

Videreudvikling af bølgekraftanlægget Wave Dragon med henblik på fuldskala demonstration i Nordsøen, FASE B

Teknisk slutrapport

Energinet.dk projektnummer 2005-1-FU5304 – 6459

Februar 2011



Wave Dragon i isvinteren 2010

Rapport udarbejdet af

Erik Friis-Madsen og H. C. Sørensen
Wave Dragon ApS

Indhold

1. SAMMENFATNING	4
2. PROJEKTANSVARLIG VIRKSOMHED M.M.	5
2.1 Andre projektdeltagere	6
3. TIDSPLAN	7
4. FORSIKRING	7
4.1 Forsikring i tidligere faser af forsøgene i Nissum Bredning.....	7
4.2 Forsikring i forbindelse med Prøvestationen	7
5. RESULTATER	8
5.1 Ombygning af led inkl. hydraulisk kraftudtag	8
5.2 Udlægning ved test site 2, Odby.....	9
5.3 Bjærgning og retablering ved Helligsø Prøvestation	10
5.4 Fortsatte forsøg med prototypen i Nissum Bredning.....	11
6. FORMIDLING	12
7. FORSKNINGS- OG UDVIKLINGS STRATEGI	12
7.1 Gennemført strategi	12
7.2 Udvikling frem mod kommercialisering	13
8. REFERENCER	14
9. BILAG	15

1. Sammenfatning

Projektet er en videreførelse af et Wave Dragon forsknings- og udviklingsprojekt, hvor en prototype i skala 1:4,5 afprøves i Nissum Bredning. Formålet med dette projekt er - på baggrund af tidligere erfaringerne med Nissum Bredning-forsøgene, og på baggrund af de gennemførte design- og modeltestmæssige aktiviteter vedrørende optimering og videreudvikling bølgekraftanlægget, der muliggør etablering af fuldskala-anlæg i Nordsøen, konkret at gennemføre:

Ombygning af led

Indbygning af hydraulisk dæmpning og kraftudtag

Test af ombygget prototype

Revision af anbefalinger til dimensionering og af feasibility studie

De planlagte aktiviteter 1 og 2 blev gennemført planmæssigt og anlægget udlagt ud for Odby i den sydlige del af Nissum Bredning, hvor bølgeklimate er væsentlig hårdere end ved prøvestationen ved Helligsø, hvor anlægget lå i første test periode. På grund af en fejl dimensionering af en flangesamling, der fastholder de nye led til WD platformen, kunne der ikke udføres tests af leddene og de tilhørende hydrauliske kraftudtag. Anlæggets platform tog yderligere skade ved en stranding, som følge af svigt af 2 standard sjækler i ankersystemet.

Efter reparation og forstærkning af flangesamlingerne på Agger Værft blev anlægget genudlagt ved Helligsø Prøvestation i september 2009. Værftet var godt kendt med anlægget, idet det havde deltaget i udlægningen ved Odby, og fik derfor overdraget alle opgaver på nær el-arbejde i forbindelse med udlægningen. Under udlægningen af anlægget i fjorden begik entreprenøren imidlertid en lang række fejl, hvilket resulterede i at hydraulikcylindrene blev ødelagt og systemet derfor ikke kunne afprøves.

I marts 2010 blev anlægget revet løs fra forankringen på grund af usædvanlig svær dravis. Anlægget er på nuværende tidspunkt fortsat ikke i drift dels på grund af forsikrings spørgsmål med hensyn til reetablering af ankermast, bagankertønde og søkabelforbindelsen til prøvestationen dels på grund af en verserende retssag mellem WD og Agger Værft.

De hydrauliske kraftudtag har således indtil videre ikke kunnet afprøves, men der er alligevel høstet værdifulde erfaringer, der supplerer de gennemførte bassin-forsøg med en 1:50 model på AAU.

2. Projektansvarlig virksomhed m.m.

Wave Dragon ApS forestår udviklingen af Wave Dragon teknologien.

Wave Dragon ApS blev stiftet i 2001 med det primære formål at sikre den fortsatte udvikling af Wave Dragon teknologien frem mod kommercielle fuldskala-anlæg i MW-størrelse.

Hidtil har F&U-strategien fokuseret på en gradvis opskalering under hensyntagen til erfaringer indhøstet på hvert enkelt udviklingstrin. Således er en 1:50-modellen blevet testet ved adskillige bassinforsøg på AAU og ved HMRC i Irland. Sideløbende hermed blev en aksial turbine udviklet, og erfaringerne herfra anvendes i det nuværende 1:4,5-projekt i Nissum Bredning. I forlængelse heraf og på baggrund af de opnåede resultater blev der vedrørende den fremtidige Wave Dragon-udvikling udviklet følgende F&U-strategi:

Fase 0: PSO 2004 projekt (Eltra ref. nr. 5705). Projektet omhandler fremskaffelse af basisdata for havområdet ved Horn Rev vindmøllepark med henblik på vurdering af områdets egnethed for demonstrations/forsøgsanlæg til udnyttelse af tre udvalgte typer af bølgeenergi.

Fase 1A: Analyse og løsning af kritiske punkter fundet ved afprøvning i Nissum Bredning

Fase 1B, 2005/06: Nærværende projekt, 2005: Implementering af de fundne løsninger på 1:4,5 prototypen.

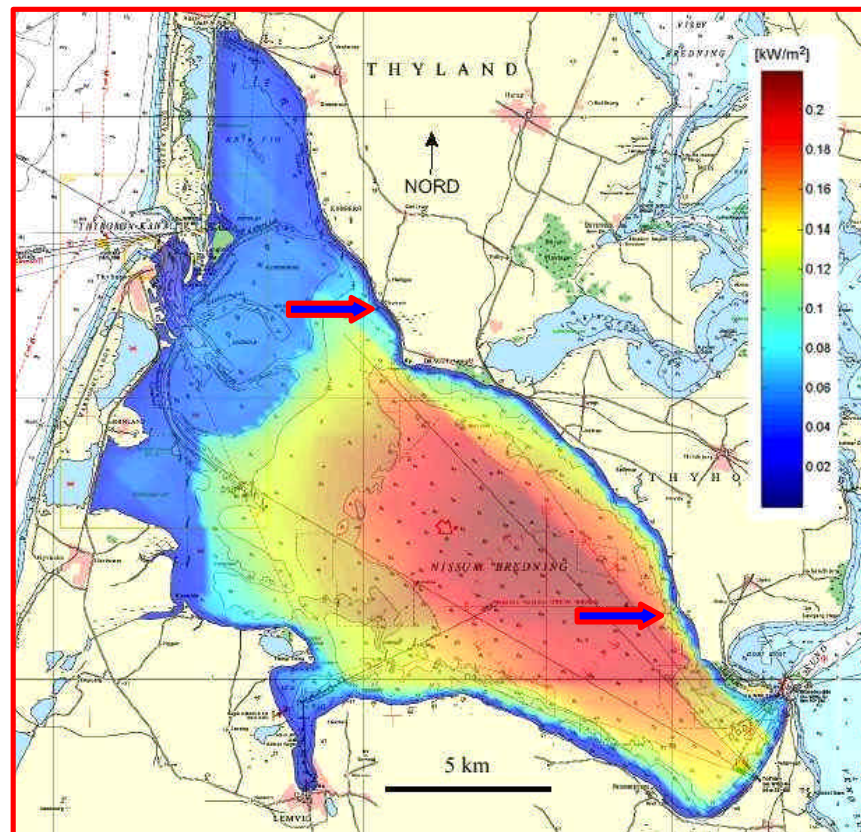
Fase 2: En demonstrationsanlæg i fuld skala forventedes afprøvet ud for Wales' kyst med projektstart i 2007.

Fase 3 og 4: Bygning og afprøvningen af en fuldskala Wave Dragon til Nordsøen med forventet søsætning i 2008.

Et beløb på 18 mil. kr. fra EU's 6. rammeprogram blev bevilget til demonstrationsanlægget, der var planlagt etableret i Danmark. På grund af vanskeligheder med finansieringen blev demonstrationsprojektet imidlertid flyttet til Wales, hvor der blev opnået tilsagn om projektstøtte på £5 mio. Projektet har indtil videre imidlertid kun kunne gennemføres for så vidt angår planlægning, herunder meget omfattende miljøundersøgelse¹ samt detailprojektering af power take off systemet.

Wave Dragon APS har efterfølgende i flere omgange søgt støttemidler herhjemme til at komme videre med et fuldskaalanlæg i Nordsøen. Det er nu endelig lykkedes at få tilsagn fra EUDP 2010-II om tilskud til første fase af et 1,5 MW Wave Dragon demonstrationsanlæg. Anlægget forventes etableret ved DanWEC i Hanstholm.

¹ Der er til gengæld tale om de til dato eneste altomfattende VVM undersøgelser på bølgeenergiområdet for et konkret demonstrations projekt.



Placeringen af Wave Dragon ved Prøvestationen, nordligste placering, og ved Odby.

2.1 Andre projektdeltagere

I dette projekt har endvidere ud over underleverandører deltaget følgende firmaer og institutioner:

Löwenmark
SPOK
Aalborg Universitet
NIRAS
BALSLEV

3. Tidsplan

Nærværende projekt skulle jævnfør den oprindelige plan have være afsluttet pr. 31. oktober 2008. Tidsplanen blev forlænget til 31. oktober 2009 på grund af uheldene ved test site 2 ud for Odby. Reparationsarbejdet på værftet i Agger trak imidlertid så længe ud at genudlægningen af anlægget ved test site 1, Prøvestationen ved Helligsø, først skete i september 2009. Det har derfor været nødvendigt at få forlænget tilladelsen til placering af anlægget ved Prøvestationen. Tilladelsen løber nu til medio 2012.

4. Forsikring

4.1 Forsikring i tidligere faser af forsøgene i Nissum Bredning

Markedet for forsikring havde været meget usikkert siden 11. september 2001. En række uheld med kabler på de første offshore vindmølleparker gav yderligere problemer med at opnå reassurance. Det var derfor meget usikkert, om der overhovedet kunne opnås forsikringsdækning af Wave Dragon efter udlægningen i Nissum Bredning. Trods dette lykkedes det i første omgang at opnå en favorabel forsikringsaftale gennem mæglerfirmaet *AON Denmark* med *IF Forsikring*. Der blev indgået en kaskoforsikring med en dækning på 8 mil. kr. med en årlig præmie på 50.000 kr. og en ansvarsforsikring i henhold til sølovens regler, dog maks. 7,5 mio. kr., med en årlig præmie på 7.000 kr.

Efter 1 år blev forsikringen opsagt, da *IF Forsikring* ikke længere ønskede at være aktive inden for dette forsikringsområde. Ud over *AON Denmark* søgte vi at få etableret en forsikring gennem et par engelske forsikringsmæglere. Tilbuddene var imidlertid af en størrelsesorden, hvor vi ikke havde mulighed for at betale, ligesom vi også fandt dem prohibitive i forhold til værdien af Wave Dragon. Det aftaltes derfor, at ejerskabet af Wave Dragon overgik til Aalborg Universitet allerede pr. 1. april 2004, hvorved forsikringen blev overtaget af universitetet. Overtagelsen af Wave Dragon før oprindeligt planlagt (udgangen af projektperioden) havde endvidere den fordel, at det var muligt for Laboratoriet at opnå ekstra bevillinger til internt brug i projektet.

4.2 Forsikring i forbindelse med Prøvestationen

I nærværende projekt blev der via forsikringsmæglerfirmaet Willis I/S igen tegnet en forsikring hos *IF Forsikring*. Denne gang var der kun tale om en ansvarsforsikring. Til gengæld dækkede forsikringen op til 25 mio. kr. Selvriskoen var 25.000 kr. og den årlige præmie 11.000 kr. Dækningen var således lang højere end eksempelvis krævet for udlægning ved Nordisk Folkecenters Prøvestation.

I marts 2010 blev anlægget revet løs fra forankringen på grund af usædvanlig svær drivis. De skader der herved skete på Prøvestationens ankermast, bagankertønde og søkabelforbindelsen, blev af forsikringsselskabet imidlertid afvist som faldende ind under forsikringsdækningen. Der foreligger en længere korrespondance med såvel forsikringsmæglerselskabet og forsikringsselskabet i denne sag, og konklusionen blev, at det er temmelig udsigtsløst at forfølge sagen f.eks. ved Forsikringsankenævnet. Dette indebærer, at det i praksis formentlig ikke vil være muligt at tegne en forsikring med en dækning som krævet i den foreliggende ”standardkontrakt” for afprøvning ved Prøvestationen. Meldingen fra forsikringsselskabet er således, at ejeren af Prøvestation selv skal etablere forsikringsdækning for at afdække risikoen for skader på Prøvestationen eksempelvis som følge af drivis.

