

DEXAWAVE A/S

ForskEL program 2010

Test af pre-kommerciel bølgekonverter



Indledning

I efteråret 2009 ansøgte DEXAWAVE (DX) PSO om støtte til udvikling af 1:5 skala model af DEXAWAVE converteren. DX havde inden da udført test i Limfjorden med en 1:10 skala model, der viste lovende resultater, og lagde grunden for yderligere test. Formålet med ansøgningen var at udvikle, producere og teste en pre-kommerciel model opskaleret til 5 kWh. Det er tanken at denne model skal fungere som et demonstrationsanlæg, der efterviser at DEXAWAVES teknologi kan modstå de miljømæssige udfordringer i Nordsøen. Desuden ønskes frembragt detaljerede forudsigelser om den teknologiske ydeevne i Nordsøen og en påvisning af det effektivitetsniveau, testene i bølgetanken i Aalborg Universitet (AAU) konkluderede var mulige.

D05 projektet er nu forløbet over et lille års tid, hvor der har været flere perioder med test og dataindsamling offshore. På baggrund af dataindsamlingen har AAU udarbejdet en teknisk rapport, der viser lovende data for converteren og et potentielt højt effektivitetsniveau i fuld skala (svarende til en 250 kWh maskine).

I denne rapport vil selve teknologien kort blive gennemgået, brudt op i fem hovedkomponent grupper. Efterfølgende beskrives selve forløbet siden søsættelsen samt den læringsproces DEXAWAVE har været igennem.

Beskrivelse af teknologi

Generelt

DEXAWAVE's konverter bygger på et bølgeenergiprincip kaldet Wave Activated Body (WAB). Konverteren består af to platforme der forbindes med hængsler. Mellem de to platforme er påsat et power take off system til opsamling og omdannelse af den mekaniske energi til elektrisk energi.

Den simple DX konverter er lavet af materialer med minimalt behov for vedligeholdelse, hvilket giver en lavere driftsomkostning. DX anlægget er ikke den bølgekonverter der har det største output af energi, men den har den bedste udnyttelse af materialeforbrug i forhold til pris. Det at kombinere mekaniske koncepter, materialer, PTO principper osv. til en samlet enhed der kan producere energi, til en konkurrence dygtig pris, har indtil nu været en af de største udfordringer for bølge energi sektoren.

DX's strategi er fokuseret på en modulbaseret tilgang, hvor konvertere er opstillet i rækker side om side. Dette betyder at konverterne har mindre dimensioner, men at der så er flere af dem, hvilket gør dem nemmere at flytte og servicere. Samtidig er denne strategi mere fleksibel overfor lokale ændringer i f.eks. skibsruter, miljømæssige ændringer eller lignende. Idet konverteren har en sådan størrelse der gør det muligt at slæbe den til havn for at servicere eller reparere på land.

Den endelige fuld skala DX konverter har en effekt på 250 kW med en længde på cirka 60 m, bredde på cirka 24 m og vægt på næsten 400 ton. Den årlige energi produktion er estimeret til 500 MWh (baseret på 2000 timers optimum forhold (position 5 i Nordsøen)) med OPEX og CAPEX estimeret til en sammenlignelig størrelse med offshore vind energi.

Converteren

Selve konverteren kan deles op i fem forskellige hoveddele:

- Pontoner – absorberer den aktuelle energi i bølgerne.
- Hovedkonstruktionen – holder pontonerne og andet mekanisk udstyr sammen.
- PTO – konverterer de mekaniske kræfter der absorberes i pontonerne til mekanisk energi og efterfølgende elektricitet.
- Mission Control – styrer og kontrollerer energiproduktionen.
- Forankring – fastholder anlægget på den fastlagte position.

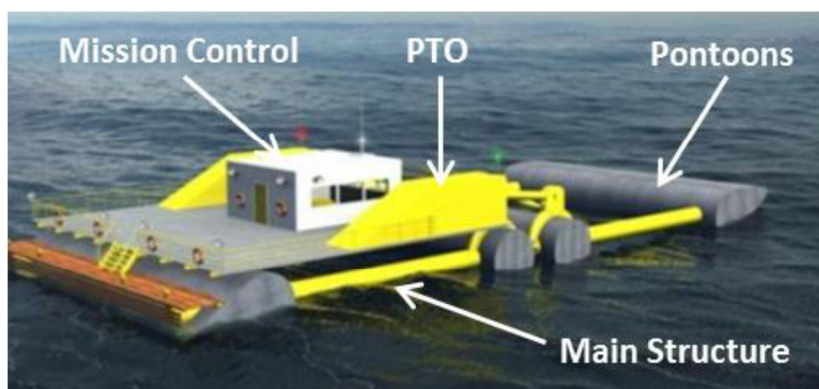


Fig. 1 Billede der viser hoveddele på konverteren

Pontoner

Pontonerne er flydeelementerne på konverteren. Der er i alt 4 pontoner af forskellige designs alt efter hvor på konverteren de er placeret. Den forreste ponton er udstyret med en bølgebryder, der løfter den forreste del af maskinen over bølgerne. Pontonerne på D05'eren er lavet af thermoplast.

