

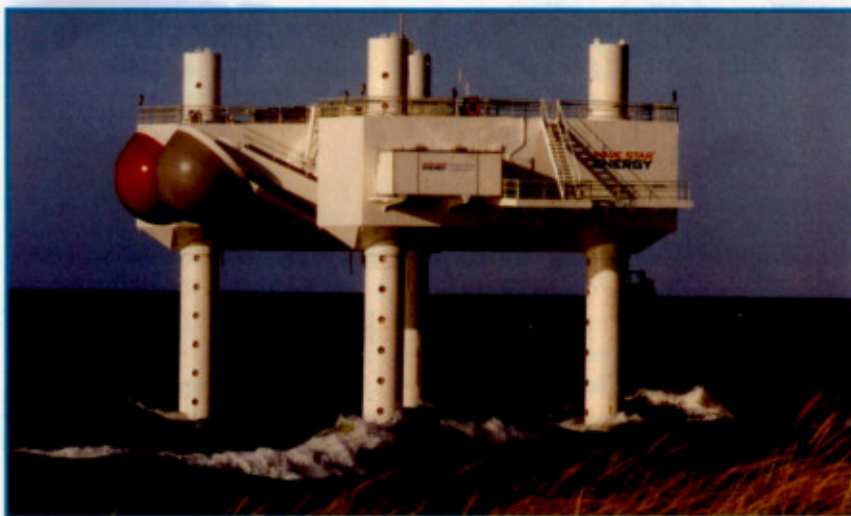
# Med »poterne« i vandet

## 3. og næstsidste del af artikelserien om bølgeenergi

Af Povl-Otto Nissen

Den foregående artikel om bølgeenergi handlede om arbejdet med at udvikle måle- og testmetoder. At dette arbejde blev indledt i det danske bølgekraft-program skyldes i høj grad den danske pionér Kim Nielsen, som blev omtalt i første artikel. Det har nu udviklet sig til, at der på verdensplan er nedsat arbejdsgrupper, som arbejder på at forfine begrebsapparatet og fastsætte standarder.

Nu må vi se lidt nærmere på de enkelte koncepter. Der dukker stadig nye ideer op, men nogle har allerede markeret sig ved at være tæt på fuldskala og kommercielisering. Blandt de flyderbaserede er der i høj grad grund til at nævne den danske Wave Star. I sin første modeludgave hed den Tusindben, fordi den med sine 20 flyderben til hver side langs en fælles aksel minder om det lille insekt. Den oprindelige mekaniske kraftoverførsel til akslen er undervejs blevet ændret til, at hver flyder aktiverer en hydraulikpumpe, som skaber et højt fælles tryk til en hydraulikmotor, der trækker en generator. Som sådan er den i cirka 1/10 størrelse med i alt 38 stk én meter brede flydere blevet testet hen over nogle år i Nissum Bredning i Limfjorden. En sådan maskine kaldes en multipointabsorber. Hydraulikvæsken er bio-olie, som nedbrydes i naturen, hvis der skulle ske udslip. Trykket kommer op på 200 bar. Den installerede effekt er på 5,5 kW. På trods af, at middelbølgeeffekten det pågældende sted kun er omkring 0,13 kW/m bølgefront har den kunnet give et tilfredsstillende resultat på 1,8 gwe. Der er imidlertid også opnået et par andre vigtige erfaringer. For det første, at maskinen har kunnet overleve 12 – 15 storme ved at kunne løfte flyderne op over vandet i perioder med rigtig hårdt vejr. Maskinen er anbragt stående på bunden, så den vender enden op mod den fremherskende bølgeretning. De indkommende bølger løber således hen langs med flyderne



Wave Star på fire ben.

og aktiverer dem efter tur, i stedet for at ramme direkte ind på en række sideordnede flydere samtidigt. Det har overrasket mange, at man således kan anbringe flere flydere relativt tæt efter hinanden i bølgeretningen, og at der alligevel er energi at hente op fra de efterfølgende flydere. Hvorfor skygger den første flyder ikke totalt for de næste? Om vindmøller ved vi, at det ikke er godt at stille dem for tæt bag hinanden. Forskellen er jo, at vindenergien ligger i hastigheden af en nogenlunde ensrettet partikelstrøm, mens bølgeenergien ligger i den svingende overfladeuro, hvor vandpartiklerne cirkulerer forholdsvis langsomt i et lodret plan. De to energiformer kan derfor ikke sammenlignes direkte.

