

- NTNU
- Noregs teknisk-naturvitskapelege universitet

- Fag ENERGI FRÅ VIND OG HAVSTRAUM
- (NTNU-fag 4175)

HAVBØLGJE-ENERGI

Forelesningar ved
Johannes Falnes

(6 timar i februar 2006)

Tromsø, februar 2006 johannes.falnes@ntnu.no <http://www.phys.ntnu.no/~falnes>

Havbølger som energikjelde

- Havbølger er ei rein og fornyeleg energikjelde, skapt ved omforming av vindenergi når vind blæs langs havoverflata. Vindenergien kjem i sin tur frå solenergi, ved at solvarmen gjev høgttrykk og lågttrykk. Ved begge desse omformingane blir energitransporten fortetta.
- Rett under vassflata er den gjennomsnittlege bølgeenergitransporten typisk fem gonger tettare enn vindenergitransporten 20 m over vatnet, og mellom 10 og 30 gonger tettare enn intensiteten i solstrålinga.
- Difor er det gode føresetnader for utvikling av lønsame metodar for å utnytta bølgeenergien, noko som i framtida kan kome til å gje monalege tilskot til energiproduksjonen i mange kystnasjonar.

- Middels energi-intensitet:

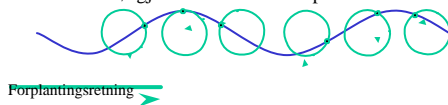
- Solenergi: 100 - 200 W/m²
- Vindenergi: 400 - 600 W/m²
- Bølgeenergi: 2 - 3 kW/m²

Havbølgjene utgjer
ei stor energikjelde.

Kva er ei bølge?

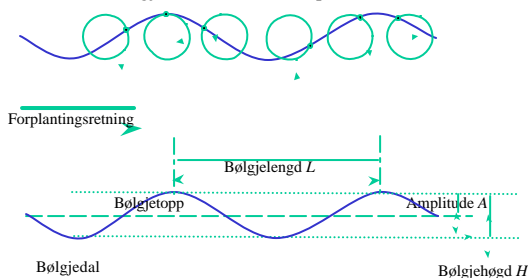
- Alle har vel sett bølger på sjøar eller hav. Desse bølgjene er ei form for energi. Det er energi, og ikkje vatn, som flytter seg langs vassflata. Når ei bølge passerer, går vasspartiklane i sirklar.

Ei bølge sett i eit visst tidspunkt:



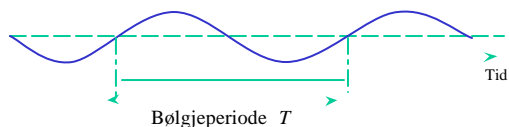
Korleis beskriva ei bølge?

Ei bølge sett i eit visst tidspunkt:



Overflateheving

På ein fast plass i rommet har vi som funksjon av tida:



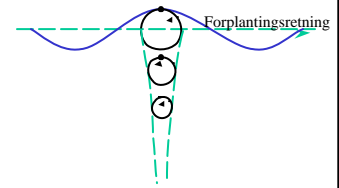
$$\text{Frekvens } f = 1 / T$$

Vindbølger og dønningar

• Bølger som er skapte av vind, kallar vi *vindbølger*. Når desse bølgjene har flytt seg ut av området der vinden bles, kallar vi dei *dønningar* [på engelsk: *swells*]. På djupt vatn kan slike dønningar reisa svært lange avstandar, t.d. over Stillehavet, med berre lite energitap.

Kva skjer under vassflata?

På djupt vatn går vasspartiklane i sirkelbanar (medan banen på grunnare vatn blir elliptisk). Denne rørsla finn vi heile vegen nedover i vatnet, men partikkelfarten og dermed radiusen til sirklane blir mindre dess djupare vi kjem.



Bølgjefart

- Energien til bølgjene flytter seg med det vi kallar *gruppefarten* c_g . Dei enkelte bølgjetoppene flytter seg derimot fortare - dei blir fødte i bakkant av bølgjegruppa og dør ut i framkant -. På djupt vatn er denne *fasefarten* c dobbelt så stor som gruppefarten:

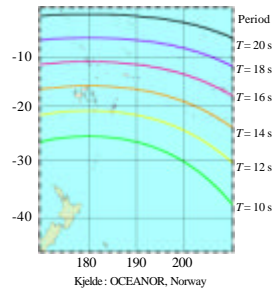
Tidsteg 1

Tidsteg 2

Tidsteg 3

$$c = 2c_g = \frac{g}{2p} T = (1.56 \text{ m/s}^2) \cdot T$$

Dønningar som går over Stillehavet.



- Sidan gruppefarten er proporsjonal med perioden, reiser bølger med låg frekvens fortare bort frå eit stormsentre enn bølger med høg frekvens. Figuren syner situasjonen fire dagar etter ein storm som gjekk føre seg på 170° aust og 50° sør.

Energi-innhald i havbølger.

- I ei sinusforma bølge med høgd H , er den gjennomsnittlege lagra energien E på ein horisontal kvadratmeter av vassflata gitt ved:

$$E = k_E H^2$$

$$k_E = \rho g / 8 = 1.25 \text{ kJ/m}^4$$

$$\rho = \text{massetettleiken til sjøvatt} = 1020 \text{ kg/m}^3$$

$$g = \text{tyngdeakselerasjonen} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

- Halvparten av denne energien er potensiell energi som ein får ved å lyfta vatn opp frå bølgedalane til bølgetoppene. Den resterande halvparten er kinetisk energi i form av vatn i rørsla.