Pontonerne er udviklet og produceret i samarbejde med Marine Design A/S i Hirtshals.

Hoved konstruktion

Hovedkonstruktionen (main structure – Fig.1.) er på D05'eren lavet af stål. Den holder pontonerne og resten af konverteren sammen. Konstruktionen er designet til at modstå de store kræfter der bliver videregivet fra pontonerne til PTO'en. Konstruktionen er svejset sammen i konfigurationer, der kan optimeres til det bestemte bølgeklime.

Stålkonstruktionen er produceret af Marine Design A/S i Hirtshals, og efterfølgende er alt svejsearbejde omkring monteringsarbejdet foretaget af Hanstholm Skibssmedie ApS i Hanstholm.

Mission Control

Mission Control styrer, kontrollerer og overvåger maskinen. Her er alt overvågningsudstyr placeret. Det omhandler både den elektroniske overvågning, hvor det er muligt at se hvad konverteren producerer, men også den rent geografiske overvågning, hvor det er muligt at måle hvor meget/om konverteren flytter sig. Konverteren er fastforankret og betragtes som et permanent anlæg, men den kan dog bevæge sig inden for en radius tilladt af fortøjningen til ankeret. Det bliver målt hvordan maskinen bevæger sig op og ned og DX kan dermed indsamle de konkrete bølgedata og sammenligne med den producerede energi. I mission control er der installeret en række back-up foranstaltninger så vigtige data ikke mistes.

Programmer og hardware til opsamling af data og signaler fra maskinen er udviklet af DEXAWAVE i samarbejde med AAU, og datafangsten opsamles og bearbejdes af AAU.

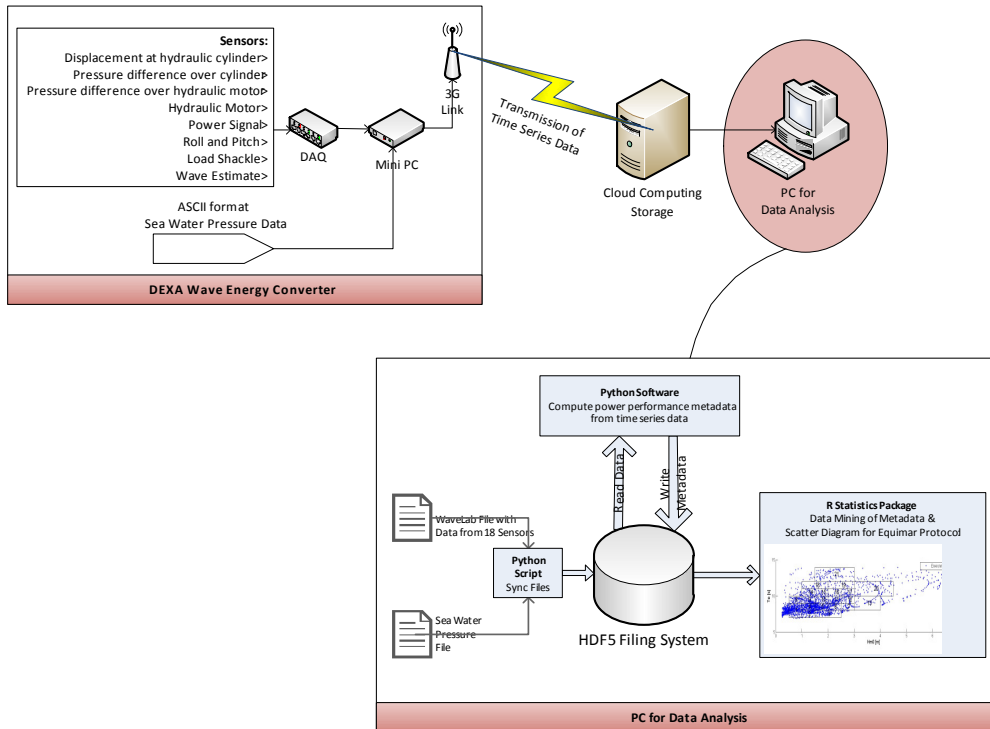


Fig. 2 Skitse af systemet fra AAU.

