

Bølgelængder, bølgehøjder, periodetid og absorptionbredde

af Povl-Otto Nissen

Når man arbejder med flyderbaserede bølgemaskiner, er det naturlige spørgsmål at stille sig: Hvor stor kan det betale sig at lave en flyder? Findes der en idealstørrelse i forhold til bølgelængden?

Umiddelbart vil man mene, at der må være en øvre grænse. Bliver flyderen for stor, vil den jo begynde at "kortslutte" bølgeformen. Det vil derfor være formålstjenligt at kende middelbølgelængden ved forskellige bølgehøjder. Bølgelængderne fremgår imidlertid ikke af tabellerne i offentliggjorte publikationer i forbindelse med bølgekraftprogrammet, (2), (3) og (4). Her optræder kun bølgehøjderne og de tilsvarende bølgers periodetid. Dette skulle imidlertid give information nok til at kunne regne bølgelængderne ud med lidt matematik.

Hjælp hertil kan bl.a. findes i bogen "Ocean Waves and Oscillating Systems" (Cambridge University Press 2002) af Johannes Falnes (1). Det, man skal bruge, er den såkaldte dispersionsrelation, der gælder for svingninger, f.eks. i vandoverfladen, under indflydelse af tyngdekraften.

Dispersionsrelationen (Falnes, s. 45) ser således ud:

$$\omega^2 = gk$$

hvor g er tyngdeaccelerationen på $9,82 \text{ m/s}^2$

Symbolet ω kaldes vinkelhastigheden og er 2π divideret med periodetiden T (bølgecirkelens omløbstid). Vinklen er den, som en roterende vandpartikel i bølgen gennemløber. Når den har været en tur rundt, har man i samme tidsrum T en hel bølgelængde.

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Symbolet k kaldes bølgetallet, som er 2π divideret med bølgelængden L .

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

Dette giver indsat i

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = g \frac{2\pi}{L} \Leftrightarrow$$

$$4\pi^2 L = 2\pi g T^2$$

hvor L isoleres og giver

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Denne ligning kan så bruges til at udregne bølgelængden L , når bølgens periodetid T er kendt.

De beregnede bølgelængder fremgår af følgende tabel. Beregningerne er foretaget på basis af de standardværdier for bølgehøjder og periodetider, som repræsenterer de fem søtilstande, der anvendes ved test af bølgemaskiner inden for det danske bølgekraftprogram.

Standardtest for bølgeenergimaskiner

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

H_s er de signifikante bølgehøjde fra bølgedal til bølgetop.

T_p er peak bølgetiden.

L_p er den tilsvarende peak bølgelængde.

T_z er middel bølgetiden.

L_m er den tilsvarende middelbølgelængde.

P_{inf} er effekten i bølgerne pr meter bølgefront, som bølgemaskinen møder.

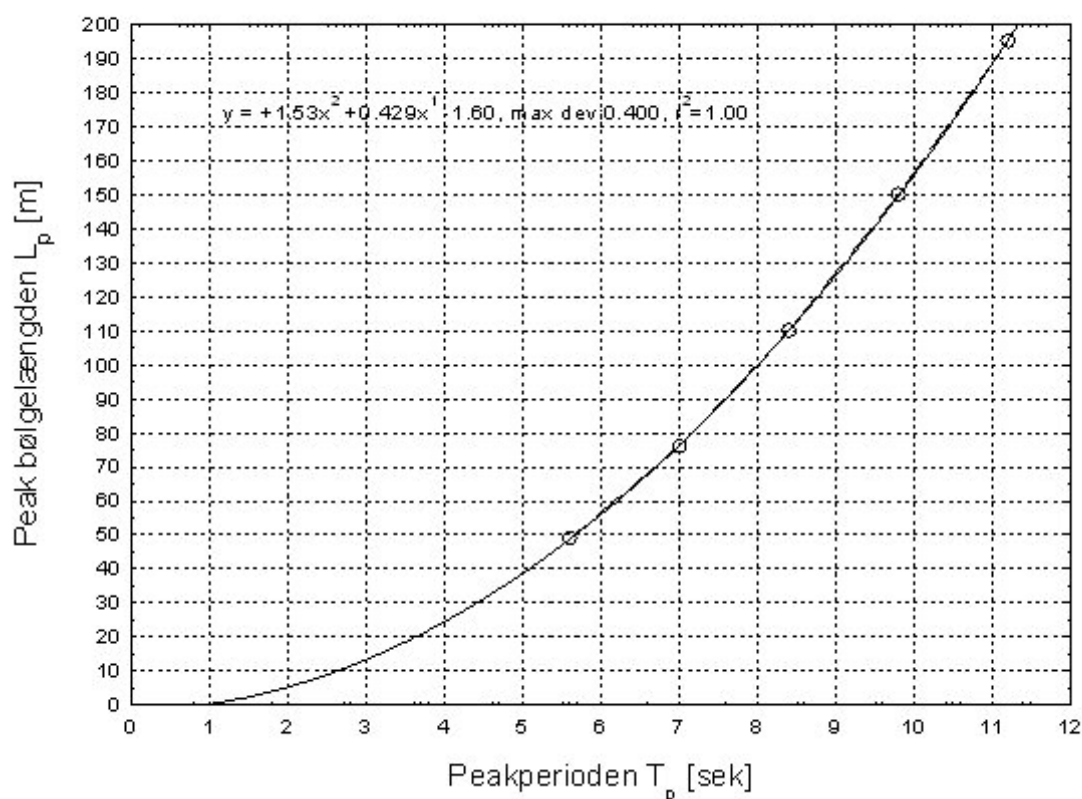
Den beregnes ved hjælp af formlen $P_{inf} = 0,577 * H_s^2 * T_z$

