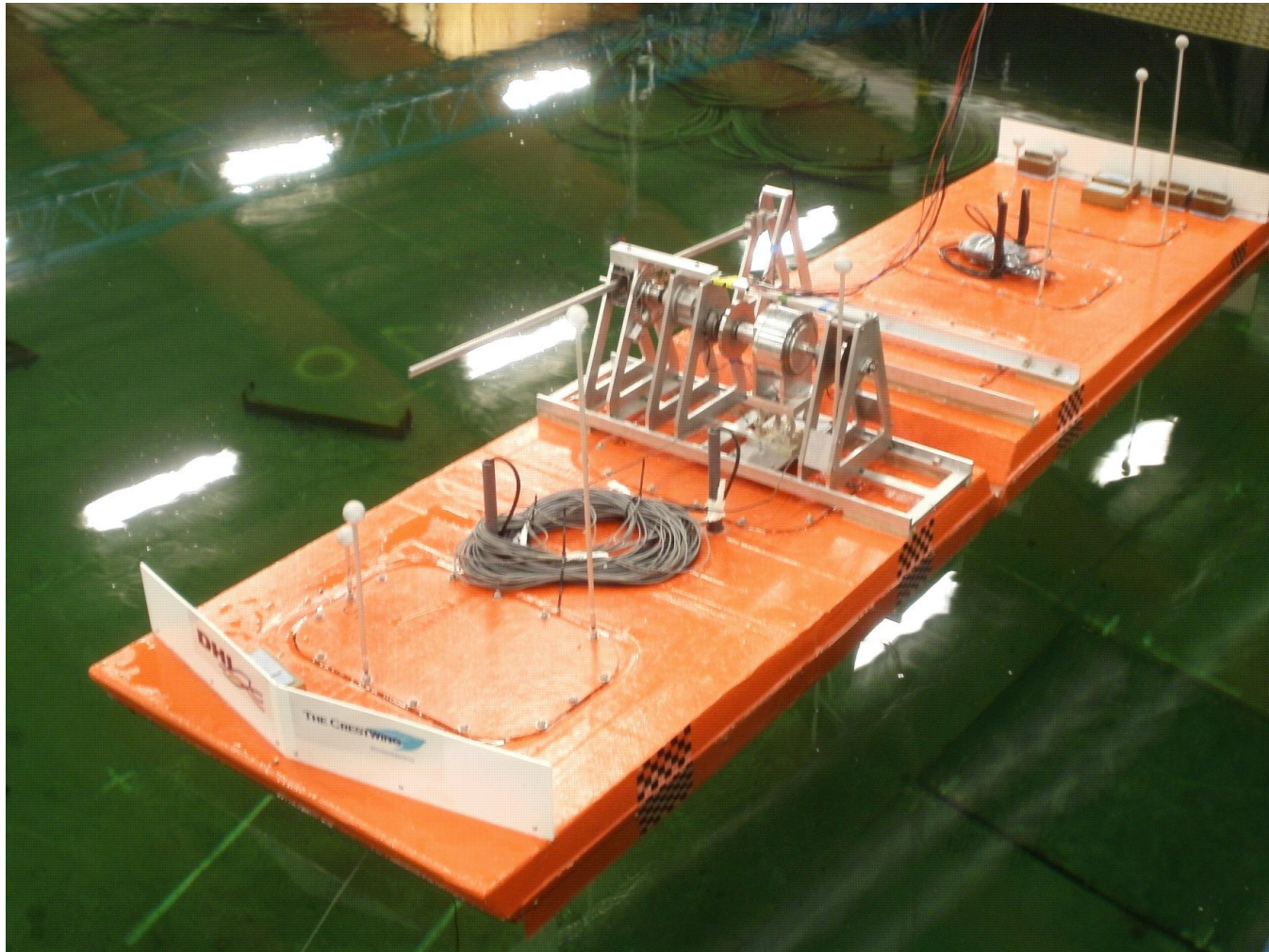


Waveenergyfyn rapport



The Crestwing final test projekt nr.10465

Afsluttende rapport fra Waveenergyfyn over projekt Crestwing final test" PSO-F&U projekt nr.10465

Forord

Denne rapport fra Waveenergyfyn over projekt Crestwing final test” PSO-F&U **projekt nr.10465** udgør sammen med DHI´s rapport **Crestwing WEC Model Tests-Final-Rev. 2 14Jan11** grundlaget for projektering af fremtidige skalaanlæg.

Data grundlaget for Waveenergyfyns afrapportering kan findes i den parallelt fremsendte rapport fra DHI. Dog er der i Waveenergyfyns, i mindre omfang, hentet mere detaljerede data fra testforløbets log filer over tidsserier.

De forud for dette testforløb afholdte test på AAU af The Crestwing *blev* afviklet i perioden 13-03-08 til 30-02-09 og udførtes af Jens Peter Kofoed og Michael P. Antonishen AAU i samarbejde med Henning Pilgaard Waveenergyfyn.

Ved afslutning af de indledende forsøg på AAU af 2008/2009 indsendte Waveenergyfyn afsluttende rapporter dels egen afrapportering **Waveenergyfyn rapport Crest Wing - 2nd test fase** og dels forsøgsrapport **The Crest Wing Wave Energy Device - 2nd phase testing** fra AAU. Rapporterne er tilgængelige hos energinet.dk.

Projektet Crestwing final test” PSO-F&U **projekt nr.10465** blev afviklet i perioden februar 2010 til marts 2011 udført af Bjarne Jensen M.Sc. Eng. Hydraulic Engineer & CFD expert Ports & Offshore Technology DHI i samarbejde med Russell James Brice Senior Naval Architect KEH og Henning Pilgaard Waveenergyfyn.

Kontakt vedr. Waveenergyfyns rapporter kan rettes til:

Henning Pilgaard Ingeniør og indehaver af Waveenergyfyn. Kissendrupvej 15 DK-5800 Nyborg, Denmark.

Phone: (+45) 65 36 17 65
E-mail: crestwing@gmail.com
<http://www.waveenergyfyn.dk/>

Indhold

Indledning	5
1. Sammenfatning	6
2. Konklusion	13
3. Rapporten.....	15
3.1 Forsøgsmodellen	15
Flyder konstruktion	15
Modellens størrelse.....	15
Modellens opbygning	16
Placering og montage af krafttransducere	16
Placering og montage af tryktransducere.....	17
3.2 PTOéns opbygning.....	17
Skivebremse PTO monteret på anlæg	17
Hysteresebremse PTO	18
Test bench for Power Take Off (PTO) test	19
3.3 Forsøgsopstilling.....	19
Opstillinger over forankring.....	20
Opstillinger kystnær forankring.....	21
3.4 Forsøgsprogram.....	22
ad. Phase 1 – Hydrodynamic behaviour behavior and mooring tests	22
ad. Phase 2 – Power Take Off (PTO) tests.....	22
ad. Phase 3 – Hull section force tests	22
ad. Phase 4 – Investigation of the efficiency when applying aft pontoon mooring lines.....	22
ad. Phase 5 – Power Take Off (PTO) tests in test bench	22
3.5 Forsøgsresultater.....	23
3.5.1 Tids serier	23
3.5.2 Rao test	23
3.5.3 Phase 1 – Hydrodynamic behavior and mooring tests	24
Phase 1 Mooring force	24
Phase 1 PTO force.....	24
Phase 1 pressure underneath plant.....	25
Phase 1 efficiency	26
3.5.4 Phase 2 Power Take Off (PTO) tests	26

Phase 2 Mooring force	26
Phase 2 PTO force.....	26
Phase 2 efficiency	27
3.5.5 Phase 3 – Hull section force tests	27
Phase 3 – PTO and Mooring tests	27
Phase 3 Mooring force	27
Phase 3 PTO force.....	28
Phase 3 efficiency	28
Øvrige phase 3 Mooring force	28
Øvrige phase 3 PTO force	28
Øvrige phase 3 efficiency.....	28
3.5.6 Phase3_hull and Hinge Forces	29
Hull Force	29
Hinge Forces	29
3.5.7 Phase 4 – Investigation of the efficiency when applying aft pontoon mooring lines	30
Phase 4 – PTO and Mooring tests	30
Phase 4 Mooring.....	30
Phase 4 PTO force.....	30
Phase 4 efficiency	30
Phase 4_ movements	31
3.5.8 Fase 5 Power Take Off (PTO) tests in test bench	33
Phase 5 – PTO tests	33
Sammenstilling fase 5 PTO force, retur force, gearing	33
3.5.9 Investigations	34
Max forankringstræk	34
Max PTO	34
Sammenstilling af absorber effektivitet	34
Appendiks.....	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
Crestwing offshore fase.....	35
Crestwing Skalatype Frederikshavn:	36
Kort beskrivelse	36

Indledning

De fleste flyderkoncepter inden for bølgeenergi opererer med kræfter fra opdrift og anlæggets egenvægt. Med The Crestwing (Bølgevingen) satses der på at tilbageslaget opnås i kraft af atmosfæretrykket, hvorved der kan anvendes et let anlæg med en stor opadgående rørelse, samtidig med en efterfølgende stor og kraftfuld nedadgående rørelse.

Formålet med de tidligere afrapporterede forsøg på AAU var at bestemme Bølgevinge konceptets effektoptag i forskellige fysiske konfigurationer og opstillinger og herudfra fastlægge anlæggets hovedtal. Hovedparten af forsøgene var her gennemført i uregelmæssige 2D bølger

Med forsøgsforløbet **Crestwing final test** ønskes The Crestwing afprøvet og udviklet onshore, i en skala der er tilstrækkelig som grundlag for projektering og realisering af fuldskala anlæg på udvalgt site. Forsøgene blev hovedsagelig gennemført i uregelmæssige 3D bølger.

Alle kræfter, bevægelser etc. i nærværende rapport er, iflg. DHI standard, angivet i fuldskala værdier. Fuldskala refererer, for The Crestwing, til et Nordsø anlæg med en total længde på 80 m og en bredde på 20 m. I rapporten vil der fremstå store kræfter som måske med fordel kunne omregnes til kræfter pr løbende meter bølgefront. I så tilfælde ville en kraft på f.eks. 1000 kN for 20 meter anlægget udgøre en kraft pr. meter bølgefront på 50 kN.

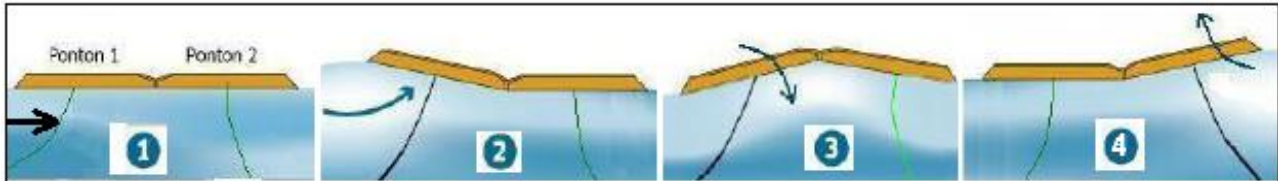
Offshore test af konceptet har ikke været muligt finansielt og teknisk, men er fortsat af vital betydning. Waveenergyfyn er derfor, indtil videre for egne midler, i samarbejde med aktører i Frederikshavn om bygning og udlægning af et offshore anlæg i en skala 1:5 Hanstholm site.

Da det er en fortsættelse af nærværende projekt præsenteres offshore konceptet ved en kort introduktion under appendiks.

1. Sammenfatning

Bølgeenergianlægget The Crestwing ligner umiddelbart en traditionel flyderkoncept dets grundstruktur er enkel, bestående af to flade sammenhængslede flydere.

På nedenstående illustration over anlæggets funktion er det under funktionsfaserne 3 og 4 The Crestwing producerer energi.



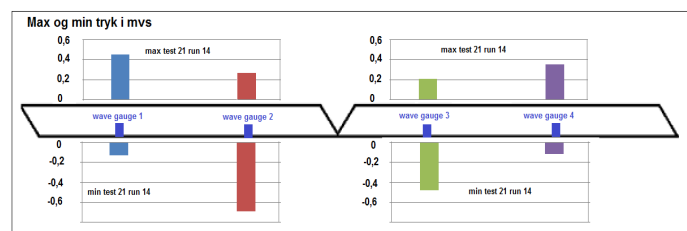
De fleste flyderkoncepter inden for bølgeenergi opererer med kræfter fra opdrift for den opadgående bevægelse hvor anlæggets nedadgående bevægelse sikres gennem en høj egenvægt.

Med The Crestwing (Bølgevingen) opnås tilbageslaget i kraft af atmosfæretrykket og ikke anlægsvægten, hvorved der kan anvendes et let anlæg med en stor opadgående rørelse, samtidig med en efterfølgende stor og kraftfuld nedadgående rørelse.

Funktionen blev påvist under de indledende forsøg i AAU's bølgetank i 2008 hvor anlægsvægtens indflydelse på anlægget blev undersøgt. Anlægsvægten havde her ingen eller ringe indflydelse på anlæggets effektivitet.

Under nærværende testforløb på DHI i 2010 er trykforholdene under anlægget målt for at teste om der dannes det estimerede undertryk eller vakuum under hængslet.

Testens fire trykmålere bekræftede de estimerede trykforhold. Dette sammen med målte pitch vinkler på op til 16 grader (ved Hs på 5m) er en bekræftelse som sætter The Crestwing i forhold til traditionelle flyderkoncepter.



