

Effektproduktion fra den første drift med Wave Star i Nissum Bredning

Morten Kramer og Peter Frigaard



Aalborg University
Department of Civil Engineering
Water & Soil

DCE Contract Report No. 12

**Effektproduktion fra den første drift med
Wave Star i Nissum Bredning**

by

Morten Kramer og Peter Frigaard

december 2006

© Aalborg University

Scientific Publications at the Department of Civil Engineering

Technical Reports are published for timely dissemination of research results and scientific work carried out at the Department of Civil Engineering (DCE) at Aalborg University. This medium allows publication of more detailed explanations and results than typically allowed in scientific journals.

Technical Memoranda are produced to enable the preliminary dissemination of scientific work by the personnel of the DCE where such release is deemed to be appropriate. Documents of this kind may be incomplete or temporary versions of papers—or part of continuing work. This should be kept in mind when references are given to publications of this kind.

Contract Reports are produced to report scientific work carried out under contract. Publications of this kind contain confidential matter and are reserved for the sponsors and the DCE. Therefore, Contract Reports are generally not available for public circulation.

Lecture Notes contain material produced by the lecturers at the DCE for educational purposes. This may be scientific notes, lecture books, example problems or manuals for laboratory work, or computer programs developed at the DCE.

Theses are monographs or collections of papers published to report the scientific work carried out at the DCE to obtain a degree as either PhD or Doctor of Technology. The thesis is publicly available after the defence of the degree.

Latest News is published to enable rapid communication of information about scientific work carried out at the DCE. This includes the status of research projects, developments in the laboratories, information about collaborative work and recent research results.

Published 2006 by
Aalborg University
Department of Civil Engineering
Sohngaardsholmsvej 57,
DK-9000 Aalborg, Denmark

Printed in Denmark

DCE Contract Report No. 12

Forord

Dette skrift sammenfatter de første måledata for effektproduktionen fra Wave Star i Nisum Bredning. Rapportering er foretaget på foranledning af Per Resen Steenstrup, administrerende direktør i Wave Star Energy.

Kontakt vedr. rapport udført af Aalborg Universitet:

Morten Kramer Sohngaardsholmsvej 57 9000 Aalborg Tlf. 96357230 Fax 98142555 E-mail: mkr@civil.aau.dk Web: www.civil.aau.dk
--

Kontakt vedr. Wave Star kan rettes til den administrerende direktør:

Per Resen Steenstrup Wave Star Energy Maglemosevej 61 DK-2920 Charlottenlund Tlf: +45 3940 4696 Fax: +45 3940 4697 E-mail: info@WaveStarEnergy.com Web: www.wavestarenergy.com

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	7
1.1	Afsluttede forsøg med skala 1:40 maskine på AAU	7
1.2	Planlagt maskine i skala 1:2 til Horns Rev	7
2	Konklusion	7
3	Rådata for produktion og bølger i Nissum Bredning.....	8
3.1	Detaljeret beskrivelse af måledata	8
4	Sammenhæng mellem bølger og produktion	9
5	Produktion for maskiner i større skala	11
6	Litteraturliste	12

1 Indledning

Skala 1:10 prototypen af Wave Star har i skrivende stund været i drift i knap 6 måneder (den 1/7 til den 20/12 - 2006) i Nissum Bredning. Fokus i hovedparten af den forgangne periode har været på sikkerhed, rutiner og driftsstabilitet. Den aktuelle effektproduktion er fundet sted med en uoptimeret styringsstrategi for anlægget, hvorfor det præsterede effekt-niveau er lavere, end hvad der forventes ved anvendelse af en mere optimal styring og regulering af maskinen.

Den 6/12 2006 blev maskinen omstillet til at køre i passiv drift uden nogen aktiv form for styring af de hydrauliske ventiler. Herved opnåede maskinen realistiske produktionstal. Nærværende notat beskriver produktionen siden maskinen blev omstillet til passiv drift.

1.1 Afsluttede forsøg med skala 1:40 maskine på AAU

Forud for maskinen i Nissum Bredning blev der udført omfattende modellforsøg på Aalborg Universitet (AAU) med en skala 1:40 model af Wave Star. Resultaterne af disse modellforsøg kan skaleres op, hvorved de i nærværende notat anvendes til sammenligning med produktionen fra maskinen i Nissum Bredning. Modellforsøgene findes beskrevet i detaljer i bl.a. Kramer *et al.* (2004), Kramer (2005) og Kramer og Andersen (2005).