Fra iagttagelser af bølger i fysikkokalets bølgekar ved vi, at bølgeuroen populært sagt kan »gå om hjørner«, f.eks. ind bag ved havnemoler, en frontbølge ind mod en smal åbning giver en ringformet bølge indenfor. En række punktformige bølgegivere i takt skaber omvendt en sammenhængende bølgefront. Allerede i 1677 fremførte den hollandske fysiker Christian Huyghens – ganske vist i forbindelse med analysen

af lys som bølger – en teori om, at bølger består af en række punktformige kilder, hvorfra ringbølger udbreder sig og interfererer med ringbølger fra naboerne. Det kunne forklare lysets mærkelige egenskaber, og det kan også forklare vandbølgers egenskaber. Ifølge dette består en bølgefront af en række centre for ringbølger i konstruktiv fase. Det vil sige, at bølgetop forstærker bølgetop og bølgedal forstærker bølgedal. Der hvor en bølgetop løber ned i en bølgedal forsvinder bølgen, så man ser ikke ringene i en bølgefront. Det kaldes destruktiv interferens. Dette kan også forklare hvorfor en bølge restituerer sig forholdsvis hurtigt bagom efter at have ramt et objekt. Selv om vi har målestørrelsen kilowatt pr. meter bølgefront, som rammer, bliver der jo ikke et »hul« bag flyderen. Vand løber ind fra siden og finder ind i bølgefasen. Det betyder at energioptaget via en cirkulær flyder afstedkommer et energitab i hele overfladen ud til siderne. Populært sagt suges energi ind fra siden. Dette får konsekvenser for, hvor tæt bølgeenergimaskiner kan lægges, altså hvor stort et areal, der skal til for at dække





Grafik med Wave Star med 2x10 flydere.

Danmarks forbrug. En diskussion, der føres vildt og inderligt.

Tusindben blev indledningsvist udviklet af brødrene Keld Hansen og Niels Arpe Hansen fra det sydjyske område. Videreudviklingen til Wave Star er sket ved en kraftig investering fra Danfoss-brødrene suppleret med tilskud fra offentlige midler. Lige nu testes den i halv skala, foreløbig dog kun med to 5 meter brede flydere, ved Roshage molen på Jyllands nordvestligste hjørne nord for Hanstholm havn. Her fra stammer et aktuelt foto af maskinen, hvor den på sine fire ben er hævet op i stormsikker tilstand. Desuden vises en grafik af Wave Star selskabets vision om endnu et trin mod fuldskala maskine med 20 flydere og installeret effekt på 500 kW. Wave Star fuld skala til Nordsøen vil i fremtiden få 20 flydere med en bredde på 10 meter og en installeret effekt på i alt 6 MW. Se mere om Wave Star på hjemmesiden [www.wavestarenergy.com](http://www.wavestarenergy.com)

**Poseidons Orgel.** En anden dansk flyderbaseret bølgemaskine har faktisk allerede været søsat de sidste 2 års tid ved Lollands vestkyst. Foreløbig har den en størrelse, der dækker 37 meter bølgefront med en række sideordnede tætsiddende hængslede flydere, der minder om orgeltangenter. Ganske vist vender hængslerne op mod den indkommende bølge, og flydertangenterne efterhænger således videre frem i bølgeretningen. Den konkave underside er specialdesignet til både at optage effekt fra bølgens løft

og fra stødet i bølgens fremdrift. Det er meningen, at maskinen skal optage energien 100 % og stoppe bølgerne fuldstændigt. Der vil dog altid være en reflektering af bølgerne, som man ser det foran en havnekaj, så der bliver en vis interferensuro, som flyderne arbejder i. Flyderpumperne sender et vandtryk igennem en turbine, der trækker en generator. Der er endnu ikke oplyst, hvor meget maskinen rent faktisk yder. Maskinen kaldes nu Floating Power Plant (FPP) og er forankret, så den kan svaje op mod bølgeretningen. Set fra luften er hele rørstrukturen tre-kantet og danner fundament for en vindmølle i hvert hjørne. Bortset fra at det norske polarforskningsfartøj FRAM, der for mere end 100 år siden havde en vindmølle om bord samt nutidige småmøller på sejlbåde, er det første gang, der i Danmark demonstreres, at man kan have flydende havmøller. Det kan godt få sin betydning, når man nu ved, at mindst fjerdedelen af udgiften til en mølle stående på havbunden er omkostninger til fundamentet. Se mere på [www.floatingpowerplant.com](http://www.floatingpowerplant.com).

**Wavespinner.** Den maskine, som jeg selv arbejder med at udvikle, er også flyderbaseret. For at spare plads vil jeg henvise til min hjemmeside: [www.povlonis.dk/waves/sobolger.html](http://www.povlonis.dk/waves/sobolger.html), hvis nogle er interesseret i at gå i detaljer. Noget af det er ikke sværere end, at det kunne være et projekt i skolen. Her vil jeg blot anføre nogle overvejelser, som jeg har været igennem undervejs:

Når man vil producere elektrisk strøm ved hjælp af magnetisk induktion, skal man have stærke magneter samt spoler med et rimeligt stort vindingstal og en betragtelig ændringshastighed på feltvariationen i spolerne (frekvens). Et vitalt spørgsmål er: Hvordan får man bølgenes relativt langsomme op-og-ned-ændringer i den potentielle energi lavet om til hurtig rotationsenergi? Hydraulik er godt til kraftoverførsel, men ikke til at omsætte til kinetisk energi. En gammeldags trædesymaskine eller spinderokken var måske løsningen? Men enhver, der har prøvet det, ved, at man skal finde en bestemt rytme, og slaglængden er hele tiden den samme. Det er ikke just sådan naturlige bølger opfører sig. Mit forslag til en løsning af dette, en Bølgerok, fremgår af websiden [www.wavespinner.dk](http://www.wavespinner.dk). Fra flyderens top og bund udgår et tov, som føres hen over en trisse hhv over og under flyderen. Tovet er viklet om en vandret trækvalse, som således rokker frem og tilbage, når flyderen bevæger sig op og ned med de tilfældigt varierende slaglængder. For hver ende af trækvalsen er anbragt et hjul, som rokker med. Fra kanten af disse hjul med given radius overfører nogle kæder via envejs/friløb-slejer energien til nogle svinghjul. Med lidt snilde kan man faktisk få svinghjulene til at rotere samme vej, hvad enten trækket på flyderen går op eller ned. Generatoren anbringes f.eks. mellem svinghjulene. Et vitalt spørgsmål er naturligvis, om dette kan laves holdbart nok af vejrbestandige materialer i det meget saltholdige miljø umiddelbart over vandfladen. Maskinens konstruktion muliggør såkaldt »latching«. Det vil sige, at flyderen kan fastholdes en halv bølgeperiode i øverste stilling og først frigøres, når bølgedalen er nået ind under den. Derved vil den få et maksimalt accelererende fald i tyngdefeltet til gavn for svinghjulenes omdrejningstal og generatorens output spænding. Dette vil naturligvis kræve en del elektronisk styring. Stormsikker tilstand vil også være, at flyderne kan hejses helt op over vandet.

I forbindelse med sidste nummers artikel, Måling af bølgeenergi, var der stillet nogle opgaver.

**Opgave 1** gik ud på at fastlægge forsøgsbetingelserne for afprøvning af en bølgemaskine i en tyvendedel størrelse. 1 meter høje virkelige bølger ville

da skulle repræsenteres af 5 cm høje forsøgsbølger o.s.v. De tilhørende virkelige periodetider ville – ifølge Froudes modellov side 17 i forrige nummer - skulle multipliceres med kvadratroden af skaleringsfaktoren, her kvadratroden af 0,05. Endelig kan man med de fundne tal udregne den til rådighed værende effekt  $P_{inf} = 0,577 (H_s)^2 T_z$ . Resultaterne bliver:

Trin	$H_s$ [m]	$T_z$ [sek]	$P_{inf}$ [W/m]
1	0,05	0,89	1,28
2	0,10	1,12	6,5
3	0,15	1,34	17,4
4	0,20	1,57	36,2
5	0,25	1,79	64,6

Testmålinger af maskinens faktisk leverede PTO vil blive set i forhold til tallene i sidste kolonne og vil angive maskinens virkningsgrad.

**Opgave 2** handler om, hvor meget energi en given maskine kan levere ved 2 meter bølger i et døgn. For at kunne

regne det ud skal man også kende bølgens periodetid. Ved at kigge i scatterdiagrammet i sidste nummers artikel, se man side 16, at 2 meter høje bølge typisk har en periodetid på 5 sekunder. Nu kan man udregne  $P_{inf}(1) = 0,577 \cdot (2)^2 \cdot 5 = 11,54$  kW/m. Da flyderen har en frontbredde på 3 meter fås

$$P_{inf}(3) = 11,54 \text{ kW/m} \cdot 3 \text{ m} = 34,6 \text{ kW.}$$

Der er opgivet, at absorberer/flyderen har en virkningsgrad på 24 %. Det vil sige, at den kun optager  $P_{opt} = 8,3$  kW. Når man korrigerer for transmissionssystemets virkningsgrad (hydraulik 0,85) og generatorens (0,9) fås output effekten PTO =  $8,3 \text{ kW} \cdot 0,85 \cdot 0,9 = 6,35$  kW. Output i elektrisk energi ved 2 m høje bølger i et døgn vil derfor blive EI-energi =  $6,35 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} = 152 \text{ kWh.}$

Nu skal man ikke regne med, at bølgehøjder har en konstant værdi et helt døgn. Opgave 3 går derfor ud på at lave et scatterdiagram over effektforholdene i et døgn ved Nymindesø, og derefter beregne naturens generøse energiudbud det pågældende døgn

det pågældende sted. Nu har det vist sig, at kystdirektoratet i mellemtiden har nydesignet deres hjemmesider. Det er rigtig flot. Gå ind på [www.kyst.dk](http://www.kyst.dk) og klik på kortet, hvor målepunkterne er markerede. Her ses målingerne for hver halve time. Hvis man straks vil have målinger for et fuldt døgn så scroll ned og vælg »I går«. Graferne er lidt grove i det, men i venstre hjørne under dem, kan man klikke »vis data«, og et døgn's målinger med en halv times mellemrum kommer frem. Som nævnt kan de kopieres over i et regneark, og vi skal bruge både de signifikante bølgehøjder  $H_s$  og tilsvarende periodetider  $T_z$ . I næste nummer bringes et eksempel, men prøv selv først.

På en særlig webside: <http://virksomheder.kyst.dk/opmaaling-af-boelger.html> findes en meget klar beskrivelse af hvordan bølgemålingerne foretages. Næste artikel vil blandt andet komme til at handle om energioptag fra vippende pontoner og bølgeluftpumper.