Test og udviklings forløb i DHI's testfaciliteter

Under projektet The Crestwing final test projekt nr.10465 er der gennemført et omfattende test og udviklings forløb i DHI's testfaciliteter.

Formålet for projektet var, gennem et omfattende testforløb ”onshore” at simulere drift af The Crestwing i så stor en skala som muligt med de eksisterende danske afprøvnings faciliteter(DHI's dybvandstank).

Rao test

Responsamplituden Operators (RAOs) for bevægelser, PTO stang kræfter, fortøjning linje kræfter, og skrog og hængsel styrker blev fastsat for alle test.

RAO respons amplitude operatoren beskriver forholdet mellem et givet responspektrum (f.eks. spektret for fortøjningskraften) og det indkomne bølgespektrum. Med denne kan man for en bestemt bølge på en specificeret site finde et tilsvarende respons. RAO testen er et væsentlig værktøj for en hurtig og sikker projektering af fremtidige projekter.

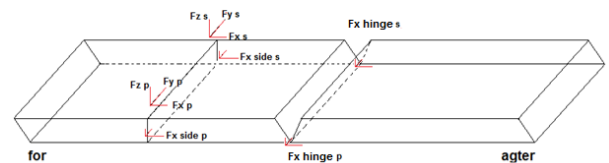
Modellen

DHI's bølgetank gav mulighed for, under bevarelse af fuld test kvalitet, at teste anlægget i en skala 1:20 af fuldskala niveau Nordsøen svarende til skala 1:15 fuldskala Hanstholm.

Med udgangspunkt i de tidligere fastlagte forhold mellem længde, bredde og højde udformedes modellen med en længde overall på 4 m, en bredde på 1 m og en højde på 0,14 m. Modellen udvikledes på erfaringer fra AAU testforløbet og teamets erfaringer og opbyggedes i composite forberedt for montering af kraft transducere, tryktransducere, PTO og forankringssystem.



Under testforløbets skiftedes piano hængslet ud med sidehængsler monteret på endimensionelle krafttransducere for måling af kræfter i hængslet. Ligeledes blev forreste ponton delt på midten for re-samling via tredimensionelle krafttransducere placeret på dæk i SB og BB side for måling af kræfter i i skroget. Endeligt monteredes der fire trykmålere i bunden af anlægget, to i hver ponton.



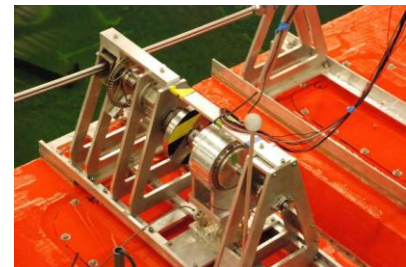
PTO systemet

Det var ikke muligt for os at bygge PTOén i skala med modellen hvorfor dens skala var ca.2,5 gange modellens. PTO systemet tager udgangspunkt i den, under testforløbene på AAU i 2008/2009, udviklede PTO dummys som principiel er et gear der omdanner den fra WECén lineære bevægelse til en radial bevægelse hvor belastningen påføres vha. en skivebremse.



PTO systemet for DHI testforløbet baseredes på bygning af en fælles frame for en trinvis udbygning af systemet. Som første trin opbyggedes et linear gear med skivebremse for anvendelse under **fase 1**. (mooring test).

For det fortsatte testforløb på byggedes hysteresebremse/flywheel arrangement, omfattende hysteresebremse, intern flywheel, gear $i=8$, elektromagnetiske koblinger, omdrejningstæller samt tredimensionel transducer for måling af generator moment. Alle led i energiomsætningen registreredes ved kilden via transducer opstillinger herunder måling af bølgeenergien. Opstillingen muliggjorde momentan load kontrol fra main board.



Test bench for Power Take Off (PTO) test

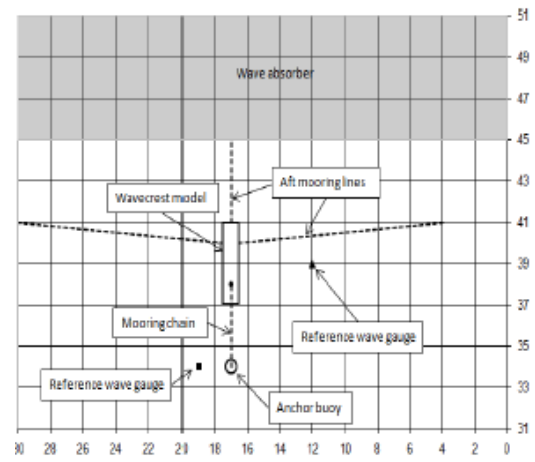
For test af alternative udvekslingstrin i gearet opbyggedes en PTO testbænk. Testbænken er opbygget over en stiv frame med en hydraulisk aktuator linet op og koblet til hydraulik station. Aktuatorens styres ud fra afholdte tids serier i bølgetank. Der er yderligere monteret krafttransducere på trækstang og hysteresebremse samt arr. for måling af RPM.



Forsøgsopstilling

Forsøgs opstillingen er beskrevet i afsnit 7 i DHI's rapport Crestwing WEC Model Tests-Final-Rev. 2 14Jan11. side 20

Modellen er placeret med front mod bølgeaktuatorerne og med mulighed for varierede forankrings opstillinger. Hovedforankrings bøjle blev indrettet med mulighed for vertikal regulering fra bund af tank til overflade og for måling af kraft og bevægelse. Agterforankringer indrettedes tilsvarende. Anlæggets bevægelser, rumlige placering og orientering blev dokumenteret løbende og logget og indgår således i alle loggede tidsserier.



Forsøgsprogram

Testforløbet var opdelt i følgende 5 faser:

- Phase 1 – Hydrodynamic behavior and mooring tests
- Phase 2 – Power Take Off (PTO) tests
- Phase 3 – Hull section force tests
- Phase 4 – Investigation of the efficiency when applying aft pontoon mooring lines
- Phase 5 - Power Take Off (PTO) tests in test bench

ad. Phase 1 – Hydrodynamic behavior and mooring tests

Forankringskonceptet er afgørende for anlæggets overlevelse og dets effektivitet. Det var væsentligt at afprøve et bredt spekter fra traditionel offshore mooring principper til systemer helt uden dæmpning. I fase 1 blev der lagt ud med en traditionel offshore mooring princip som ud fra testresultaterne blev ændret over de efterfølgende faser.

ad. Phase 2 – Power Take Off (PTO) tests

For det fortsatte testforløb efter fase 1 udbyggedes PTO system med hysteresebremse/flywheel arrangement som realistisk simulerer et el-genererende PTO system. Under fase 2 anvendtes en traditionel offshore mooring med mean dæmpning udvalgt ud fra fase 1 testforløbet.

ad. Phase 3 – Hull section force tests

For testforløbet i fase 3 monteredes krafttransducere for måling af initierede kræfter i skrog og hængsler. Under fase 3 anvendtes både traditionel offshore mooring og fjeder dæmpede systemer udvalgt ud fra tidligere forløb herunder AAU testene.

ad. Phase 4 – Investigation of the efficiency when applying aft pontoon mooring lines

Efter testforløbet i de foregående 3 faser gennemførtes der test med udgangspunkt i udvalgte parametre for hovedforankring og PTO system. De afsluttende test sigter mod test af realistiske optimerede opstillinger for både kystnære site og site på åben hav.

ad. Phase 5 – Power Take Off (PTO) tests in test bench

Der gennemførtes test med udvekslingsforholdene $i=8$, $i=12$, $i=16$ og $i=24$

Hydrodynamic behavior Kendskab til anlæggets hydrodynamiske bevægelser har betydning for design og konstruktion, for dimensionering af forankringssystemet samt for ophold på anlægget. Set over alle test faser er der store variationer i bevægelserne og deres øgning ved stigende bølgehøjder.

Anlægget har under det meste af testforløbet frem til fase 4 været holdt fast udelukkende vha. af hovedforankringen. Den har her haft en max udsving fra bølgeretningen på 8 grader hvilket, ud fra test med op til 20 graders tvungen afvigelse, kun har en marginal indflydelse på anlæggets ydeevne.

Pitch og Roll bevægelserne er væsentlige ved vurdering af drift og vedligeholdelsesproblematikken. Her vil pitch være den faktor der fastlægger bølgehøjde grænsen for drift og vedligehold. Ved H_s 3m er der en hældning på 8 grader i længde retning samtidig med at der kan være en Roll vinkel bevægelse indenfor et par grader. Der er et betydeligt antal timer for drift og vedligehold med H_s på eller under $H_s=2$ m hvilket vil give en Pitch bevægelse på under 5 grader og en Roll på omkring 1,5 grader.

The Crestwings går ikke i resonans, bevægelses mønstret er direkte afledt af formen og retningen af de underliggende bølger. Bevægelserne er forudsigelige hvilket er positivt for afholdelse af drift og vedligehold.

Mooring systemet har været udsat for vores udelte opmærksomhed under hele testforløbet, og er den del af konceptet der har udviklet sig mest. Udviklingen fra de stærkt dæmpede systemer i fase 1 og frem til de realiserbare løsninger med mindre dæmpning i fase 4 blev løsningen på en sikker forankring, som samtidig gav en tilfredsstillende absorber effektivitet.

Forankringssystemerne der blev udviklet på basis af testene i fase 1 til 3 og anvendt under fase 4 udviste et forankringstræk på eller under 120 kN. Ved dimensioneringen af forankringssystemet tages der udgangspunkt i de ekstreme test fra de øvrige faser med forankringstræk på op omkring 1000 kN.

Ved de optimerede test i fase 4 udviste forankringsystemet en høj stabilitet hvor forankringstrækket holdt sig konstant uafhængig af stigende bølgehøjde.

Power Take Off (PTO) tests

Udviklingen af PTO systemet med hysteresebremse/flywheel arrangement var baseret på tilgængelig teknologi mht. elektrisk bremse, koblinger, tandstang/tandhjul, lejer mv. Systemet kunne kun bringes ned i en skala der var 2,5 gange større end skalaen for modellen. Det medførte at de indbyggede modstande i form af friktion og inert i gear, tandstang, aksler og koblinger mv. var over 15 gange større end ved modellens skalaforhold. Den øgede modstand havde kun indirekte indflydelse på de målte kræfter og bevægelser i trækstangen. Da gear og hysteresebremse kun aktiveres når hængsels leddet trækkes ned, vil inert i og friktion frem til friløbslejet give modstand i det inaktive tilbageslag. Dette vil alt andet lige medføre en reduktion i absorberet effektivitet, men har sandsynligvis ikke haft væsentligt indflydelse på de initierede aktive kræfter i tandstangen.

PTO systemet under test fase 4 udviste, med undtagelse af test med 2 agter fortøjninger, en belastning på under 8000 kN som ikke var stigende med bølgehøjden. PTO systemets uregulerede belastning under ekstreme test, afviklet under faserne 1 til 3, giver belastninger på op omkring 11 000 kN.

Der er tale om meget store kræfter i PTO systemet og selv om denne fordeles på flere systemer vil der skulle indbygges sikkerheds og udkoblings arrangementer. De optimerede test i fase 4 udviste en høj stabilitet hvor kraften i PTO systemet holdt sig konstant med stigende bølgehøjde. Under de ekstreme testforløb i de øvrige faser var kraften i PTO systemet stigende med stigende bølgehøjde, hvilket må være udgangspunktet under design og konstruktion. De betydelige kraftoverførsler vil kræve omhyggelig udvikling af sikre udkoblings mekanismer.

Hull Force

Langsgående belastninger i skroget er væsentlige for design og konstruktion. Belastningen er generel stigende med stigende bølgehøjde gående fra 4000 kN til 9000 kN. De maximale kræfter som skroget skal indrettes for, hvis der ikke foretages udkobling af PTO belastningen, løber op omkring 10 000 kN. Selv om der er tale om betydelige kræfter i skroget, forventes det ikke at give problemer, som ikke kan løses under design og konstruktions fasen.

Ved de optimerede test i fase 4 har kraften i skroget holdt sig konstant med stigende bølgehøjde. Under de ekstreme testforløb i de øvrige faser var kraften i skroget stigende med stigende bølgehøjde, hvilket må være udgangspunktet under design og konstruktion. De betydelige kraftoverførsler vil kræve omhyggelig udvikling af sikre udkoblings mekanismer.

Hinge Forces

Max belastningen på hængslerne er generel stigende med stigende bølgehøjde gående fra 2000 kN til 9000 kN. De maximale kræfter som hængslet skal indrettes for, vil uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 9000 kN. Selv om der er tale om betydelige kræfter i hængslet forventes det ikke at give problemer, som ikke kan løses under design og konstruktions fasen.

Ved de optimerede test i fase 4 holdt kraften i hængslerne sig konstant med stigende bølgehøjde. Under de ekstreme testforløb i de øvrige faser var kraften i hængslerne stigende med stigende bølgehøjde, hvilket må være udgangspunktet under design og konstruktion. De betydelige kraftoverførsler vil kræve omhyggelig udvikling af sikre udkoblings mekanismer.

Investigation of the efficiency

Effektiviteten har, i modsætning til AAU testene i 2008, ikke været det altafgørende under testene på DHI. Samtidig er energiproduktionen af stor betydning for konceptet og forudsætningen for økonomisk kommercielt konkurrencedygtighed.