Det udviklede koncept for dataopsamling er generisk og vil kunne gen-anvendes på andre lignende projekter.

Forankring

Historikken for forankring af bølgeanlæg i Danmark har ikke just været prangende. Det har derfor været en vigtig disposition for DEXAWAVE, at forankringen er stærk nok til at fastholde anlægget på den fastlagte position. Til forankringen af D05 anlægget i Hanstholm anvendes derfor en kædelineforankring (se fig. 3). Anlægget forankres med to ankersektioner, der samles i et punkt under havoverfladen.

Forankringssystemet er udviklet og tegnet af DEXAWAVE, og er blevet valideret af flere eksperter, herunder blandt andet OffTek, der nævnes senere.

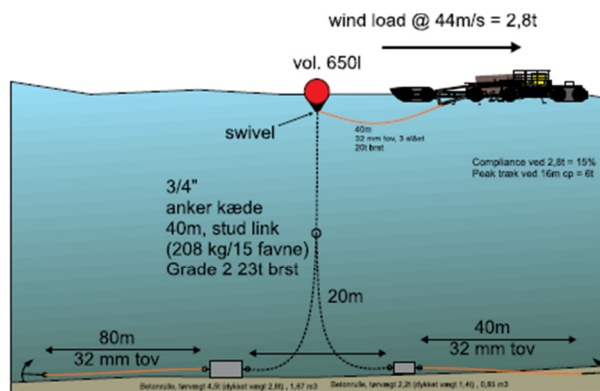


Fig. 3 Anker system til D05

PTO

PTO er den del på konverteren der omdanner den opsamlede energi fra pontonerne til elektricitet. Elektricitet, der i sidste ende vil blive sendt videre ud på el-nettet og ind til forbrugeren. Dog er D05'eren ikke tilsluttet det danske el net og energien bliver derfor lagret til eget forbrug i en batteribank installeret på maskinen, det overskydende energi omdannes til varme over modstande. Batteribanken er placeret i en container fastsat på den bagerste platform. Ud over batteribanken indeholder containeren også alt udstyret til mission control.

På D05'eren er det en hydraulisk PTO der er installeret. Det hydrauliske system består af et stempel, en hydraulisk pumpe og en hydraulisk motor.

Hydraulikdelen til maskinen er konstrueret og fremstillet i samarbejde med Fjero A/S i Skive med PMC Technology i Søborg som underleverandør.

Batteribanken og den elektriske del af PTO systemet i containeren er udviklet og produceret i samarbejde med Uni El A/S i Videbæk.

Sådan produceres elektriciteten

Energien genereres ved den bevægelse der opstår mellem de to platforme i takt med at bølgerne passerer forbi. En bølge giver et knæk midt på konverteren og trykker dermed PTO'en sammen. Dette pumper olie under tryk gennem den hydrauliske pumpe, og derved drives den hydrauliske motor, der skaber den roterende bevægelse som generatoren omdanner til elektricitet. Når konverteren er placeret midt på bølgen og dermed har den forreste ponton nede i bølgedalen er stemplet blevet trukket ud og der er igen blevet genereret energi i PTO'en.

Forløbet

I dette afsnit vil de vigtigste hændelser, fra konverteren blev lagt ud første gang d. 6. marts 2011 og til April 2012, blive beskrevet. For et nærmere indblik i hele forløbet, henviser vi til vedlagte logbog i Appendix B. Som beskrevet ovenfor blev konverteren og ankersystemet lagt ud i samme omgang i starten af marts 2011.