Det må derfor vurderes, at forsikringsforhold er et område, der bør påkalde sig bevågenhed, da mangel på ”fornuftig forsikring” kan forhindre den videre udvikling af anlæg i retning til fuld skala. Specielt i relation til Prøvestationen kan kravet om forsikringsdækning alternativt garantistillelse for enhver skade uanset årsag være blokerende for nye afprøvninger. Der er faktisk igangværende/påtænkte afprøvninger af mindst 3 andre danske anlæg i skala passende for produktionstests ved Prøvestationen, som ikke vil blive afprøvet her. Dette må anses som et alvorligt problem, idet bølgeforhold m.v. ved Prøvestationen nu er registreret gennem en længere årrække, således at der foreligger et godt grundlag for sammenlignende tests af forskellige bølgekraftkoncepter. De relativt gunstige forhold ved Prøvestationen har faktisk tjent som forbillede for internationale bestræbelser for at fremme udviklingen af bølgeenergianlæg. Det er derfor yderst uheldigt, hvis Prøvestationen, der som bekendt er etableret for offentlige forskningsmidler, ikke vil blive anvendt i et omfang som oprindeligt forudsat på grund af uafklarede forsikringsforhold.

5. Resultater

5.1 Ombygning af led inkl. hydraulisk kraftudtag

Inden projektet blev bevilget, var der udført en del forsøg på en modificeret udgave af den originale 1:50 model. Forsøgene blev udført på AAU – se referencerne /1/ og /2/. Forsøgene vist bl.a., at der kunne forventes en effekt på op til 800 kW i hvert hydraulisk kraftudtag for et fuldskalanlæg, der er 4,5 gange størrelsen af prototypen – denne anlægsstørrelse forventes at have en installeret turbineeffekt på op til 4 MW.

Forsøgene i AAU’s test bassin blev fulgt op af forsøg i efteråret 2005 – se reference /3/. De supplerende forsøg viste, at det sikkert er hensigtsmæssigt at benytte en ganske kraftig dæmpning af reflektorerne - også kaldet vingernes rullende bevægelser i kugleledet, idet store bevægelser formindsker vingernes effekt med hensyn til

overtopping mere end den energi, der vil kunne høstes i de hydrauliske kraftudtag. Forsøgene viste, at en gennemsnitlig effekt i fuld skala på mere end 100 kW fra vingerne kan opnås i 5 m signifikant bølgehøjde selvom bevægelserne dæmpes ganske kraftigt. Dæmpningen i forsøgene var så kraftig, at vingerne lå helt stille i bølger op til 2 m.

I efteråret 2007 blev der udført nye opskylsforsøg på 1:50 modellen på AAU. Forsøgene bekræftede blandt andet, at størrelsen af vingernes bevægelser i roll har væsentlig betydning for opskyttet – se reference /4/.

Wave Dragons vinger blev modificeret hos Promecon i Fredericia. Nye konstruktionsdele i forbindelse med de nye led blev monteret på WD platformen på Agger Værft. Kugleleddene med vandtætte gummibælge blev afprøvet og monteret på reflektorerne af Promecon inden udlægningen. Der henvises i øvrigt til oversigtstegningen, bilag 1.

5.2 Udlægning ved test site 2, Odby

Platformen blev lagt ud ved Odby i foråret 2006. Kort tid efter at vingerne var påmonteret platformen, se fotonotat bilag 2, rev disse sig løs og måtte bugseres i havn i Agger for inspektion og reparation. Havariet viste sig at skyldes en alvorlig underdimensionering af de boltede flangesamlingerne mellem platformen og de nye kugleled. Uden nærmere forklaring fra rådgiveren på denne del af opgaven var samlingen blevet reduceret i dimension til en styrke på mindre end 1/3 af det oprindeligt foreslåede design. Konstruktionen blev forud for genudlægningen forstærket som vist på tegningen, bilag 3.

I perioden frem til marts 2007 lå platformen uden vinger, men der blev i perioden indsamlet mange nyttige data vedrørende overtopping. Der var i perioden adskillige storme, hvorunder det blev konstateret, at Wave Dragon platformen lå stabilt og i øvrigt opførte sig tilfredsstillende.

Omkring årsskiftet 2006-2007 mistedes el-forbindelsen til anlægget og dermed også den løbende overvågning via internetforbindelsen. Dette skyldes, at masten over ankerblokken, hvorpå samleboksene for søkablet er monteret væltede. Det har ikke været muligt med sikkerhed at fastlægge årsagen hertil, men meget tyder på, at en kombination af overbelastning af flangesamlingen mellem masten og ankerbøtten under flytningen fra test site 1 til test site 2 i forbindelse med svækkelse af boltene på grund af korrosion var årsagen til havariet. Det kan dog ikke udelukkes, at et fartøj har ramt masten uden at indberette dette.

På trods af den manglende strøm på anlægget, hvilket har umuliggjort reguleringen af anlæggets flydeposition, der sker ved luftindblæsning i de åbne kamre under platformen, klarede anlægget sig godt gennem adskillige voldsomme storme i vintermånederne, hvor bølgehøjderne i skalaen rimeligvis har nået, hvad der svarer til designbølgehøjden (6 mHs) ud for Hanstholm.

Platformen viste sig således sødygtigt under alle forhold, men i den sidste af vinterens kraftige storme i marts måned svigtede begge ankerforbindelser mellem platformen og hovedankerbøjen. Anlægget rev sig derfor løs og drev op på standen tæt ved ilandføringen af kabelforbindelsen. Årsagen til havariet er ikke brud i de to ankertove – disse er af stål og dimensioneret således, at et enkelt af tovene er tilstrækkelig til at forankre anlægget. Det er stålsjæklerne, som ståltovene er fastgjort med, der har svigtet på grund af korrosion af de stålsplitter, der skulle sikre møtrikkerne i sjæklerne mod at gå løs. Vi har i de forløbne fire år i flere tilfælde konstateret korrosion af sådanne sikringsplitter. Af samme grund blev der ved genudlægningen af anlægget i april 2006 foreskrevet anvendt rustfri splitter. Nogle af de leverede splitter har imidlertid vist ikke at være af den foreskrevne kvalitet. Ved genudlægningen ved Prøvestationen blev der taget højde herfor, idet alle sjækler sikredes ved svejsning.

5.3 Bjærgning og retablering ved Helligsø Prøvestation

I foråret 2008 gav Energinet.dk tilsagn om en tillægsbevilling til bjærgning og retablering af anlægget ved Prøvestation Helligsø, og i maj blev platformen bugseret til Agger Værft for reparation. Det var planen at genudlægge anlægget allerede i efteråret 2008, men reparationsarbejdet gik så trægt, at det ikke viste sig muligt inden vinterens komme. Reparationsarbejdet trak faktisk ud så længe, at anlægget først kunne genudlægges ved Prøvestationen i slutningen af september 2009. Agger Værft havde deltaget i udlægningen ved Odby; værftet blev således anset for kvalificeret og tilstrækkelig kompetent til at klare genudlægningsopgave. Værftet fik derfor overdraget alle opgaver på nær el-arbejde i forbindelse med udlægningen. Under udlægningen af anlægget i fjorden begik denne hovedentreprenør imidlertid en lang række fejl alvorlige fejl, hvilket resulterede i at hydraulikcylindrene blev ødelagt og det hydrauliske system derfor slet ikke kunne afprøves. Det viste sig ikke muligt at formå Agger Værft til at reparere de forvoldte skader på anlægget herunder at levere, montere og idriftsætte det hydrauliske system.

Vinteren 2009 – 2010 var meget hård - se forsidefoto, og anlægget var i flere perioder helt fastfrosset. Der skete imidlertid ingen synlig skader herved. Til gengæld skete der i marts 2010 det uheldige, at meget store isflager, der blev anslået til at være op til 1 x 0,5 km med en tykkelse af 0,5 m, drev ned langs kysten fra den nordlige del af bredningen. En sådan flage ramte anlægget, hvorved det blev sat på grund på kysten nogle hundrede meter sydøst for Prøvestationen. Det skal i den forbindelse bemærkes, at det af økonomiske årsager ikke er muligt at dimensionere nogen former for offshore bølgekraftanlæg til at kunne tåle drivis af selv beskeden tykkelse. Ikke mindst for mindre anlæg af bøjetyper vil isdannelse på udlægningsstedet være katastrofalt. Der planlægges i øjeblikket et meget stort svensk anlæg bestående af adskillige hundrede bøjer i Kattegat tæt ved den svenske kyst. Vi har derfor på en international konference i oktober 2010 advaret mod etablering af bølgekraftanlæg i farvande, hvor is kan forekomme. Dette vil selvsagt altid være et problem i forbindelse med forsøg i Nissum Bredning, derfor skal forsøg med flydende anlæg så vidt muligt planlægges at kunne afsluttes inden vintersæsonen.

Wave Dragon prototypen er på nuværende tidspunkt fortsat ikke i drift dels på grund af de omtalte forsikringsmæssige spørgsmål med hensyn til reetablering af ankermast, bagankertønde og søkabelforbindelsen til prøvestationen dels på grund af en verserende retssag mellem WD og Agger Værft. Der foreligger et stort dokumentationsmateriale i sagen WD-Agger Værft. En del af dette indgår som bilag 4, 5 og 6 til denne rapport, idet der heraf kan udtrages nyttig viden vedrørende de praktiske vanskeligheder ved arbejde på vandet. Idet sagen endnu ikke er afgjort ved retten gøres opmærksom på, at dette bilagsmateriale indtil videre ikke må offentliggøres!

Der er for os ingen tvivl om, at der i budgetter for udviklingsarbejde, der involverer større operationer til søs bør være afsat væsentlige beløb til uforudsigelige udgifter. Det er imidlertid ikke let at få accepteret en sådan post i forsknings- og udviklingsbudgetter - formentlig fordi der ikke foreligger et tilstrækkeligt erfaringsmateriale, der kan dokumentere nødvendigheden heraf. Dette er efter vores erfaring ikke blot et problem for danske forskningsprojekter – det gælder i mindst lige så høj grad for projekter støttet under EU's forsknings-rammeprogrammer!

Status for prototypeprojektet i Nissum Bredning er således, at de hydrauliske kraftudtag indtil videre ikke har kunnet afprøves i drift, men det kan konkluderes, at der alligevel er høstet værdifulde erfaringer, der supplerer de i flere omgange gennemførte bassinforsøg med en 1:50 model på AAU.

5.4 Fortsatte forsøg med prototypen i Nissum Bredning

Uventet store drifts- og vedligeholdelsesomkostninger inden for offshore vindbranchen har rettet fokus herimod inden for bølgekraft. Ikke mindst det forhold, at bølgekraftanlæg er udsat for en markant påvirkning fra bølgeslag flere millioner gang pr. år, har betydet, at potentielle investorer stiller spørgsmål til de forventede drifts- og vedligeholdelsesomkostninger, der netop ofte er beregnet ud fra erfaringer fra vindkraftsbranchen. Viden herom findes ikke, først og fremmest fordi der ikke findes anlæg, der har tilstrækkelig lang produktionstid under driftslignende forhold. En anden årsag er, at der endnu ikke findes etableret realistiske afprøvningsfaciliteter til simulering heraf. Wave Dragon ApS har derfor i 2010 PSO programmet søgt og opnået tilsagn om støtte fra ForskVE programmet til fortsatte forsøg med Wave Dragon prototypen frem til sommeren 2012. Herved forventes indhøstet vigtige erfaringer bl.a. med hensyn til holdbarhed af materiale og konstruktioner under realistiske driftsforhold.

Der var ikke i planlægning og budgetter i de tidligere forsøg med prototypen forudsat en daglig overvågning ud over, hvad der kunne foregå ved anvendelse af de monterede web kameraer. Erfaringen har imidlertid vist, at det herudover er nødvendigt med relativt hyppige inspektioner på stedet. Det er således erfaringen fra adskillige års forsøg med anlægget, at en ugentlig inspektion er nødvendig for at sikre mod uventede hændelser og tilfældigt nedbrud af forsøgsudstyr. For de fortsatte forsøg planlægges derfor, at Wave Dragon ApS bistået af en lokalt bosat driftsleder mindst anvender en

dag om ugen til opfølgning af sikkerhedsmæssige forhold og vedligeholdelse af måleinstrumenter. Det er endvidere vurderet nødvendigt for sådanne prototypeforsøg, at der foretages mere formelle drifts- og vedligeholdelse eftersyn hvert kvartal for at sikre, at data opsamles systematisk, selv om målet på længere sigt er, at den type eftersyn kun foretages én gang årligt.

6. Formidling

Wave Dragon var det første offshore baserede bølgekraftanlæg, der blev sluttet til el-nettet. Samtidigt er det et af de få offshore bølgekraftanlæg af en væsentlig fysisk størrelse, der har været udsat for afprøvning i havet. Der har derfor været meget stor medie interesse om anlægget dels fra fagpresse og dels fra offentligheden i almindelighed. Vi registrerer løbende tekniske rapporter, conferenceartikler samt omtale i avis- og magasinartikler, radio og TV.