De for de afsluttende tests i fase 4 valgte forankrings koncepter, initierer en effektivitet omkring 40 procent ved Hs 2m opnået gennem test i et irregulær 3D miljø. Målsætningen på sigt er naturligvis at øge effektiviteten mod de under testen på DHI viste mulige niveau på 50 til 55 procent opnået gennem test i et irregulær 3D miljø. Under test af effektiviteten hvor bølge retningen afveg med op til 20 grader fastholdtes effektivitets niveauet.

De optimerede test i fase 4 viste et meget sikkert og stabilt forankringssystem hvor de initierede kræfter i forankring, PTO, skrog og hængsel ikke steg med stigende bølgehøjde. Da der samtidig opnåedes en god virkningsgrad vil det være det naturlige udgangspunkt for fremtidig design og konstruktion.

Power Take Off (PTO) tests in test bench

Testforløbet i testbænken overraskede ved at initiere op til 80 procent, større kræfter end der var registreret under testforløbet i bølgetanken. I de fremtidige test forløb i testbænken vil den hårde hydrauliske aktiveringsform skulle suppleres med en træg fjederkonstant for simulering af bølgeenergianlæggets funktion. Der vil ydermere hos DHI skulle investeres i ny og kraftigere krafttransducere med ekstraordinær stor måle område. At vi ikke har kunnet registrere de største PTO kræfter påvirker naturligvis præsentationen her, men forhindrer ikke værdien af analyse af gearingsforholdene ud fra tidsserierne.

Testbænken vil blive anvendt for udvikling og test af det el-producerende PTO system der skal installeres i den kommende skala 1:5 offshore anlæg ud for Frederikshavn.

Jeg har gennemgået tidsserierne over testbænk forløbet, men vil først være færdig med en egentlig analyse i april/maj 2011.

2. Konklusion

Under testforløbet er der indhentet et omfattende datagrundlag, som vil blive yderligere analyseret i de kommende måneder. Dette sammen med brug af responsamplituden Operators (RAOs) giver et solidt grundlag for projektering og design af kommende skala projekter.

Test og udvikling af konceptet i de første tre testfaser Phase 1 – Hydrodynamic behavior and mooring tests, Phase 2 – Power Take Off (PTO) tests og Phase 3 – Hull section force tests var baggrunden for at optimere testforløbet i Phase 4 – Investigation of the efficiency when applying aft pontoon mooring lines.

Testen af det optimerede koncept udviste moderate belastninger af skrog, hængsel, PTO system og forankring som fra $H_s = 2\text{m}$ ikke øgedes med bølgehøjden. Da der samtidig opnåedes en tilfredsstillende effektivitet, er der dannet et godt udgangspunkt for design og projektering af det første skalaanlæg.

The Crestwing's bevægelser følger bølge overfladens bevægelse uden tilbøjelighed til at gå i resonans med bølgerne hvilket også blev konstateret under testene på AAU i 2008.

Anlægget udsættes for moderate flytninger i det vandrette plan og er selvoprettende i forhold til bølgeretningen. Hos anlægget, der ikke dykker ned i de indkommende bølger, ses en stor pitch vinkel, gående fra 8 grader ved $H_s = 3\text{ m}$ til 16 grader ved de højeste bølger. Da anlæggets Roll bevægelse ligger under 2 grader, bliver det Pitch bevægelsen der er afgørende for under hvilke bølgehøjder, der kan udføres vedligehold. Der er et betydeligt antal timer for drift og vedligehold med H_s på eller under $H_s = 2\text{ m}$ hvilket vil give en Pitch bevægelse på under 5 grader og en Roll på omkring 1,5 grader.

PTO systemet under test fase 4 udviste, med undtagelse af test med 2 agter fortøjninger, en belastning på under 8000 kN som ikke var stigende med bølgehøjden. Under de ekstreme testforløb i de øvrige faser var max kraften i PTO systemet omkring 11000 kN og var stigende med stigende bølgehøjde, hvilket må være udgangspunktet under design og konstruktion. De betydelige kraftoverførsler vil kræve omhyggelig udvikling af sikre udkoblings mekanismer.

Langsgående belastninger i skroget er væsentlige for design og konstruktion. Belastningen er generel stigende med stigende bølgehøjde gående fra 4000 kN til 9000 kN. De maximale kræfter som skroget skal indrettes for, hvis der ikke foretages udkobling af PTO belastningen, løber op omkring 10 000 kN. Selv om der er tale om betydelige kræfter i skroget forventes det ikke at give problemer, som ikke kan løses under design og konstruktions fasen.

Ved de optimerede test i fase 4 holdt kraften i hængslerne sig konstant med stigende bølgehøjde. De maximale kræfter som hængslet, ud fra de øvrige faser, skal indrettes for, vil uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 9000 kN. Selv om der er tale om betydelige kræfter i hængslet forventes det ikke at give problemer, som ikke kan løses under design og konstruktions fasen.

Testforløbet i testbænken overraskede ved at initiere op til 80 procent større kræfter end der var registreret under testforløbet i bølgetanken. Der vil skulle udvikles på testbænken forud for test af el-producerende PTO system i de kommende skala 1:5 offshore test ud for Frederikshavn.

3. Rapporten

3.1 Forsøgsmodellen

Flyder konstruktion

Den ny flyder model udvikledes på erfaringer fra AAU testforløbet og teamets erfaringer. Modellen i skala 1:20 version opbyggedes i compositeforberedt for PTO og forankringsystem. Konstruktionen opbyggedes i et samarbejde mellem Waveenergyfyn, projektteamets composite specialist og Danish Yacht



Modellens størrelse

Modellens opbygning er enkel, bestående af to flade sammenhængslede flydere dimensioneret i så stor størrelse som DHI's bølgetank giver mulighed for, under bevarelse af fuld test kvalitet.

Med udgangspunkt i de tidligere fastlagte forhold mellem længde, bredde og højde udformedes modellen med følgende hovedmål: længde overall på 4 m, en bredde på 1 m og en højde på 0,14 m.

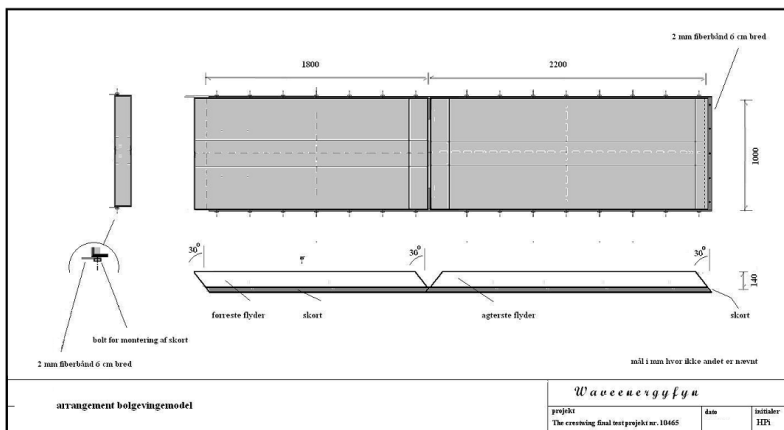


Fig. 1. Modellens størrelse

Modellens opbygning

Modellen i skala 1:20 version opbyggedes i composite forberedt for montering af krafttransducere, tryktransducere, PTO og forankringsystem. På produktionstegningen fra Danish Yacht (fig. 3.) ses træ indlæg for forstærkning i forhold til ovenstående samt lugearrangement for adgang til bund. Forreste ponton er opdelt på midten og samlet igen for efterfølgende montage af kraft transducere for test af kræfter i skrog.

Skørt og out-let opbyggedes i 2 mm composite.

Hængsel ledet mellem flyderne er udformet som et piano hængsel og blev opbygget i aluminium med rustfast aksel.

Forankringsskinnerne under anlægget var opbygget af alu U-profiler.

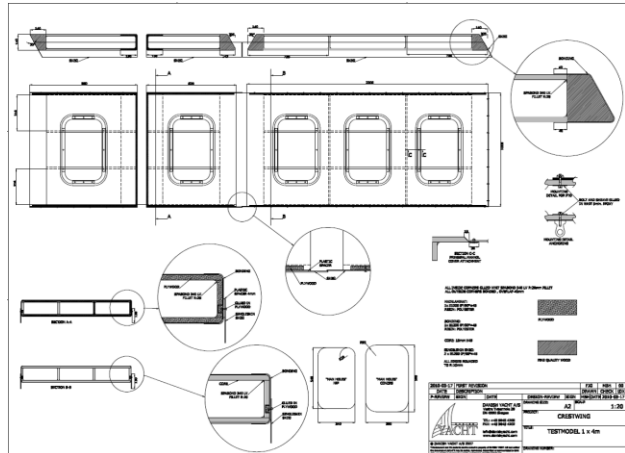
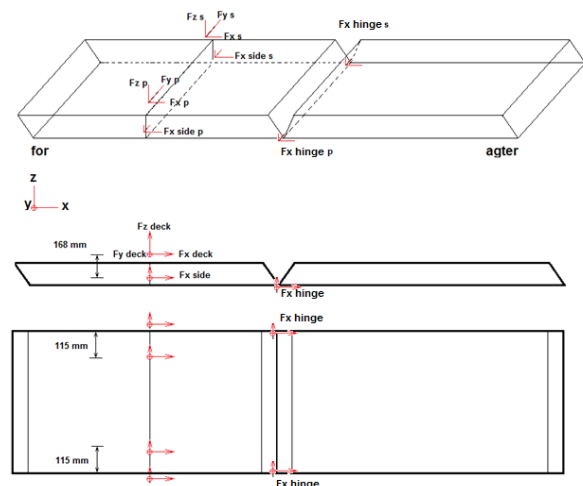


Fig. 2 Produktionstegning

Placering og montage af krafttransducere

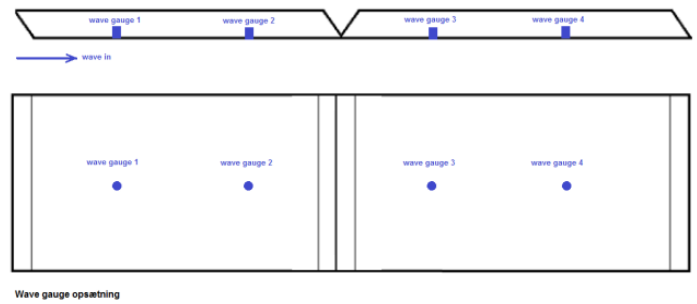
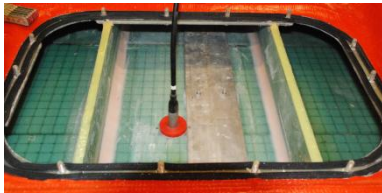
Under testforløbet fase 3 skiftedes piano hængslet ud med sidehængsler monteret på endimensionelle krafttransducere.

Samtidig gennemskæres forreste ponton på midten for re-samling via tredimensionelle krafttransducere placeret på dæk i SB og BB side. Af hensyn til opnåelse af tilstrækkelig stivhed, i forreste ponton, blev de tredimensionelle krafttransducere på dækket suppleret med endimensionelle krafttransducere på ponton siden.



Placering og montage af tryktransducere

Under forløbet testedes trykket i fire positioner under anlægget for afklaring af den specielle Crestwing funktion med udnyttelse af potentialet fra det overliggende atmosfæriske tryk.



3.2 PTOéns opbygning

PTO systemet tager udgangspunkt i den, under testforløbene på AAU i 2008/2009, udviklede PTO dummys som principiel er et gear som omdanner den fra WECén lineære bevægelse til en radial bevægelse hvor belastningen påføres vha. en skivebremse.

PTO systemet for DHI testforløbet baseredes på bygning af fælles frame for en trinvis udbygning af systemet. Som første trin opbyggedes et linear gear med skivebremse for anvendelse under **fase 1**. (mooring test). For det fortsatte testforløb på byggedes hysteresebremse/flywheel arrangement.

Skivebremse PTO monteret på anlæg

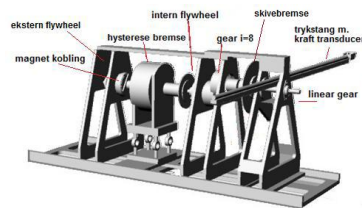
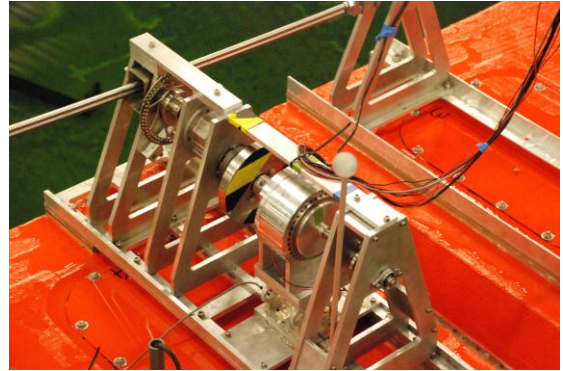
Skivebremse PTOén monteredes centralt på frame med tandstang koblet på modhold via endimensionel krafttransducer. Skivebremsen etableredes med hydraulisk aktivering for trinløs regulering af bremsekraft.

Skivebremsen er analogt med skivebremse PTO anvendt under de indledende forsøg på AAU i 2008.



Hysteresebremse PTO

For det fortsatte testforløb, efter fase 1, udbyggedes PTO systemet med hysteresebremse/flywheel arrangement. Hysteresebremse/flywheel arrangementet omfattede hysteresebremse, intern flywheel, gear $i=8$, elektromagnetiske koblinger, omdrejningstæller samt tredimensionel transducer for måling af generator moment



Regulering

Alle tre led i energiomsætningen registreredes ved kilden via transducer opstillinger herunder måling af bølgeenergien. Herigennem kunne der foretages momentant load control og til/frakobling fra mainboard. Momentant kendskab til og kontrol mulighed af energiomsætningen blev benyttet til optimering af drift konditioner for det samlede koncept

under og efter testen.