En grov tommelfingerregel er, at middelbølgelængden er cirka 20 gange signifikant bølgehøjde.

I hvor høj grad, det er tilfældet, kan kontrolleres ved sammenligning med tallene i tabellen.

Sammenhængen kan imidlertid også illustreres med en graf:

Sammenhængen mellem peakperioden T_p og peak bølgelængden L_p



Denne graf kan ligesåvel bruges til aflæsning af middelbølgelængden L_m som funktion af middelperiodetiden T_z for bølgerne.

Flyderdiametere, absorptionsbredden

Falnes leverer også i sin bog (s. 216) et bevis for, at maximum absorberet effekt kan opnås med flydere, hvor vandgangsdiameteren er højst lig med bølgelængden L divideret med 2π , altså $D = L/2\pi$, hvilket kan udtrykkes $D = 0,159 L$, altså cirka en sjettedel bølgelængde. Falnes kalder størrelsen $L/2\pi$ for absorptionsbredden (Absorption Width). Det vil næppe kunne betale sig, at lave en flyder større end det, men måske gerne mindre. Det er dog ikke sikkert, at det er ideelt at gå til grænsen. Form, volumen og vægt vil også have betydning. Desuden vil flyder/maskin-systemets evne til at søge resonans med bølgerne være af afgørende betydning for energioptaget.

Det rimeligste er at beregne flyderens vandgangsdiameter på basis af middelbølgelængden. Det har kun mening at tale om diameter, hvor vandgangssnittet er cirkulært. Ved andre flyderformer er absorptionsbredden D at opfatte som en brøkdel af bølgelængden i udbredelsesretningen. Det vil næppe kunne betale sig at overskride denne værdi ved en praktisk udformning af flydere. Det udelukker imidlertid ikke, at en flyder i en vis udstrækning vil kunne forlænges i retninger parallelt med bølgefronten med henblik på at øge energioptagelsen.

Tabel med absorptionsbredder beregnet på basis af middelbølgelængderne

svarende til de fem søtilstande:

Standardtest for bølgeenergimaskiner

H_s [m]	T_p [sek]	L_p [m]	T_z [sek]	L_m [m]	$D=L_m/2\pi$ [m]
1	5,6	49	4	25	4,0
2	7,0	76	5	39	6,2
3	8,4	110	6	56	8,9
4	9,8	150	7	76	12,1
5	11,2	195	8	100	15,9

Som det ses varierer absorptionsbredden D stærkt hen over de fem søtilstande på en måde, der ikke gør det muligt med en flyder at dække dem alle på en gang. Flydere må derfor dimensioneres under hensyntagen til de fremherskende søtilstande på den aktuelle lokalitet for opstillingen. En god hjælp hertil findes i Energicenter Danmarks udgivelse [Fakta om Bølgeenergi](#) (2)samt Annex II rapporten (6), som nu er internationalt anbefalet praksis for test og evaluering af hav-energisystemer.

Litteratur

1. Falnes, Johannes, "Ocean Waves and Oscillating Systems", Cambridge University Press 2002.
2. Energicenter Danmark, "Fakta om Bølgeenergi", København 2002.
3. Bølgekraftudvalgets Sekretariat, "Bølgekraft – forslag til forsøg og rapportering", marts 1999.
4. Bølgekraftudvalgets Sekretariat, "Bølgekraftprogram – Forslag til systematik ...", januar 2000.
5. Bølgekraftudvalgets Sekretariat, "Bølgekraftprogram – Afsluttende rapport...", august 2002.
6. IEA, Ocean Energy Systems, Annex II Report 2003.

Indholdet i dette skrift er endvidere inspireret ved læsning af rapporter over testede bølgeenergimaskiner ved Institut for Vand, Jord og Miljøteknik på Aalborg Universitet.

Rapporterne er tilgængelige via Bølgekraftforeningen.

22-11-2003

Rev.10-04-2004, 07-05-2007, 05-07-2007 og oversat til engelsk

Povl-Otto Nissen

Povlonis Innovation Project

Tangevej 47 A

6760 Ribe

web: www.povlonis.dk