1.2 Planlagt maskine i skala 1:2 til Horns Rev

Havområdet ved Horns Rev havvindmøllepark er, pga. tilslutningsmulighederne for el, egnet til udbygning med et eller flere demonstrationsanlæg baseret på bølgekraft, se Sørensen *et al.* (2005). Der foretages i skrivende stund detaljerede undersøgelser vedr. placering af den næste skala 1:2 maskine af Wave Star på lokaliteten, se Kramer (2006). Resultaterne fra maskinen i Nissum Bredning skaleres i nærværende notat op, hvorved den forventede produktionen fra en maskine i større skala ved Horns Rev estimeres.

2 Konklusion

Nærværende konklusion underbygges af beskrivelserne i de efterfølgende kapitler.

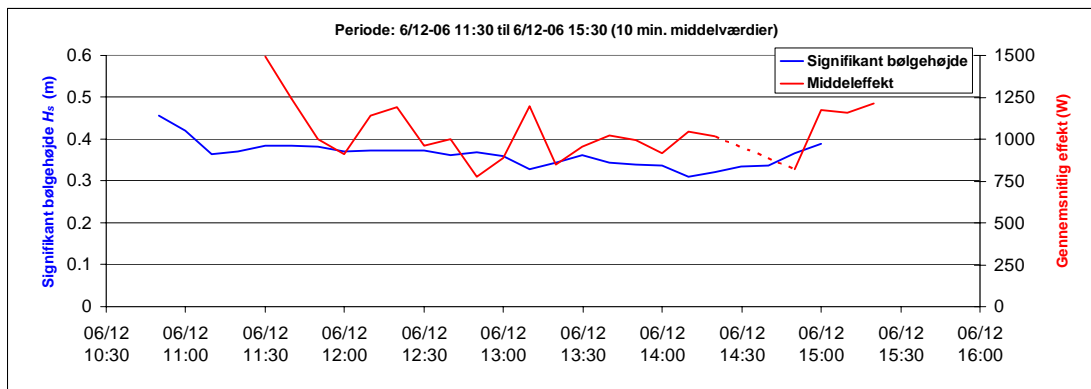
Effektproduktionen fra Wave Star afhænger især af bølgeklimaet (bølgehøjde, -periode og -retning) og styringen/reguleringen af maskinen, hvorfor der er nogen spredning på de målte data. Målingerne i Nissum Bredning bekræfter generelt produktionstallene målt i skala 1:40 modellforsøgene udført på Aalborg Universitet. Der er generelt god overensstemmelse mellem forventningskurven for effektproduktionen og måledata fra både Nissum Bredning og skala 1:40 modellforsøgene.

En maskine placeret på Horns rev baseret på et tilsvarende power take-off med hydraulik-cylindre som maskinen i Nissum Bredning, kan forventes at yde 500 kW i bølger med signifikant bølgehøjde på 2,5 m.

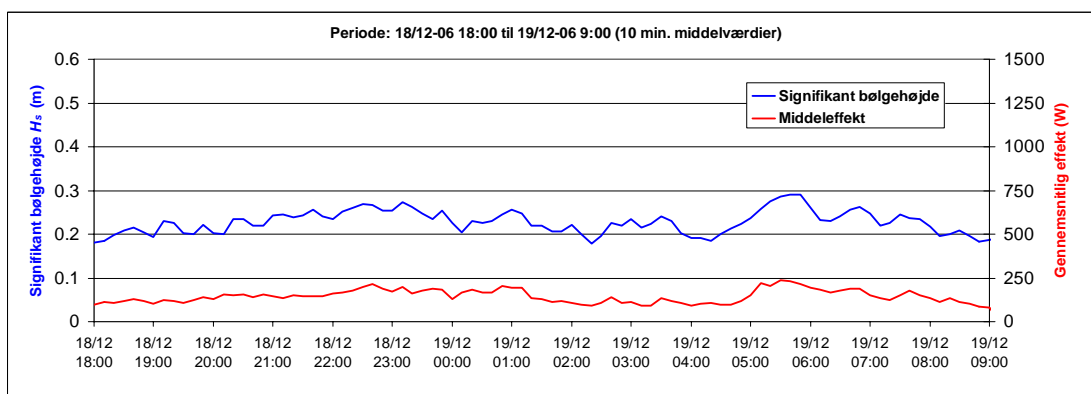
Generelt kan det forventes at opnå højere produktionstal gennem mere optimal styring og regulering. Gennem optimering af styrings og reguleringsstrategier for anlægget kan effektproduktionen forventes at kunne blive væsentligt højere (et kvalificeret gæt baseret på opførslen af lignende systemer er 30 – 80 %), end det som er præsenteret i dette skrift. Fokus i de kommende år er rettet mod optimering af effektproduktionen.