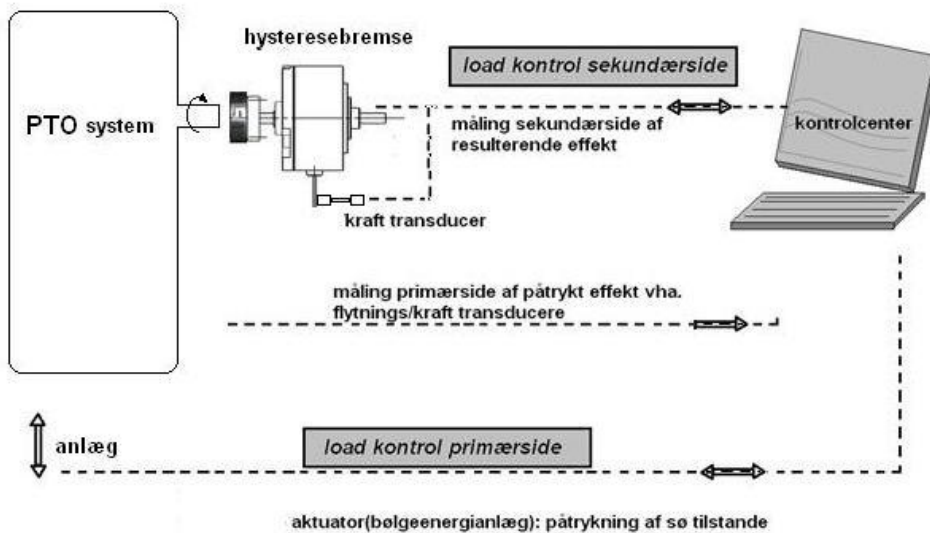
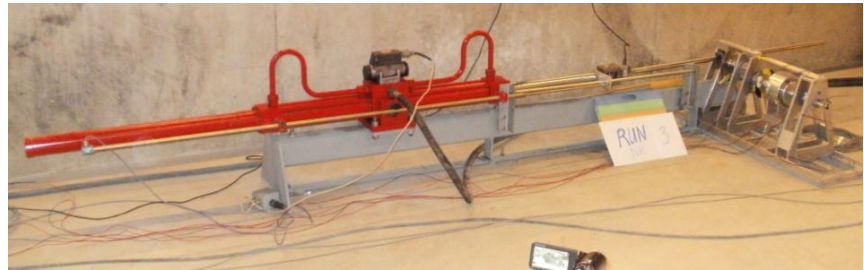


Fig. 12 regulerings princip

Test bench for Power Take Off (PTO) test

Testbænken er opbygget over en stiv frame med en hydraulisk aktuator linet op og koblet til hydraulik station. Aktuatorens styres ud fra afholdte tidsserier i bølgetank. Der er yderligere monteret krafttransducere på trækstang og hysteresse bremse samt arr. for måling af RPM.



3.3 Forsøgsopstilling

Forsøgs opstillingen er beskrevet i afsnit 7 i DHI's rapport Crestwing WEC Model Tests-Final-Rev. 2 14Jan11. side 20

Modellen er placeret med front mod bølge aktuatorerne og med mulighed for varierede forankrings opstillinger. Hovedforankringsbøjnen blev indrettet med mulighed for vertikal regulering fra bund af tank til overflade og for måling af kraft og bevægelse. Agterforankringer indrettedes tilsvarende.

Anlæggets bevægelser og rumlige placering og orientering bliver dokumenteret løbende og logges og indgår herved i alle loggede tidsserier.

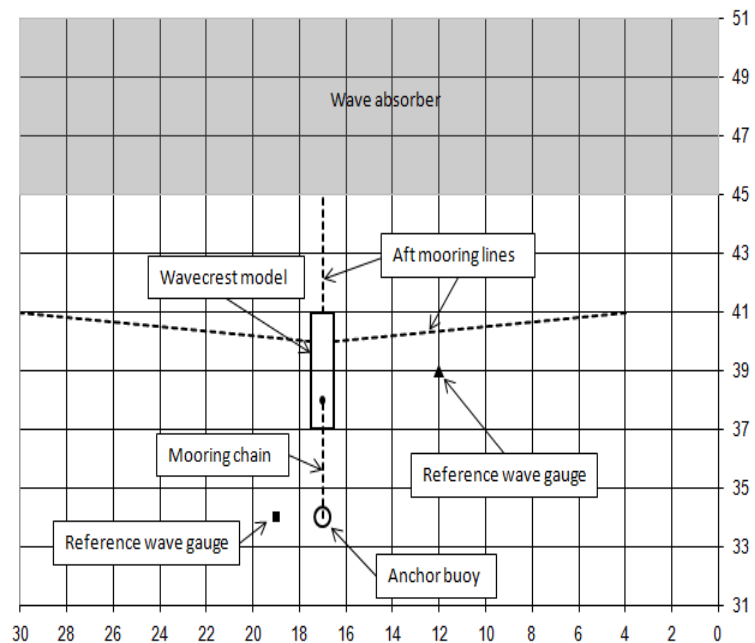
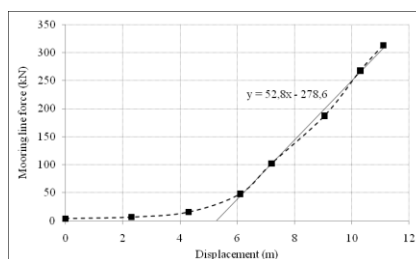
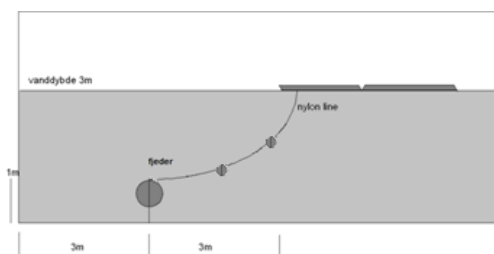


Fig. 14. Hoved opstilling

Opstillinger over forankring

Den indledende fase 1 opstilling tog udgangspunkt i en traditionel off shore test med mulighed for at variere dæmpningen. Ud fra erfaringerne under mooring test fase 1 blev der opstillet en vifte af opstillinger resulterende i egentlige testforløb med varierende karakteristikker og positioneringer som vist nedenfor under **testfase 2, 3, 4**

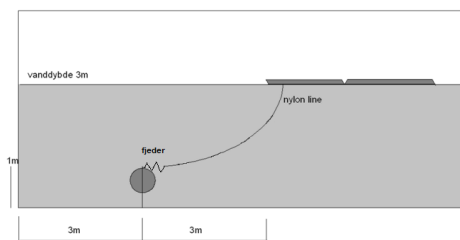
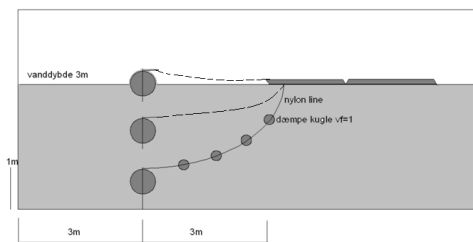
Test fase 1



Traditionel offshore opstilling

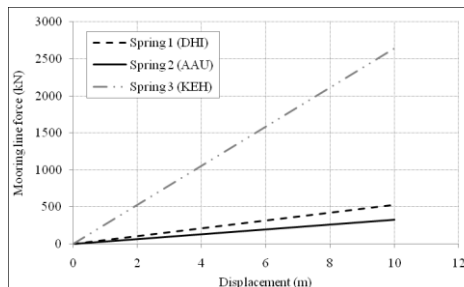
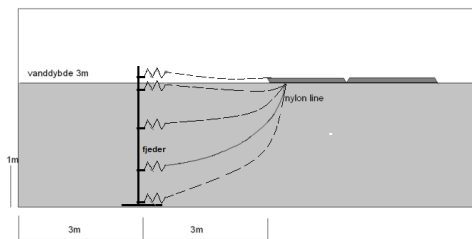
Karakteristik traditionel offshore opstilling

Test fase 2, 3, 4



Positionering traditionel offshore opstilling

Fjeder baseret opstilling - undersøisk ankerbøjle



Positionering fjeder offshore opstilling

Karakteristik fjeder offshore opstilling

Fig. 15. Opstillinger over hoved forankring

Opstillinger kystnær forankring

Under testfase 1, 2,3 er hovedforankringen blevet konkretiseret hvilket danner udgangspunkt for test af anlægget med agter forankring ved kystnære placeringer. Nedenstående oplæg til afsluttende test **fase 4** giver et overblik.

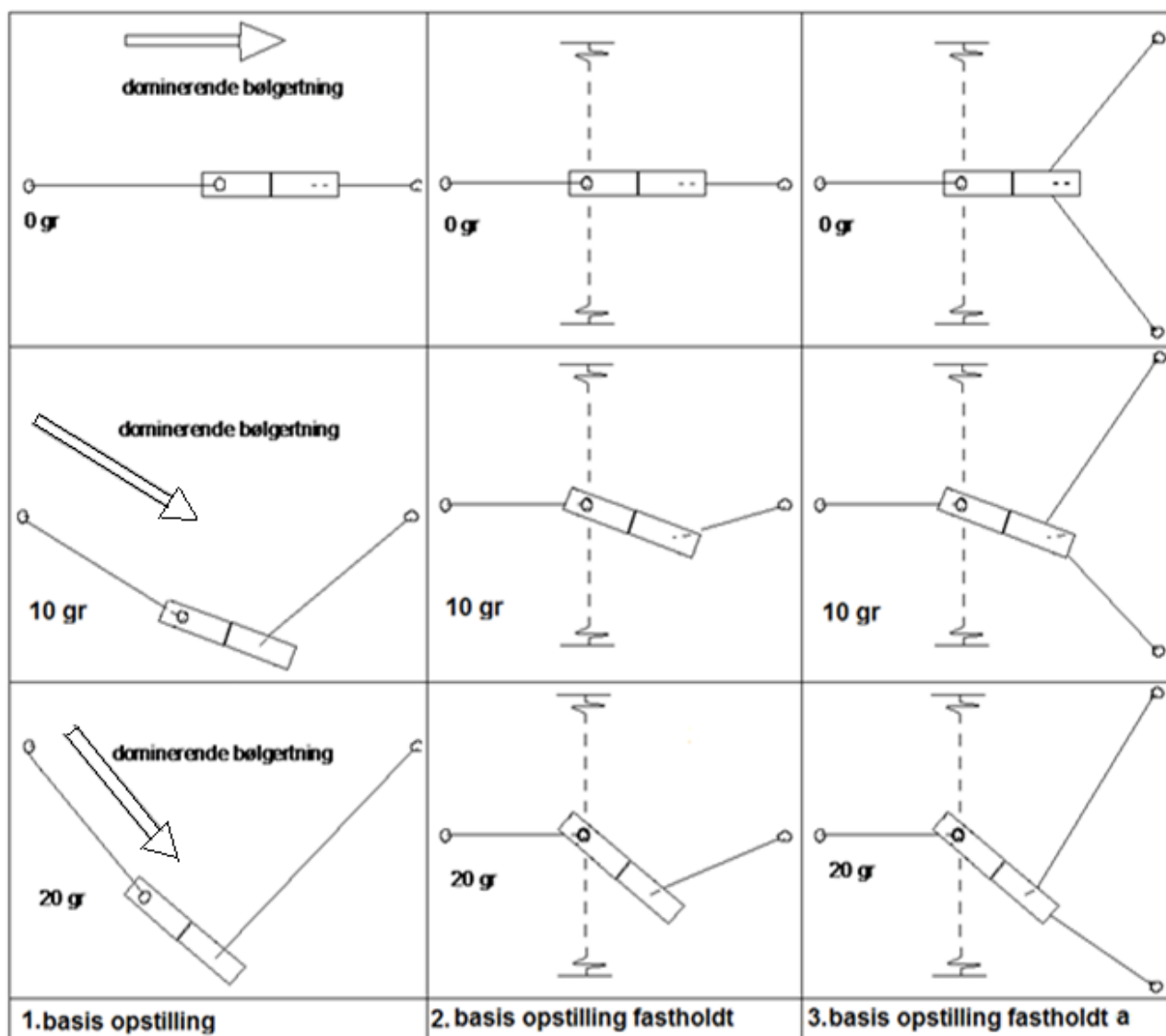
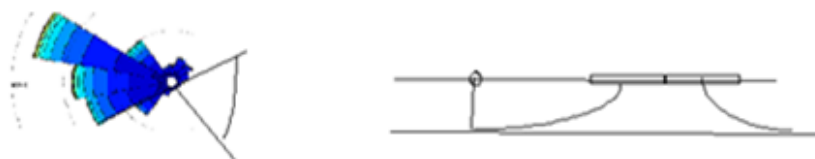


Fig. 16. Opstillinger over forankring kystnære placeringer

3.4 Forsøgsprogram

Forsøgs programmet er beskrevet i afsnit 7 i DHI's rapport

Testforløbet var opdelt i følgende 5 faser:

- Phase 1 – Hydrodynamic behavior and mooring tests
- Phase 2 – Power Take Off (PTO) tests
- Phase 3 – Hull section force tests
- Phase 4 – Investigation of the efficiency when applying aft pontoon mooring lines
- Phase 5 - Power Take Off (PTO) tests in test bench

ad. Phase 1 – Hydrodynamic behavior and mooring tests

Forankringskonceptet er afgørende for anlæggets overlevelse og dets effektivitet. Det var væsentligt at afprøve et bredt spekter fra traditionel offshore mooring principper til systemer helt uden dæmpning. I fase 1 blev der lagt ud med en traditionel offshore mooring princip som løbende ud fra testresultaterne blev ændret over de efterfølgende faser.

ad. Phase 2 – Power Take Off (PTO) tests

For det fortsatte testforløb, efter fase 1, udbyggedes PTO system med hysteresebremse/flywheel arrangement som realistisk simulerer et el-genererende PTO system. Under fase 2 anvendtes en traditionel offshore mooring med generel mean dæmpning udvalgt ud fra fase 1 testforløbet.

ad. Phase 3 – Hull section force tests

For testforløbet i fase 3 krafttransducere for måling af initierede kræfter i skrog og hængsler. Under fase 3 anvendtes både traditionel offshore mooring og fjeder dæmpede systemer udvalgt ud fra tidligere forløb herunder AAU testene.

ad. Phase 4 – Investigation of the efficiency when applying aft pontoon mooring lines

Efter testforløbet i de foregående 3 faser gennemførtes der test med udgangspunkt i udvalgte parametre for hovedforankring og PTO system. De afsluttende test sigter mod test af realistiske opstillinger for både kystnære site og site på åben hav.

ad. Phase 5 – Power Take Off (PTO) tests in test bench

For afprøvning af kræfter og gearing i skala forhold som modsvarer PTO systemet opbyggedes en hydraulisk baseret testbænk styret af tids serier afviklet i bølgetanken.