Døme: $H = 2 \text{ m} \Rightarrow E = 5 \text{ kJ/m}^2$

Energitransport i bølger

- Energitransporten per meter av bølgefrenten er

$$J = c_g E$$

På djupt vatn er gruppefarten $c_g = gT/4\pi$, som gir

$$J = k_J T H^2$$

$$k_J = \rho g^2 / 32 \pi = 1 \text{ kW/m}^3$$

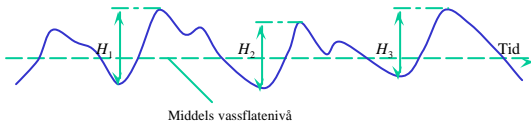
Døme:

$$T = 10 \text{ s} \text{ og } H = 2 \text{ m} \Rightarrow J = 40 \text{ kW/m}$$

Signifikant bølgehøgda

For verkelege havbølgjer nyttar ein *signifikant bølgehøgdsom* eit mål på bølgehøgda. Ho er tradisjonelt definert som gjennomsnittet av den høgaste tredelen av dei einskilde botn-til-topp-høgdena H_i ($i=1, 2, 3, \dots$), og har symbolet $H_{1/3}$. Med sortering av alle H_i etter fallande storleik, $H_{j,1}, H_{j,2}, H_{j,3}, \dots$ har vi

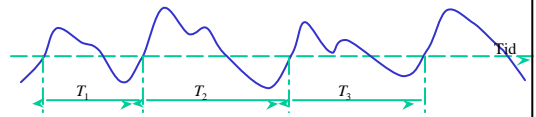
$$H_{1/3} = \frac{H_{j,1} + H_{j,2} + \dots + H_{j,N/3}}{N/3}$$



Middels nulloppkryssingsperiode T_z

- Den individuelle *nulloppkryssingsperioden* T_i er tida mellom to påfølgjande tidspunkt der bølgehøvinga kryssar nullnivået på veg oppover. Gjennomsnittet av desse over ei viss tid gjev eit nyttig mål på den verkelege bølgeperioden.

$$T_z = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_N}{N}$$



Bølgespektret

- Ein storleik som blir funnen frå bølgemålingane, er det såkalla bølgespektret $S(f)$. Det fortel oss kor mykje energi som finst i dei ulike frekvenskomponentane av bølgjene på sjøen.

$$E = r g H^2 / 8$$

- For verkelege havbølgjer har vi i staden

$$E = r g \int_0^{\infty} S(f) df \equiv r g H_s^2 / 16$$

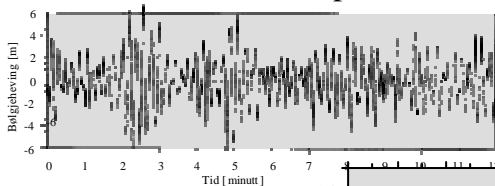
Bølgeenergitransport uttrykt ved signifikant bølgehøgda

$$\int_0^{\infty} S(f) df \equiv H_s^2 / 16$$

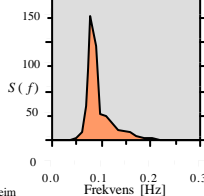
Her er H_s den moderne definisjonen av signifikant bølgehøgda, som i praksis stemmer godt med den forrige definisjonen vår, $H_{1/3}$. Ein annan storleik, den såkalla bølgeenergi-perioden T_J , kan finnast med hjelp av bølgespektret $S(f)$. Energi-transporten i verkelege havbølgjer kan no reknast ut ved

$$J = (k_J / 2) T_J H_s^2 \quad k_J / 2 = 0.5 \text{ kW/sm}^3$$

Eit måleeksempel



- Denne tidsserien (over) frå høg sjø, viser at dei einskilde bølgjene varierer mykje i form og storleik. Det tilhøyrande energispektret er vist til høgre. For denne stormen var den signifikante bølgehøgda H_s lik 8 m.



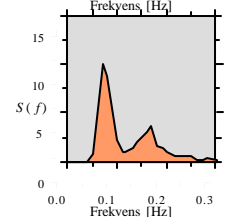
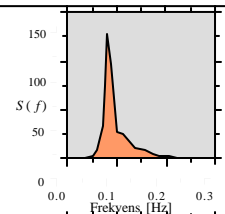
Kjelde: OCEANOR, Trondheim

Havbølgespektra

- Her ser vi typiske energispektra frå vindsjøforhold (oppe) og ei blanding av vindsjø og dønningar (nede).

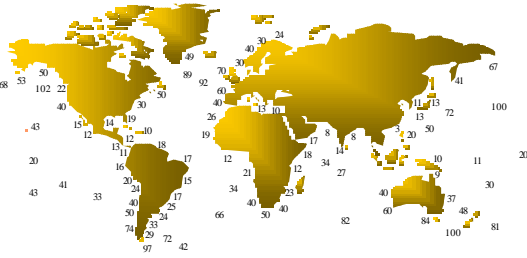
- Dønningane inneheld lågare frekvensar (den høge piken) enn vindbølgjer (den låge piken).

- Signifikante bølgehøgder: 8 m (oppe) og 3 m (nede).



Kjelde: OCEANOR, Trondheim

Fordeling av bølgeenergitransporten



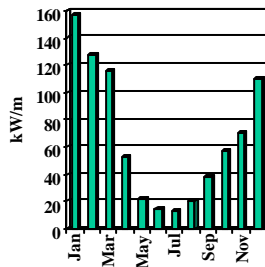
Tilnærma middels bølgekraftnivå til havs, gjevne i kW/m av bølgefronten.