3 Rådata for produktion og bølger i Nissum Bredning

Maskinen var i drift den 6/12 fra kl. 11:30 til 15:30 i forholdsvis store bølger med signifikante bølgehøjder på 30 cm til 40 cm, se Figur 1. Pga. elektriske problemer med konverteren blev maskinen først sat i drift igen den 18/12 kl. 15:00. Mellem den 18/12 og 19/12 producerede maskinen effekt i forholdsvis små bølger med signifikante bølgehøjder mellem 10 cm og 30 cm, se Figur 2.



Figur 1. Eksempel på bølger og effektproduktion i Nissum Bredning 6/12 - 2006, 10 min. middelværdier.



Figur 2. Eksempel på bølger og effektproduktion i Nissum Bredning 18/12 til 19/12 - 2006, 10 min. middelværdier.

Maskinen har været i drift i en relativt kort periode, men driften har omfattet både små og store bølger. De præsenterede produktionstal vurderes at være repræsentative for anlæggets virkemåde, omend disse er påvirket af statistisk usikkerhed pga. den korte måleperiode.

3.1 Detaljeret beskrivelse af måledata

Eftersom korrekt beskrivelse af bølgeklimaet og effektproduktionen er af afgørende betydning, måles og analyseres disse med stor præcision og nidkærhed.

Bølger

Bølgerne måles gennem online omregning af målinger fra en tryksensor placeret under vandspejlet foran maskinen. Trykmålingerne køres gennem et digitalt filter, hvorudfra variationerne i vandspejlet beregnes. Filtret tager korrekt hensyn til bølgefrens og midelvandstanden efter 1. ordens bølgeteori. Vandstandsvariationerne analyseres løbende on-

line ved nul-krydsningsanalyse. Signifikant bølgehøjde H_s anvendes i dette dokument til karakterisering af bølgetilstanden. H_s er beregnet med tidsdomæneanalyse som en løbende værdi filtreret med et 1. ordens IIR filter med en pol i 0.999 ($T_s = 200$ ms). Dette svarer nogenlunde til en 5-10 minutters midling.

Der logges en ny værdi for H_s , hver gang en ny bølge har passeret tryksensoren.

Bølgerne beregnet ud fra tryksensoren er kontrolleret flere gange vha. kontrolmålinger med en specialbygget resistiv bølgemåler fra Aalborg Universitet med høj præcision og nøjagtighed. Der er fundet god overensstemmelse mellem de to uafhængige målinger, og bølgeangivelserne vurderes generelt at være stabile og præcise.