3.5 Forsøgsresultater

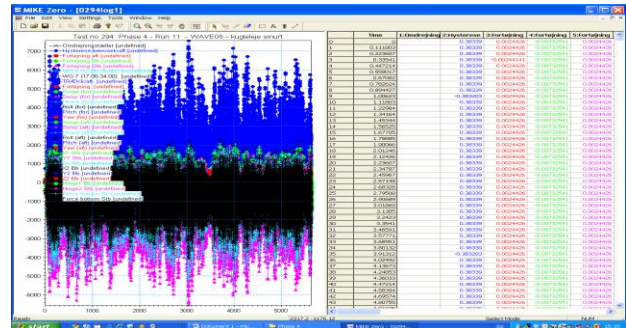
Resultaterne fremgår i øvrigt af DHI's rapport.

DHI's rapport præsenterer resultaterne af de enkelte faser gennem skema sæt over Minimum, Maksimum, Standard deviation og Mean værdierne. Hvert skema indeholder test af 15 basis parametre plus yderligere parametre tilpasset målsætningen for de enkelte faser. Alene omfanget af de præsenterede basis parametre løber op i omkring 8500 del resultater.

I nærværende slutrapport præsenteres de væsentligste resultater ud fra deres betydning for konceptet design og konstruktion. Der er således typisk præsenteret kurver med udgangspunkt i max værdier for kræfter og bevægelser. Herudover omtales det underliggende materiale der foreligger hos Waveenergyfyn i form af tids serier og RAO test.

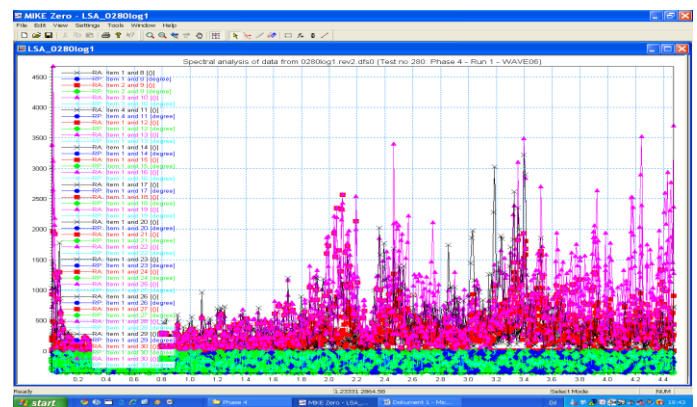
3.5.1 Tids serier

Waveenergyfyn er i besiddelse af tids serierne for hele testforløbet. Der er her tale om et meget omfattende materiale til brug for design og konstruktion af prototype anlæg.

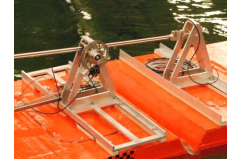
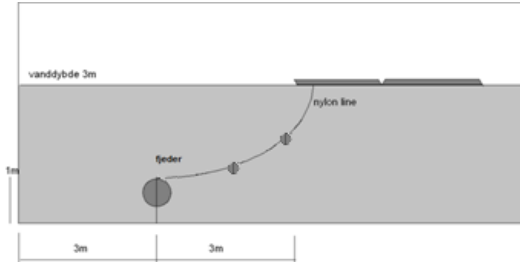


3.5.2 Rao test

Waveenergyfyn er i besiddelse af Spectral analyse for hele testforløbet. RAO er respons amplitude operatoren. Denne beskriver forholdet mellem et givet responspektrum (f.eks. spektret for fortøjningskraften) og det indkomne bølgespektrum. Med denne kan man for en bestemt bølge (på en specificeret site) finde et tilsvarende respons.



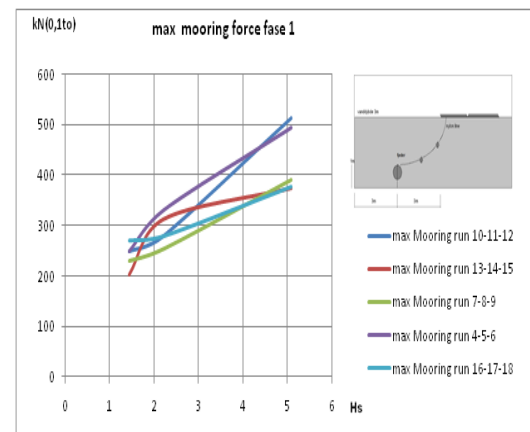
3.5.3 Phase 1 – Hydrodynamic behavior and mooring tests



Den indledende opstilling i fase 1 tog udgangspunkt i en traditionel offshore test med mulighed for at variere dæmpningen vha. vandfyldte kugler og fastgjort til undersøisk ankerbøje. For PTO belastningen under fase 1 anvendtes et linear gear med skivebremse efter samme koncept som anvendt under AAU testene i 2008.

Phase 1 Mooring force

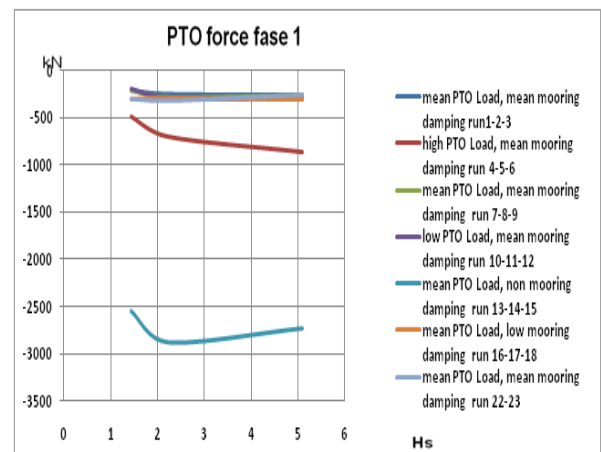
Forankringstrækket er, som forventet, generelt stigende med bølgehøjden gående fra 200 kN til omkring 500 kN. Testforløbet run 13,14,15 uden dæmpning og testforløbet run 16,17,18 med lav dæmpning skiller sig ud med den dobbelte stignings takt. De maximale kræfter som anlæggets moorings system skal indrettes for vil, ud fra fase1 testen og uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 500 kN.



Phase 1 PTO force

Max PTO trækket er for hovedparten af testene tilnærmelsesvist vandrette med stigende bølgehøjde med et træk på 200 til 300 kN. Testforløbet run 13,14,15 uden dæmpning skiller sig ud med max træk mellem 2500 og 3000 kN eller ti gange normal trækket i fase 1.

De maximale kræfter som anlæggets hængsels led og PTO system skal indrettes for vil, ud fra fase1 testen og uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 3000 kN



Den aktive retning på tandstangen medfører her at PTO force vises som negative værdier

Phase 1 pressure underneath plant

The Crestwing trækker energi ud af bølgerne fra det punkt hvor hængslet er i højeste position over bølgen og frem til bølgen har forladt anlægget. Drift formen baserer sig udnyttelse af det initierede undertryk i zonen omkring hængslet.

Installationen for måling af trykforholdene omfattede tunge nedhængende kabler som kunne have en uspecificeret indvirkning på de øvrige test. Der blev derfor kun foretaget 3 run på trykforholdene ved tre Hs. værdier.

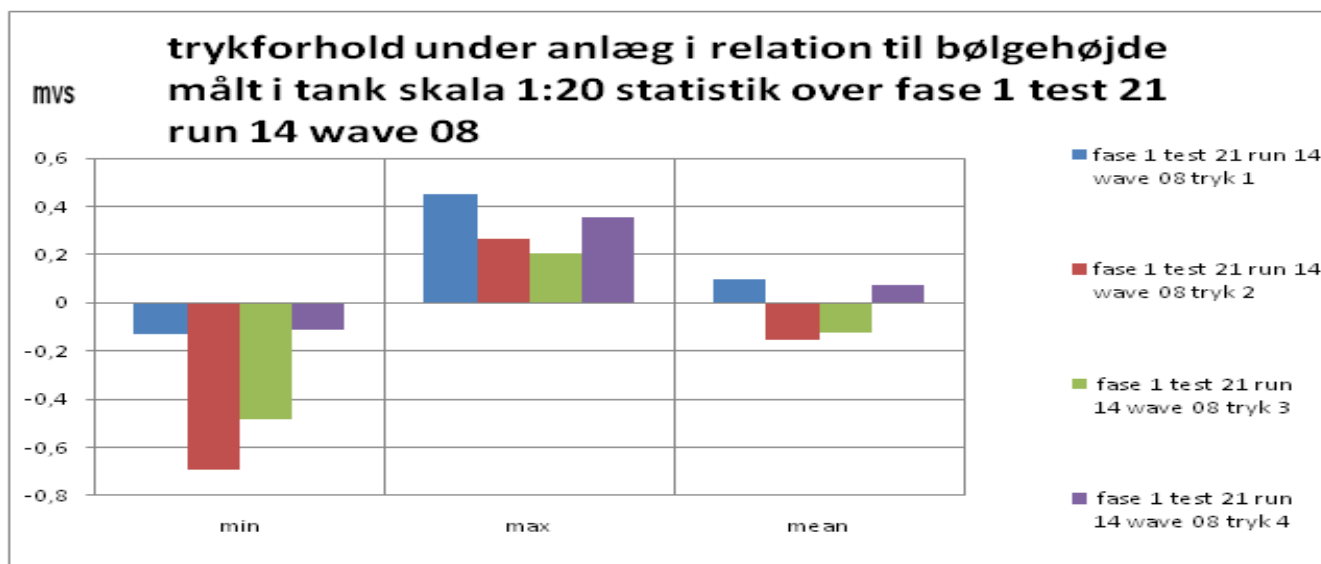
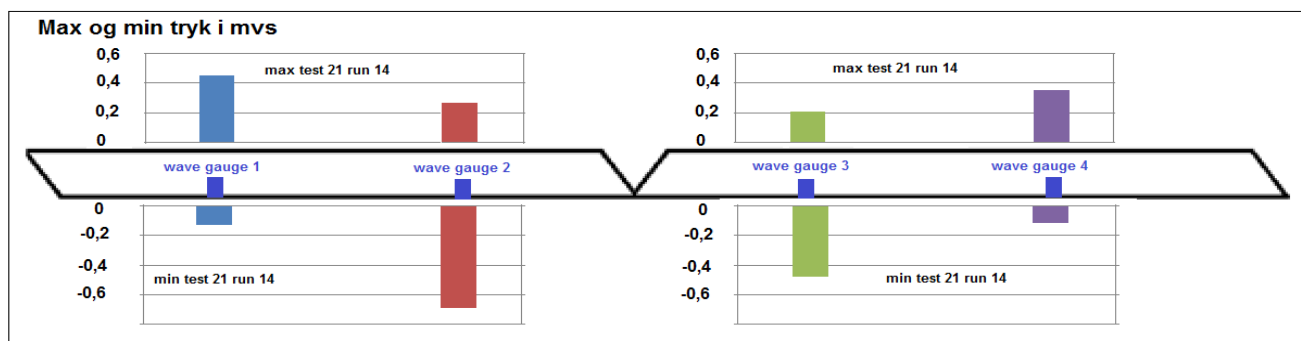


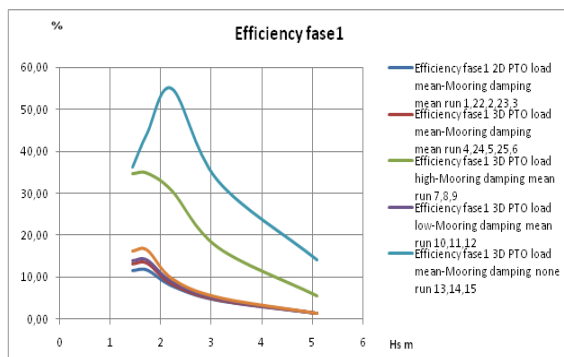
Fig. 20. Min, max, mean trykforhold under anlæg

Test af trykforholdene under anlægget viste at der overvejende var positive tryk på de yderste wave gauge og modsat negativ tryk (sug) på de to inderste. Testene blev udført under fase 1 hvor anlægget kun initierede en tredjedel af de PTO kræfter der initieredes i fase 4.



