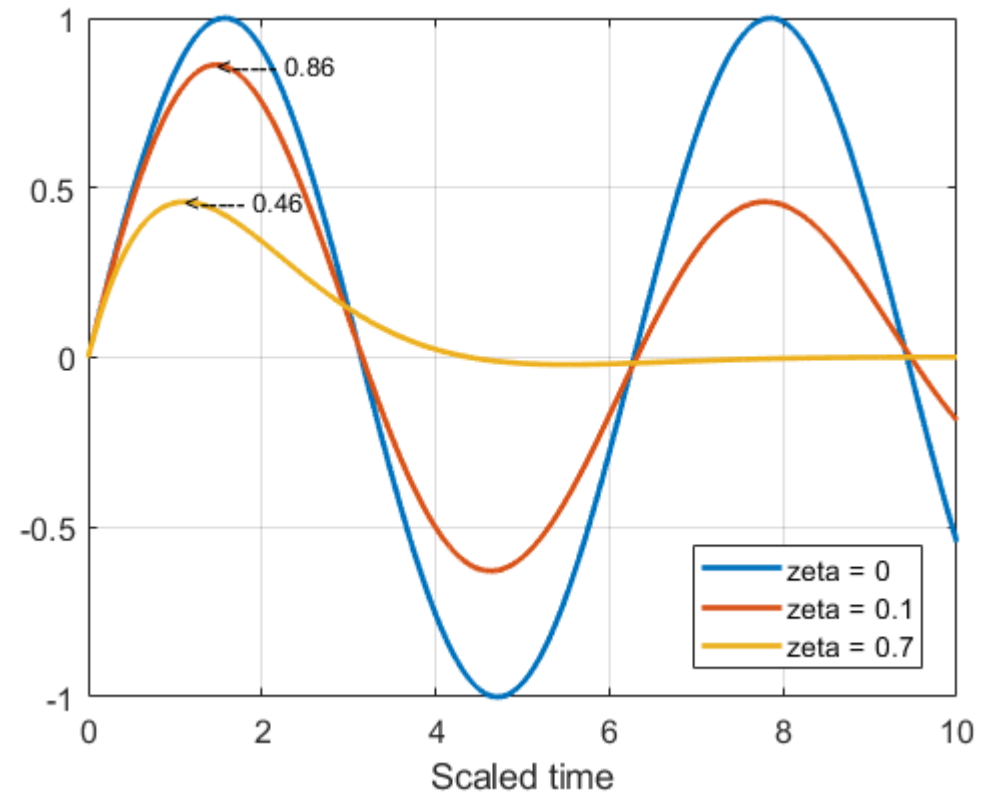
Impulsrespons:  $x(t) = \frac{I}{m\beta} \exp(-\alpha t) \sin \beta t$

Impuls  
↙

Dempingsrate:  $\alpha = \frac{c}{2m}$

Naturlig frekvens:  $\beta = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2}$

Dempingsforhold:  $\zeta = \alpha / \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$





# Estimat av impulslast på søyler og resulterende maksimum posisjonsutsving

Premisser:

Søylediameter: 10 m

Sjøtilstand:  $H_s = 7$  m,  $T_p = 9.1$  s

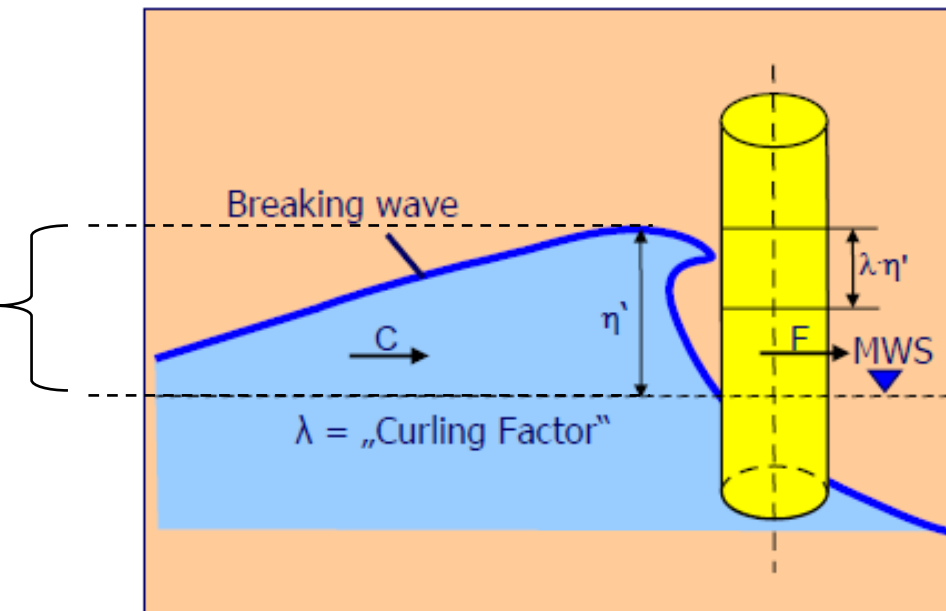
Høyde av treff-område:  $h = 6.7$  m  
(=3-timers maks amplitude)

Antar at bølgen treffer semien i fronten og to søyler samtidig.