Sesongvariasjon

- Middelverdiene av bølgeenergitransporten varierer i ein viss mon frå år til år. Verdiene varierer kraftigare mellom årstidene. På den nordlege halvkula kan middelverdiene for november og mai skilja seg med ein faktor to eller meir. Vi måler monaleg meir vind- og bølgeenergi om vinteren enn om sommaren, sjølv om det er motsett for solenergien. Sidan det kan vera bølger (dønningar) også når det er vindstilt, er bølgeenergien meir vedvarande enn vindenergien.

Sesongvariasjon på (57° N, 9° W)

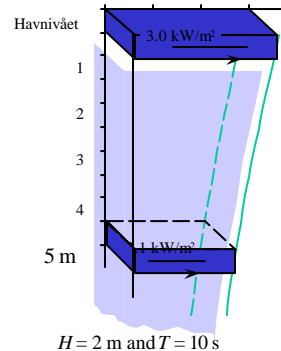
- Diagrammet syner sesongvariasjonen til bølgeenergitransporten i eit målepunkt nær Barra i Hebridane utanfor skotskekysten.
- Det årlege gjennomsnittet for det aktuelle året var 65 kW/m.



Basert på WERATLAS, European Wave Energy Atlas, 1996

Vertikalfordeling av bølgeenergitransporten

- Som vi har sett går vasspartiklane i sirklar med avtakande radius i djupna. Følgjeleg minkar tettleiken til energitransporten når vi går nedover i vatnet. På djupt vatn skjer faktisk 95 % av energitransporten mellom vassoverflata og djupna $L/4$. (L er bøljelengda).

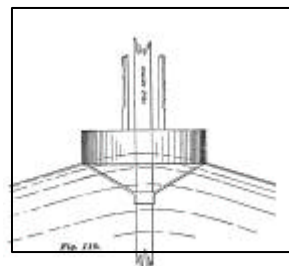


- Det første patentet vi veit om som omhandlar utnytting av energi frå havbølger, er frå 1799 og vart gjeve i Paris til ein far og son med namnet Girard. Dei hadde sett korleis bølger kan lyfta store skip.

- Mange hundreår tidlegare hadde polynesarar oppdaga at dei kunne nytta havbølger til å surfa på, og såleis få framdrift frå bølgene.



- I forslag frå 1800-talet blir den svingande rørsla gjerne overført mekanisk til pumper eller anna passende maskineri (ved hjelp av tannstenger med tannhjul, palhjul, stenger og tau). Figuren syner ein flytande kropp som går opp og ned. Tannhjul (ikkje vist) blir drivne av tannstengene som er feste til kroppen.



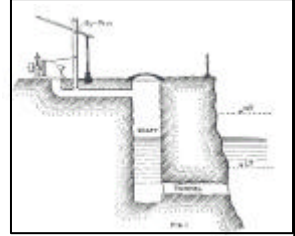
Frå ein 57-siders artikkel, *The utilization of the power of ocean waves*, skreven av A.W. Stahl i 1892.

- I dag er bølgeenergi mykje brukt for å driva navigasjonsbøyar. Dette er ein gammal ide, men han vart først sett ut i livet i 1965, etter at ei japansk forskings- og utviklingsstifting hadde gjennomført eit studium av emnet. Etter dette har det japanske selskapet Ryokuseisha laga omlag 1200 navigasjonsbøyar for bruk over heile verda.



Framsida til barnebladet *Magne*, 16. juni 1901. Artikkelen fortel om "elektriske fyrbøier" til bruk i navigering

- Eit tidleg eksempel på bruk av bølgeenergi har vi frå Frankrike i 1910. I Royan nær Bordeaux forsynte herr Bochaux-Praceique huset sitt med 1 kilowatts elektrisitet frå ein turbin som vart driven av luft frå ei svingande vassøyle. Luftkammeret var ei vertikal sjakt i ei klippe som var i kontakt med havet gjennom ein liten tunnel.



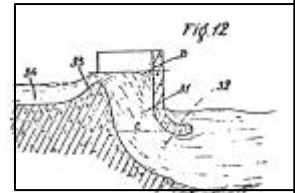
Teikning frå 1920 som viser innretninga til Bochaux-Praceique. Attgjeven med løyve frå Power Magazine, The McGraw Hill Companies.

Energi frå jordolje

- Kring den første verdskrigen vart olje ei moderne energikjelde som tok over verdsmarknaden. Interesse for dei fleste andre energikjeldene døydde ut. Ny og aukande interesse for mellom anna bølgeenergi kom med oljekrisa i 1973.

Svingande vass-søyle "oscillating water column" (OWC)

- Bølgjekraftverk av typen "svingande vassøyle" har vorte populære sidan slutten på 70-talet. Eit mykje tidlegare framlegg (frå 1952) er vist her. Sjøvatn flyt inn i ein innhol konstruksjon med nedsøkktt opning. Rørsla til bølgiene fører til at den innvendige vassøyla byrjar å svinga. I forslaget frå 1952 blir vatn frå den øvre delen av vassøyla ført inn i eit høgareliggjande basseng.



Frå britisk patent nr. 741494 på svingande vassøylar. Attgjeven med løyve frå Electricité de France.

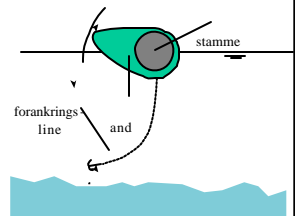
- Det 80 m lange skipet Kaimei (= sjølys) har i Japan vorte nytta til å testa ulike typar bølgjekraftdrivne luftturbinar.