Effektproduktion

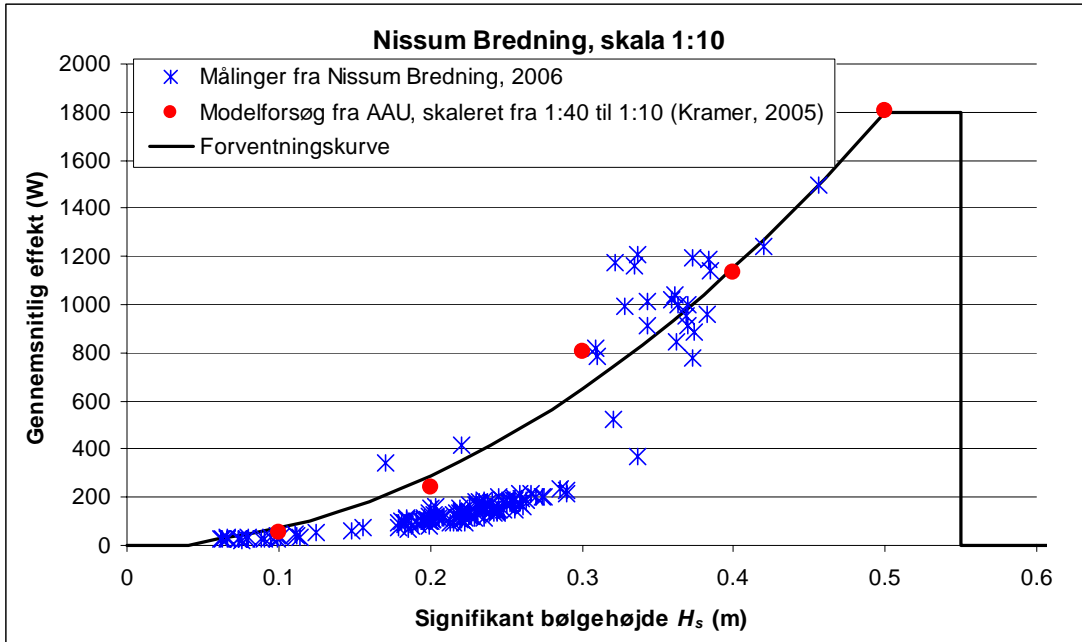
Effektproduktionen måles flere steder på maskinen, men i dette skrift beskrives produktionen udelukkende ud fra summen af den effekt som flyderen leverer ind i systemet (flydrens arbejde pr. tid). Hver flyders effektbidrag kommer fra de hydrauliske cylindre, og effekten er fundet som den resulterende kraft på stemplet gange stempelhastigheden. Den resulterende kraft F er beregnet ud fra trykmålinger på forsiden P_f og bagsiden P_b af cylinderen, og beregnes som $F = P_f \cdot A_f - P_b \cdot A_b$, hvor A_f og A_b er cylinderarealet på hhv. forsiden og bagsiden af cylinderen. Stempelhastigheden er målt vha. en positionssensor (MTS-sensor) på alle hydraulikcylindrene.

4 Sammenhæng mellem bølger og produktion

Ud fra skala 1:40 modelforsøgene og omfattende numeriske simuleringer af anlægget er der udarbejdet en forventningskurve for maskinen i Nissum Brednings effektproduktion. Forventningskurven er beskrevet udelukkende ud fra den signifikante bølgehøjde H_s ved følgende diskontinuerte funktion:

Effekt (W) = 0	$0.00 \text{ m} < H_s < 0.05 \text{ m}$
Effekt (W) = $7200 \cdot H_s^2$	$0.05 \text{ m} \leq H_s < 0.50 \text{ m}$
Effekt (W) = 1800	$0.50 \text{ m} \leq H_s < 0.55 \text{ m}$
Effekt (W) = 0	$0.55 \text{ m} \leq H_s$