Der har på grund af de indtrufne uheld og de derfor manglende testresultater i sagens natur ikke været større PR aktiviteter vedrørende den nye ledforbindelse med kraftudtag. Wave Dragon har imidlertid fortsat fået megen omtale i medierne. Der har været mange indlæg om projektet på møder og konferencer. En Excel fil bilagt slutrapporten oplister de fleste publikationer m.v. - p.t. i alt 304 poster. Den vedlagte fil er ikke helt opdateret, men indeholder dog det for nærværende rapport væsentligste materiale.

7. Forsknings- og udviklings strategi

7.1 Gennemført strategi

Wave Dragon ApS har gennemført en række modelforsøg og forsøg med pilotanlæg i Nissum Bredning for at bringe konceptet frem mod kommercialisering. Wave Dragon ApS blev stiftet i 2001 med det primære formål at sikre den fortsatte udvikling af Wave Dragon teknologien frem mod kommercielle fuldskala-anlæg i MW-størrelse.

F&U-strategien har fokuseret på en gradvis opskalering under hensyntagen til erfaringer indhøstet på hvert enkelt udviklingstrin. Således er en 1:50-model blevet testet og videreudviklet i offshore bassinet på Aalborg Universitet og University College of Cork gennem flere år, og sideløbende hermed blev en højeffektiv og robust aksial turbine udviklet i samarbejde med Technical University of Munich. Erfaringerne herfra anvendes i det nuværende 1:4,5-projekt i Nissum Bredning, der har opnået verdens hidtil længste driftsperiode – mere end 20.000 timer - for et flydende nettilsluttet bølgekraftanlæg. En udmærket oversigt over de opnåede resultater findes i reference /5/.

7.2 Udvikling frem mod kommercialisering

Det er derfor nu et naturligt led i kommercialiseringen, at etablere et egentligt demonstrationsanlæg i Nordsøen. Vi har i en årrække arbejdet parallelt med muligheden for at etablere et demonstrationsanlæg i Wales, hvor der som tidligere nævnt, er indsendt ansøgning om miljøgodkendelse. For at kunne opnå tilsagn om finansiering af fuldskalaanlæg af MW klasse, har det vist sig nødvendigt at dokumentere, at Wave Dragon anlæg uden teknisk vanskelighed kan skaleres op til fuld skala og certificeres af et klassifikationsselskab. Uanset et noget beskedent bølgeklima i forhold til eksempelvis det Irske hav, vurderes det lettere at finde finansiering til et mindre dansk WD projekt end til det foreslåede 7 MW projekt i Wales.

Wave Dragon APS har derfor i flere omgange søgt støttemidler herhjemme til at komme videre med et fuldskalaanlæg i Nordsøen. Det er nu efter en del forsøg lykkedes at få tilsagn fra EUDP 2010-II om tilskud til første fase af et 1,5 MW Wave Dragon demonstrationsanlæg. Anlægget forventes etableret ved DanWEC i Hanstholm.

8. Referencer²

/1/ Tedd, J., Kofoed, J.P., Wave Basin Testing of Ball Joint between Wave Dragon Platform and Wave Reflectors, AAU HCE report No. 20, May 2005

/2/ Tedd, J., Gilling, L., Kofoed, J.P., Model Testing of Forces in the Reflector Joint and Mooring Forces on Wave Dragon. AAU HCE report No. 27, July 2005

/3/ Tedd, J., Kofoed, J.P., Model Testing of Hydraulic Damping of the Reflector Joint on Wave Dragon. AAU HCE report No. 33, December 2005

/4/ Borgarino, B., Kofoed, J.P., Tedd, J., Experimental oertopping investigation for the Wave Dragon / effects of reflectors and their attachments, DCE Technical Report No. 37, September 2007

/5/ Tedd, J., Testing, Analysis and Control of Wave Dragon, Wave Energy Converter, ISSN 1901-7294 PhD Thesis, AAU DCE Thesis No. 9, October 2007October 2007

² Referencematerialet er tilgængeligt i pdf-format – kontakt venligst Wave Dragon ApS.

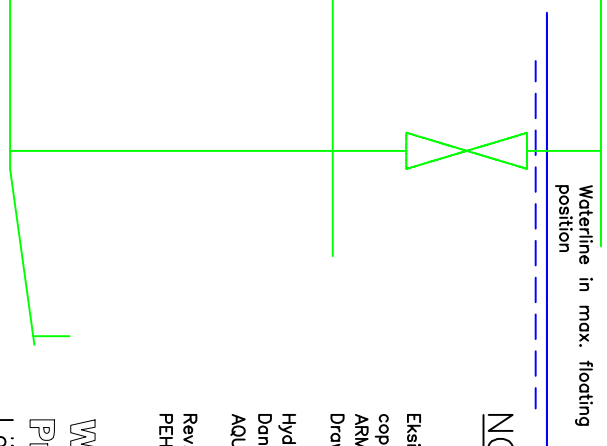
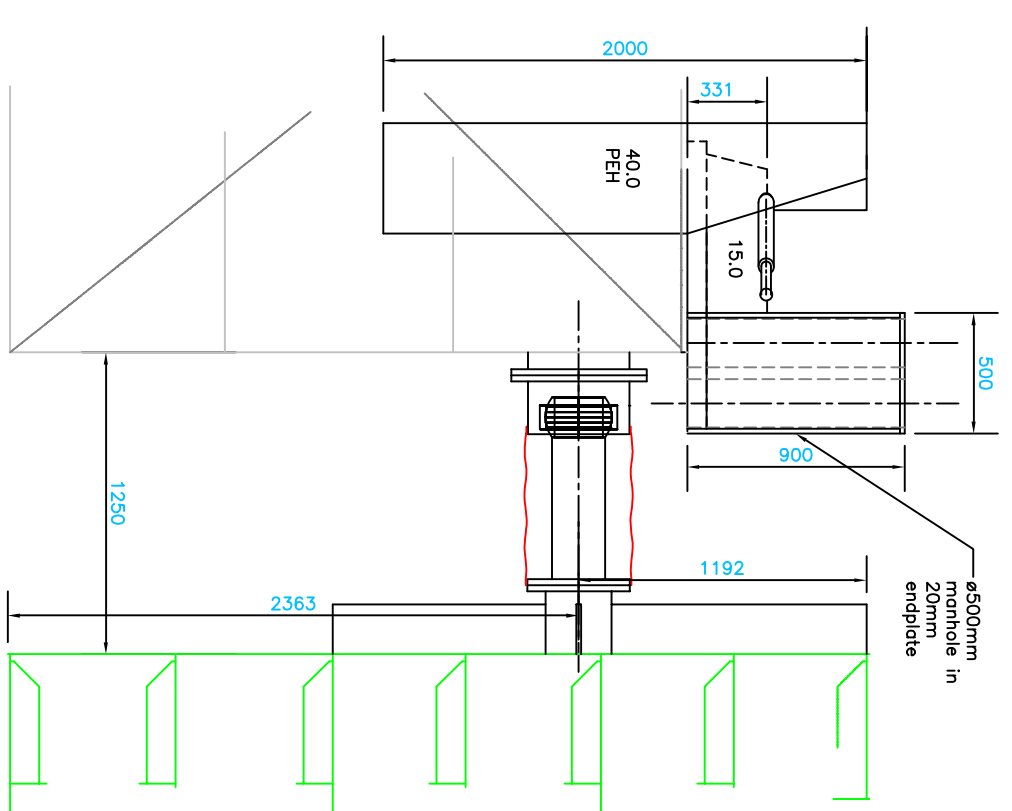
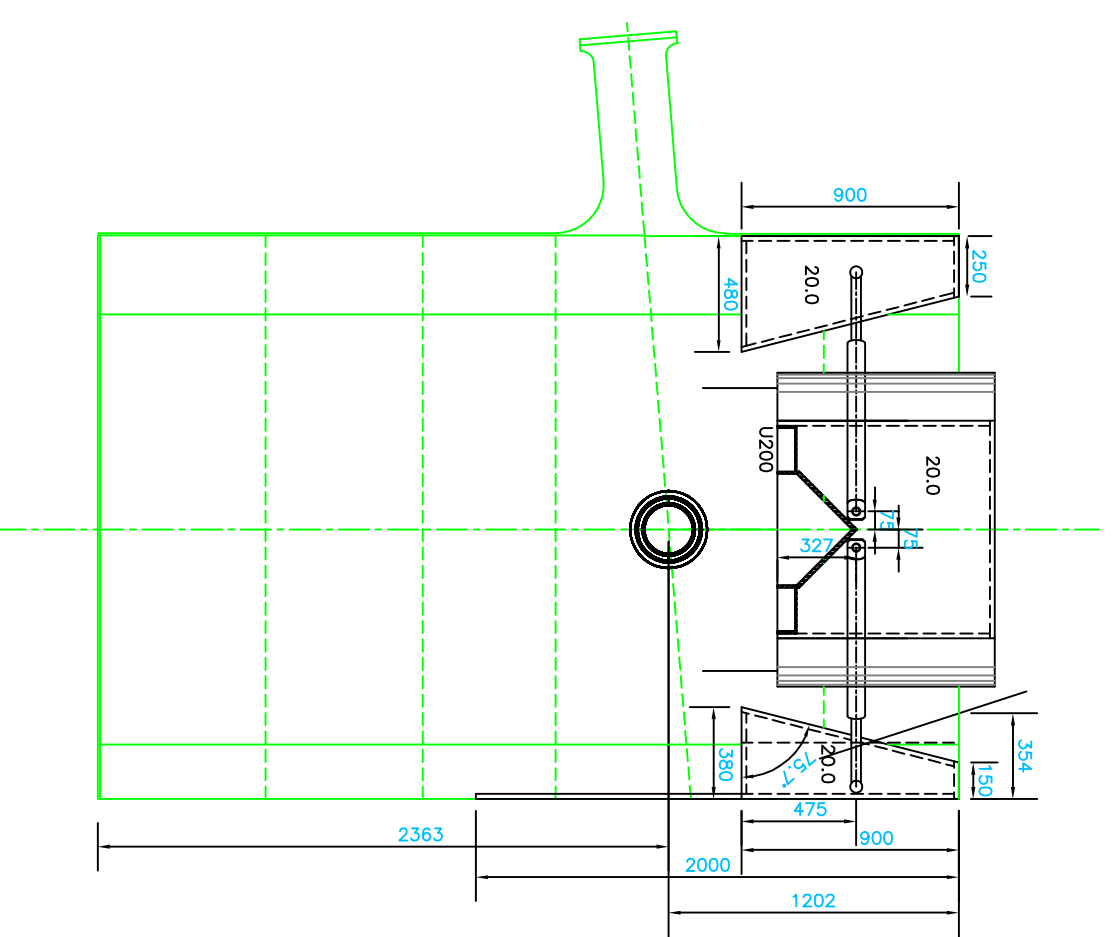
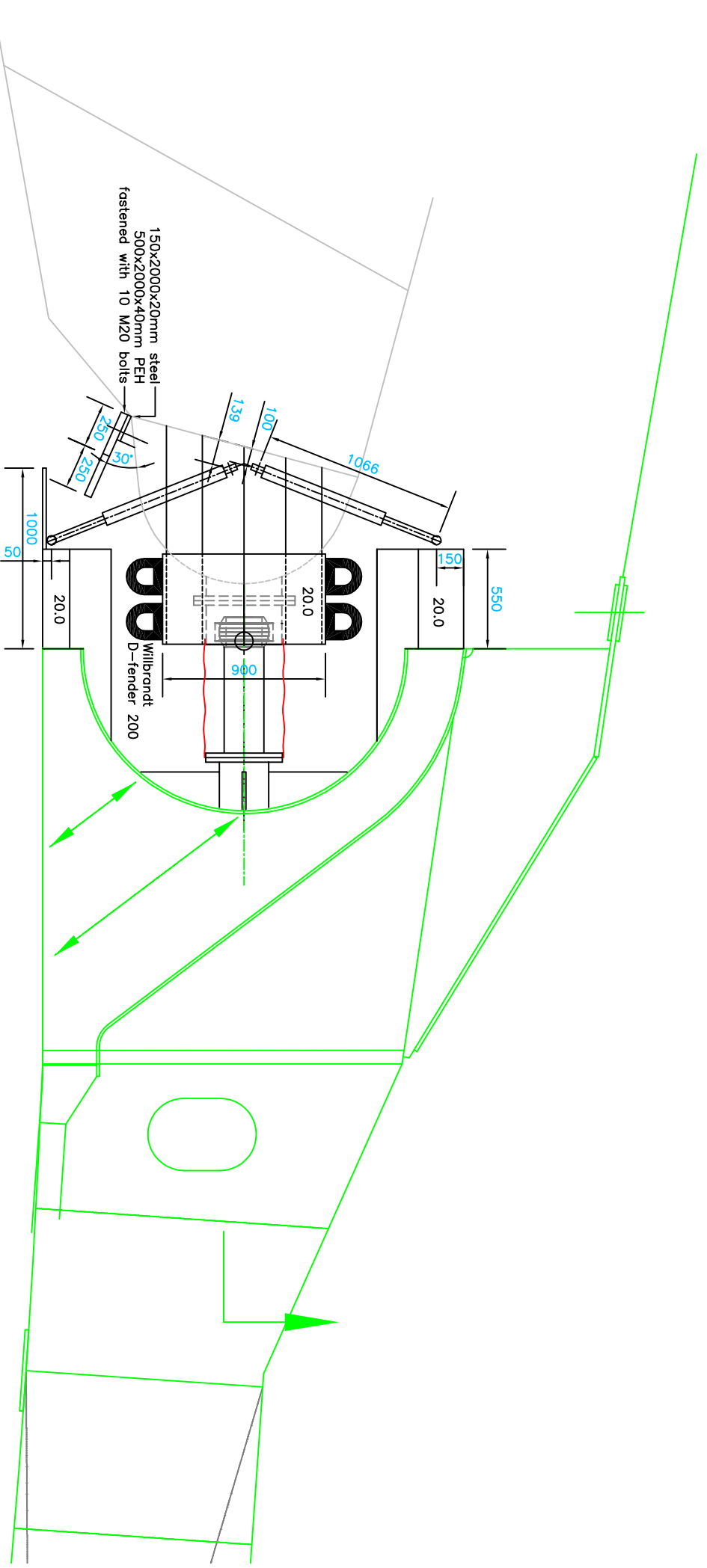
9. Bilag³