Copyright: JAMSTEC, Japan

Salter duck

- I 1974 publiserte Stephen Salter ein artikkel om ei innretning som har vorte kjent som "Salter-anda", "Edinburgh-anda" eller heilt enkelt "Anda". Dette fordi innretninga, i si stampane rørsle liknar ei voggande and. Fleire ender svingar i forhold til ein felles liggjande stamme. Den relative stamperørsle mellom kvar and og stammen blir nytta til å pumpa hydraulisk væske gjennom ein motor.



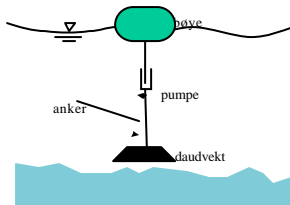
- I siste halvdel av 1970-åra sette regjeringane i fleire land i gang store utviklingsprogram for bølgeenergien, særleg i Storbritannia, Noreg og Sverige. Den økonomiske stønaden vart drastisk redusert tidleg på 80-talet, då oljeprisen gjekk ned og den generelle otten for energi- og miljøproblem minka blant folk flest.

Omforming av bølgeenergi

- Patentlitteraturen inneheld hundrevis av ulike framlegg til måtar å utnyttja bølgeenergien på. Desse kan klassifiserast på fleire vis i eit dusin ulike grupper eller mindre.

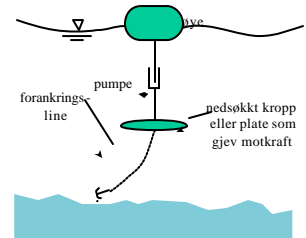
Kraft og motkraft

- For å kunna dra nytte av energien i bølgene treng vi ein fast referanse å ta ut krafta mot. Bøyen på figuren verkar mot eit fast anker på sjøbotnen. Ei pumpe (vist skjematisk) blir driven av hivvørsla til den flytande bøyen. Den hydrauliske væska i pumpa blir tvinga gjennom ein motor (t.d. ein turbin, ikkje vist). Denne motoren driv i sin tur ein el-generator.

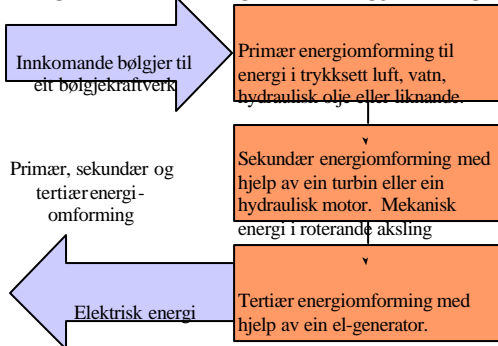


Motkraft frå ein annan kropp

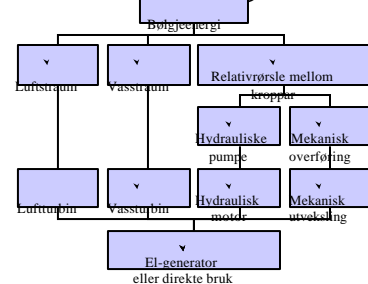
- Eit anna alternativ er å lata bølgekrafta på bøyen verka mot ein annan kropp, slik som på figuren. Pumpa blir no driven av relativvørsla mellom dei to kroppane. Ei forankringsline er nødvendig for å hindra at systemet driv bort.



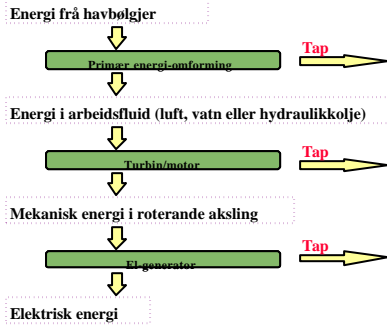
Steg i omforminga av bølgeenergi



Ulike omformingsmåtar



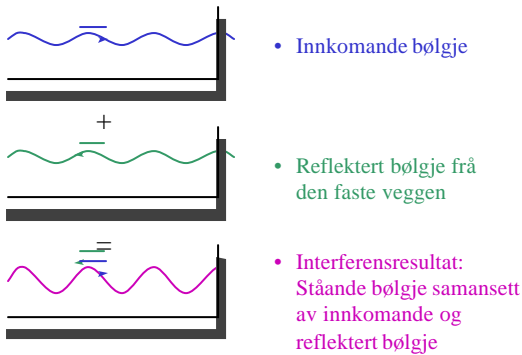
Skjematisk oversyn over omforming av bølgeenergi



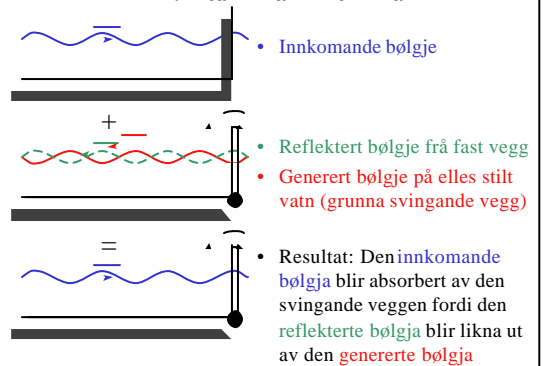
Eit paradoks?