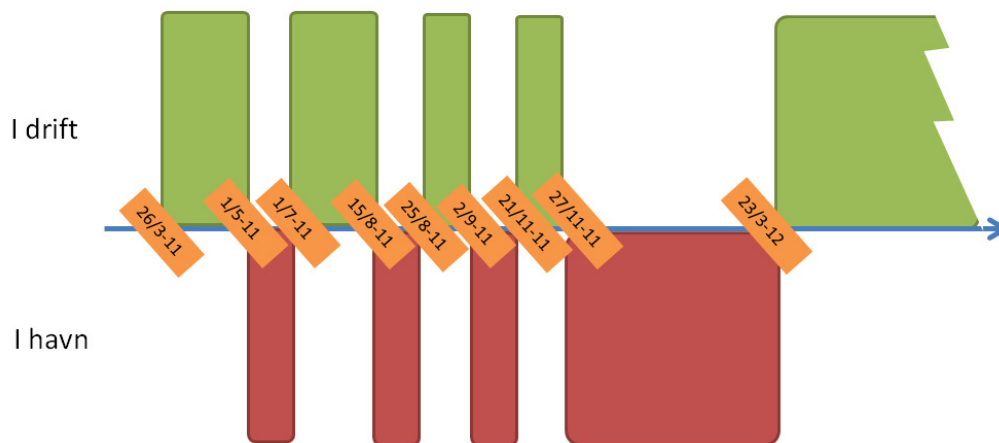


Fig. 4 Skitse af status for D05 konverteren i forløbet.

Den første storm ramte anlægget blot fire dage efter søsættelsen. I den forbindelse blev ankerbøjen trukket under vandet og klappede delvist sammen pga. for stort et tryk. En del af konstruktionen af forankringssystemet er netop, at bøjen skal trækkes under vand. Bøjen skal fungere som en slags fjeder, når den trækker op mod overfladen igen, men i og med at den klappede sammen, havde den ingen opdrift længere. For at rette problemet blev der udlagt en ny bøjle, denne gang fyldt med skum for at modvirke sammenklapning.

Den 1. maj 2011 blev anlægget for første gang bugseret i havn igen. Der skulle ændres nogle småting. Blandt andet blev en sjækkel udskiftet til en load sjækkel, der måler hvor mange ton anlægget trækker i ankerlinen.

Løbende over sommeren 2011 blev der foretaget ændringer af hydraulikken på grund luft i systemet. En sikkerhedsventil i hydraulikken lukkede konstant olie ud af kredsløbet. Dette medførte at PTO systemet brugte mere strøm på at pumpe olie ind i systemet end der blev produceret. Før ændringen kørte olie pumpen ca. 15 sek/min. Sikkerhedsventilen blev blokeret, hvorved problemet var løst og olie pumpen kørte nu 15 sek/uge istedet.

Den 15. august måtte konverteren tages i havn for at få udskiftet pakningerne i hydraulikken. I forbindelse med denne udskiftning blev det opdaget, at der var fejl fra produktionen af stemplerne og de blev derfor skiftet. Den 25. august blev D05 konverteren atter bugseret ud på sin plads. Selvom der kun var ganske få bølger, kunne der måles produktion af strøm.

Desværre blev der ikke produceret strøm nok til at holde batterierne opladet, og d. 30. august var de løbet tør. Kontakten til anlægget kunne ikke opretholdes og sikkerhedslyset lyste ikke længere. Det blev besluttet, at der skulle installeres en nødgenerator, der kunne afhjælpe afladningen i stille vejr. I forbindelse med installationen af nødgeneratoren, blev det observeret, at styrbordsidens hydraulik havde sat sig fast og el tavlen var delvist brændt af. Dette havde medført, at PUR-lejet var revet over i samme side som hydraulikken havde sat sig fast. PUR-lejet i bagbordssiden var også delvist revet over, som følge af fejlen i styrbordside. Lars Clausen, der er teknisk chef ved DX udtaler følgende om hændelsesforløbet:

"Systemet ser ud til at have kørt fint indtil for højst et par dage siden. Vi havde sidst kontakt med dataforbindelsen for få dage siden, hvor spændingen var nede på ca. 16V.

Da spændingen faldt yderligere blev gæte spændingen til en serieregulatoren for lav (ved ca. 13V), hvorefter der bliver afsat store effekter i korte tidsrum i halvlederen. Den er derefter kortsluttet. Ved efterfølgende produktion er kondensatoren, der er beregnet til 450V, blevet overopladet, til måske 7-800V (ud fra hvad vi har set på dataforbindelsen). Derefter er den eksploderet, og da der fortsat er blevet ladet op på den, er der efterfølgende gået ild i den. Det har medført at en del kabelføring er smeltet, og har kortsluttet generatoren. Derefter må det antages at belastningen på lejet har været for stort, pga. kombinationen mellem en kortsluttet generator og muligvis luft i hydraulikken. Dette har ødelagt højre PUR leje.

Efter dette leje blev brudt, har pontonerne trukket så skævt at det venstre stødleje er blevet lettere revet op i kanten, og skal skiftes. De øvrige lejer vurderes til at være ok.

Der iværksættes snarest en handlingsplan med flere sikkerheder lagt ind så disse fejl ikke kan forekomme igen."