→ Estimert impulslast: 12 000 kNs

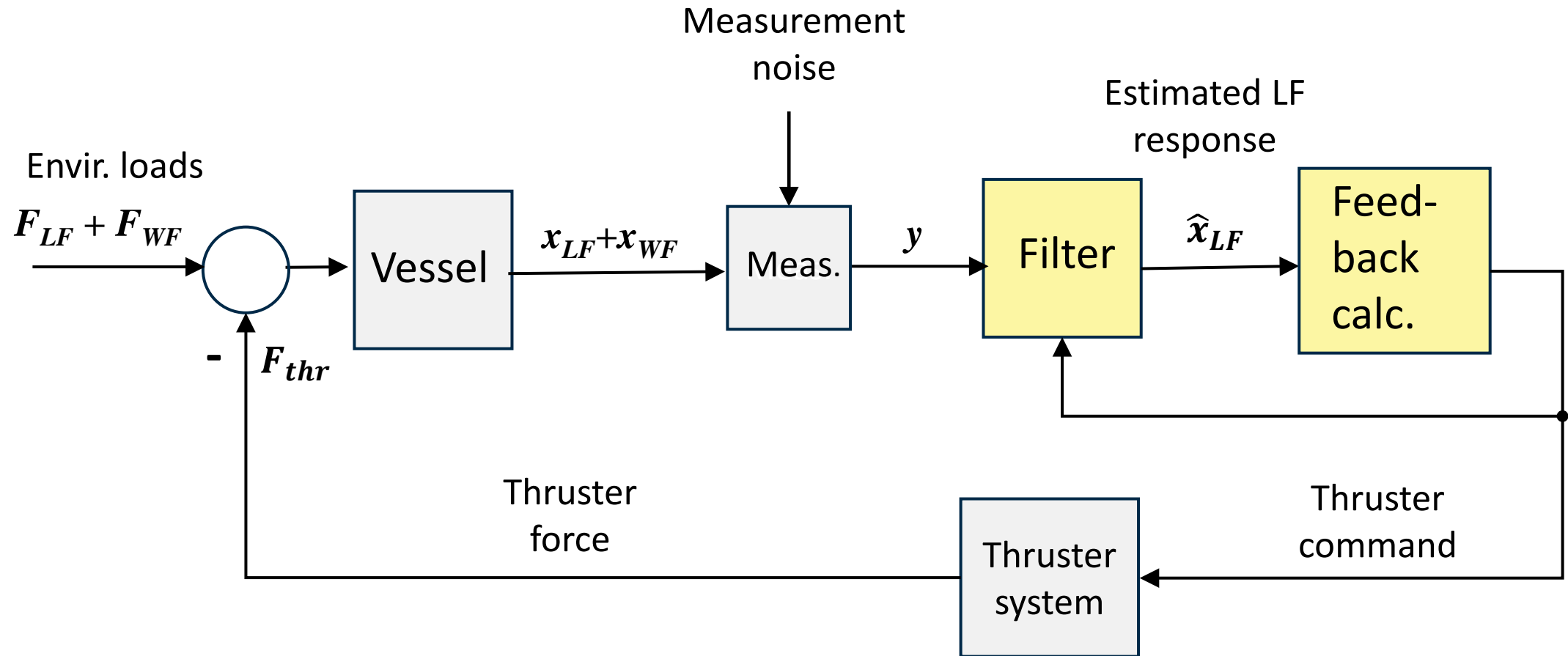
Maks forskyvning:  $x_{max} = 1.5$  m

7 (masse-fjær-demper-modell repr. av Deepsea Bergen,  $k = 120$  kN/m,  $m = 29\ 000$  t, demping 70%)



H. Oumeraci: "Wave Loads on Breakwaters, Seawalls and other Marine Structures", Coastal Research Centre, University Hannover and Technical University Braunschweig, Hannover Germany

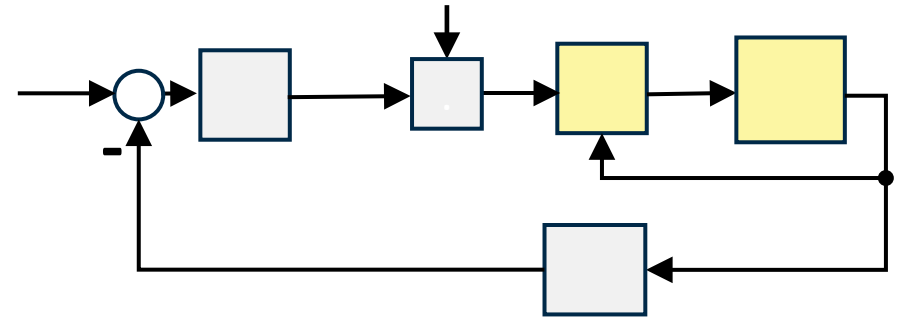
# Dynamisk posisjonering





# Enkel dynamisk modell for semi med DP

- Essensielt sett masse-fjær-demper-modell med Kalman-filter og thrustersystem med 1.-ordens tidskonstant
- Hensikt: Sammenligning med masse-fjær-demper-modellen
- Basert på Deepsea Bergen:  $m = 29\,000$  tonn,  $k = 120$  kN/m, demping 70% ,  $T_{thruster} = 10$  s
- Kalman-filter basert på  $H_s = 7$  m og  $T_p = 9.1$  s