1. Arm - 2005 changes g (600102C02), tegning
2. Fotos fra udlægning ved Odby 12-15 juni 2006
3. Tegning vedrørende ombygning af led mellem vinger og platform, 00a-efmb Model (1)
4. WD - Agger Værft - notat 16 juni 2010 (Fortroligt)
5. Genudlægning af Wave Dragon prototype ved Helligsø Prøvestation – notat med fotos, 16 juni 2010 (Fortroligt)
6. WD - Agger Værft - notat vedr. fejl og mangler i forbindelse med genudlægningen i september 2009 og Wave Dragon - Agger Værft opgørelse (Fortroligt)
7. Preliminary Results from Second Phase Sea Testing of the Wave Dragon Prototype Wave Energy Converter, Conference paper, Otti 2006
8. WD pilot Nissum Bredning, handout
9. Utilization of the Renewable Energy Resource at Sea – the Wave Energy Converter Wave Dragon, Poster AAU 2006 – A3-format pdf-fil
10. List of reports and papers-full DB 2009-b, Excel fil

³ Bemærk venligst at kun bilagene 1, 2, 3, 7, 8 er indsat i rapporten. Bilagene 9 og 10 er tilgængelige i pdf – Excel format – kontakt venligst Wave Dragon ApS.
Bilagene 4, 5, og 6 er indtil videre ikke offentlig tilgængelige.

Bilag 1

Arm - 2005 changes g (600102C02), tegning



NOTE:

Existing parts
copied from:
ARMSTRONG
Drawing No.S6002

Hydraulic rams:
Danfoss Nessie water hydraulic cylinders
AQUA70 LL 63/40 * 550 M

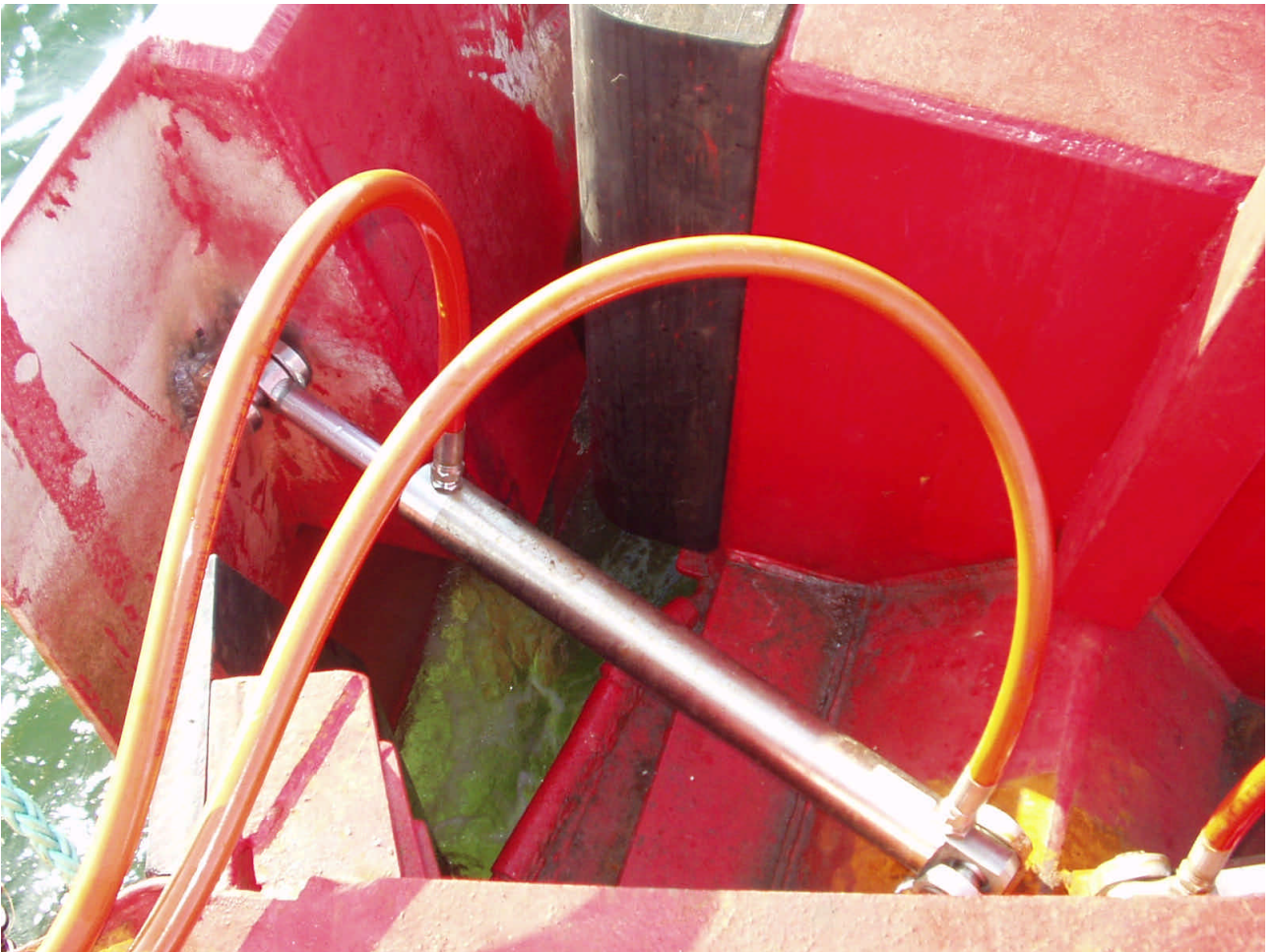
Rev.G: Extended steel screen on arm +
PEH screen on shoulder.

Wave Dragon
Prototype 1 : 4,5
Löwenmark 9/08 2005
Rev. 19/08
Arm - 2005 changes 9 (600102C02).dwg

Bilag 2

Fotos fra udlægning ved Odby 12-15 juni 2006







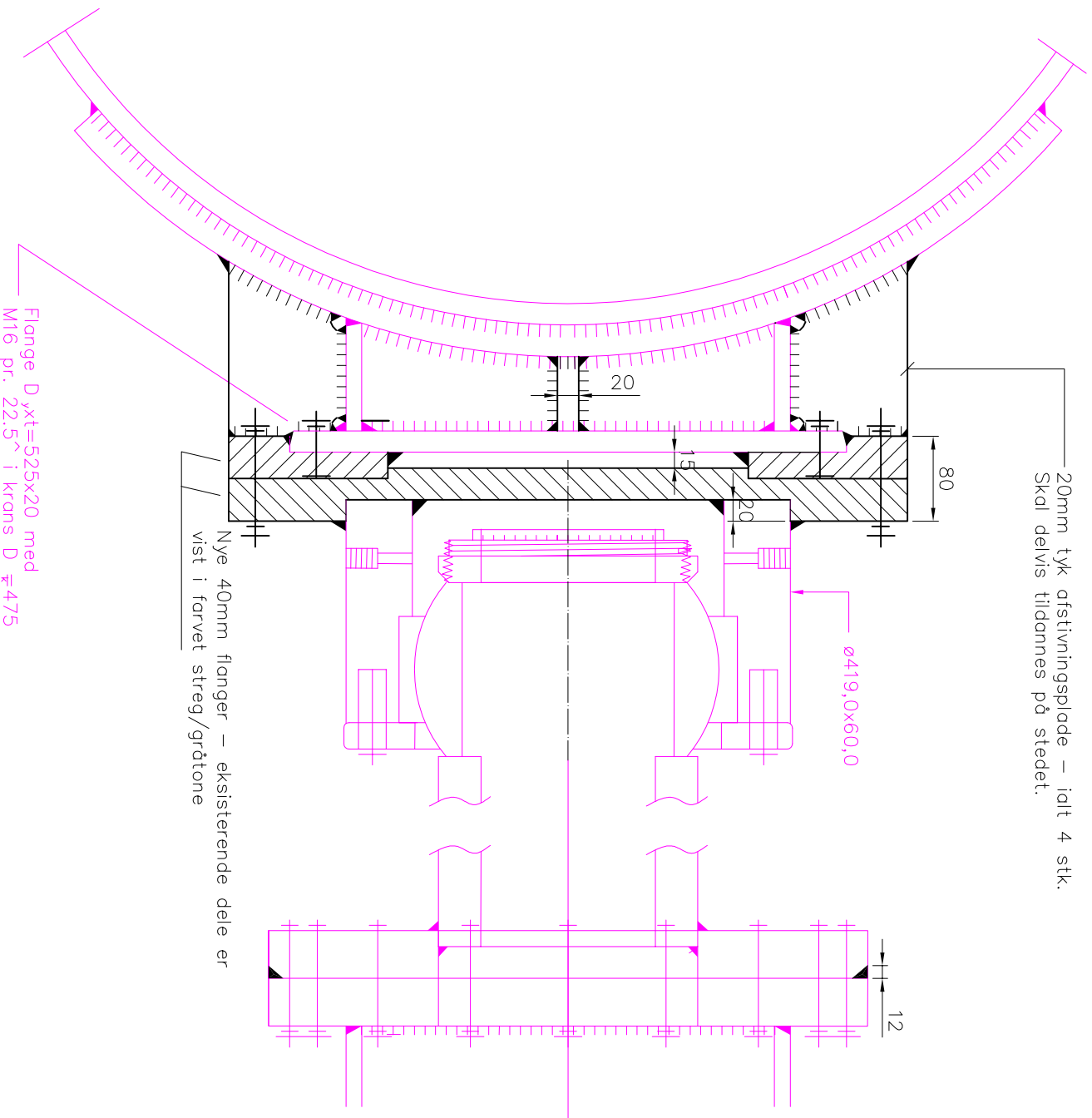
Beslag for hydraulikcylindre påsvejst under montagen af Agger Værfts folk, 12 – 15 juni 2006.



Beslag for cylindre brækket af på platformen. Beslag på vingerne ses at være intakte efter havariet juni 2006.

Bilag 3

Tegning vedrørende ombygning af led mellem vinger og platform,
00a-efmb Model (1)



20mm tyk afstivningsplade – ialt 4 stk.
Skal delvis tildannes på stedet.

Ø419,0x60,0

12

Nye 40mm flanger – eksisterende dele er vist i farvet streg/gråtone

Flange $D_{xt}=525 \times 20$ med M16 pr. 22.5° i kran D $\neq 475$

Nye flanger $D_{xt}=640 \times 40$ med M24x130 pr. 22.5° i kran D=575
Reses i flangering 640/340 for eks. 20mm flange:
15mm dyb, diameter=527mm.
Placering af boltehuller tjekkes med den eksisterende 20mm flange.

Flangeringen påboltes den eksisterende flange med 16 stk. Unbrako standard MC6S, 12.9 bolte i dimensionen M16x65mm. Boltehovedet, der har en diameter på 24mm og en højde på 16mm, undersænkes i flangeringen. Boltene skal spændes med et moment på 390 Nm, hvorefter gevindet ødelægges ved hjælp af en ståldorn.

Flangeringen svejses derefter udvendig og indvendig til den eksisterende flange med henholdsvis en 10 mm 60 grader V-fuge og en kantsøm, Amdl 7mm.

Den eksisterende 525x20 mm flange på Ø419,0x60,0 røret skreres af. Den erstattes af en flange, der er neddrejet af 50mm plade. Der neddrejes 10mm i en ring, således at flangen passer stramt i den nye 640x340 flangering. For at lette udførelsen af flangesamlingen skal 10mm opkanten og den modstående flade i flangeringen udfæres med en vinkel på 12 grader, hvilket svarer til, at der vil være en spalte på 2,1mm, når flangerne har en afstand på 10mm under montage. Der neddrejes yderligere en 20mm dyb reses for samling med det eksisterende Ø419mm rør. Indvendig og udvendig kantsøm skal have et Amdl på minimum 10mm.