På baggrund af denne hændelse blev begge elskabe udstyret med en nedlukningsfunktion i tilfælde af for lav batterispænding.

PUR-lejerne blev udskiftet og overtryksventilen blev justeret ned, så det højeste tryk kun kunne blive 150 bar i stedet for 250 bar som før. Desuden blev der påsat mere effektive sikringer, så en kortslutning fremover ikke kunne få generatoren til at blokere. Nødgeneratoren blev monteret uden for containeren så der ikke kunne opstå overophedning når denne blev brugt til opladning af batterierne. Udover reparationer af skaderne blev der installeret en række videokameraer på konverteren inden den atter blev bugseret ud.

Den 27. November 2012 rammes vestkysten af endnu en storm. Der bliver målt bølger på over 10 meter. Konverteren river sig i denne storm løs og driver på land 20 km nordøst for dens oprindelige placering. Anlægget bliver fundet på Bulbjerg Strand, hvor det kan konkluderes at PTO'en og containeren med alt elektronik om bord er ødelagt. Resten af anlægget, dvs. selve stålrammen, pontoner og lejer fejler tilsyneladende ikke noget. En nærmere gennemgang af årsagen til havariet viste sig at være 2 led i ankerkæden der på grund af slæb hen over havbunden i hele driftsperioden var slidt ned til under 50 % af oprindelige ledtykkelse.. Hændelsen gennemgås sammen med AAU og forskellige årsags-sammenhænge drøftes. Det antages at løsrivelsen er en kombination af 2 ting

1. Slid på kæde, som beskrevet
2. Tab af eftergivenhed i ankersystemet, grundet tilsandng af beton elementerne i ankersystemet.

Ankersystemet skal derfor re-designes og forstærkes inden søsættelse igen, så langvarigt slid undgås og tab af eftergivenhed i ankersystemet ikke sker igen

I re-design af ankersystemet henvender DX sig derfor til eksterne eksperter og indgår partnerskab med OffTek AS – Norge. Sammen med OffTek undersøges mulige forankrings koncepter og der vælges et 3-punkts sway ankersystem, som gennemregnes efter gældende maritime regler og simuleres i OrcaFlex (se afsnit længere fremme – Forventninger til fremtiden/Forankring).

Vinteren over arbejdes der internt ved DX i samarbejde med eksterne partnere på at reparere konverteren og beslutte hvad der videre skal ske.

Det bliver besluttet at anlægget skal på vandet igen, denne gang dog med et begrænset mission control om bord og uden PTO. Der fokuseres i stedet på at teste og optimere de mekaniske aspekter af projektet samt øget fokus på design og forstærkning af ankersystemet. Yderligere bliver der installeret et avanceret accellerometer, der måler hvordan konverteren bevæger sig i forhold til bølgerne. Dette vil give et indblik i hvor meget energi der kan produceres på anlægget. Dette vil også give viden om krav til grid kablets nødvendige fleksibilitet.

Forankring og anlæg blev lagt ud igen i marts 2012.

Erfaringer

I perioden fra første udlægning af maskinen til og med foråret 2012, har DEXAWAVE gjort sig rigtig mange erfaringer. Ikke mindst omkring selve anlægget og de forbedringer der er nødvendige for at få mulighed for at skalere maskinen op til – i første omgang – en 250 kWh maskine, men også erfaringer omkring bugsering af anlægget, operationer på havet og den begrænsning der til tider er for at besigtige anlægget.

En anden og mindst lige så lærerig erfaring det seneste års tid er, at DEXAWAVE i meget større udstrækning end ved udviklingen af D05'eren, skal finde ekspertise og kompetencer hos eksterne samarbejdspartnere. Allerede nu har vi et meget større katalog af samarbejdspartnere end tilfældet var da vi startede processen omkring D05. Dette har gjort, at vi får viden på områder vi slet ikke havde fokus på, meget mere – og bedre sparring, og samtidig en mere effektiv tilgang til udviklingen af D250'eren.

CoE

Prisen for energi eller CoE (Cost of Energy) er måden man udregner effektiviteten sammenholdt med udgifterne. CoE er de samlede udviklings- og vedligeholdelses omkostninger fordelt ud på det antal estimerede antal kWh der forventes at blive produceret. DX og andre bølgeenergi producenter kæmper i øjeblikket med at påvise hvad CoE for denne branche kan komme ned på, for at blive konkurrencedygtige på markedet for vedvarende energi. DX har opstillet en række antagelser for udviklingen fra år 2015 til år 2025, der bygger på interne CoE udregninger baseret på den model der anbefales af Energinet samt læringskurver fra vindindustrien, der menes at være sammenlignelige med bølgeindustrien.

