Modellering, simulering og regulering av flytende vindturbin

Thomas Fuglseth

NTNU – Inst. For Elkraftteknikk

feb. 2004 – feb 2008

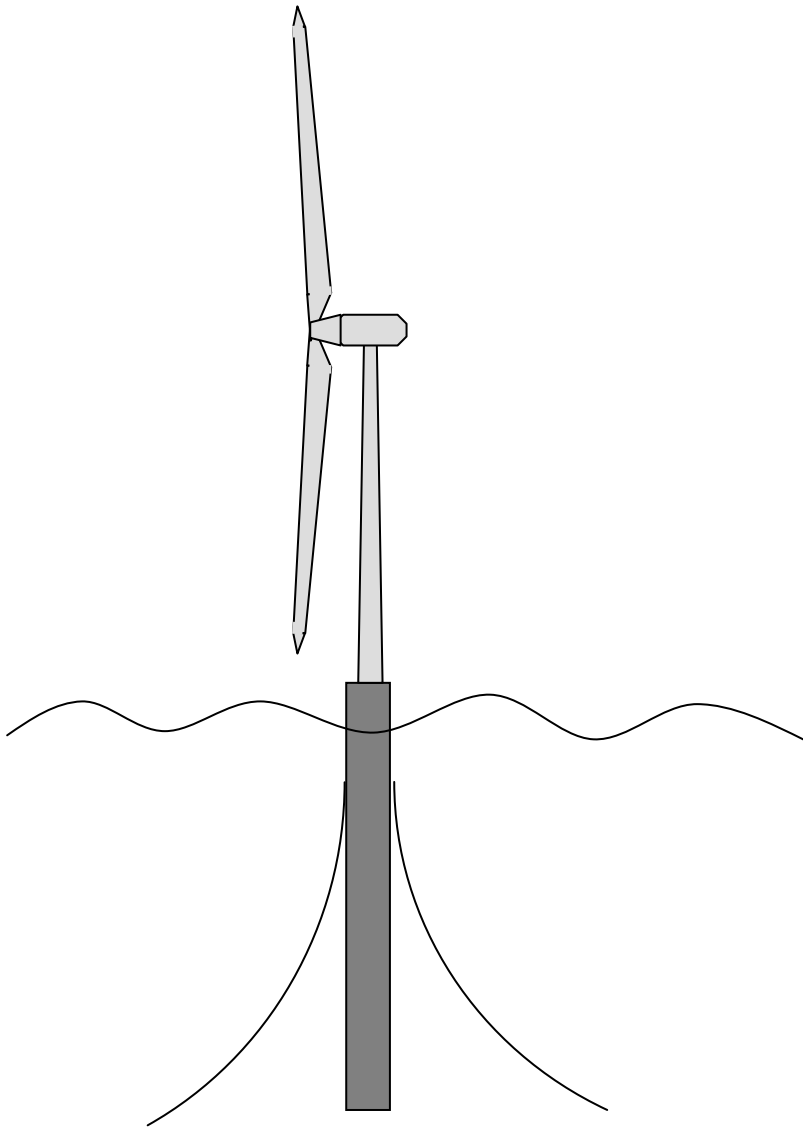
Veileder: Tore Undeland

Ph. D.-prosjekt

- Del av Strategisk vindkraftprogram
  - Samarbeid mellom NTNU, SINTEF og IFE
  - Finansiert av Norsk Forskningsråd og aktører i næringslivet
- Påbegynt i feb. 2004, forventet avsluttet i feb. 2008

Ballast-stabilisert, flytende vindturbin

- Tyngdepunkt lavere enn oppdriftssentrum
- Holdt på plass av fleksibel forankring
- Relativt stor grad av bølgepåvirkning



Ballaststabilisert vindturbin

- Relativt enkel konstruksjon
- I stor grad velkjent teknologi
- Modellering kan baseres på kjent teori
- Naturlig stabil struktur
- Kan oppleve relativt store svingebevegelser

Ballaststabilisert turbin - regulering

- Krav til regulering:
  - Unngå negativ demping av bølgebevegelser
  - Helst forbedre demping av bølgebevegelser
  - Begrense slitasje på mekaniske komponenter
- Må antagelig ofre litt på produksjonssiden
  - Større effektfluktuasjoner enn for landbasert vind?
  - Store parker kan jevne ut dette

Modellering i FAST

- Simuleringsprogram for vindturbiner fra NREL
- Kompatibelt med Simulink
  - Generator, vind og reguleringssystem kan implementeres i simulink
- Plattformdynamikk kan implementeres i Fortran