De 16 M24x130 stålbolte kvalfitet 8.8 skal være forzinkede Boltene skal spændes med et moment på 500 Nm.
Der anvendes Nordlock NL24 3,4mmx39mm zink flake coatede spændskiver under såvel bolthoveder som møtrikker. For at give yderligere sikkerhed mod løsning af boltene skal der monteres kontramøtrikker i form af 24mm nylon løsemøtrikker.

Alle bolte skal tilspændes med kalibreret værktøj for at opnå de foreskrevne tilspændingsmomenter.

De viste 4 stk. 20mm afstivende plader mellem flangen og doublerpladen svejses til flangen, doublerpladen og Ø419x16mm røret med kantsømme Amdl 7mm.

Efter montagen af leddene på reflektorarmene og test af stralingauges (kun i det ene led) sammensvejses flangerne med en 12mm 45 grader Y-fuge.

Wave@ Dragon = forstærkning af flangesamling på led til reflektorer.

Udsnit af NIRAS tegn. nr. 100 af 09.09.2005.

Revideret af Wave Dragon Aps/EFM 4.08.2006

Bilag 7

Preliminary Results from Second Phase Sea Testing of the Wave Dragon
Prototype Wave Energy Converter, Conference paper, Otte 2006

**Title: Preliminary Results from Second Phase Sea Testing of the Wave Dragon
Prototype Wave Energy Converter**

Author: Hans Chr. Soerensen, Wave Dragon ApS, Copenhagen, Denmark

Co-Authors: James Tedd, SPOK ApS, Copenhagen, and Aalborg University, Aalborg, Denmark

Erik Friis-Madsen, Wave Dragon ApS, Copenhagen, Denmark

Jens Peter Kofoed, Aalborg University, Aalborg, Denmark

Address for correspondence:

Name: Hans Chr. Soerensen

Affiliation: Wave Dragon ApS

Address: Blegdamsvej 4, 2200 Copenhagen N, Denmark

Telephone/Mobile/Fax number: +45 3536 0219 / +45 2811 0219 /+45 3537 4537

Email address: hcs@wavedragon.net

Topic Number: 6, Field Experience **Kind of presentation:** Oral

Abstract:

In March 2006 the prototype Wave Dragon has been redeployed to a more energetic site in Nissum Bredning an inland sea in Western Denmark. This has followed a period of renovation of many aspects of the device which have resulted in 20% higher energy output. This paper describes the preliminary results from this period of testing at the higher energy site.

Wave Dragon

Wave Dragon is a floating wave energy converter working by extracting energy principally by means of waves overtopping into a reservoir. To optimise capital cost verses energy extraction long slender converging wave reflectors are attached to the reservoir platform, for focusing the waves onto the central ramp and increase overtopping^{1, 2}. A 1:4.5 scale prototype has been tested for 21 months in sea conditions at a less energetic site between 2003 and 2005^{3, 4, 7}.

The two major renovations are a refit of the turbines, and a modification of the joint between the wave reflectors and the main platform of the device. The renovation of

the turbines has almost doubled the capacity of the Wave Dragon, results are presented to show how this has affected the power production of the platform, in particular with increased flow capacity allowing the platform to operate at lower floating heights, and increase energy capture in smaller sea states. The modification of the joint includes a different mechanical set-up and a power take-off system to dampen the motions in the largest sea states. The performance of this innovation is still not documented.

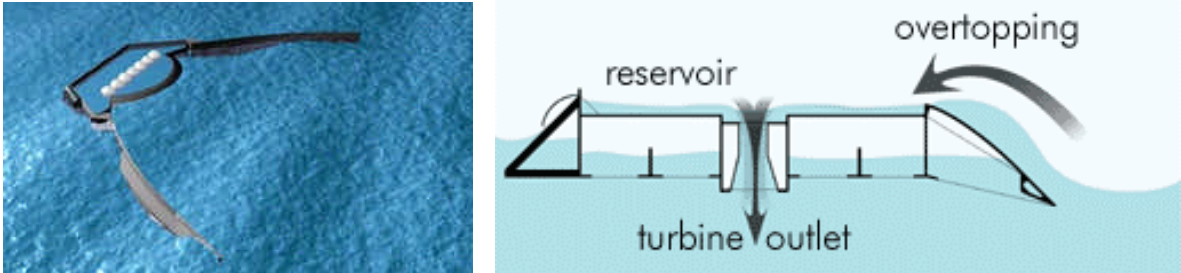


Figure 1. The Wave Dragon principle.



Figure 2: Wave Dragon prototype. Approaching waves are concentrated by the reflector towards the ramp.

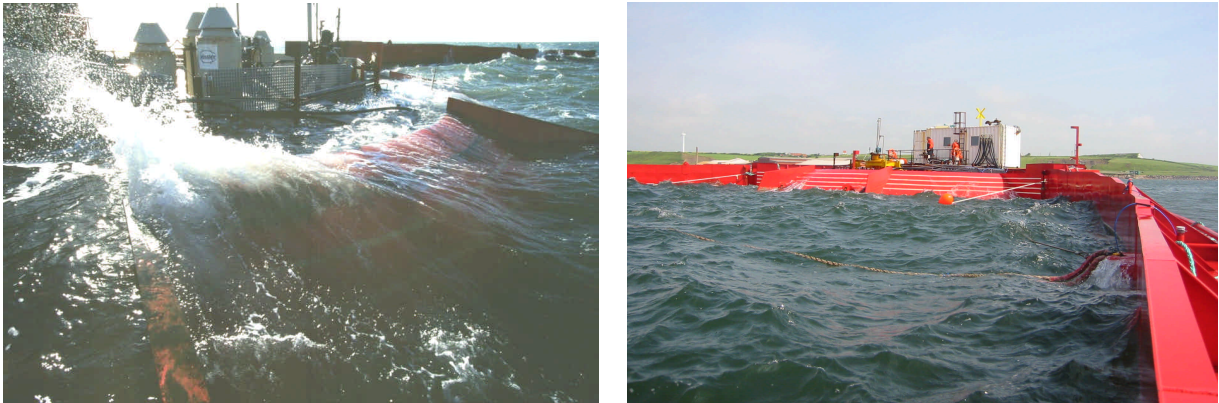


Figure 3: Wave Dragon in good waves (left) and in smaller waves (right).

Nissum Bredning

Wave Dragon was tested from 2003 to 2005 in the northern part of Nissum Bredning, see figure 4. Since April 2006 it has been tested in the more energetic wave climate in the southern part of the Nissum Bredning⁴.

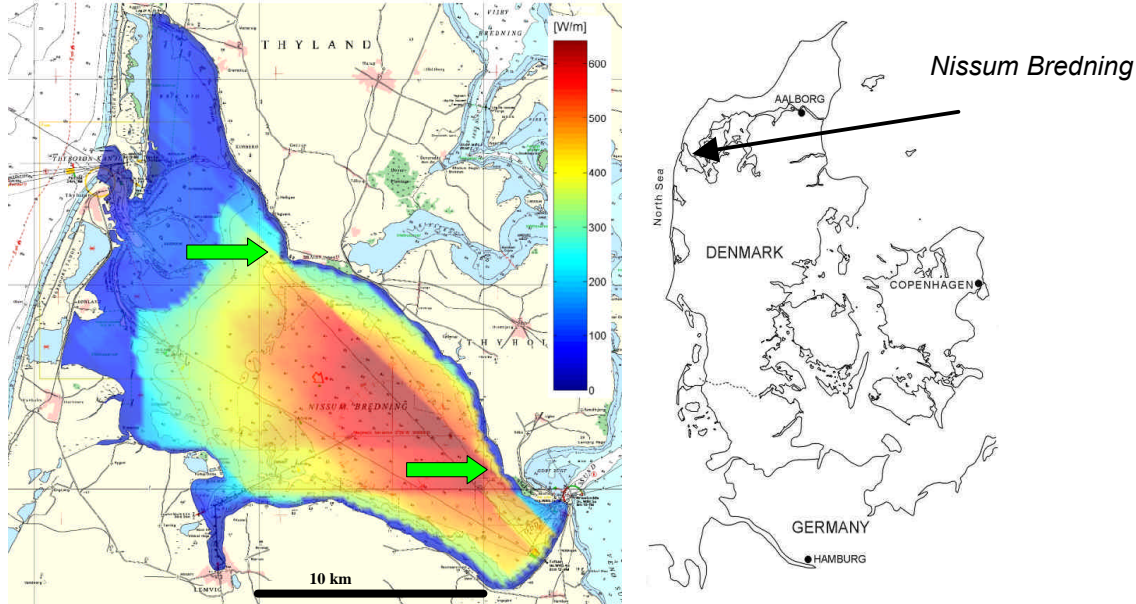


Figure 4: The energy density in Nissum bredning. The arrows show the two different locations where the Wave Dragon has been tested.

Test series August 2006

In 2005 the turbines went through a series of modifications in order to improve the

$$Q_N = \frac{1}{I_{d_r}} \frac{\bar{Q}}{W \sqrt{g H_S^3}} \quad \text{Where:}$$

\bar{Q} = Overtopping rate [m^3/s]

H_S = Significant wave height [m]

W = Ramp width 21.6m [m]

I_{d_r} = Ratio of energy between free surface and device draft $E_{f,dr}$ to incident wave energy $E_{f,d}$. [m]

$$I_{d_r} = 1 - \frac{\sinh(2k_p d(1 - \frac{d_r}{d})) + 2k_p d(1 - \frac{d_r}{d})}{\sinh(2k_p d) + 2k_p d}$$

k_p = wave number at peak period [m^{-1}]

d = Depth of water [m]

d_r = draft of device [m]

energy production⁵. In figure 5 and 6

two typical series of test from the two different test series are shown. Both series

are with the Wave Dragon without reflectors

and carried out at relatively low sea state.

The improvement in yield is as mean value about 20% as illustrated in figure 5.

To explain figure 5 the flow has been normalized by considering the energy

passing beneath the structure⁶ according to the equation above.

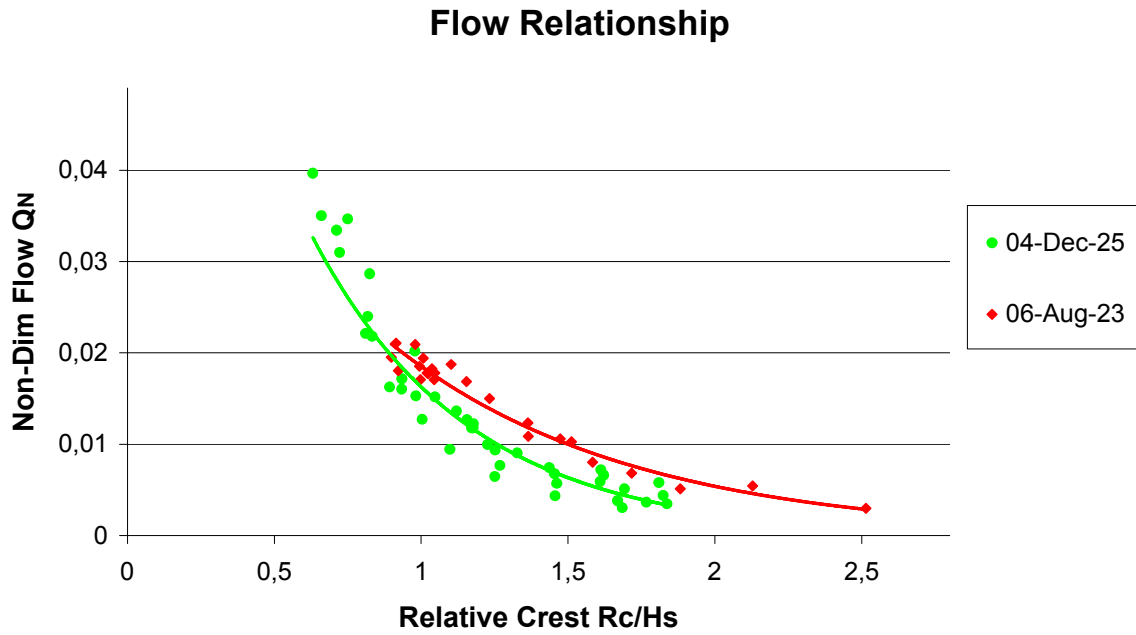


Figure 5: The improved water flow through the Wave Dragon at low sea state $H_s = 0.2$ to 0.4 m (equivalent to $H_s = 0.9$ - 1.8 m in the North Sea).