Der bliver taget udgangspunkt i tre forskellige scenarier (Nordsøen (position 5), Middelhavet og Atlanterhavet) med hvert deres bølgeklima.

Der er lavet antagelser omkring følgende udvikling:

- At PTO effektiviteten stiger som følge af udvikling og optimering af vandbaseret PTO, fra 60% i 2015 til 85% i 2025.
- At den årlige produktion på baggrund af ovennævnte optimering fordeler sig således på de 3 lokationer¹:

	60% effektivitet	70% effektivitet	85% effektivitet
Malta	262 MWh	298 MWh	352 MWh
Nordsøen	349 MWh	407 MWh	474 MWh
Atlanterhavet	581 MWh	677 MWh	817 MWh

- At prisen pr. konverter falder med 40% fra 2015 til 2025.

Ud fra disse antagelser er det illustreret i Figur 5 hvordan DX ser udviklingskurven for 250 kWh enheden. For at denne udvikling kan finde sted er det nødvendigt at der foretages en række undersøgelser og forskningsprojekter, der kan hjælpe med at finde frem til den mest effektive løsning. Derved kan CoE nedsættes til en konkurrencedygtig pris.

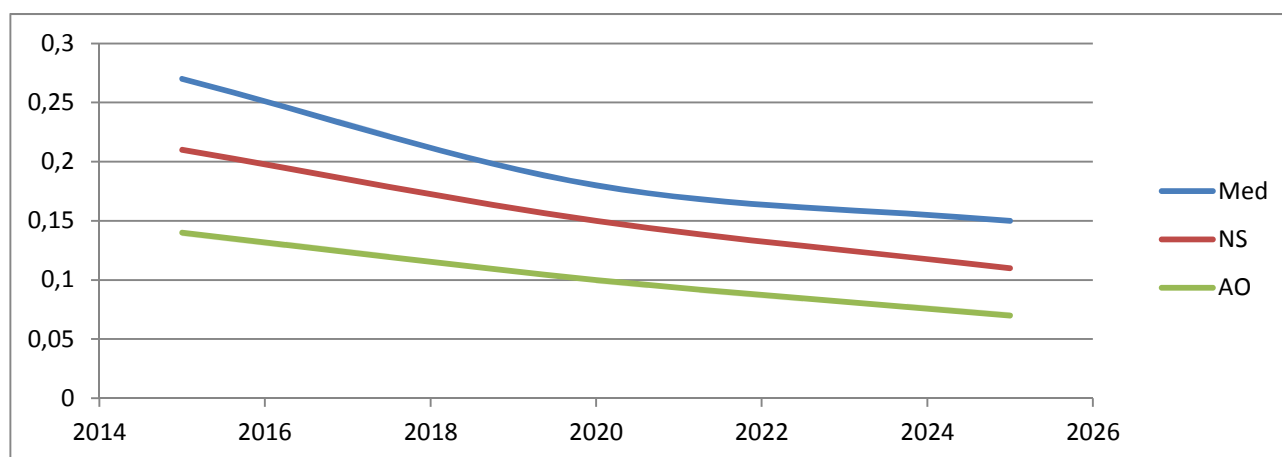


Fig. 5 Forventet udvikling af CoE

¹ Baseret på DEXAWAVEs egne beregningsmodeller herfor.

Forventninger til fremtiden

På baggrund af erfaringerne fra testforsøget med D05, er DEXAWAVE nu i stand til at videreudvikle og opskalere konceptet til en fuldskala model. I DEXAWAVE svarer det til en 250 kWh maskine. Indenfor de første 3 måneder af 2012 er der indsendt ansøgninger om støtte hos henholdsvis EUDP og FP7. Støttemidlerne ved EUDP er ansøgt med henblik på udvikling og produktion af 1 fuldskala model til udlægning i Hanstholm i løbet af 2013. FP7 støtten skal anvendes til udvikling og produktion af selskabets første kommercielle anlæg indeholdende 24 maskiner, der skal lægges ud i Middelhavet nordvest for Malta. Såfremt EU bevilger støtten, igangsættes projektet på Malta i begyndelse af 2013, mens støtten fra EUDP vil påbegynde aktiviteterne omkring Hanstholm så snart godkendelse foreligger.