Phase 1 efficiency

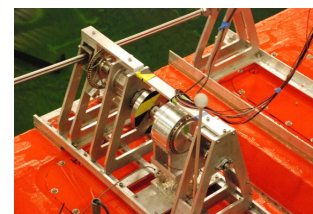
Effektiviteten for hovedparten af testene i fase 1 ligger fra et par procent ved $H_s = 5\text{m}$ toppende med 12 til 17 procent ved $H_s = 2\text{m}$. Testforløbet run 13,14,15 uden dæmpning skiller sig ud med ca. 15 procent ved $H_s = 5\text{m}$ toppende med 50 – 55 procent ved $H_s = 2$.



De målte virkningsgrader under fase 1 viser hen mod en forankrings opstilling med reduceret dæmpning samt, at der skal arbejdes med optimering af PTO belastningen.

3.5.4 Phase 2 Power Take Off (PTO) tests

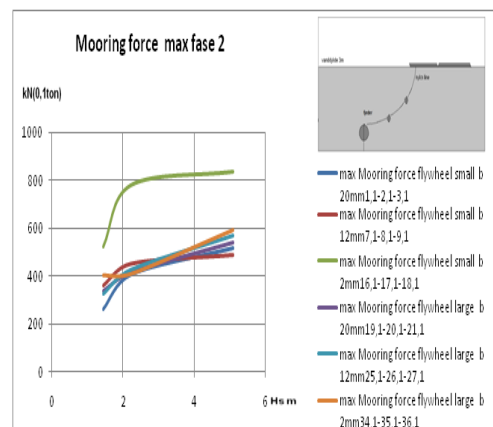
For det fortsatte testforløb udbyggedes det lineare gear med et egentlig PTO system med hysteresebremse/flywheel arrangement.



Phase 2 Mooring force

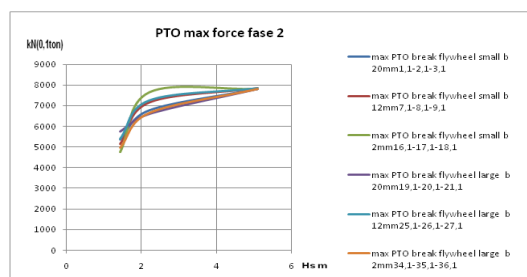
Under test af hysteresebremse/flywheel PTO systemet anvendtes forankrings opstillingen fra fase 1 med mean dæmpning. Forankringstrækket er, som forventet, generelt stigende med bølgehøjden gående fra 200 kN til omkring 600 kN. Testforløbet run 16.1,17.1,18.1 belastet med den mindste flywheel initierer et forankringstræk på ca. 800 kN.

De maximale kræfter som anlæggets moorings system skal indrettes for vil, ud fra fase2 testen og uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 800 kN.



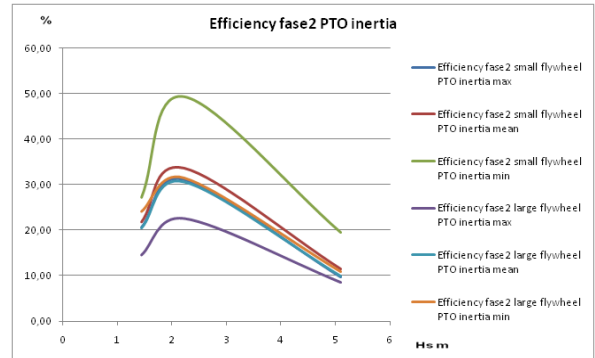
Phase 2 PTO force

De maximale kræfter som anlæggets hængsels led og PTO system skal indrettes for vil, ud fra fase2 testen og uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 8000 kN.



Phase 2 efficiency

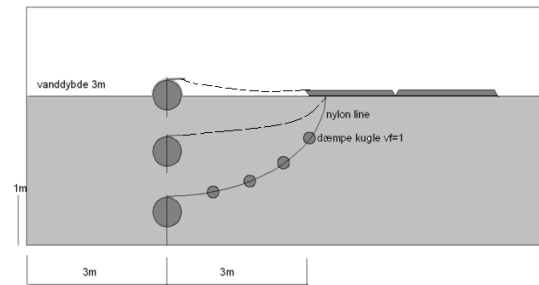
Effektiviteten har ikke været i centrum for fase 2 idet den indledende forankrings opstilling fra fase 1, med en traditionel offshore test opstilling, er anvendt. Sammenlignet med effektiviteten fra fase 1 opnås en betydelig højere effektivitet ved anvendelse af hysteres PTOén.



3.5.5 Phase 3 – Hull section force tests

Phase 3 – PTO and Mooring tests

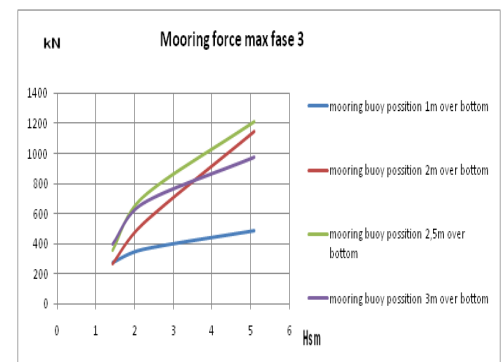
Under testene anvendtes forankrings opstillingen fra fase 1 med forankringsbøjen i fire positioner med henholdsvis 1m, 2m, 2,5m og 3m over bassinbunden til overfladen.



Test ved varierende positioneringer af hovedforankring traditionel opstilling

Phase 3 Mooring force

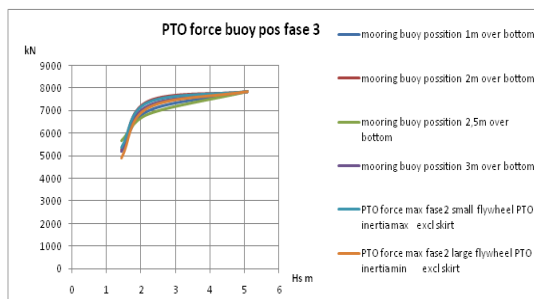
Forankringstrækket i grundpositionen 1 m over bassinbunden var ca. 400 kN med en svagt stigning med bølgehøjden. Bøje positioner over 1 m initierede en med bølgehøjden stigende forankringstræk gående fra 400 kN til omkring 1100 kN.



De maximale kræfter som anlæggets moorings system skal indrettes for vil, ud fra fase3 testen og uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 1200 kN.

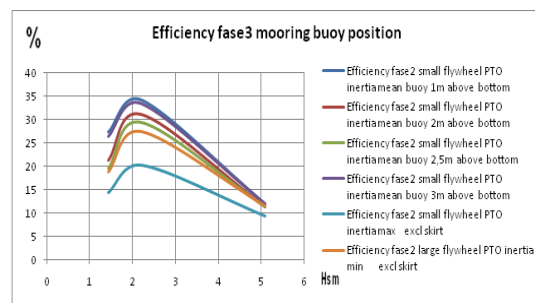
Phase 3 PTO force

PTO trækket er ensartet for alle positioner og generel stigende med stigende bølgehøjde gående fra 6000 kN til 8000 kN og svarer ret nøje til fase 2's resultater. De maximale kræfter som anlæggets hængsel og PTO system skal indrettes for vil, ud fra fase 3 testen og uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 8000 kN.



Phase 3 efficiency

Sammenlignet med effektiviteten fra fase 1 opnås som ved inertitestene en højere effektivitet. Fjernelsen af anlæggets outlet, blå og orange kurver, medfører en lavere virkningsgrad.

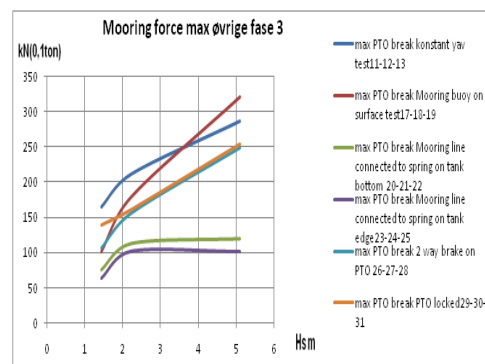


Test ved varierende positioneringer af øvrige opstillinger

Øvrige phase 3 Mooring force

Forankringstrækket er generelt stigende med bølgehøjden gående fra 150 kN til break omkring 300 kN. Forankrings trækket under test forløbene mooring line connected to spring on tank bottom og Mooring line connected to spring on tank edge var relativt konstant ca 100 kN.

De maximale kræfter som anlæggets moorings system skal indrettes for vil, ud fra fase3 øvrige test og uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 350 kN.

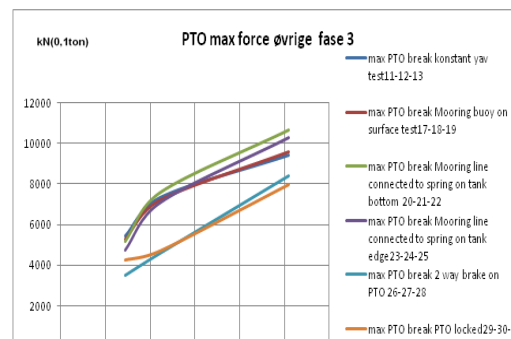


Øvrige phase 3 PTO force

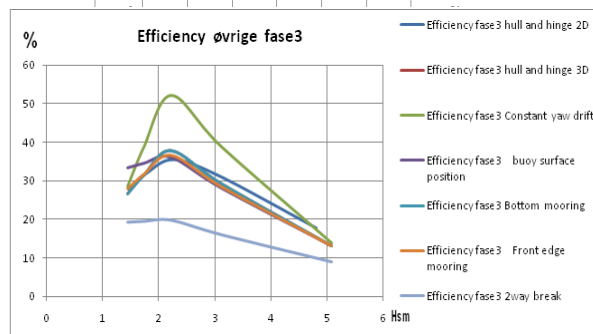
PTO trækket er ensartet for alle positioner og generel stigende med stigende bølgehøjde gående fra 6000 kN til 10 000 kN.

PTO trækket under run 26-27-28 2 way brake on PTO og run 29-30-31 PTO blocked var generelt lavere.

De maximale kræfter som anlæggets hængsel og PTO system skal indrettes for vil, ud fra fase 3 testen og uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 11000 kN.



Øvrige phase 3 efficiency

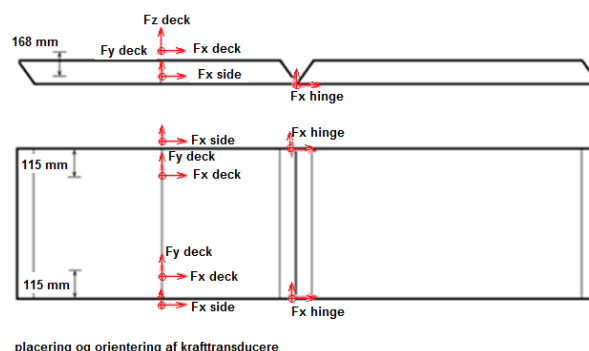


Sammenlignet med effektiviteten fra fase 1 opnås generelt en højere effektivitet. Specielt udviste testforløbet med **Constant yaw** en høj effektivitet på over 50 % ved HS 2m. Testforløbet **2way break** hvor PTO systemet, udnyttende både den opadgående og den nedadgående bevægelse udviste en lavere effektivitet på omkring 20 %.

3.5.6 Phase3_hull and Hinge Forces

The Crestwing trækker energi ud af bølgerne fra det punkt hvor hængslet er i højeste position til bølgen har forladt anlægget.

Da midten af forreste ponton, under denne drift form, var udsat for den største belastning. blev forreste ponton herudfra delt på midten for re-samling via krafttransducere i SB og BB side.

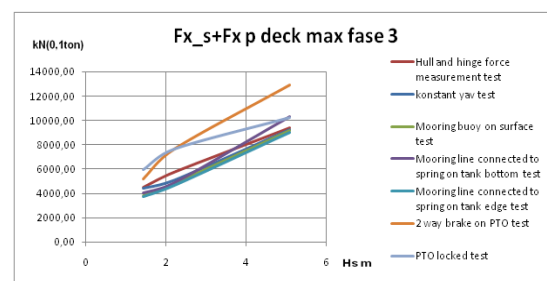


Hull Force

Langsgående belastninger i skroget er væsentlige for design og konstruktion. Max belastningen er generel stigende med stigende bølgehøjde gående fra 4000 kN til 9000 kN. Kurven for 2 way break hvor energien trækkes ud ved både op- og nedadgående bevægelse ligger højere med en max kraft ved $H_s=5m$ på omkring 13000 kN.

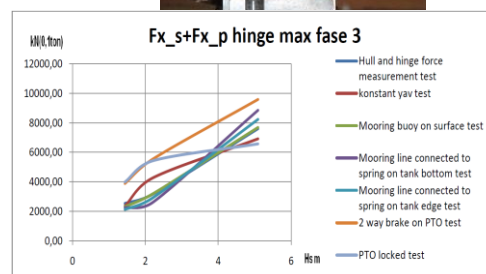


De maximale kræfter som skroget skal indrettes for vil, ud fra fase 3 testen og uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 10 000 kN.