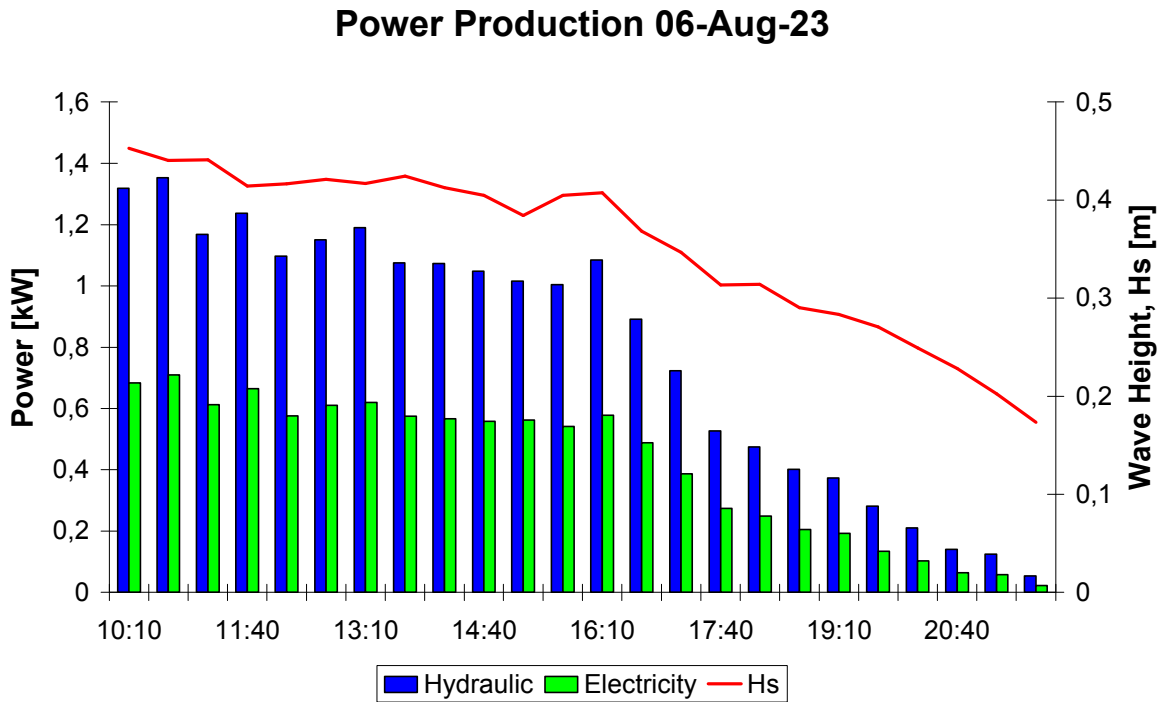


Figure 6: Power production at low sea state $H_s = 0.2$ to 0.4 m (the power for a full scale North Sea WD in an equivalent sea state will be 200 times larger).

Wave by Wave Overtopping
06-Aug-23, 13.40

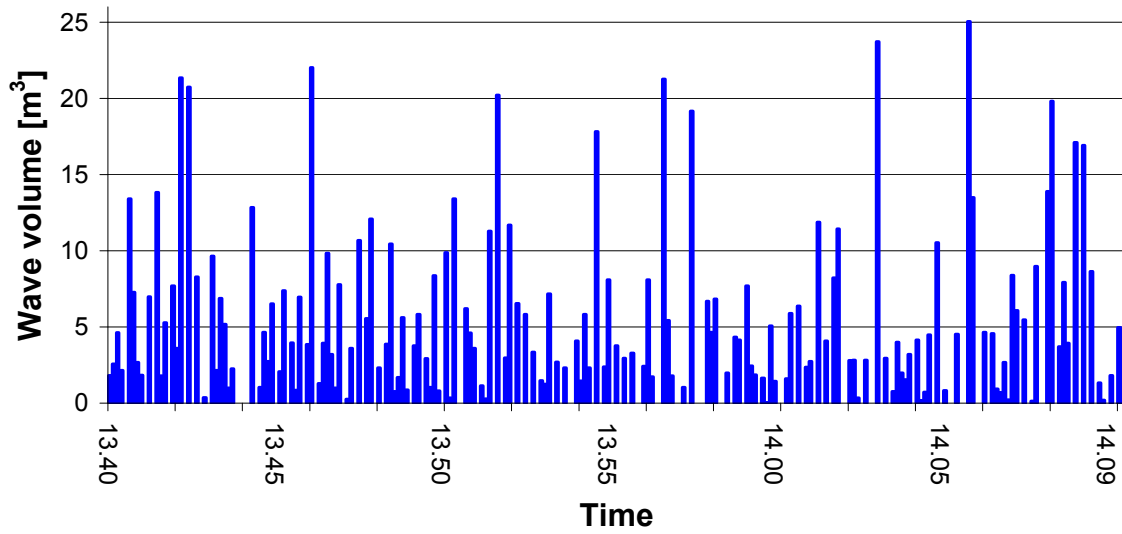


Figure 7: Wave by wave overtopping into the reservoir of the Wave Dragon

Hydraulic power converted
06-Aug-23, 13.40

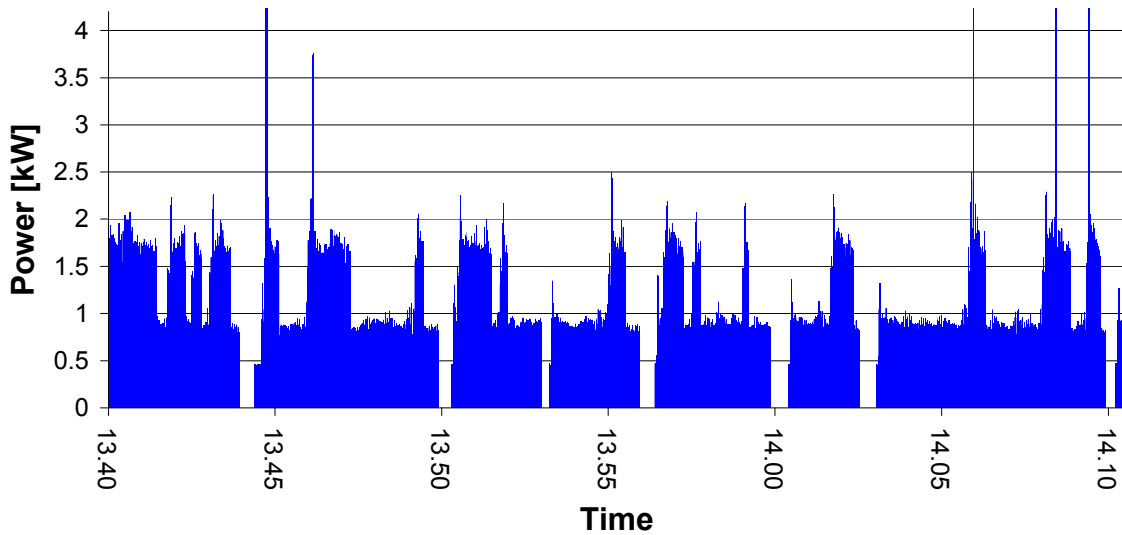


Figure 8: Power conversion of hydraulic flow by the turbines.

The time history of the wave by wave overtopping of the Wave Dragon has been cal-

culated from pressure measurements within the reservoir. Combined with the flow characteristics of the turbines this gives a clear picture of the overtopping flow. Work is being conducted to use this to calibrate earlier power simulation work and to validate the assumptions made regarding the distribution of the flow events⁷.

It can be seen from Figure 8 that the power production of the Wave Dragon is much smoother than the power entering the reservoir in Figure 7. This is very important for supplying electricity to a grid, and will reduce the required capacity of export cables and so improve the economics of the project.



Figure 9: Webcam shot of the Wave Dragon in operation 06-Aug-23, 14.00.

Perspectives

The Wave Dragon prototype has been delivering electricity to the Danish grid since June 2003 as the Worlds first offshore wave device. The system has been tested

now for more than 16,000 hours and even improvements can be obtained; time is ready for demonstration in full scale. A 7 MW unit of Wave Dragon will be located 2 - 3 miles off the South West Wales coast, off St Ann's Head, north and west of Milford Haven by 2008.

The main structural parts will be constructed in reinforced concrete plus additional structural steel elements. The total design weight of the Welsh demonstrator device is 33,000 metric tonnes. The overall geometrical layout of the device will be identical with the tested prototype.

On the device are mounted 16-20 low-head hydro turbines to drain the reservoir, each with a directly coupled 350-440kW permanent magnet synchronous generator.

The operative range for the turbine and generators are between 100 and 250 rpm.

Additional electrical systems, step-up transformers and service systems are placed in closed compartments.

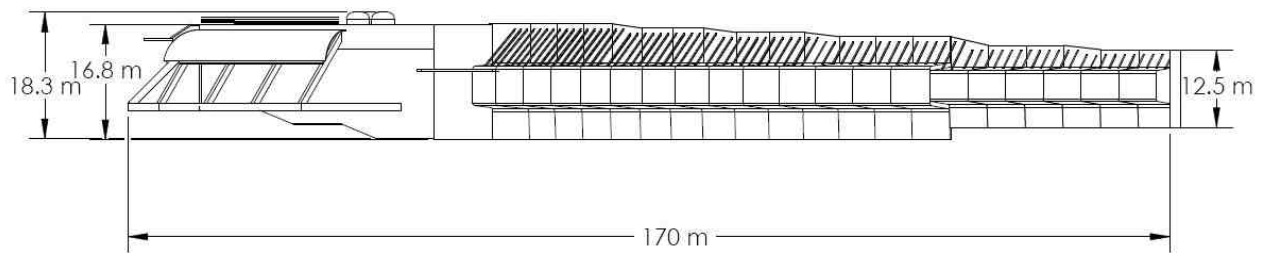
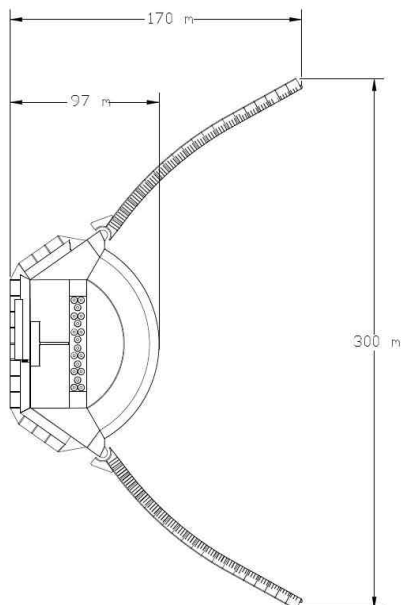


Figure 10: Side View of the Wave Dragon Device.



	33,000 t
Total width and length	300 x 170 m
Height	19 m
Height above sea level	3 - 7 m
Reservoir	8,000 m ³
Number of turbines	16 - 20
Generators	PMG
Rated power/unit	7 MW
Annual power production/unit	20 GWh/y
Water depth	> 25 m

Figure 11: The dimensions of the Welsh Demonstrator.

Acknowledgement

The prototype project has only been possible with generous support funding from the European Commission (Contract No: ENK5-CT-2002-00603), Danish Energy Authority, Elkraft System now Energinet.dk (PSO Funding), The Obel Family Trust and the dedication of the participating partners. The author is a research fellow funded by the Marie Curie WaveTrain training network.

Further information

More information can be found on the project at the website www.wavedragon.net and www.wavedragon.co.uk

References

- ¹Soerensen, H.C. et al (2003): Development of Wave Dragon from scale 1:50 to prototype, *Proceedings from the 5th European Wave Energy Conference*, Cork, Ireland, 2003.
- ²Soerensen, H. C. et. al. (2005): The Results of Two Years Testing in Real Sea of Wave Dragon, *Proceedings from the 6th European Wave Energy Conference*, Glasgow, UK, 2005.
- ³Kofoed J.P., Frigaard P., Friis-Madsen E. and Soerensen H.C. (2006) "Prototype testing of the wave energy converter Wave Dragon", *Renewable Energy*, Vol 31, pp 181-189.
- ⁴Soerensen, H.C. et. al. (2006): Sea Testing and Optimisation of Power Production on a Scale 1:4.5 Test Rig of the Offshore Wave Energy Converter Wave Dragon, *Final Technical Report for the period October 2002 to March 2006*, SPOK, Copenhagen, Denmark.
- ⁵Knapp, W. (2006): Wave Dragon: Results on verification and calibration of power production simulation model, *Technical University Munich*, Munich, Germany.
- ⁶Tedd, J.W. et al. (2006): Wave Dragon, prototype wave power production, *World Renewable Energy Congress IX*, Florence, August, 2006
- ⁷Frigaard, P., Kofoed, J.P. (2005): Sea Testing and Optimization of Power Production on a Scale 1:4.5 Test Rig of the Offshore Wave Energy Converter Wave Dragon Bredning, *Aalborg University*, Aalborg, Denmark.