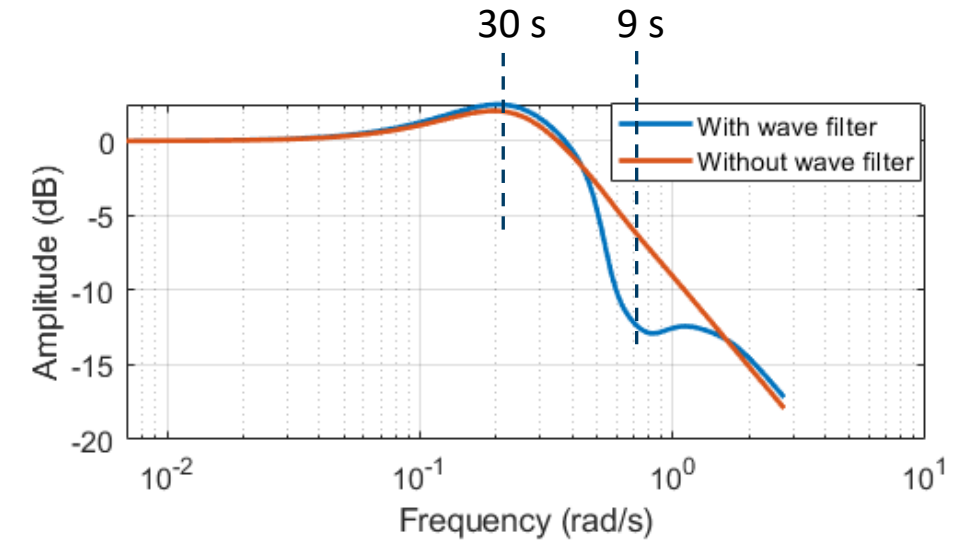


# Frekvensresponsen til Kalman-filteret (eksempel)

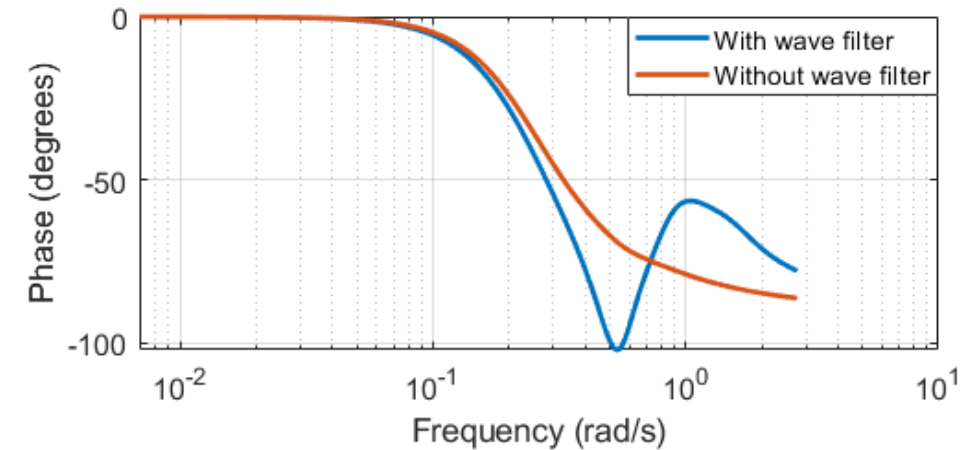
Figurene viser amplituderrespons og faserespons til filteret for LF posisjon (logaritmiske akser)

Sjøtilstand:  $H_s = 7$  m,  $T_p = 9.1$  s

Fartøy: Deepsea Bergen  
(med DP for anledningen)



Ampl.

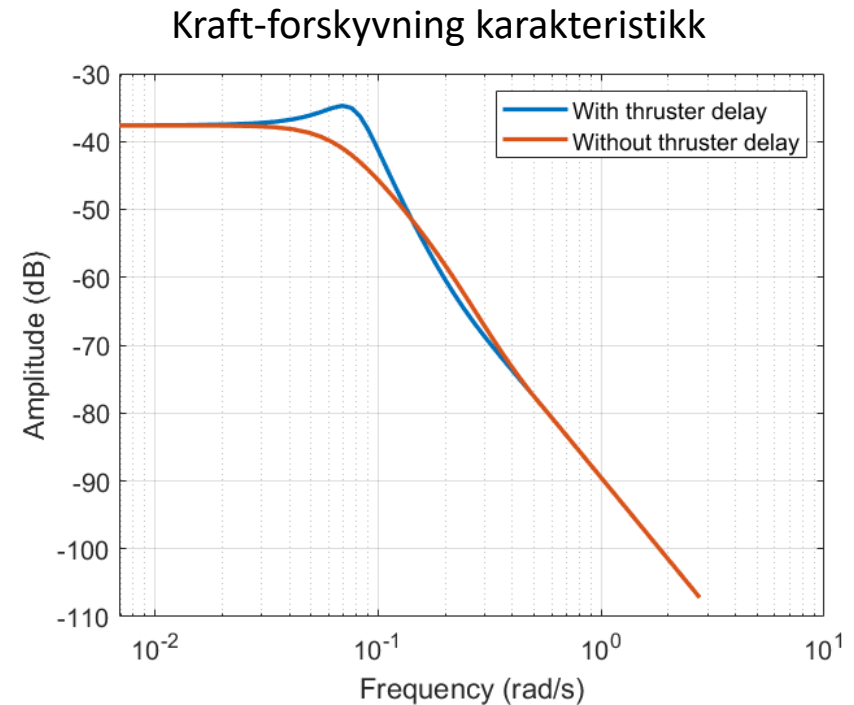


Fase

- Rød kurve: Bare støyfiltrering
- Blå kurve: Støy- og bølgefiltrering

# Virkingen av forsinkelse (stigetid) i thruster-dynamikken

- Tidskonstant på 10 s lagt inn for thrusterresponsen
- Reguleringen litt dårligere med thrust-forsinkelsen (blå kurve)