Hinge Forces

Under testforløbet fase 3 skiftedes piano hængslet ud med sidehængsler monteret på endimensionelle krafttransducere. Max belastningen er generel stigende med stigende



bølgehøjde gående fra 2000 kN til 9000 kN.

De maximale kræfter som hængslet skal indrettes for vil, ud fra fase 3 testen og uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 9000 kN.

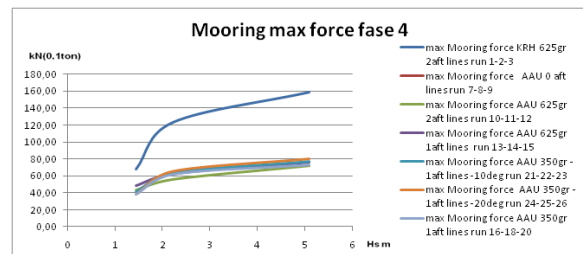
3.5.7 Phase 4 – Investigation of the efficiency when applying aft pontoon mooring lines

Phase 4 – PTO and Mooring tests

Testene I fase 4 var primært orienteret mod en sikker og realiserbar forankrings metode og sekundært en god effektivitet. Som det fremgår af nedenstående opnås en lav og flad belastning i forankringen set i forhold til de øvrige faser.

Phase 4 Mooring

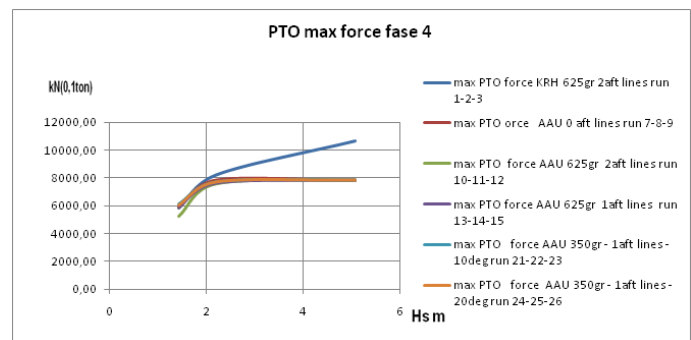
De maximale kræfter som anlæggets moorings system skal indrettes for vil, ud fra fase 4 test og uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 150 kN.



Phase 4 PTO force

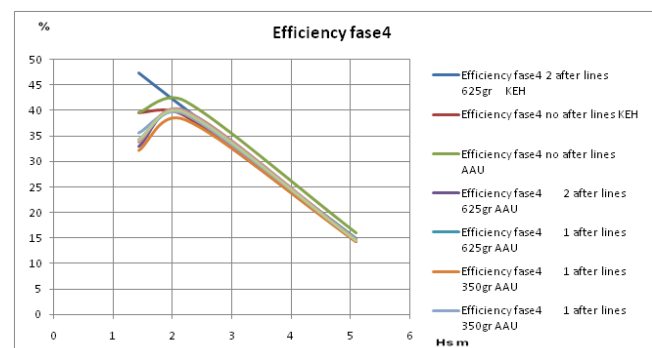
Som det fremgår af kurven opnås der, når der ses bort fra run 1-2-3 en flad udvikling i PTO kraften med stigende bølgehøjde.

De maximale kræfter som anlæggets hængsel og PTO system skal indrettes for vil, ud fra fase 4 testen og uden indgreb ved udkobling af belastning, løbe op omkring 11 000 kN.

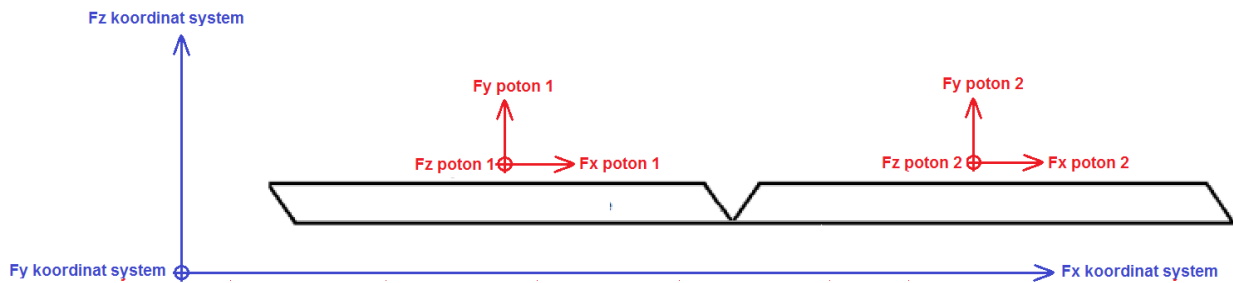


Phase 4 efficiency

Testene I fase 4 var som nævnt primært orienteret mod en sikker og realiserbar forankrings metode og sekundært en god effektivitet. Som det fremgår af fig. opnås, i forhold til potentialet i anlægget, en god og stabil effektivitet.

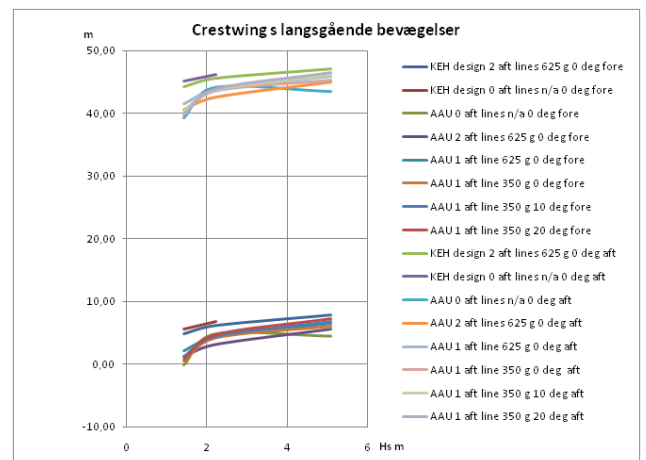


Phase 4_ movements



Phase 4 langsgående bevægelser

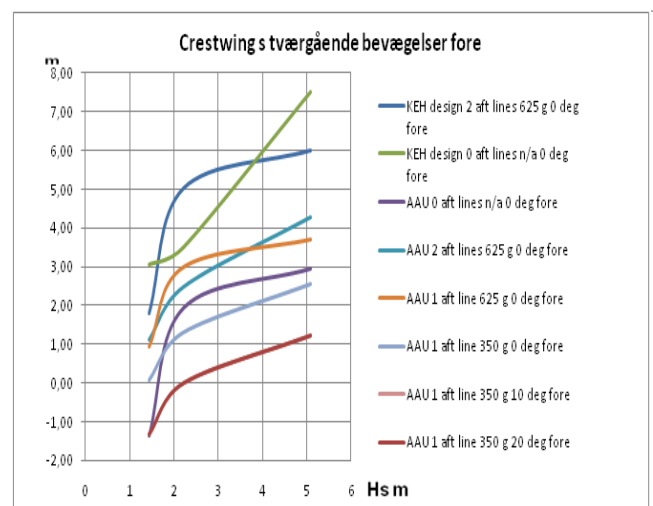
Der er 40 m mellem de to sæt af kurver svarende til den halve længde af en fuldskala Crestwing ude i Nordsøen. Den maximale bevægelse for både forreste og agterste ponton er ca. 7 m. De langsgående bevægelser udgør under en tiendedel af anlægslængden.



Phase 4 Tværgående bevægelser

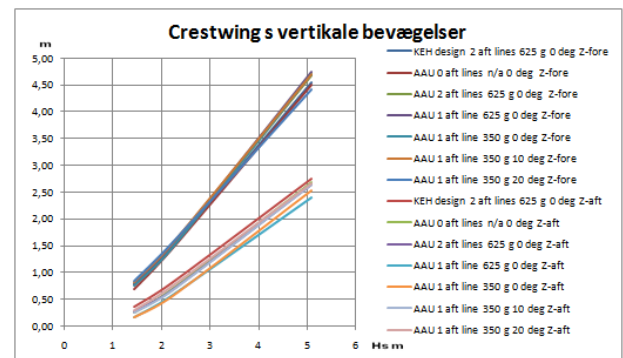
De tværgående bevægelser dæmpes af agter forankring specielt hvor den er belastet som det fremgår af kurverne for 10 og 20 graders test. De maximale bevægelser for AAU mooring kurven uden agter forankring holder sig indenfor en sjettedel af anlægsbredden.

De maximale bevægelser er på ca. en tredjedel af anlægs bredden og forekommer ved KEH kurverne som er karakteriseret ved en betydelig stejlere forankrings karakteristisk.



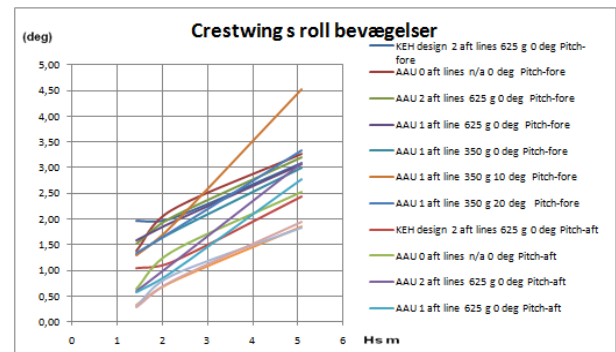
Phase 4 Vertikale bevægelser

Crestwings forreste pontons vertikale bevægelser svarer stort set til den påtrykte bølgehøjde hvorimod den agterste pontons vertikale bevægelser modsvarer det halve af den påtrykte bølgehøjde.



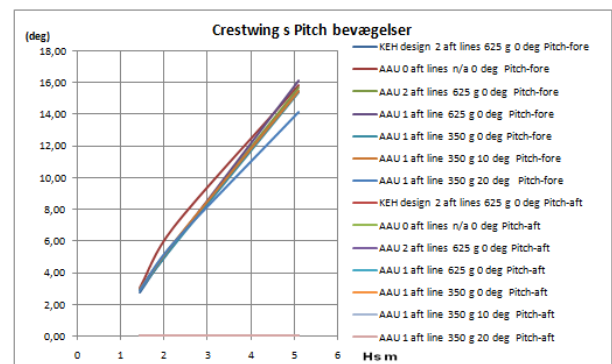
Phase 4 Roll bevægelse

Anlæggets rul i grader omkring den langsgående center akse er stigende med bølgehøjden fra under 0,5 grader ved Hs= 1,5 m til ca. 3 grader ved Hs= 5m. Ved AAU 10 graders test udvises den største rul effekt på 4,5 grader ved Hs= 5m.



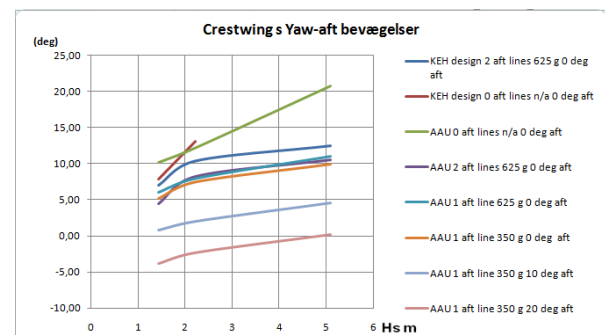
Phase 4 Pitch bevægelse

Anlæggets Pitch i grader er jævnt stigende med bølgehøjden fra ca. 3 grader ved Hs= 1,5 m til ca. 16 grader ved Hs= 5m. Den høje pitch værdi tilstræbes af hensyn til energiproduktionen men er en ulempe i forbindelse med drift og vedligehold.



Phase 4 Yav bevægelse

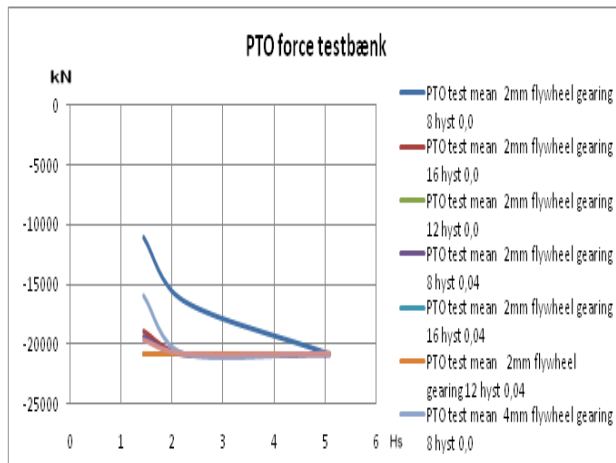
Anlæggets Yav i grader er stigende med bølgehøjden toppende ved ca. 12 grader. Ved belastet agter forankring ligger Yaw bevægelsen omkring 0 grader.



3.5.8 Fase 5 Power Take Off (PTO) tests in test bench

Phase 5 - PTO tests

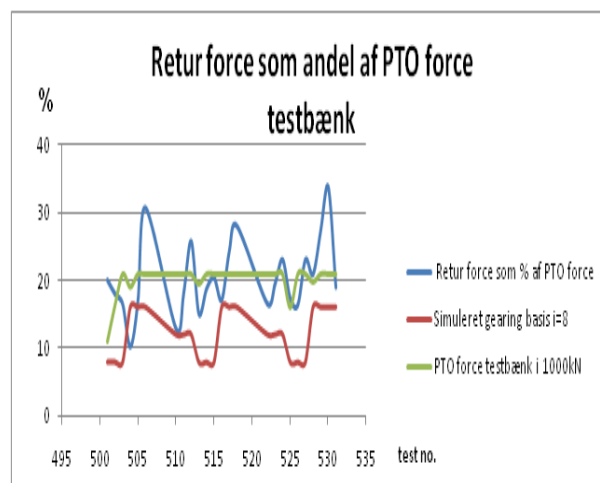
Testforløbet i testbænken overraskede ved at initiere betydeligt større kræfter end der blev registreret under testforløbet i bølgetanken. Den mørke blå kurve "PTO test 2mm flywheel gearing 8" der er sammenlignelig med tank forsøgene udviste en ca. 80 % højere PTO belastning. For fremtidige test forløb i testbænken vil den hårde hydrauliske aktiveringsform skulle suppleres med en træg fjederkonstant for simulering af bølgeenergianlæggets funktion.