Bilag 8

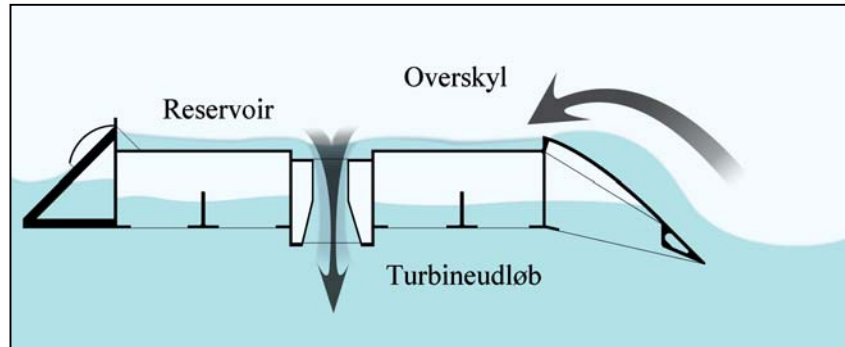
WD pilot Nissum Bredning, handout

Wave Dragon



Besøg af Energinet.dk den 13. September 2006

Princip



Når absorptionen af bølgeenergi og efterfølgende produktion af el fra et opskylsanlæg skal optimeres er de væsentligste parametre:

- At tilpasse anlæggets flydehøjde til den aktuelle bølgehøjde. En højere flydehøjde giver et mindre overskyl til gengæld er energi indholdet i vandet i reservoiret højere og vise versa. Dette gøres ved at justere trykket i de åbne kamre under anlægget. I et fuldskalaanlæg vil flydehøjden kunne varieres 3-4 meter.
- At finde den optimale strategi for at lede vandet ud gennem turbinerne. På den ene side skal det sikres, at der er plads til den næste bølges overskyl således, at det ikke skulper over, på den anden side skal der ikke lukkes for meget vand ud så overskyllet fra den næste bølge ikke skal falde for langt ned fra rampen, hvorved der tabes energi. Numeriske simuleringer har vist at mange forholdsvis små turbiner og gentagne start/stop sekvenser for et mindre antal af turbinerne er optimalt.

Prototypetest

Test perioder:

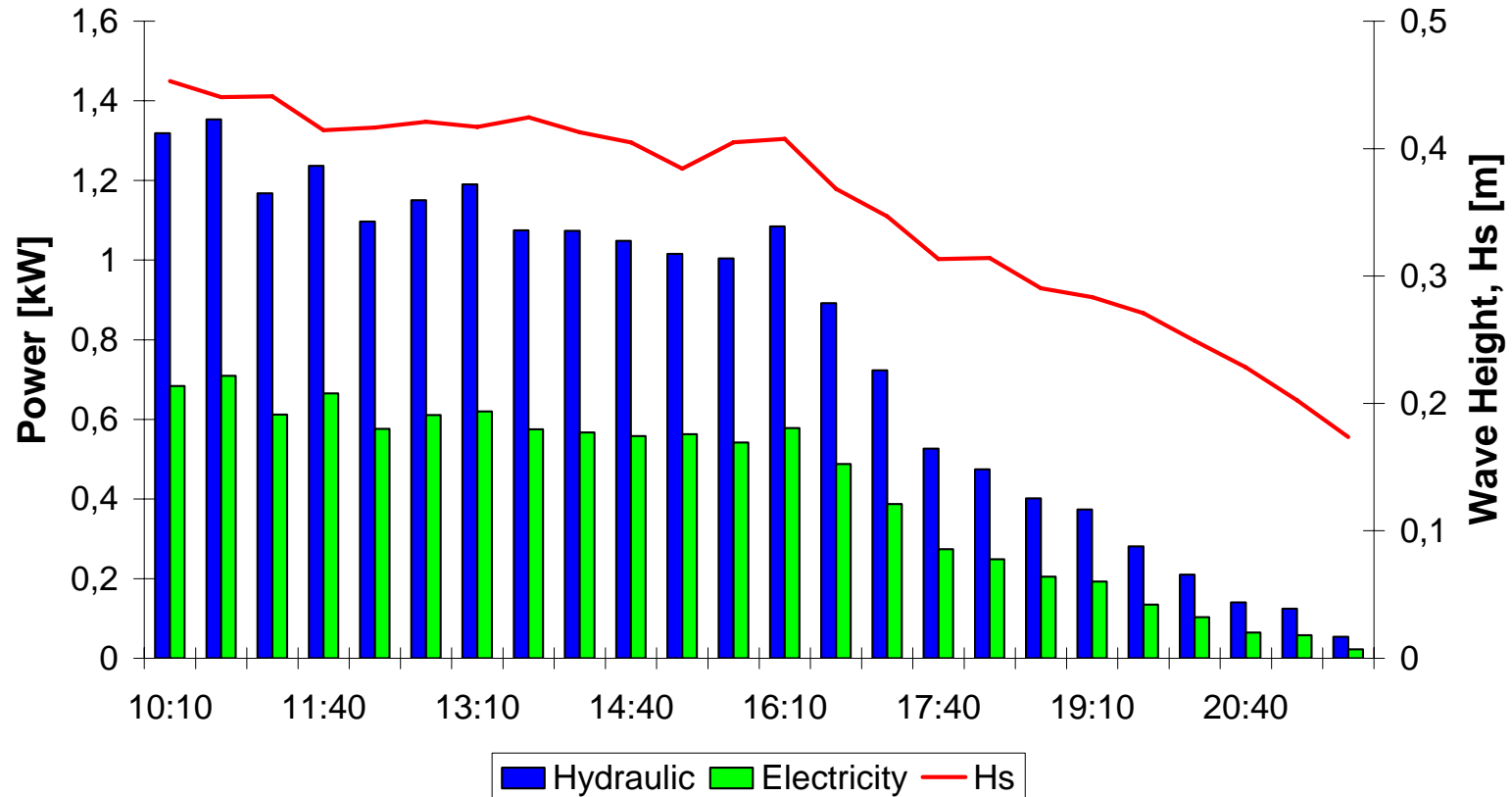
- Fra marts 2003 til januar 2005 (støttet af Energistyrelsen, EU og PSO)
- Og igen fra april 2006 -> (støttet via PSO "videreudvikling af bølgekraftanlægget Wave Dragon med henblik på fuldskalaanlæg i Nordsøen)

Kontinuerlig registrering af hydraulisk effektivitet og el-produktion i perioden oktober 2004 til januar 2005.

Formål med prototypetestene:

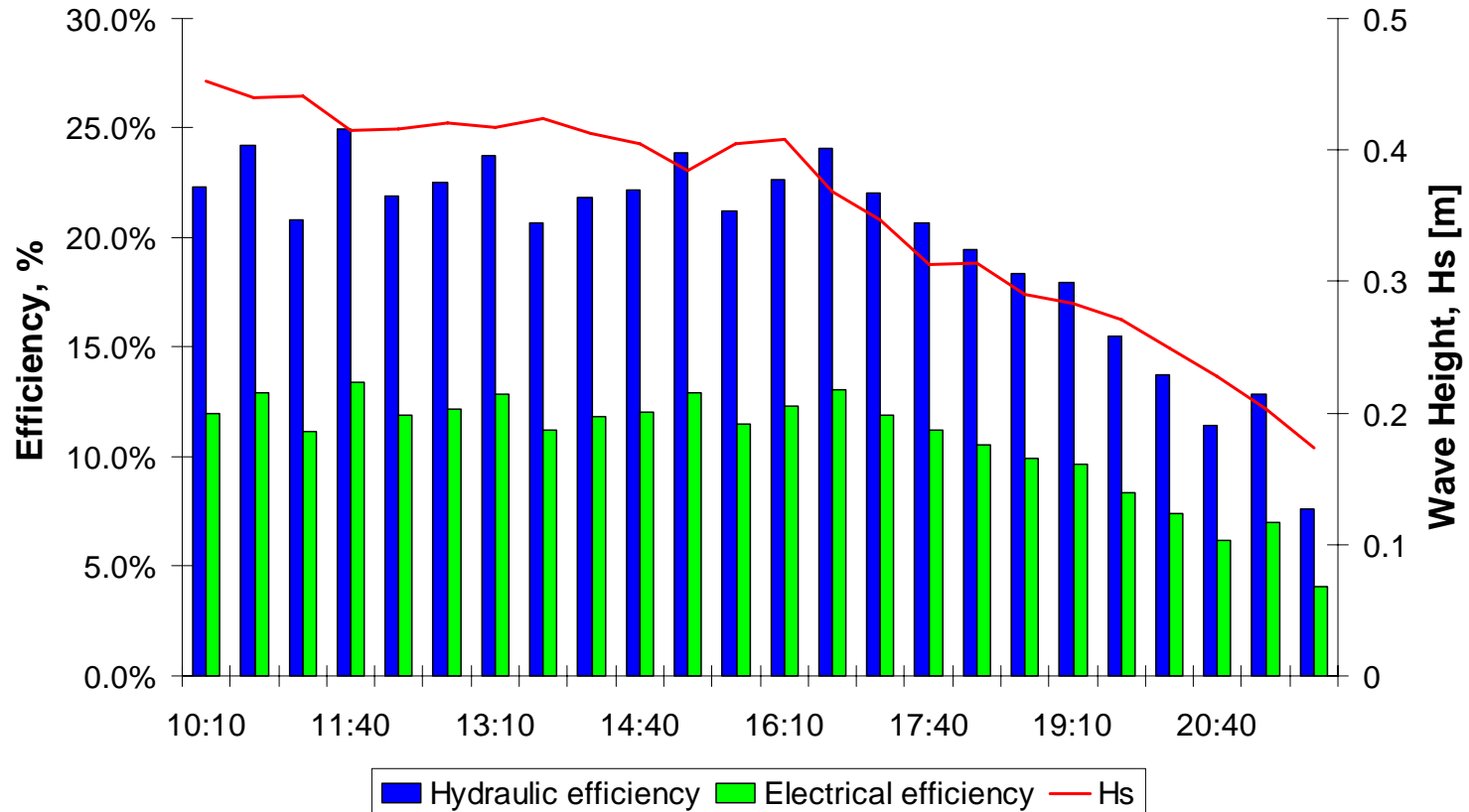
- At verificere den hydraulisk effektivitet = energien i det opskyllede vand der ledes ud gennem turbinerne. Den hydrauliske energi kan direkte opskaleres (med skalaforholdet opløftet i 3,5. potens).
- At teste funktionaliteten og optimal styring af turbiner med frekvensomformer regulerede permanent magnet generatorer. Effektiviteten af dette system er (afhængig af trykhøjden) ca. 50% og kan ikke direkte opskaleres pga. en række friktionstab. I fuld skala vil effektiviteten være ca. 85%.

Power Production 06-Aug-23

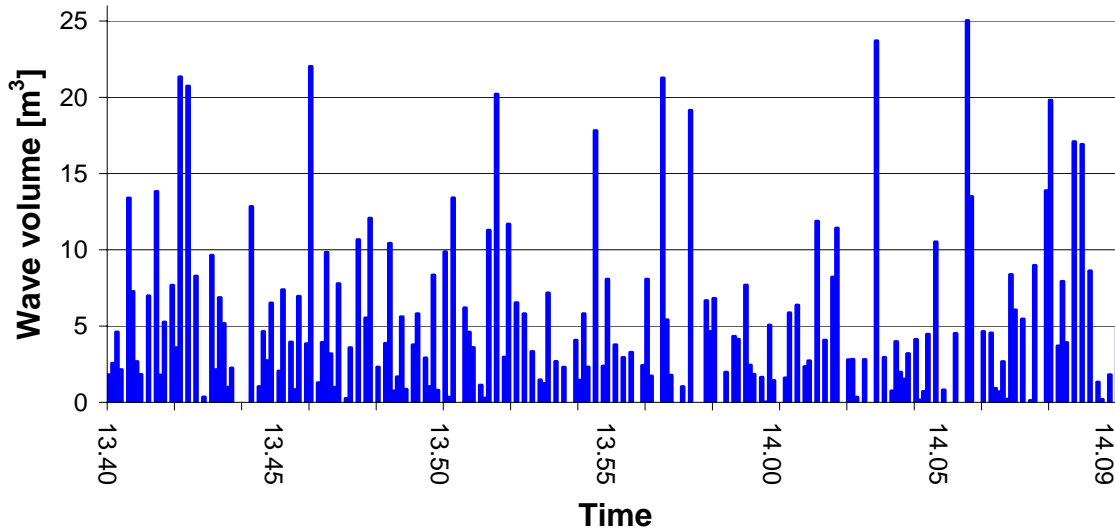


Eksempel på hydraulisk energiproduktion og el-produktion forholdsvis lave bølgehøjder.