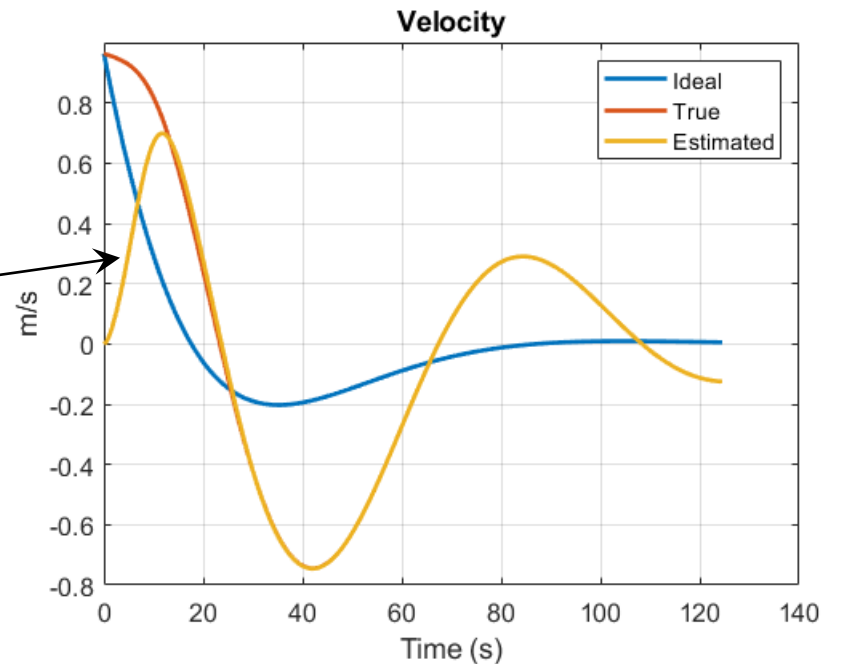
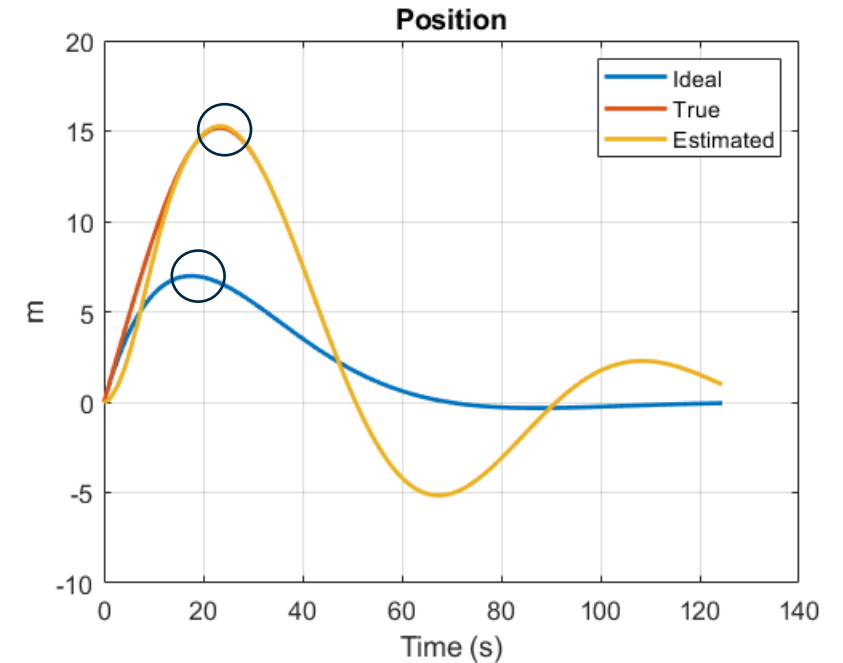
# Impulsrespons: Sammenligning av semi med DP-system og ideelt (masse-fjær-demper) system