Pontoner

Den thermoplast der er anvendt til D05 vil ikke være fordelagtigt at benytte i en fuldskala konverter, idet materialet ikke er stærkt nok til at blive skaleret op. Her vil der initielt blive benyttet GFRP (Glass Fiber Reinforced Polyester). DX har i forbindelse med D250 konsortiet etableret et samarbejde med Fiberplast og VERA Klippan i Sverige, der er specialiserede i netop denne slags løsninger. Da dette materiale kræver vedligeholdelse og er relativt dyrt, arbejder DX på at optimere og nedsætte materiale udgifterne ved produktionen af pontonerne, ved at benytte armeret forspændt beton som primær materiale.

Hovedkonstruktion

Som ved pontonerne er der igangsat forskning der forsøger at optimere styrken og nedbringe omkostningerne ved materialet. Der bliver her arbejdet på både GFRP og forstærket beton. Disse materialer har store fordele når det kommer til pris per ton og vedligeholdelse. Til denne opgave arbejder DEXAWAVE tæt sammen med Novatech der assisterer med design og beregninger.

Forankring

I bølgeenergi sektoren er forankringen af konverterne en af de største udfordringer.

Derfor har DX indgået et samarbejde med norske OffTek (samarbejdspartner i D250 konsortiet) der er en af de førende eksperter indenfor offshore forankrings systemer. OffTek har blandt andet udviklet de ankersystemer Heidrun feltet i Norge benytter sig af. Teknologien der bliver brugt er baseret på allerede eksisterende løsninger samt erfaringer fra andre offshore brancher.

Baseret på vores erfaringer for at store storme, i havet ud for Hanstholm, kan rykke konverteren løs, er disse uheld blevet evalueret og undersøgt grundigt. Der er blevet fundet en række punkter hvor der skulle laves forbedringer inden konverteren atter kunne søsættes.

- Undgå et ankersystem som kan tilsande
- Undgå at kæde kan berøre havbunden (slid)
- Medregn alle kræfter – vind, strøm og bølger

Alle løsninger simuleres og beregnes i Orcaflex.

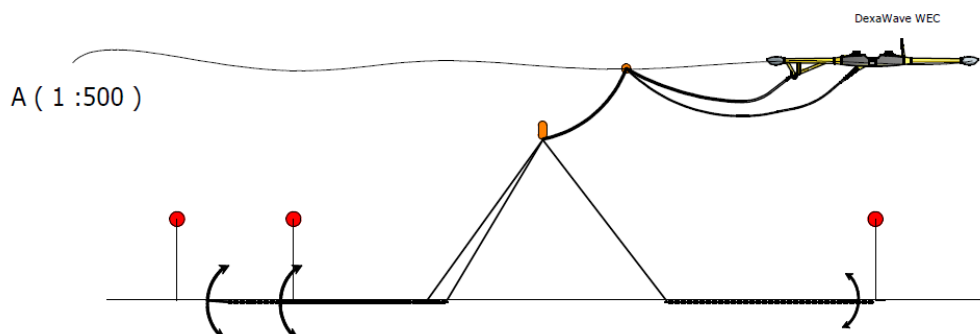


Fig. 6 Skitse af nuværende ankersystem @ Hanstholm

PTO

Indenfor PTO arbejder DX på at videreudvikle PTO'en til en ny form for PTO, der i stedet for hydraulik olie benytter vand. Dette fjerner risikoen for at der kan ske olie lækager og samtidig øges virkningsgraden betydeligt. Ydermere undersøger DX muligheden for at kunne benytte en lineær generator og derved optimere virkningsgraden endnu mere. DX forventer at have øget virkningsgraden på PTO systemet fra de nuværende 50% til 90% i 2025.

En ny konstruktion af PTO bliver i øjeblikket udviklet, støttet af FP7 midler i projektet Aquagen. Resultatet af dette projekt forventes at foreligge ultimo 2013.

Mission control

Mission control er i henhold til D05 projektet blevet meget reduceret efter havariet i november. Der er dog gjort en stor mængde erfaringer indenfor hvad DEXAWAVE selv kan og vil stå for og hvad en fuld skala model skal indeholde. Der er blevet etableret et samarbejde med Spica Technology- Silkeborg, om udvikling og installation af mission control på D250 anlægget.

Udover at selve mission control systemet bliver optimeret, vil selve den fysiske placering også blive ændret i et fuld skala anlæg. Det blev erfaret på D05 at selve containeren der indeholdt mission control systemet udgjorde en stor vindmodstand som medførte belastning i forankringen. Denne vindmodstand vil blive undgået eller reduceret kraftigt, ved at flytte alle komponenter ned i pontonerne, hvilket der vurderes at være plads til.