Power Efficiency 06-Aug-23



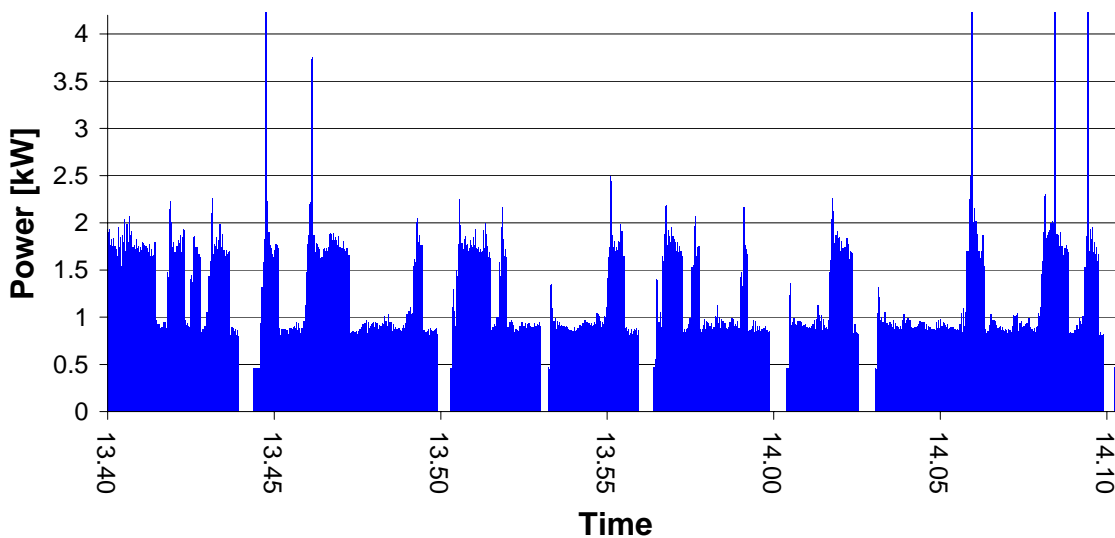
Hydraulisk og elektrisk effektivitet i forhold til den indkomne bølgeenergi



Den 23. August 2006 kl.
13:40

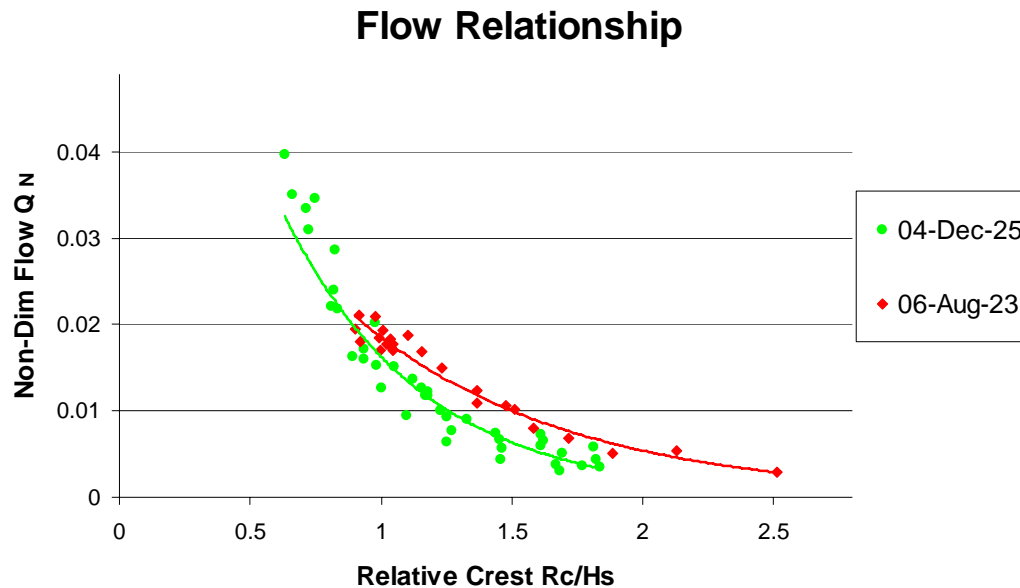
Øverst: Bølge for bølge
overskyl ind i reservoir

Nederst: Tilsvarende
elektrisk energi som Wave
Dragon konverterer.



De to grafer illustrerer det
uregelmæssige overskyl og
den udjævnende effekt af
Wave Dragons reservoir.

Efter afslutningen af den første 15.600 timers testperiode gennemgik turbinerne, generatorer og invertersystemet en gennemgribende reovering. Grafen nedenfor viser den gennemsnitslige forbedring på ca. 20%.



Grafen viser vandmængden gennem turbinerne i forhold til den relative flydehøjde. Den relative flydehøjde rampehøjden i forhold til bølgehøjden. Grafen viser resultater med signifikante bølgehøjder mellem 0,2 til 0,4 meter, svarende til bølgehøjder på 0,9-1,8 meter i Nordsøen.

wd-wincc

253 04/09/06 12:47:51 PM Turbine 6 Timeout reaching end switch open
ACK Alarms **AUTOMATION**

Diagnostic

Overview Alarms Alarm archive Buoyancy Generators Config. B Config. G Shoulder PTO
Logout

9/4/2006 6:42:33 PM
Current user: erik

Generators

Grid power <input type="text" value="2574"/> [W] Grid voltage <input type="text" value="235"/> [V] Grid current <input type="text" value="3,7"/> [A] Grid phase <input type="text" value="0,98"/> [cos(phi)] NET STAT <input type="text" value="11"/> <div style="background-color: #e0e0e0; padding: 2px; text-align: center;">Operating</div> NETFAULT <input type="text" value="0"/> <div style="background-color: #e0e0e0; padding: 2px; text-align: center;">No error</div>	G01, power <input type="text" value="0"/> [W] G01, prod. energy <input type="text" value="0,0"/> [kWh] G01, speed <input type="text" value="0"/> [RPM] G01, past hour <input type="text" value="0,00"/> [kWh] G01, voltage <input type="text" value="0"/> [V] <input type="button" value="Reset counters"/> G01, current <input type="text" value="0"/> [mA] Last reset: 2006-8-23 11:48 G01, pwr. fac. <input type="text" value="1,00"/> [cos(phi)]	G06, power <input type="text" value="0"/> [W] G06, prod. energy <input type="text" value="0,0"/> [kWh] G06, speed <input type="text" value="0"/> [RPM] G06, past hour <input type="text" value="0,00"/> [kWh] G06, voltage <input type="text" value="0"/> [V] <input type="button" value="Reset counters"/> G06, current <input type="text" value="0"/> [mA] Last reset: 2006-8-23 11:48 G06, pwr. fac. <input type="text" value="1,00"/> [cos(phi)]
G02, power <input type="text" value="444"/> [W] G02, prod. energy <input type="text" value="4,4"/> [kWh] G02, speed <input type="text" value="368"/> [RPM] G02, past hour <input type="text" value="0,57"/> [kWh] G02, voltage <input type="text" value="134"/> [V] <input type="button" value="Reset counters"/> G02, current <input type="text" value="1110"/> [mA] Last reset: 2006-8-23 11:23 G02, pwr. fac. <input type="text" value="1,00"/> [cos(phi)]	G07, power <input type="text" value="896"/> [W] G07, prod. energy <input type="text" value="2,7"/> [kWh] G07, speed <input type="text" value="424"/> [RPM] G07, past hour <input type="text" value="0,26"/> [kWh] G07, voltage <input type="text" value="142"/> [V] <input type="button" value="Reset counters"/> G07, current <input type="text" value="2120"/> [mA] Last reset: 2006-8-23 11:48 G07, pwr. fac. <input type="text" value="1,00"/> [cos(phi)]	
G03, power <input type="text" value="815"/> [W] G03, prod. energy <input type="text" value="41,0"/> [kWh] G03, speed <input type="text" value="471"/> [RPM] G03, past hour <input type="text" value="0,72"/> [kWh] G03, voltage <input type="text" value="178"/> [V] <input type="button" value="Reset counters"/> G03, current <input type="text" value="1540"/> [mA] Last reset: 2006-8-23 12:36 G03, pwr. fac. <input type="text" value="1,00"/> [cos(phi)]		
G04, power <input type="text" value="1315"/> [W] G04, prod. energy <input type="text" value="12,8"/> [kWh] G04, speed <input type="text" value="497"/> [RPM] G04, past hour <input type="text" value="0,60"/> [kWh] G04, voltage <input type="text" value="171"/> [V] <input type="button" value="Reset counters"/> G04, current <input type="text" value="2620"/> [mA] Last reset: 2006-8-23 12:36 G04, pwr. fac. <input type="text" value="1,00"/> [cos(phi)]		
G05, power <input type="text" value="1036"/> [W] G05, prod. energy <input type="text" value="1,5"/> [kWh] G05, speed <input type="text" value="476"/> [RPM] G05, past hour <input type="text" value="0,38"/> [kWh] G05, voltage <input type="text" value="164"/> [V] <input type="button" value="Reset counters"/> G05, current <input type="text" value="2170"/> [mA] Last reset: 2006-8-23 12:36 G05, pwr. fac. <input type="text" value="1,00"/> [cos(phi)]		

Generator groups:
 Group 1
 Group 2
 Group 3
 Group 4
 Group 5
 Group 6
 Group 7
 Group 8
 Group 9
 Group 10

Denne indikator viser at alle turbiner (der er i drift) samt de tre dummy turbiner alle er åbne.

Screen-dump fra kontrolsystem 4. sept. 2006, der viser fem turbiner i drift.

Summen af kW fra de enkelte generatorer summerer ikke til "Grid power" sum pga. tab i frekvensomformere.



Grafisk illustration af el-produktion 4. sept. 2006 med de 5 turbiner i drift.

Wave Dragon

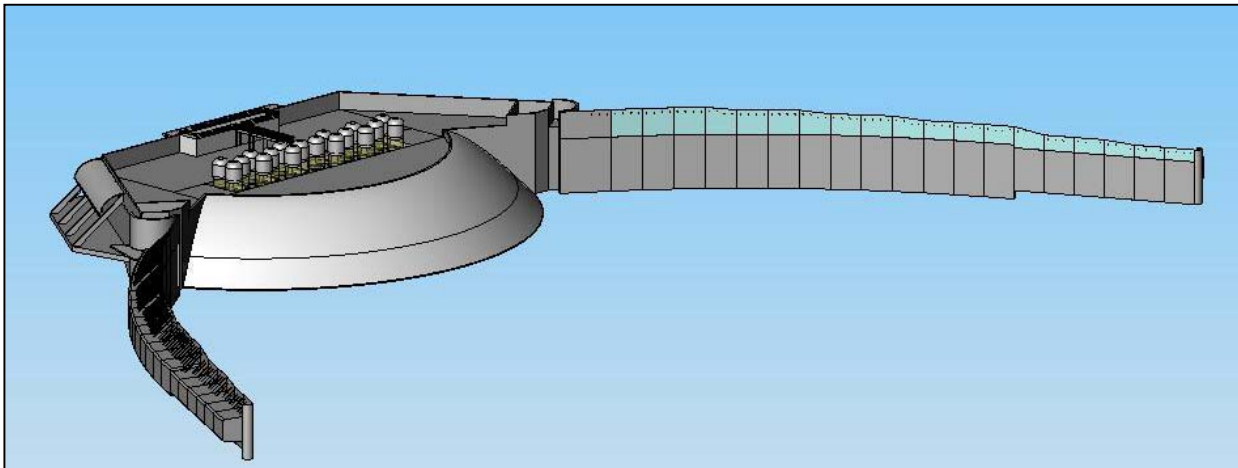


To billeder fra web-cam den 4. september 2006, der viser overskyl i 1 meter signifikant bølgehøjde.

1 meter svarer til 4,5 meter i Nordsøen.

Bølgeanlæg af overskylstypen har ingen ”endestop” problemer som andre typer anlæg. De største bølger skyller henover anlægget.

Wave Dragon er ikke afhængig af aktive systemer for at sikre overlevelse. Anlægget er designet til at overleve 100 års bølger i såvel høje som lave flydepositioner.

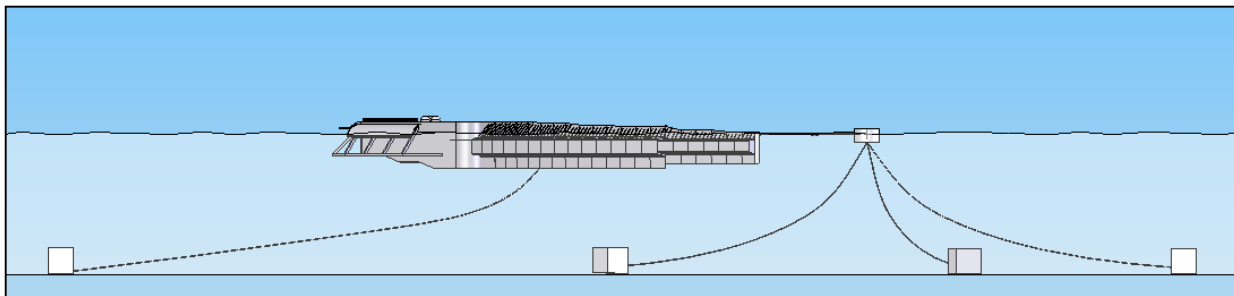


Nordsø demonstrationsanlæg

Vægt: 6.500 tons

MW_i: 2MW

Bredde: 170 meter



Skala 3:1 i forhold til
Nissum Bredning
prototype

Wave Dragon er i øjeblikket i gang med at planlægge et 2MW demonstrationsanlæg i Nordsøen. To mulige placeringer analyseres: udfør Thyborøn og udfør Hanstholm, hvor der er relativt dybt vand og kort afstand til en havn.

Wave Dragon



Besøg af Energinet.dk den 13. September 2006