Modell basert på Deepsea Bergen

Påtrykker ideell impulslast lik 29 000 kNs

Resultat: Maks-utsvinget blir over dobbelt så stort med modellen med DP-system

Dette skyldes forsinkelse i hastighetsestimatet



# Korreksjon av tidligere estimert maks-utsving som følge av impulslast

---

Forenklet beregning med masse-fjær-demper-modell:  $x_{maks} = 1.5 \text{ m}$

Beregning med modell med DP-system:  $x_{maks} = 3.0 \text{ m ( x 2 )}$

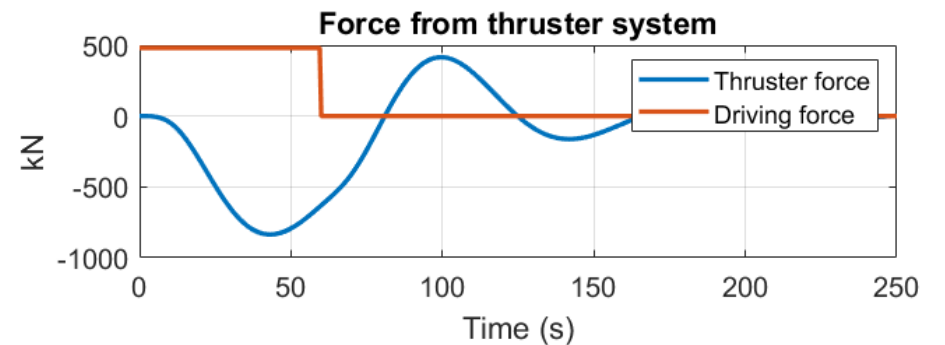
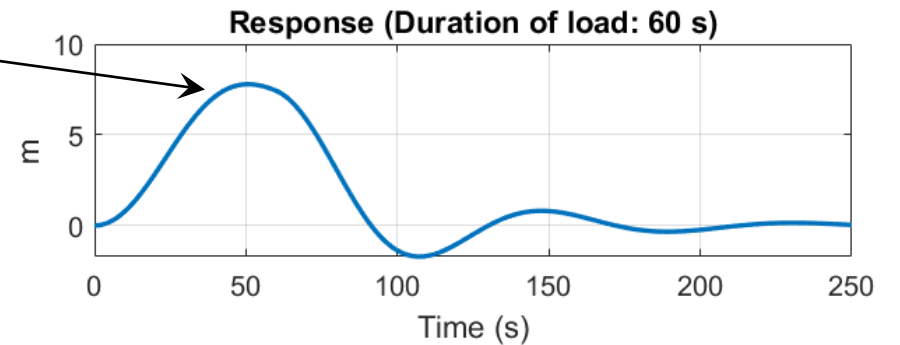
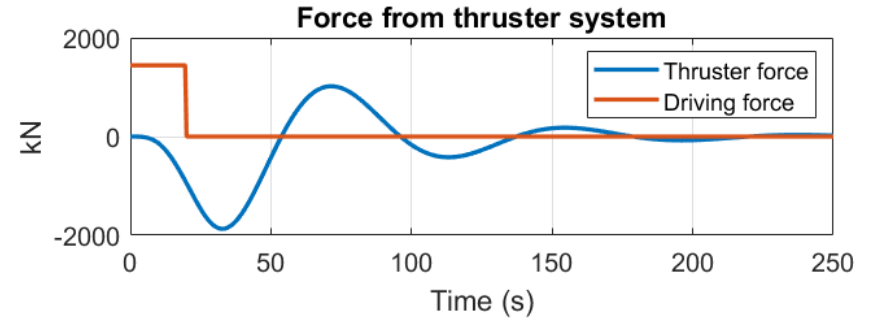
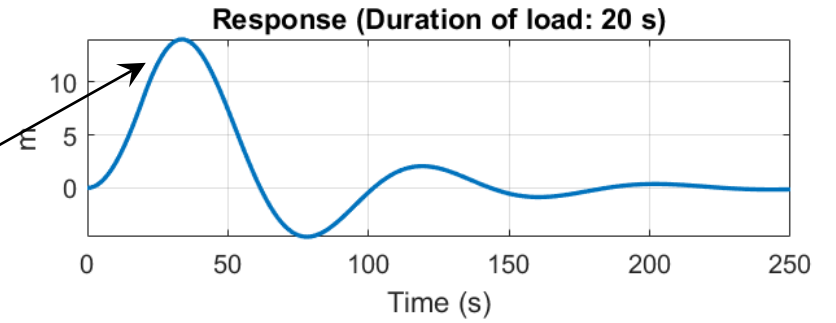
(Men den modellerte bølgeslag-hendelsen er temmelig ekstrem)

# Lengre pulser med styrke 29 000 kNs

Varighet 20 s:  $x_{maks} = 14$  m

Varighet 60 s:  $x_{maks} = 7.8$  m

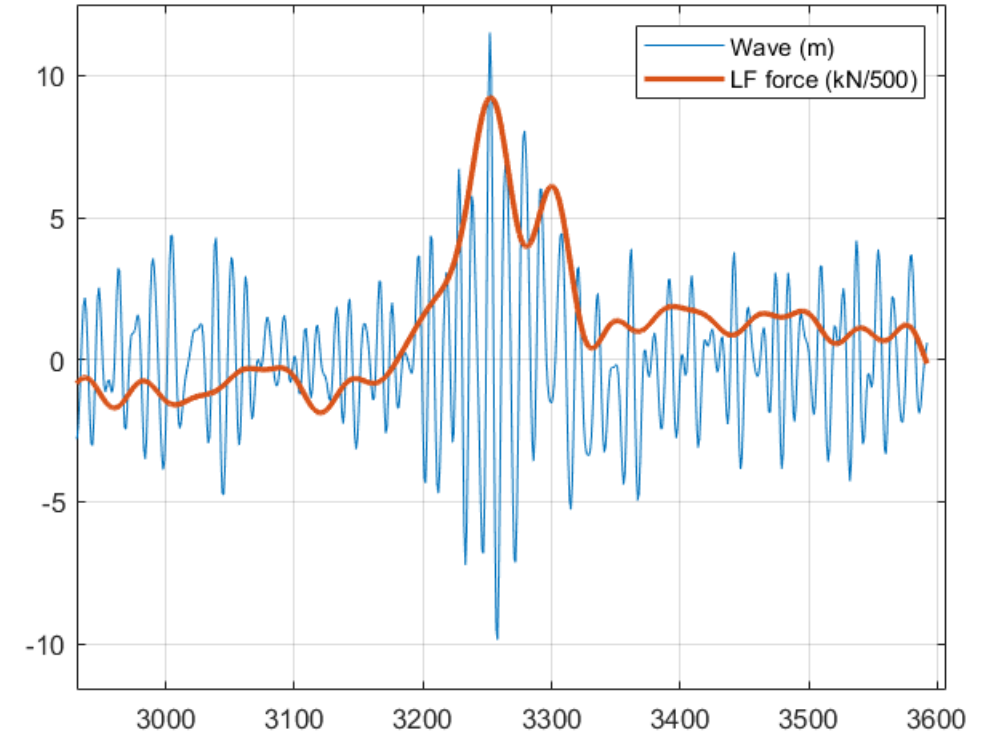
(Ideal case:  $x_{maks} = 7$  m)



# Kraft fra bølger.

## 1.- og 2.-ordens modeller

- Første-ordens bølgekraft er oscillatorisk og består av de samme frekvenskomponentene som bølgene (perioder 5 – 15 sekunder, typisk. Denne kraften vil være null i middel. Den genererer oscillatorisk fartøyrespons i bølgefrequensområdet.
- Bølgedrift-kraften består av middelkraft pluss langsomme variasjoner omkring denne. Typiske perioder er i størrelsesorden minutter. De vanlige modellene for bølgedriftkraft er av 2. orden.



