

Måling af bølgeenergi

Min intention er at give nogle input til, at man i de ældste klasser måske godt kunne lave projekter om bølgeenergi i swimmingpools, akvarie-beholdere eller ved stranden, (bølgehøjdemålinger og tidtagninger)

Af Povl-Otto Nissen

I det fænomen, vi kender som bølger, bevæger de enkelte vandpartikler sig i større eller mindre cirkler. Det er et svingende fænomen, der opstår ved vindens påvirkning af vandoverfladen, og hvor tyngdekraften spiller en stor rolle. Selv om de enkelte vandpartikler således opholder sig nogenlunde i det samme område, kan de være i forskellige faser i forhold til hinanden, og derved ser det ud til, at bølgefronterne alligevel er fremadskridende. Det er i denne overfladeuro, at energien befinder sig, og hvordan får vi fat på den?

I foregående artikel så vi på overskylningsprincippet, hvor maskinen populært sagt skærer toppen af de fremadskridende bølger og tapper tyngdeenergien med nogle turbiner, når vandet vender tilbage til normalniveauet. Vi vil se på nogle af de andre principper, men først lidt bølge teori.

De vigtigste parametre i en teoretisk bearbejdning er bølgehøjden, bølgeperioden og bølgelængden. Da der til en

given vejsituation hører en given søtilstand med variationer af både højder, længder og tidsperioder, tildeles parametrene symboler, som man kan regne med:

Bølgehøjden H er den lodrette afstand mellem bølgetoppen og bølgedalen. I de formler, som anvendes, indgår den signifikante bølgehøjde H_s , der er defineret som gennemsnittet af den højeste tredjedel af de forekommende bølgehøjder.

Næst efter bølgehøjden er det vigtigt at vide, hvor hurtigt bølgerne kommer efter hinanden. Her opererer man med middelbølgeperioden T_z eller peak-bølgeperioden T_p , som er de tider målt i sekunder mellem, at to bølgetoppe passerer et bestemt sted.

I nogle tilfælde er det også vigtigt, at man kender bølgelængden. Her taler man om middelbølgelængden L_z og peak-bølgelængden L_p , som er den størst forekommende bølgelængde i en given søtilstand. Både H og L måles

i meter. Som tommelfingerregel er bølgelængderne cirka 20 gange så store som de tilhørende bølgehøjder, men sammenhængen er ikke lineær, snarere en parabelgren.

En bølgemaskine skal dimensioneres efter den lokalitet, hvor den skal anbringes. Alle variationer af søtilstande hen over et år omtales som bølgeklimaet det pågældende sted. Hvis man vil udregne årsproduktionen af frembragt elektrisk energi på stedet, er det en god idé først at måle og optælle antallet af timer, hvor de forskellige bølgehøjder og bølgeperioder forekommer. Resultatet kan opstilles i et diagram, der kaldes et scatter-diagram. Sådanne målinger er foretaget på udvalgte steder i forbindelse med afgrænsningen af den danske del af kontinentalsoklen samt enkelte andre steder. Her er et diagram over optællingen hen over et år fra et punkt cirka 100 km vest for Blåvandshuk.

Diagram over hyppighed af signifikante bølgehøjder H_s og middelbølgeperioder T_z i timer pr. år

	Middelbølgeperioder T_z (sekunder)								Sum	Procent
	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 5,0	5,0 - 6,0	6,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 9,0	>9,0		
$H_s(m) > 9,5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
8,5 - 9,5	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0,0%
7,5 - 8,5	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0,1%
6,5 - 7,5	0	0	0	0	0	0	18	9	27	0,3%
5,5 - 6,5	0	0	0	0	0	4	73	2	79	0,9%
4,5 - 5,5	0	0	0	0	1	188	21	0	210	2,4%
3,5 - 4,5	0	0	0	0	255	189	0	0	444	5,1%
2,5 - 3,5	0	0	0	355	587	2	0	0	944	10,8%
1,5 - 2,5	0	1	709	1227	32	5	3	3	1980	22,6%
0,5 - 1,5	52	1758	1889	274	79	27	11	8	4098	46,8%
<0,5	459	415	67	19	5	1	0	0	966	11,0%
Sum	511	2174	2665	1875	959	416	126	34	8760	100,0%
Procent	5,8%	24,8%	30,4%	21,4%	10,9%	4,7%	1,4%	0,4%	100%	

Som det ses, er optællingen af bølgehøjderne og bølgeperioderne inddelt i intervaller.