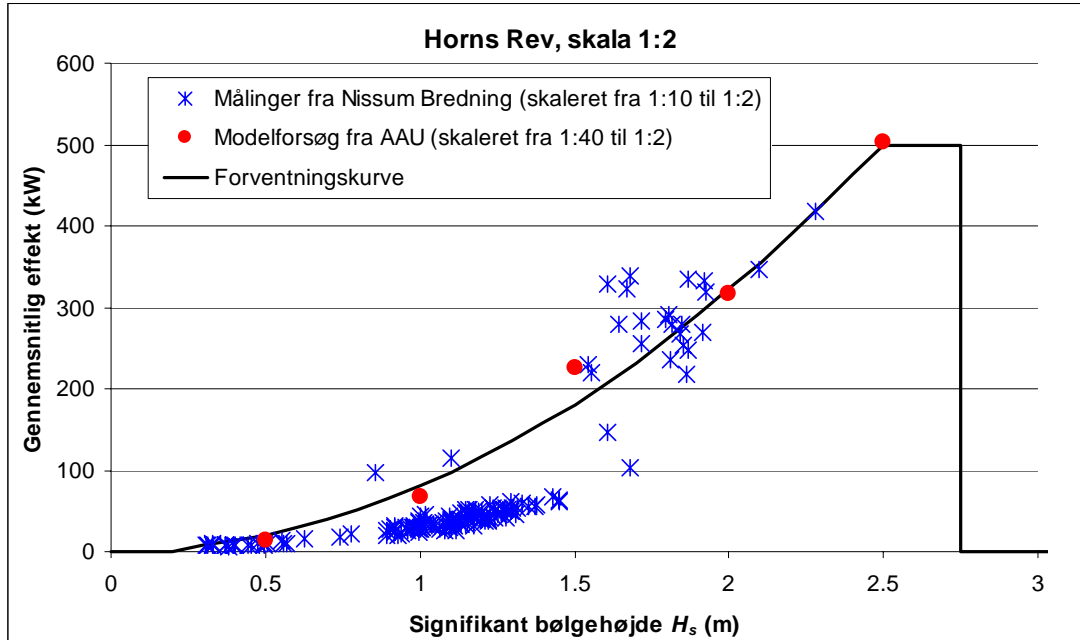
I Figur 3 er måledataene fra Nissum Bredning vist sammen med forventningskurven og måledataene fra modelforsøgene på Aalborg Universitet (AAU). Sidstnævnte er skaleret fra skala 1:40 til 1:10 vha. Froudes modellov, således sammenligning er mulig. Det fremgår af figuren, at resultaterne fra modelforsøgene følger forventningskurven næsten præcist. Det fremgår desuden, at målingerne fra Nissum Bredning omtrent også følger forventningskurven, omend der er en del spredning på målingerne. Noget af spredningen skyldes uoptimal styring af generatoren, og en del skyldes andre fysiske forhold såsom indvirkninger af bølgeretning og bølgeperiode.



Figur 3. Sammenhæng mellem bølger og produktion for Wave Star i skala 1:10 (Nissum Bredning).

5 Produktion for maskiner i større skala

For at sætte målingerne i perspektiv, er bølgehøjder og middeffekt vist i Figur 3 omregnet til en skala 1:2 maskine vha. Froudes modellov, se Figur 4. I bølger med signifikant bølgehøjde på 2,5 m forventes maskinen at kunne producere 500 kW i gennemsnit.



Figur 4. Sammenhæng mellem bølger og produktion for Wave Star i skala 1:2 (Horns Rev).

Maskinens forventede ydelse i forskellig skala er angivet i Tabel 1.

Tabel 1. Eksempel på forventede produktionstal fra Wave Star.

Skala	Vanddybde	Længde	Flyder dia.	H_s	Effekt
1:10 (Nisum Bredning)	2 m	24 m	1 m	0.5 m	1800 W
1:2 (Horns Rev)	10 m	120 m	5 m	2.5 m	500 kW
1:1 (?)	20 m	240 m	10 m	5.0 m	6 MW

6 Litteraturliste

- Kramer, M. (2006). *Indledende undersøgelser af Wave Star lokaliteten ved Horns Rev*. ISSN 1901-726X, DCE Technical Report No. 1. Aalborg University, Department of Civil Engineering.
- Kramer, M. (2005). *Wave Star – Skala 1:40 modelforsøg, forsøgsrapport 3*. Hydraulics and Coastal Engineering No. 23. ISSN: 1603-9874. Aalborg University, Department of Civil Engineering.
- Kramer, M., Andersen, T.L (2005). *Wave Star – Skala 1:40 modelforsøg, forsøgsrapport 2*. Hydraulics and Coastal Engineering No. 14. ISSN: 1603-9874. Aalborg University, Department of Civil Engineering.
- Kramer, M., Frigaard, P., Brorsen, M (2004). *Wave Star – Foreløbige hovedkonklusioner på skala 1:40 modelforsøg*. Hydraulics and Coastal Engineering No. 12. ISSN: 1603-9874. Aalborg University, Department of Civil Engineering.
- Sørensen, H.C., Nielsen, K., Steenstrup, P.R., Friis-Madsen, E., Wigant, L. (2005). *Bølgekraftanlæg ved Horns Rev, Screening, Rapport udarbejdet for PSO ELTRA, PSO-2004: 5705*. SPOK ApS, København. ISBN: 87-988408-1-9