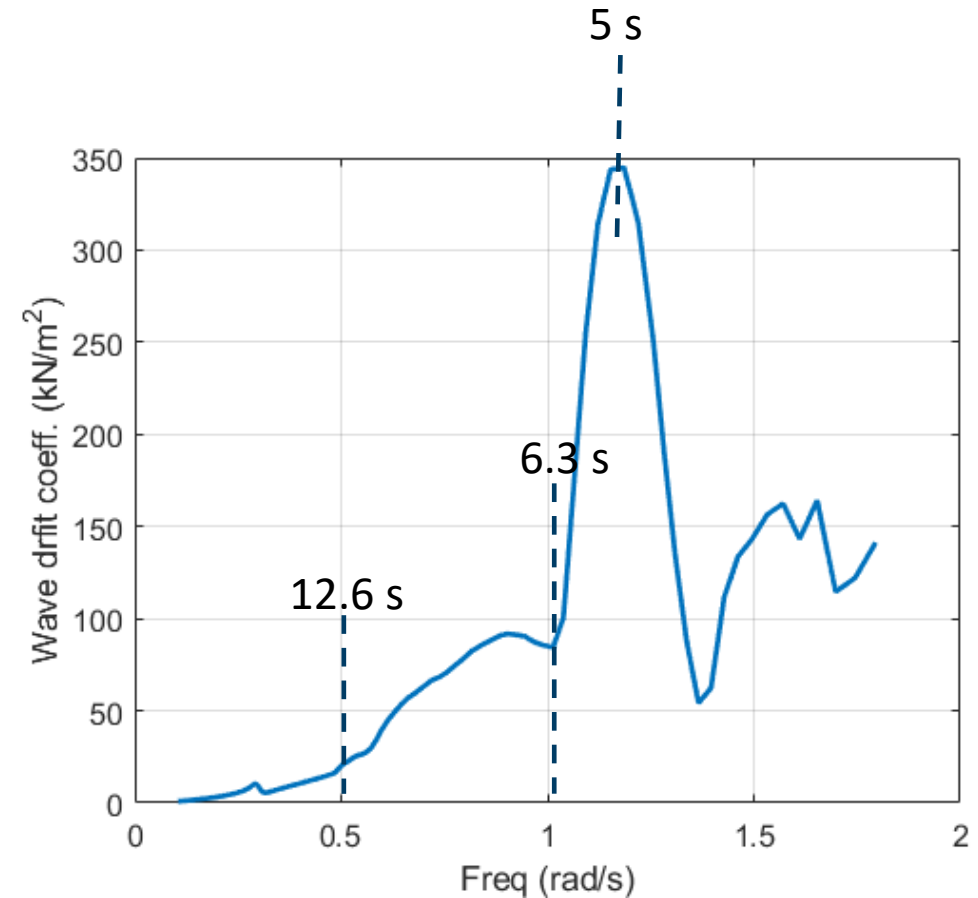


# Bølgedriftskoeffisient

Med Newmans metode beregnes bølgedrift-kraft ved hjelp av frekvensavhengig bølgedriftskoeffisient.

Bølgedriftskoeffisienten beregnes ved hjelp av 2.-ordens potensialteori (f.eks. Wadam, Wamit).

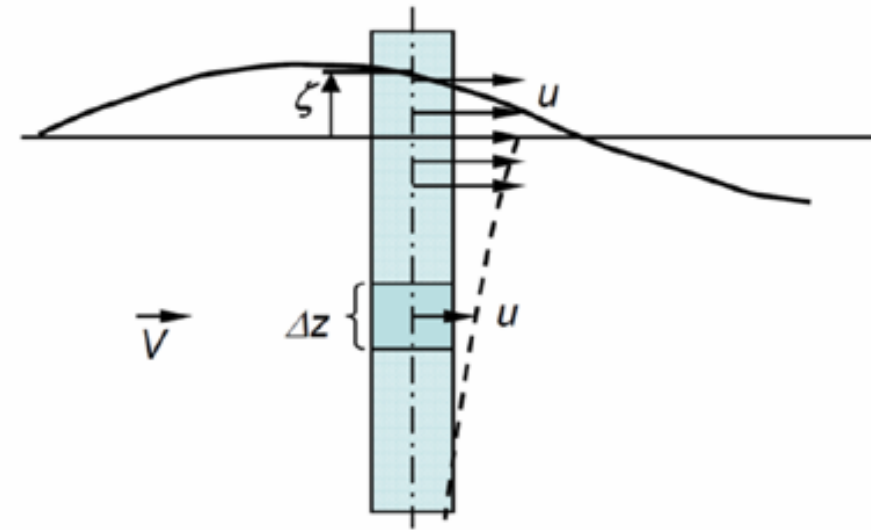
Bølgedriftskoeffisienten øker med frekvensen. Dette betyr at en kan forvente større kraft i steile sjøtilstander