På den lodrette akse til venstre har vi bølgehøjdeintervallerne. På den vandrette akse foroven har vi tidsintervallerne. Tallene i felterne er forekomsten af bølgetyperne i antal timer. På den vandrette akse forneden har vi opsummering af forekomsten i timer, og den lodrette akse til højre viser opsummeringen af de forskellige bølgehøjder. Endnu en kolonne til højre viser også forekomsten af bølgehøjderne i procenter. Her ses, at 90 % af bølgeenergien i Nordsøen findes i bølgehøjder under 3,5 meter. Dermed kan det sikkert ikke betale sig at gøre maskinen stor nok til at tage det sidste med, men i stedet sikre den mod at tage skade ved at koble den ud i hårdt vejr med større bølgehøjder.

Energiomsætningen pr. sekund (effekten) i en bølge, når den ruller frem, udtrykkes i kilowatt pr. meter bølgefront [kW/m]. Bølgefronten er vinkelret på udbredelsesretningen, altså på langs

ad bølgerne. De formler, som anvendes er udkrystalliseret af intense analyser baseret på målinger af energifordelingen i de forekommende søtilstande. Det kaldes et bølgeenergispektrum. For Nordsøens vedkommende findes det såkaldte JONSWAP-spektrum (Joint North Sea Wave Analysis Program). Ifølge dette kan man udregne bølgeeffekten P_{inf} , når man kender den signifikante bølgehøjde H_s og middelbølgeperiodetiden T_z . Formlen ser sådan ud: $P_{inf} = 0,577(H_s)^2 T_z$ [kW/m]. En signifikant bølgehøjde på 1,5 meter og en middelperiodetid på 4 sekunder har således en effekt på 5,2 kW/m til

rådighed for opsamling af en bølgeenergi maskine. Hvor meget maskinen absorberer af dette, afhænger af dens udformning. Det er her de forskellige idéer kommer ind.

For nogenlunde at kunne sammenligne de forskellige maskintyper er der på basis af diagrammet udviklet en standardtest. Hvis man i diagrammet aflæser, hvor omkring de hyppigst forekommende middelbølgetider T_z ligger svarende til bølgehøjderne 1, 2, 3, 4, og 5 meter, fås hhv. 4, 5, 6, 7 og 8 sekunder i middel mellem bølgetoppene. Det kan sættes op i følgende skema:

Standardtest for bølgeenergi maskiner

H_s [m]	T_p [sek]	L_p [m]	T_z [sek]	L_m [m]	P_{inf} [kW/m]
1	5,6	49	4	25	2,3
2	7,0	76	5	39	11,5
3	8,4	110	6	56	31,2
4	9,8	150	7	76	64,6
5	11,2	195	8	100	115,4

For fuldstændighedens skyld rummer skemaet også værdier for spidsbølgetider og længder samt middelbølgelængden. Men ved at indsætte tallene fra kolonne H_s og T_z i ovennævnte formel for P_{inf} fås værdierne for effekten pr. meter bølgefront i sidste kolonne. Det store spørgsmål er så, hvor stor en del af dette en given maskine kan opsnappe.

En maskine består typisk af en absorberdel, et transmissionssystem og en energiomsætningsdel, det vil sige en generator. I de fleste tilfælde er det også nødvendigt med en bærende konstruktion og/eller en forankring i havbunden. Hvor meget der kommer ud som elektrisk energi, såkaldt Power Take Off (PTO), afhænger af de enkelte delsystemers virkningsgrader. Da de kendte generatortyper har en lang udviklingshistorie bag sig og næppe kan fås bedre end med virkningsgraden 0,9, må man koncentrere sig om absorberens/flyderens størrelse og udformning samt et effektivt transmissions- og gearingssystem.