Selv om der blev anvendt DHI's største krafttransducere blev deres max grænse på 20841kN(fuldskala værdi) overskredet hvilket har resulteret i de vandrette kurve afsnit fra Hs= 2m og opefter. For fremtidige test forløb i testbænken vil DHI skulle investeres i ny transducer med ekstraordinær stor måle område.

Sammenstilling fase 5 PTO force, retur force, gearing

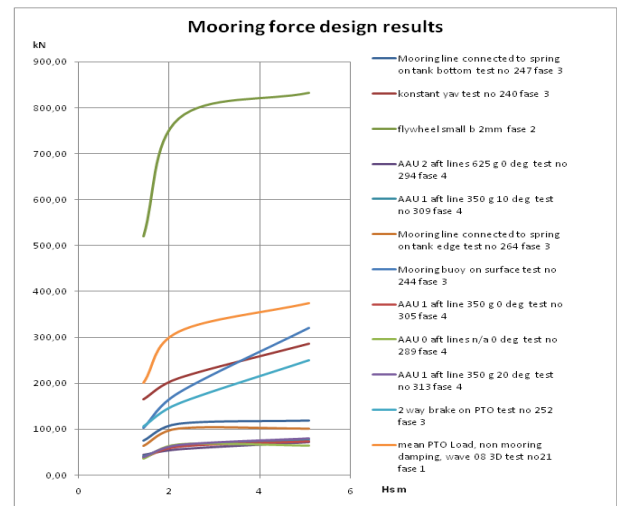
At vi ikke har kunnet registrere de største PTO kræfter påvirker naturligvis præsentationen her, men forhindrer ikke analyse af gearingsforholdene ud fra tids serier. Sammenstillingen, baseret på de statistiske max værdier, viser en klar sammenhæng mellem forud indstillet gearing og PTO force.



3.5.9 Investigations

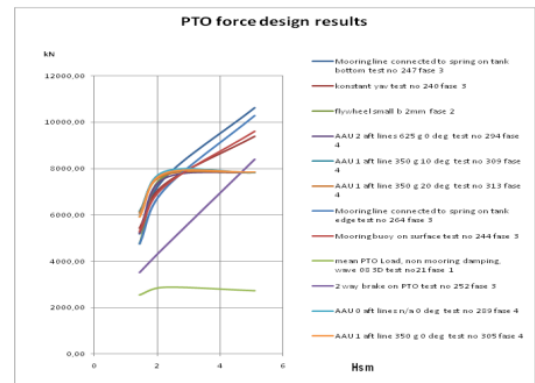
Max forankringstræk

Fase 4 baseredes på erfaringerne fra de tre forudgående faser mht. realiserbare og sikre forankringsløsninger. De under fase 4 valgte forankrings koncepter initierer alle under 250 kN i max forankringstræk. Som det den grønne kurve fra fase 2 viser vil forankringssystemet skulle dimensioneres ud fra betydeligt større belastninger.



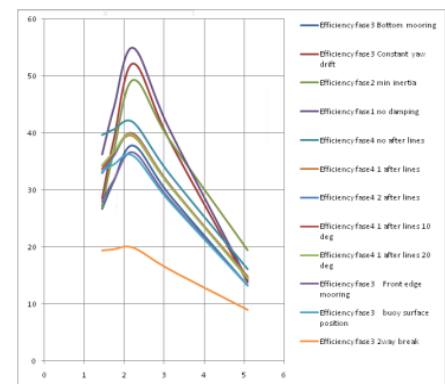
Max PTO

De under fase 4 valgte forankrings koncepter initierede under testen en max PTO force på 8000 kN med en svag faldende tendens ved stigende Hs værdier. Som det fremgår, optræder der betydelige variationer specielt testene fra fase 3 som havde en fortsat stigning med stigende Hs.



Sammenstilling af absorber effektivitet

Fase 4 baseredes på erfaringerne fra de tre forudgående faser mht. realiserbare og sikre forankringsløsninger. De valgte forankrings koncepter initierer effektiviteter omkring 40 % ved Hs 2m. Målsætningen på sigt er naturligvis at øge effektiviteten mod de 50 til 55 % der er målt i andre faser hvorimod skift til 2way drift form (gul kurve), svarende til funktionen af traditionelle fortrængnings anlæg, ikke synes relevant.



Appendiks

Crestwing offshore fase

I ansøgning til projektet havde vi intentioner om udlægning af modellen offshore for test af anlægget under påvirkning af vind og strøm. DHI's bølgetank gav i den sidste ende kun baggrund for en model i skala 1:20 hvis fuld test kvalitet skulle bevares. PTO systemet med hysteresebremse/flywheel arrangement var baseret på tilgængelig teknologi mht. elektrisk bremse, koblinger, tandstang/tandhjul, lejer mv. Systemet kunne kun bringes ned i en skala 1:8 af fuldskala Nordsøen hvilket er 2,5 gange større end skalaen for modellen. Muligheden for en offshore fase med den eksisterende model var herefter ikke realistisk.

Offshore test af konceptet er fortsat af vital interesse hvorfor Waveenergyfyn, i samarbejde med aktører i Frederikshavn bygger en offshore model i skala 1:5 af en Hanstholm fuldskala anlæg.

Projektering og design af hovedkonstruktion er gennemført og der er foretaget for projektering over ombygning af hysteresebremse/flywheel PTO systemet til et el-producerende PTO.

Den største opgave der resterer, er ombygning og test af PTO systemet hvor der er indlagt en første testperiode med en permanent magnetiseret generator version som efterfølges af en testperiode med en asynkron generator version.

Modellens pontoner er bygget og anlægget forventes klar for indbygning af PTO system medio maj 2011.

Der har ikke været midler under nærværende DHI projekt hvorfor Waveenergyfyn har forestået finansieringen af hoved konstruktionen. Der indsendes efterfølgende en tillægsansøgning til energinet.dk om støtte til henholdsvis ombygning og test af PTO system samt til udlægning og måleprogram.

Crestwing Skalatype Frederikshavn:

Kort beskrivelse

Formålet med skalatypen er at eftervise at Crestwing princippet virker efter hensigten offshore. Skalatypen vil derfor være overvåget i driftsperioden - både onsite og online. Skalatypen skal i testperioden gennemgå forsøgsrækker, hvor maskinen afprøves med forskellige indstillinger af givne driftsparametre.

Testprogrammet omfatter følgende parametre

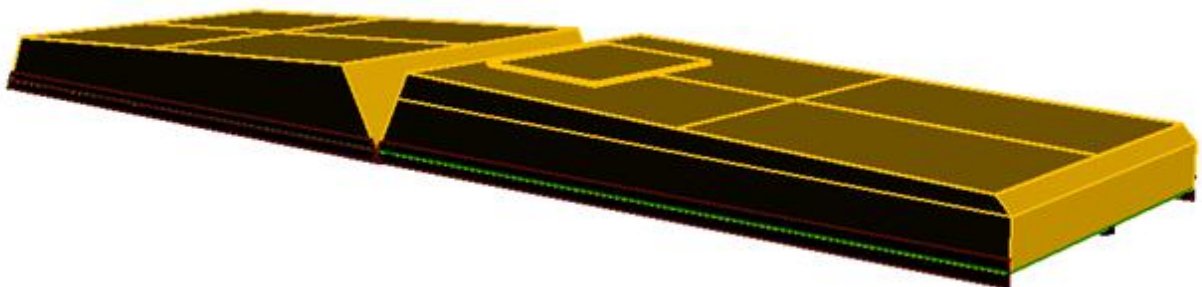
Måleparametre:

- Bølger (Hs, Tp, retning)
- Vind
- Strøm
- Vandstand
- Orientering af anlægget
- Karakteristikker for den producerede effekt

Resultaterne af forsøgsrækkerne opsamles via et overvågningssystem.

Skalatypen fremstilles hos EUC Nord, hvorfra den bugseres frem til placeringen ud for Frederikshavn.

Hovedmål: Totalbredde: 2,44m Totallængde: 10 m Totalhøjde: 0,6m Vægt, ca.: 1000kg

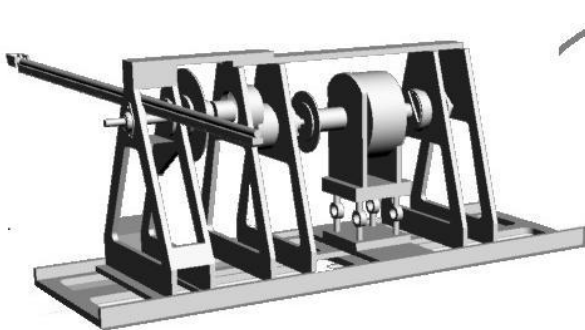


Skalatype Frederikshavn

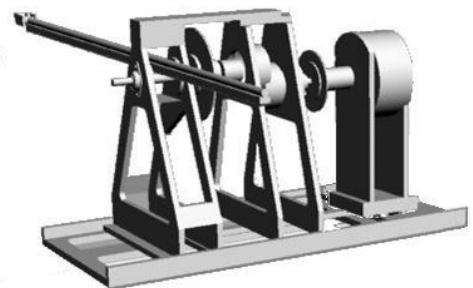


Skalatype Frederikshavn agter ponton

Skalaturen belægges efterfølgende med glasfiber



eksisterende power take of



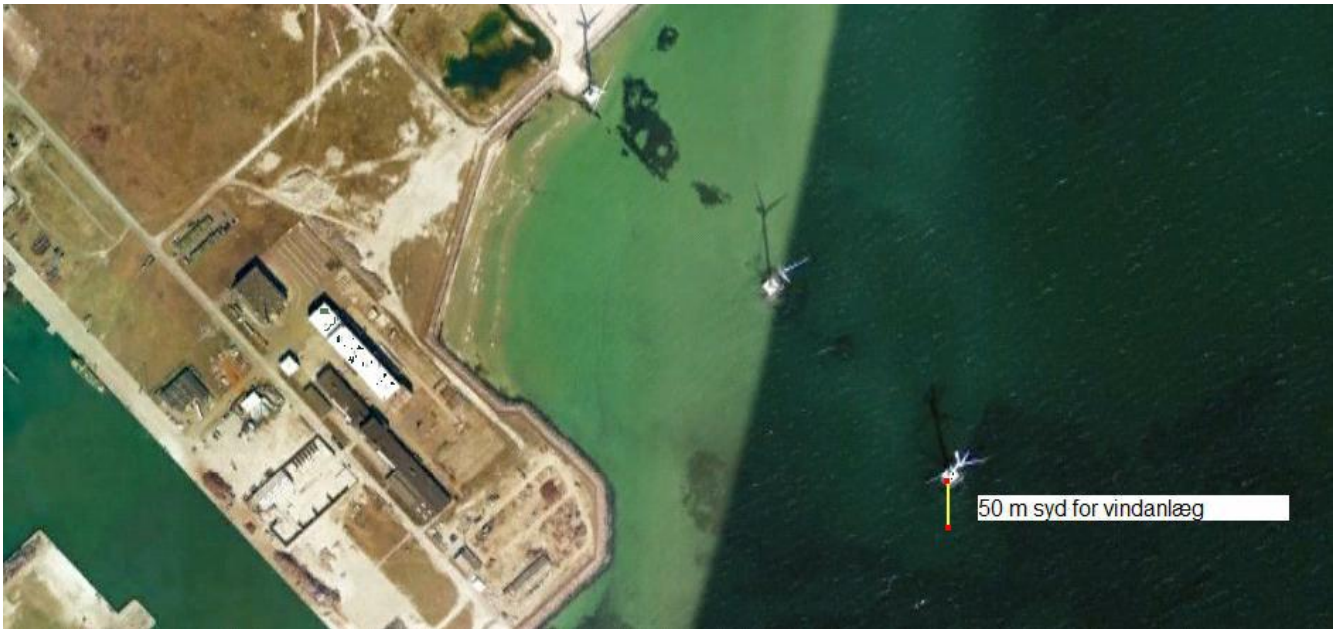
power take of monteret med generator

Ombygning af PTO skalatype Frederikshavn

Placering:

Koordinaterne for den ønskede placering er:

Bredde: 57°26'29.31"N Længde: 10°33'55.11"Ø Afstand fra yderste vindanlæg: Ca. 50m mod S.



Figur 2: Afstand fra yderst vindanlæg Crestwing Skalatype Frederikshavn:

Forankring:

Der anvendes ét hovedanker hvorm anlægget frit kan krøje rundt samt agter anker for begrænsning af krøjevinkel.

Net tilslutning:

Skalatype typen er udstyret med 400V effekt udstyr (generator/inverter), batteri og dump load. Ved tilslutning elnet er der yderligere placeret udstyr der kan udføre en sikker udkobling af prototypen hvis der skulle opstå fejl der påkræver dette.