- Absorpsjon av energi frå bølger kan sjåast på som eit interferensfenomen. Difor kan absorpsjon beskrivast med ei tilsynelatande paradoksal utsegn:
 - **Å absorbera ei bølge er det same som å generera ei bølge**
- eller, i andre ordelag:
 - **Å øydeleggja ei bølge er å laga ei bølge.**

Innkomande bølge + reflektert bølge = ståande bølge



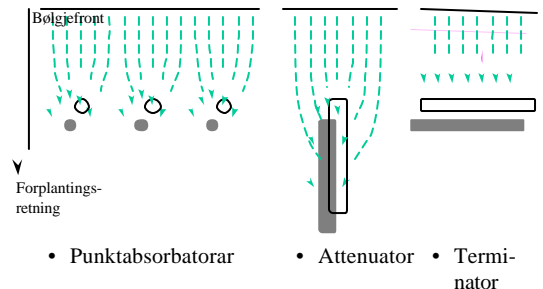
“Å absorbera ei bølge er det same som å generera ei bølge”
- eller “å øydeleggja ei bølge er å laga ei bølge”.



Inndeling av bølgekraftomformarar

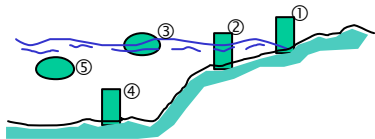
- Dei ulike innretningane som er føreslegne for omforming av bølgeenergi, kan klassifiserast på fleire måtar. Vi nyttar desse for å sjå skilnader og likskapar mellom omformarane.

Inndeling ut frå storleik og orientering



Inndeling ut frå plassering

- ① Ståande i stranda
- ② Ståande på botnen i grunt vatn
- ③ Flytande på grunt eller djupt vatn
- ④ Ståande på botnen eller nedsøkket på grunt eller mellomdjupt vatn
- ⑤ Nedsøkket, men nær overflata
- ⑥ Hybrid; omformarar av typen 2-5 kombinert med energilagrer (som t.d. ein trykktank eller vassreservoir) og omformingsmaskineri på land



Inndeling ut frå sluttbruk av energien

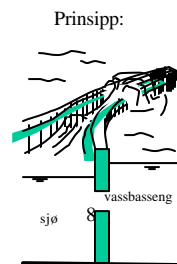
- Elektrisitet
- Avsøling av sjøvotn
- Kjølleanlegg
- Pumping av reint vatn (oppdrettsanlegg, reinsing av ureina innsjøar eller andre sjøområde med utilstrekkeleg vassstilstrøyming)
- Oppvarming av sjøvotn (t.d. for bruk i oppdrettsanlegg og symjebasseng)
- Framdrift av skip
- I kombinasjon med ynskt svekking av bølger i eit område

Inndeling ut frå kva for sekundær energiomforming som er nytta

- Til hydraulisk energi
- Til pneumatisk energi
- Til mekanisk energi (typisk for forslag frå det 19. hundreåret)
- Direkte til elektrisitet

Kilerenne

- Kilerenna er ein horisontal kanal som er vid ut mot havet der bølgiene kjem inn, og som gradvis smalnar inn mot eit basseng på den andre enden. Når bølgiene går gjennom den smalnande kanalen, aukar bølgehøgda sidan plassen minkar sidevegs. Når bølgetoppen når over sideveggene i kanalen, renn vatn over i bassenget, som ligg høgare enn sjøen.



Kilerenna til NORWAVE

- Ei kilerenna kalla TAPCHAN (av engelsk: Tapered channel) vart i 1985 bygd for demonstrasjons-føremål på Toftestallen (40 km NV for Bergen). Den smalnande kanalen lyfter vatnet opp i eit basseng 3 meter over middels havflate. Vatnet renn (bak bassenget) attende til sjøen gjennom ein konvensjonell lågtrykks-turbin som driv ein el-generator på 350 kW. Generatoren er kopla til kraftnettet i Nordhordland.



Copyright: NORWAVE AS, 1986

- Jamvel på ein relativt stille dag gjer den krystande effekten til den smalnande kanalen at vatnet får stor fart og rørsle, noko som gjev eit imponerende syn når vatn fossar over kantane på renna og styrtar inn i bassenget på Toftestallen



Copyright: NORWAVE AS, 1986

INDONORs planlagde TapChan-kraftverk i Indonesia



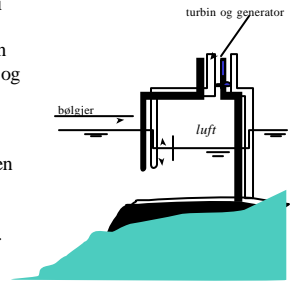
Installert effekt: 1,1 MW
Magasinnivå 4 m
Magasinareal 7000 m²

Kollektor Lengd: 126 m. Maks. breidd: 124 m
Kilerenne: Lengd: 60 m. Maks. breidd: 7 m. Botn: -8 m

Svingande vassøyler

- I ei svingande vassøyle er ein del av vassflata innestengt i eit kammer med opening til havet under vatnet. Når den indre vassflata svingar opp og ned som følgje av den innkomande bølga utanfor kammeret, blir lufta i kammeret blåsen ut og sogen inn gjennom ein turbin på grunn av over- og undertrykket inne i luftkammeret.

Prinsipp:



Wells-turbinen

- Den såkalla Wells-turbinen er eit døme på ein passende turbin for ei svingande vassøyle. Denne turbinen er laga slik at retninga på dreipmomentet er uavhengig av retninga til luftstraumen. Wells-turbinen er i dag i bruk i ei rekkje bølgekraft-verk i fleire land.