Bølgedriftskoeffisient for jag (Deepsea Bergen)

# Korreksjon av bølgedriftskoeffisient

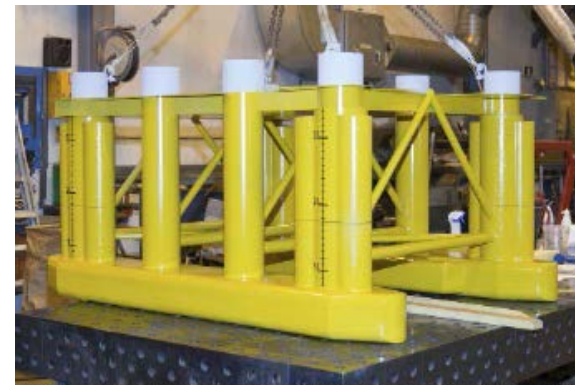
- Siden den bygger på potensialteori, vil bølgedriftskraften på en semi bli underestimert på grunn av at teorien ikke omfatter viskøs kraft på søyler
- I tillegg vil strøm påvirke kraften. Når strømmen går i samme retning som bølgene, vil kraften øke.



# ExWave-formelen

ExWave-prosjektet (2016-2021) tok sikte på å forbedre metodene for beregning av bølgedriftskraft og langsomt-varierende bølgedrevet fartøyrespons. Prosjektet var et "Joint Industry Project" og ble ledet av DNV og SINTEF Ocean i fellesskap.

Et av resultatene fra prosjektet er "ExWave-formelen", som korrigerer bølgedriftskoeffisienten for en semi. Formelen er basert på en serie modellforsøk i Havbassenget ved SINTEF Ocean.



$$C_{WD}(\omega, U_c, H_s) = \underbrace{(1 + C_p U_c \cos \beta_{wc}) C_{WD}^{(pot)}(\omega)}_{\text{Potensialkorreksjon}} + \underbrace{B(\omega)(G U_c \cos \beta_{wc} + H_s)}_{\text{Viskøs korreksjon}} \begin{pmatrix} \cos \beta \\ \sin \beta \end{pmatrix}$$

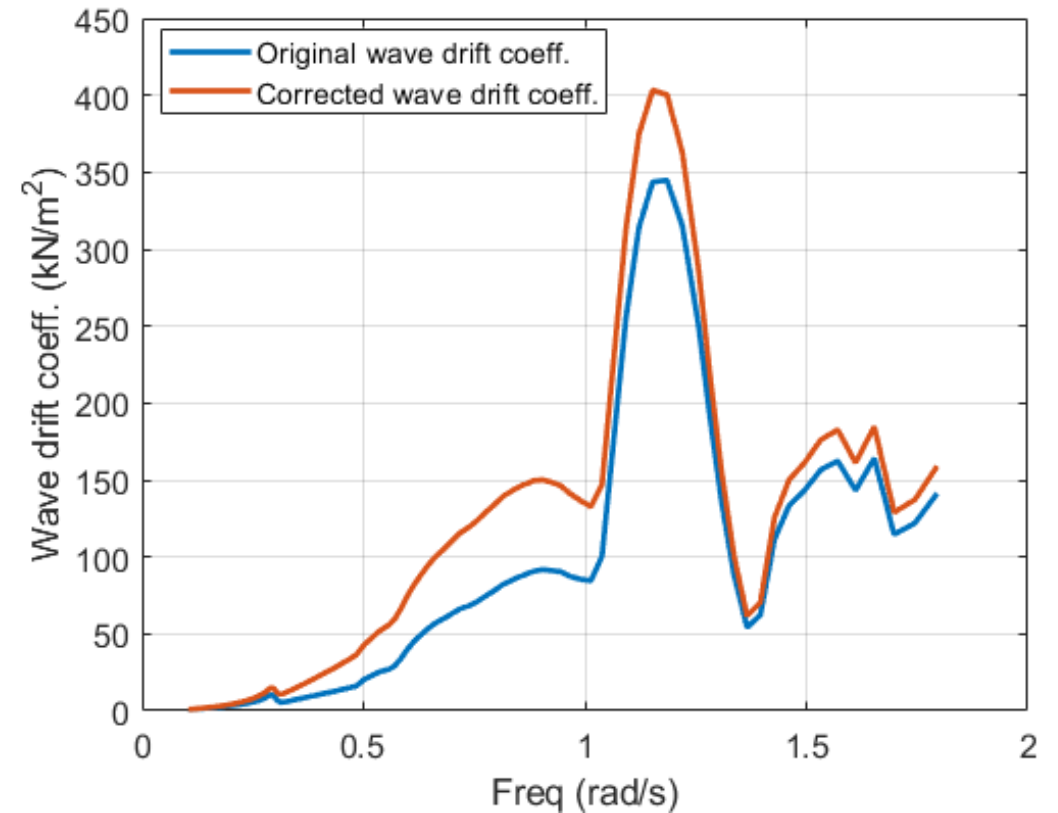
Original funksjon (pot.-teori)

# Eksempel på korreksjon med ExWave-formelen

Signifikant bølgehøyde:  $H_s = 7$  m  
Topp-periode i spekteret:  $T_p = 9.1$  s  
Strømhastighet:  $U_c = 0.5$  m