Koncepter, der er baseret på flydeabsorbere, kan opdeles i 1) cirkulære bølger, de såkaldte point-absorbere

(Aqua Buoy), og 2) absorbere/flydere, der er hængslede til en fast konstruktion (Wave Star, Poseidons Organ). Det grundlæggende fysiske fænomen for disse koncepters virkemåde er naturligvis Arkimedes' Lov, hvor bølgens opdrift (heave) sørger for træknet opad, og tyngdekraften sørger for træknet nedad. Arkimedes fandt ud af, at en genstand, der nedsænkes i en væske, taber lige så meget i vægt som vægten af den væskemængde, der bliver skubbet til side. Flyderen skal fylde akkurat så meget og veje så tilpas lidt, at den flyder halvt nedsænket og følger med bølgeuroen. Kunsten er, at den gives en udformning, så der også bliver kraft tilovers til transmissionssystemet og generatoren i maskinen.

Ingen bør tænke på at lave en stor bølgeenergi maskine uden først at have eksperimenteret i modelstørrelse. Heldigvis er det sådan, at små bølger grundlæggende opfører sig som store bølger. Det betyder, at det er muligt på forhånd at regne ud, hvad en maskine i fuld størrelse vil kunne give, når den er baseret på en model, som man har testet og målt på.

Skaleringsalgoritmen hedder Froudes modellov.

Parameter	Model	Full scale
Length	1	s
Area	1	s ²
Volume/Mass/Force	1	s ³
Time	1	SQR s
Speed (linear)	1	SQR s
Power	1	s ^{3,5}

William Froude var en engelsk skibsingeniør, der levede fra 1810 til 1879. Han var den første til at teste skibsmodeller i en bølgetank. Bogstavet s er skaleringsfaktoren. Hvis vi f.eks. vil se, hvad en fordobling medfører, sættes $s=2$. Alle længder bliver da dobbelt så lange. Rumfanget og dermed vægten stiger med s i tredje potens, altså her med en faktor 8. Tidsrum omsættes med kvadratroden af s , i dette tilfælde med 1,41 gange mere. Det interessante er imidlertid, at energi mængden stiger med s i potensen 3,5. Det betyder, at en fordobling giver 11,3 gange så meget energi.

De indledende modeltests sker typisk i bølgetanke hos Dansk Hydraulisk Institut eller på Aalborg Universitet. Det er selvfølgelig bølgetankens dimensioner og mulige bølgehøjder, der bestemmer, hvor store modeller man kan komme med. Det typiske er omkring skala 1:20. Det betyder, at 5 cm i bølgetanken svarer til 1 meter bølgehøjde i virkeligheden, og at virkningen af 5 meter høje havbølger ude bliver testet med 25 cm bølger i tanken. Det er så spændende, om maskinen omsætter det, man forventer. På nuværende stadium må man vist sige, at en maskine, der med en enkelt flyder omsætter 25 % af det, der er til rådighed, er en rigtig god maskine.

Opgaver

1. Prøv selv med ovennævnte formel, standardtesten og Froudes modellov at udregne bølgeeffekterne i størrelsen 1:20. Husk også at omregne periodetiden for de små bølger før indsættelse i formlen.
2. Hvor stor en effekt optager en 3 meter bred flyder ved 2 meter høje bølger, når dens effektivitet er 24 %? Hvor meget omsættes til elektrisk effekt (watt), når transmissionssystemet har virkningsgraden 0,85 og generatorens er 0,9? Hvor meget elektrisk energi (kWh) bliver det til, hvis de 2 meter høje bølger fortsætter et helt døgn?
3. Gå ind på kystdirektoratets hjemmeside www.kyst.dk/sw2836.asp . Her findes dagsaktuelle målinger af bølgehøjder og tilsvarende bølgeperioder fra et antal målestationer langs vestkysten, både som grafer og tabeller. Det kan faktisk lade sig gøre at kopiere tabelværdierne ind i et Excelregneark. Find ud af, hvor meget elektrisk energi der i løbet af en dag kan leveres af en given bølgeenergimaskine ud for Nymindegab.

God fornøjelse!