Copyright: JAMSTEC, Japan

- Fleire ulike utformingar av den svingande vassøyla har vorte laga til forskings- og demonstrasjons-føremål. På bildet ser vi ein japansk konstruksjon som vart bygd og testa ved Sanze på vestkysten av Japan i 1984. Han hadde to Wells-turbinar på kvar si side av ein 40 kilowatts el-generator. Dette vart gjort for å utlikna skuvkrafta på den roterande akslingen.

Svingande vassøyle i bergkløft



Copyright: JAMSTEC, Japan

Svingande vassøyle i Øygarden, Hordaland

- Kværner Brug fullførte dette demonstrasjonsanlegget på Toftestallen i 1985. Konstruksjonen er av betong opp til 3,5 m over vassflata og av stål vidare opp til 21 m o.h. Maskineriet har ein vertikal aksling med generatoren på toppen. Nedanfor sit (det røde) turbinhuset, som inneheld ein sjølv-likeretande turbin på 500 kW.



Foto: J. Falnes, 1985.

Svingande vassøyle på Isle of Islay, Skottland

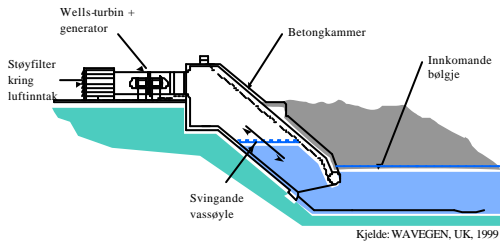
- Dette kraftverket vart reist av Queen's University i Belfast gjennom eit prosjekt med støtte frå Handels- og industridepartementet. Kraftverket har ein 75 kilowatts Wells-turbin og svinghjul som energilagrar. Systemet har vore kopla til kraftnettet på øya sidan 1991, men er no avvikla. Dette fordi ein ny og forbetra versjon, LIMPET, er bygd rett nord for det gamle kraftverket.



Foto: Håvard Edsmoen, 1993

LIMPET

- Det neste bølgekraftverket på Isle of Islay, LIMPET, er ei svingande vassøyle med ein 500 kilowatts el-generator.



LIMPET

- Til høgre: Den 500 kilowatts turbinen før installering i kraftverket.



- Til venstre: Det fyrste kraftverket på Isle of Islay (75 kW) kan skimtast i bakgrunnen. Det neste kraftverket (500 kW) innteikna i framgrunnen.

Pico-kraftverket på Azorane

Ei svingande vassøyle blir no (1999) testa ut i eit pilotprosjekt på øya Pico i Azorane.



Foto: A. Sarmento, IST, Portugal, 1999

Prosjektet er støtta av JOULE-programmet til EU, og er leidd av Instituto Superior Técnico i Portugal. Kraftverket har ein botstående betongkonstruksjon og eit vassplanareal på 144 m². Turbinen har ein installert effekt på 400 kW. Ved sida av å vera eit testanlegg er det meininga at kraftverket skal forsyna øya Pico med 8-9 % av det årlege el-forbruket til dei 15 000 innbyggjarane.

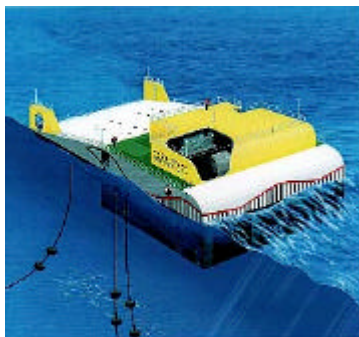


Foto: A. Sarmento, IST, Portugal, 1999

Luftkanalen i Pico-kraftverket med turbin og venti.

"The MIGHTY WHALE"

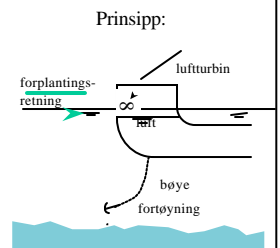
Ei japansk inneretning kalla "the Mighty Whale", er bygd i full skala, og har etter 1999 blitt testa ut i sjøen i Gokasho-bukta.



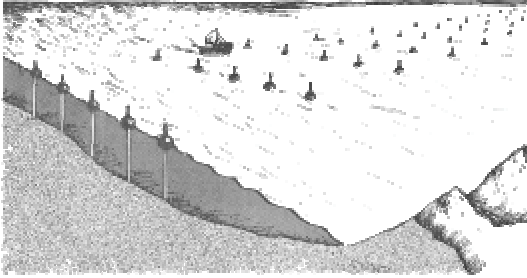
Copyright: JAMSTEC, Japan

Bakoverbøygd rørøye

Denne bøyeformen vart lagt fram av den japanske oppfinnaren Yoshio Masuda. Bølgjene set bøyen i rørle slik at vassnivået inne i kammeret går opp og ned. Resultata frå forsøk i bølgetank er veldig lovande.

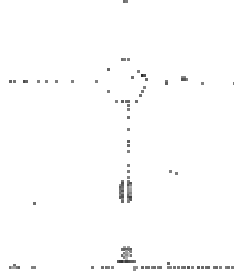


Rekkje av punktabsorbatorar



Kjelde: SINTEF, 1982.