Batteribanken der var installeret på D05 vil ikke være nødvendig på et fuld skala anlæg, da dette kobles på grid (el-nettet).

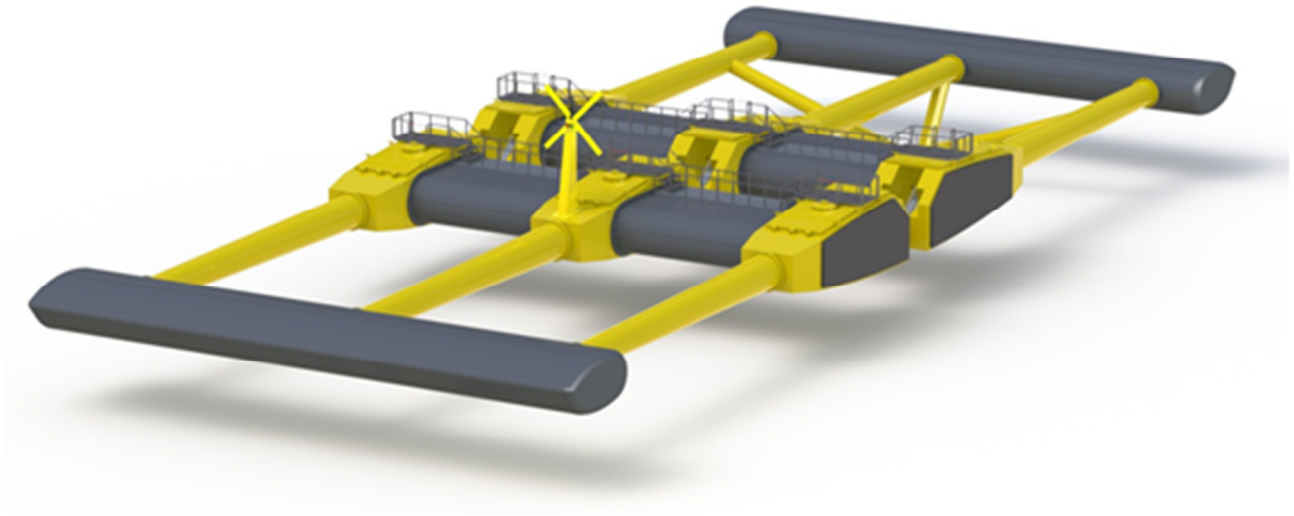


Fig. 7 Design skitse af fuld skal model for DEXA konverteren

Konklusion

Konklusionen på de forløbne år med test af D05 konverteren må være at det har været et tilfredsstillende forløb.

Der er blevet ført bevis for at selve konceptet virker og at estimerne, der var lavet forud for testen, var retvisende. Konverteren har givet en stor mængde data og DEXAWAVE har høstet en lang række erfaringer der nu benyttes i det videre arbejde.

Mål nået:

- Opsamlet data omkring potentiel energi og eftervist potentiale – Se Rapport fra AAU²
- Rutiner for Drift & vedligehold af et bølgeenergianlæg etableret

De vigtigste læringer og erfaringer er grupperet og listet nedenfor:

Betingelser ved maritimt arbejde

- Der sker en del naturlig vækst på elementer af konstruktionen. Skal medtages i design forhold
- Der er grænser for hvilken præcision der kan opereres med på havet. Alt bevæger sig relativt i forhold til hinanden
- Havdybde grænser influerer på 'tilgængelighed'. Ex. - skal dykkere anvende trykkammer eller ikke

Teknisk- og produkt relateret læring

- Vigtigheden af at FMEA og andre former for analyser udføres. Ex. Ville designfejlen som forårsagede fejlen der opstod ved afladte batterier (strømløst kontrol system), som forårsagede låsning i hydraulik og PTO sandsynligvis være blevet opdaget.
- Gode målinger af hvilke kræfter der er i spil på havet. Målinger og viden om anker træk i forskellige hav forhold
- Vind og strømforhold er af stor betydning. Design for reduktion af indvirkning
- Forankring....

Organisatorisk- og proces læring

² AAU Rapport – Initial Sea Trials of the DEXA D05 wave energy converter

- I forbindelse med at DEXAWAVE går imod fremstilling af fuld skala, entres der med en stribe partnere som hver for sig er eksperter indenfor deres område. Her bliver det altafgørende for DEXAWAVE at blive bedre til koordinering, kommunikation og projektledelse.
- Der skal etableres processer som sikrer kontinuerlig optimering og læring.