Bølger og strøm har samme retning

Bølgedrifts-koeffisient i jag



# Simulering med SIMO

## Bølge

Jonswap,

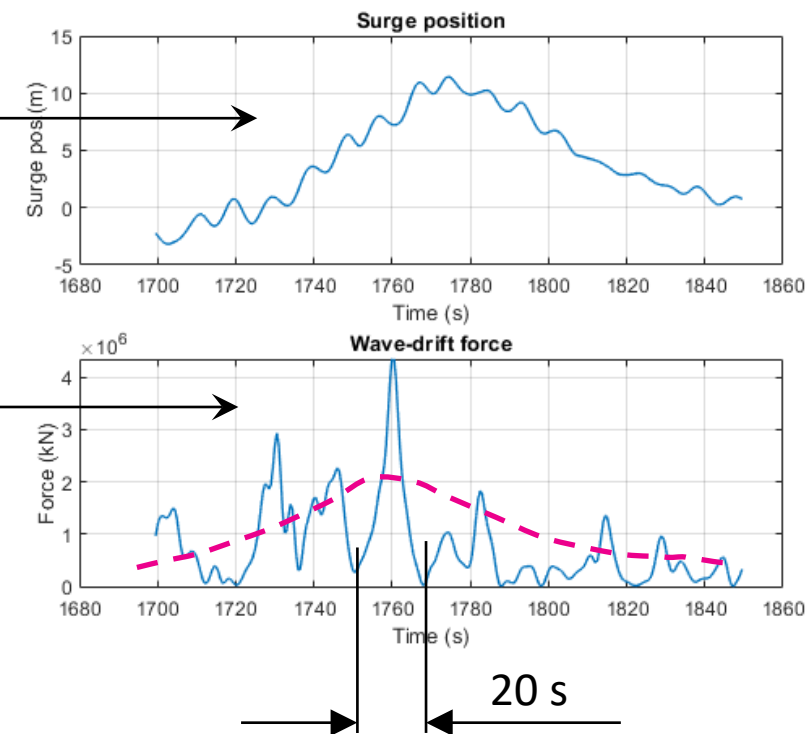
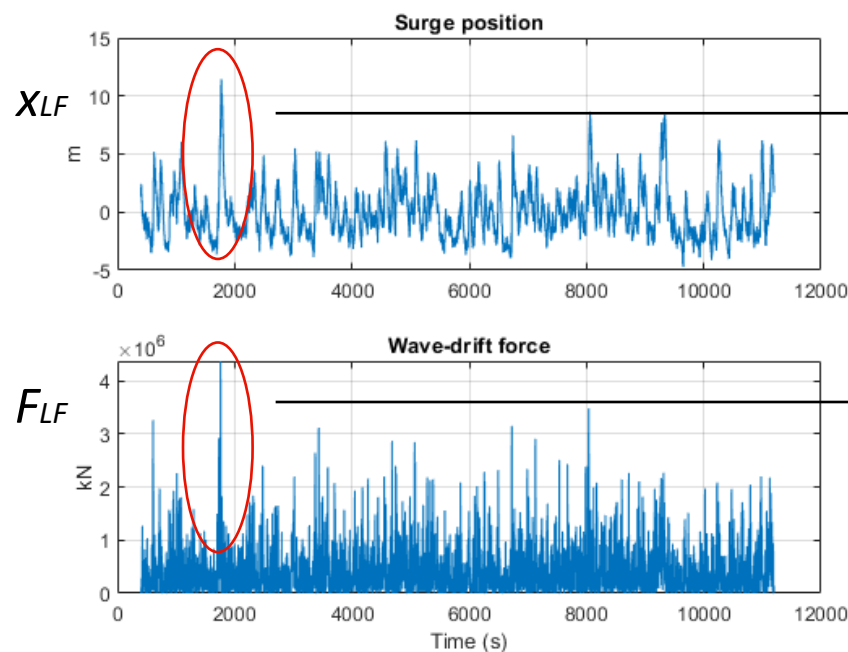
$H_s = 7$  m,

$T_p = 9.1$  s,

$\gamma = 5$

Simuleringstid: 3 t

ExWave-formelen er benyttet



Bølgedrift-kraften arter seg i dette eksempelet som en rekke kraftpulser av mindre enn 20 s varighet. I henhold til det foregående vil ikke disse pulsene bli motvirket nevneverdig av DP-systemet og vises som rippel på posisjonskurven. Størrelsen av rippelen er likevel beskjeden ( $\pm 1$  m). Responsen ser ut til å følge den glattede bølgedriftkraften (stiplet). Varigheten av denne er omtrent 100 sekunder.

Maksimal posisjonsavvik er 11 m.

# Konklusjon

---

- Hendelser med tap av posisjon for semier med DP under operasjons-bølgeforhold har ledet til hypotesen om at årsaken kunne være impulslast på søyler fra høye og steile bølger
- Med en enkel mekanisk masse-fjær-demper-modell og sjøtilstand  $H_s=7$  m,  $T_p= 9.1$  s ble maksimal posisjonsrespons som følge av impulslast anslått til 1.5 m
- En mer avansert modell som omfatter dynamikken til DP-regulator og thrustersystem viser dobbelt så stor impulsrespons: 3 m,
- Simulering med SIMO - med DP og korreksjon av bølgedriftsmodellen med ExWave-formelen for å beskrive virkningen av strøm og viskøse krefter på søylene - gir maksimum offset 11 m.
- Selv om studien bare omfatter et begrenset antall beregninger og bølgetilstander indikerer resultatet at de observerte tilfellene av tap av posisjon skyldes bølgedrift-kraft fra en gruppe høye og steile bølger

# Takksigelse

---

SINTEF Ocean takker Odfjell Drilling for tillatelse til bruke numerisk modell for Deepsea Bergen i studien





Teknologi for et bedre samfunn