Punktabsorbator frå Trondheim



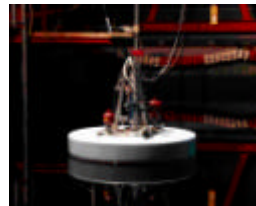
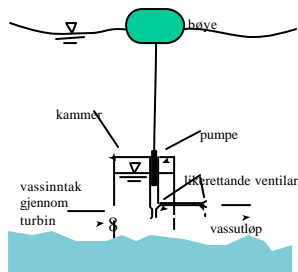
Kjelde: K. Budal, 1981



Foto: J. Falnes, 1983

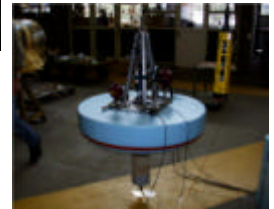
KN-innretninga

- Eit forslag som Kim Nielsen frå Danmark har kome med, er sett saman av ein bøye kopla, med eit tau, til eit betongkammer på sjøbotnen. Rørsla til bøyen pumpar vatn ut av kammeret slik at det oppstår eit undertrykk. Dermed kan ein lata vatn renna gjennom ein turbin og få generert elektrisitet.



Punktabsorbatoren til RAMBØLL

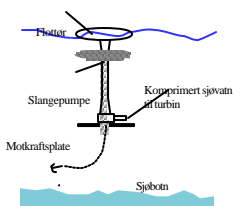
- Punktabsorbatorentil firmaet Rambøll i Danmark er ei vidareutvikling av arbeidet med KN-innretninga. Ein av skilnadene er at energiomforminga skjer i sjølve bøyei staden for i eit kammer på sjøbotnen.



Fotos: RAMBØLL, Danmark, 1998

Den svenske slangepumpa

- Denne svenske bøyen nyttar ein spesialutforma slange til å pumpa sjøvatt til høgare trykk.



Kjelde: Tom Thorpe, UK

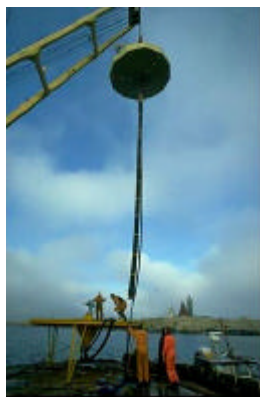


Foto: Technocean, Göteborg, 1984

Tre slangepumpeiningar plasserte i sjøen ved Vinga fyr vestanfor Göteborg



Foto: Technocean, Göteborg, 1984

Den svenske IPS-bøyen

IPS-bøyen sklir opp og ned på ei vertikal stong koplta til ein treg masse eit stykke nede i vatnet. Bølgjeenergien blir teken ut frå den relative rørsla mellom bøyen og stonga og gjort om til nyttig energi ved hjelp av mekanisk eller hydraulisk maskineri.



Foto: Technocean, Göteborg, 1981

Kinesisk navigasjonsbøye

- I Kina har dei drive med bølgjeenergiforskning på meir enn ti universitet sidan 1980. Biletet viser ein 60-watts kinesisk navigasjonsbøye sett ut i 1985 av Guangzhou Institute of Energy Conversion.



Foto: Niandong Jiang, Kina, 1987

ConWEC

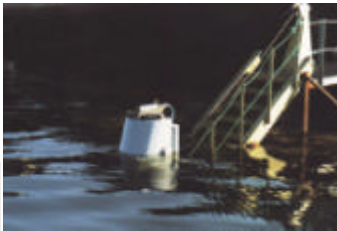
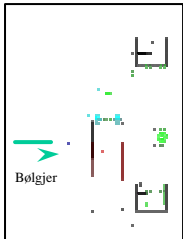
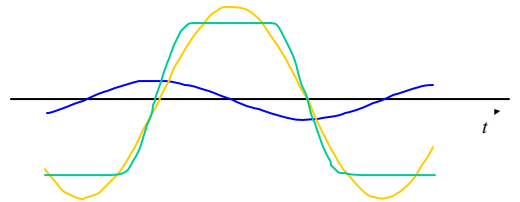


Foto og figur: ConWEC, Trondheim, 1998



- ConWEC (for Controlled Wave Energy Converter) er ei svingande vassøyle der den meir vanlege luftturbinen er bytt ut med ein innvendig flottør koplta til hydraulisk maskineri for energi-omforming.

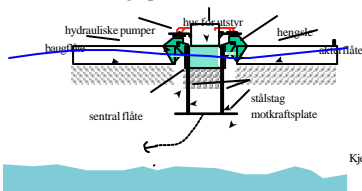


Optimal fase ved resonans

Fasestyring ved fasthaldingsmetoden

Stampande flåte

Eit system kalla McCabes bølgjepumpe er utforma for å produsera drikkevatt eller elektrisitet ved hjelp av bølgjeenergi. Systemet er utvikla av Dr. Peter McCabe og ei gruppe ingeniørar frå Hydram Technologies Limited i Irland. Bølgjepumpa utnyttar det at stigninga til vassflata endrar seg når det kjem bølgjer. Ein 40 meter lang prototype vart, i 1996, sett ut på vestkysten av Irland, ved nordsida av den vel 10 km vide munninga på elva Shannon.



Kjeldre: Tom Thorpe, UK

Videoklipp av "Pelamis"

eit skotsk bølgjekraftverk til eit Edinburgh-firma:

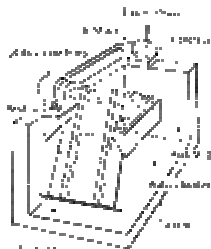
OCEAN POWER DELIVERY LTD.

<http://www.oceanpd.com>

Pendulor



Foto: Tomiji Watabe, 1999

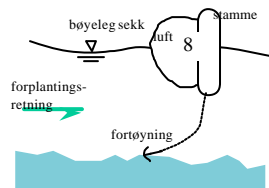


Kjelde: Tomiji Watabe

- Ei ny innretning kalla Pendulor blir testa (biletet) i sjøen nær Muroan i Hokkaido i Japan.