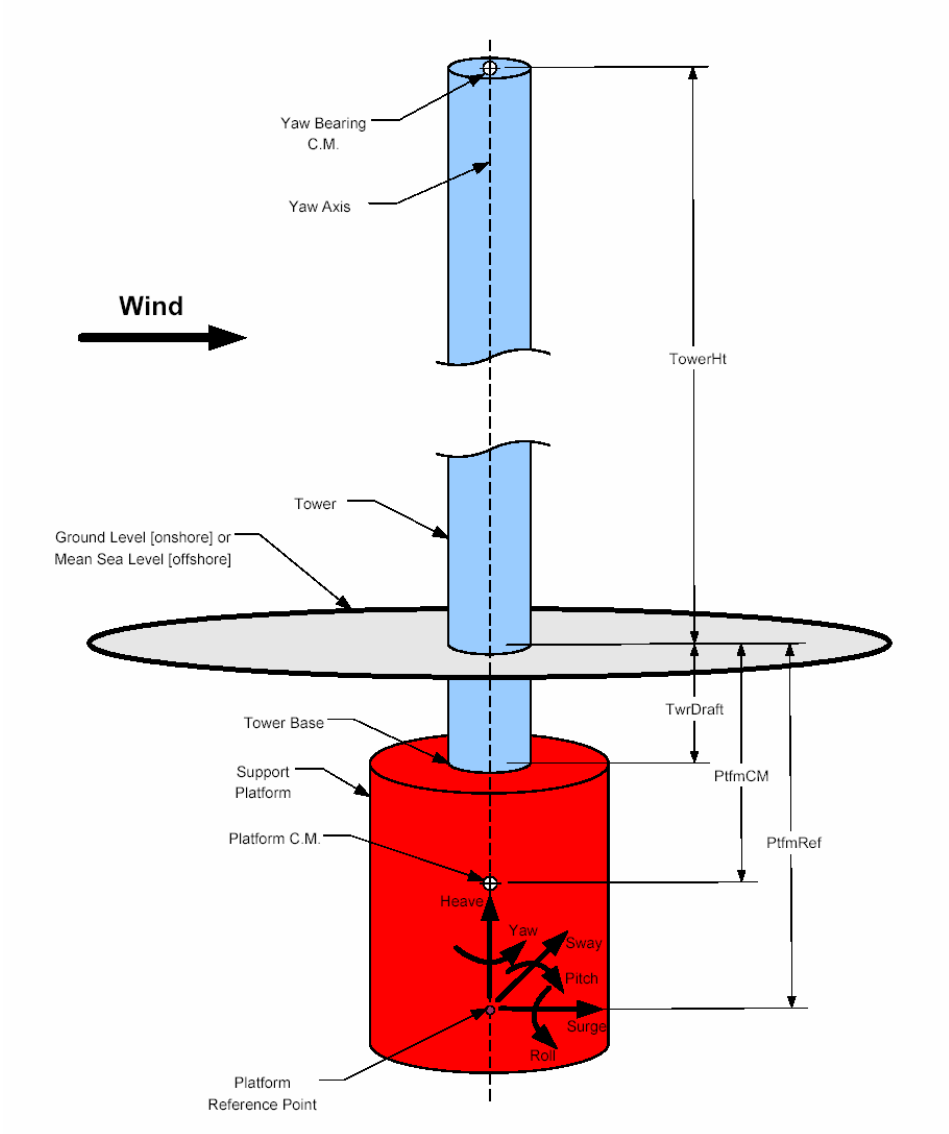
Plattformdynamikk

- Kinematikk er implementert i FAST
- Dummyrutine er tilgjengelig for å simulere plattformdynamikk
- Denne må implementeres fullt og må gi ut
  - Added mass
  - Sum av bølge-, strøm- og forankringskrefter

Notasjon, 6DOF-modell

$$\eta = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} "surge" \\ "sway" \\ "heave" \\ "roll" \\ "pitch" \\ "yaw" \end{bmatrix}$$

$$\nu = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \dot{\eta}$$



Bevegelsesligning

Generelle bevegelsesligninger for marin konstruksjon

$$(\mathbf{M}_{RB} + \mathbf{M}_A)\dot{\boldsymbol{\nu}} + (\mathbf{C}_{RB} + \mathbf{C}_A)\boldsymbol{\nu} + \mathbf{D}\boldsymbol{\nu} + \mathbf{g}(\boldsymbol{\eta}) = \mathbf{g}_0 + \mathbf{w} + \boldsymbol{\tau}$$

Added mass

Coriolis- / sentripetalmatrise
Tilsynelatende ikke brukt i FAST

Disse må helt eller delvis modelleres

Demping

”Restoring forces”
Gravitasjon og oppdrift

Bølge- og strømnings-krefter

Pådrag (styrbare krefter)

Added mass

- ”Virtuell masse”
  - Representerer trykk-induserte krefter som følge av fartøyets bevegelse
  - Behandles som navnet sier som en ”ekstramasse” som legges til konstruksjonens reelle masse

Andre krefter

- Sakte varierende krefter fra strømning
- Oscillatoriske krefter fra bølger
- Dempning
  - Overføring av energi til havet, bølgedannelse
  - Friksjonskrefter mellom vann og overflate
  - Wave drift og vortex shedding

Pådrag

- Tanken er å bruke selve vindturbinen som et pådragsorgan
- Med andre ord: styre bladene slik at bølgebevegelsene og mekaniske belastninger reduseres mest mulig

Utfordring

- Skrive egen rutine for tårn- og flyterdynamikk.
- Utvikle egne regulatorer
  - Bruke aksialkrefter på turbin til å motvirke/dempe bølgebevegelser
  - Regulere generator for å minimere belastning på drivverk
- Muligens egne modeller for generator og gir