SEA Clam

Prinsipp:



Som ein del av den britiske bølgeenergisatsinga har det vorte gjort forskning og utvikling ved Coventry Polytechnic i England. Dette har resultert i ein bøyeleg-sekk-konstruksjon kalla SEA Clam. Ei sirkulær utforming av denne i målestokk 1:15 vart prøvd i den skotske innsjøen Loch Ness i 1986.

Modellforsøk av SEA Clam i skala 1:15 i Loch Ness

- Øvst: Modellen, som hadde 12 luftkammer med svarte gummimembranar, klar for testing.
- Nedst: Den same modellen men med kvite membranar under testing i Loch Ness.

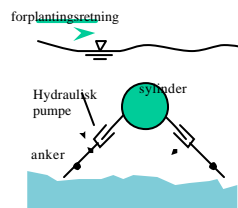


Biletta er attgjevne med løyve frå L.Duckers/Sea Energy Associates, UK

Bristolsylinderen

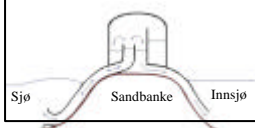
- Dette bølgekraftverket stammar frå David Evans ved University of Bristol i England. Bølgjene får den nedsøkte sylinderen til å svinga både vertikalt og horisontalt. Dersom den innkomande bølga er sinus-forma, vil sylinderen få ei sirkulær rørsle og vil kunna ta opp all den innkomande energien dersom den hydrauliske omformaren syter for at utsvingsamplituden og -fasen er optimal. Den hydrauliske omformaren er innebygd i ankerstaga.

Prinsipp:



Bølge-driven sjøvasspumpe

- I denne sjøvasspumpe er luftkammeret delvis tømt for luft. Dermed kan sjøvatt pumpast over ein sandbanke.



Kjelde: S.P.R. Citrom, Mexico, 1995

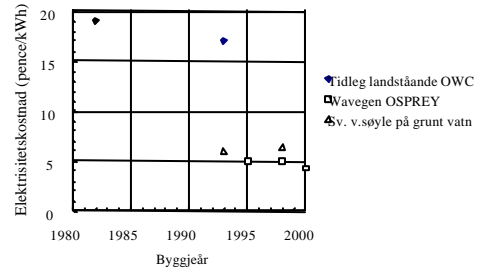
Er bølgeenergien lønsam?

- Utnyttinga av bølgeenergi er enno på eit tidleg stadium i den teknologiske utviklinga. Bølgeenergien er konkurransedyktig på enkelte område, slik som til drift av navigasjonsbøyer, avsalting av sjøvatt og kraftforsyning til isolerte kystsamfunn der dei har dyr elektrisitet frå dieselaggregat.
- Gjennom vidare forskning og utvikling vil bølgeenergi bli konkurransedyktig i ein stadig større del av energimarknaden.

Redusert kostnad med røynsle og læring

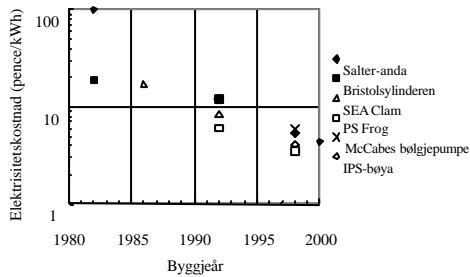
- Det er eit velkjent faktum at grunna erfaring og forbetra produksjonsmetodar går prisen på eit produkt ned etter kvart som produksjonsvolumet aukar. Som eit døme på dette kan vi ta elektrisitetsproduksjonen i USA. I perioden frå 1926-1970 gjekk den inflasjonskorrigerte prisen på elektrisitet i grove trekk ned med 25 % for kvar doubling i den akkumulerte produksjonen.
- For destillering av jordolje var den tilsvarende kostnadsreduksjonen 20 %. (J.C. Fischer, Energy Crisis in Perspective, John Wiley, New York, 1974.)

Estimert elektrisitetskostnad frå ulike svingande vassøylar som funksjon av byggjeår.



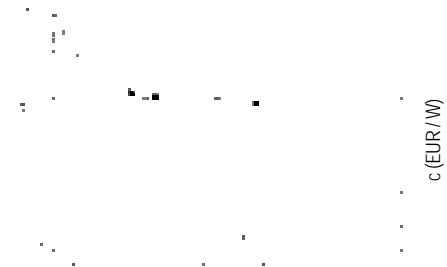
Kjelde: Tom Thorpe, UK, 1998

Estimert elektrisitetskostnad frå ulike bølgekraftverk på djupt vatn som funksjon av byggjeår.



Kjelde: Tom Thorpe, UK, 1998

Døme på læringskurve: Estimert investeringskostnad (c) per installert effektteining som funksjon av akkumulert installert effekt (P) i bygde bølgekraftverk.



Kjelde: J. Falnes, 1995

Fremjing av ny energiteknologi

- På dei første stega i utviklinga av ein ny energiteknologi kan nisjemarknader spela ei viktig rolle. Ein annan viktig støttespelar i ei slik utvikling er staten, som kan gje subsidiar til å dekkja skilnaden mellom kostnad og marknadspris.

Eit dilemma for nye energiteknologiar

- Læringskurver illustrerer at nye energiteknologiar stiller med handikap i konkurranse med etablerte og konvensjonelle teknologiar. Dette faktumet må ein hugsa på når ein samanliknar energikostnadene frå nye og gamle teknologiar. Slike samanlikningar er som å samanlikna prestasjonen til eit barn med prestasjonen til ein vaksen.