Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

Blodtrykksmåling

NNHOLD

Professor R. Tangen 70 år	73
Jon Gjønnes ny professor	74
Fysikkpriser i 1983	74
Nobelpris 1982	74
Fysikere og nedrustning	75
Fra redaktørene	76
Norsk Fysikkråd, årsmelding	76
Dosimetri ved stråleuhell	77
Standardisering av størrelser, enheter og symboler	79
Bøyekraftverk	81
Daniel Bernoulli	86
Blodtrykksmåling og fysikk	86
William Crookes	91
Nordisk forskerkurs i kjernefysikk	91
James C. Maxwell	91
Fysikk - liv - helse	94

Nr. 4 - 1982
44. årgang
ISSN-0015-9247

KURSSENTERET

KURS I DATABEHANDLING

Følgende kurs vil bli avholdt i vårsemesteret 1983:

10.1 - 14.1	EDB-II
17.1 - 4.2	COBOL I
7.2 - 18.2	COBOL II
28.2 - 11.3	FORTRAN
21.3 - 25.3	Videregående FORTRAN
18.4 - 29.4	PASCAL

Påmeldingsfristen er 1 måned før kursets begynnelse

Det vises også til Forbruker- og Administrasjonsdepartementets kurskatalog for 1983.

Nærmere opplysninger
Kurssekretær Gerd Jarrett
Den nederlandsk-norske reaktorskolen
Institutt for energiteknikk
Boks 40, 2007 Kjeller
Telefon (02) 71 25 60

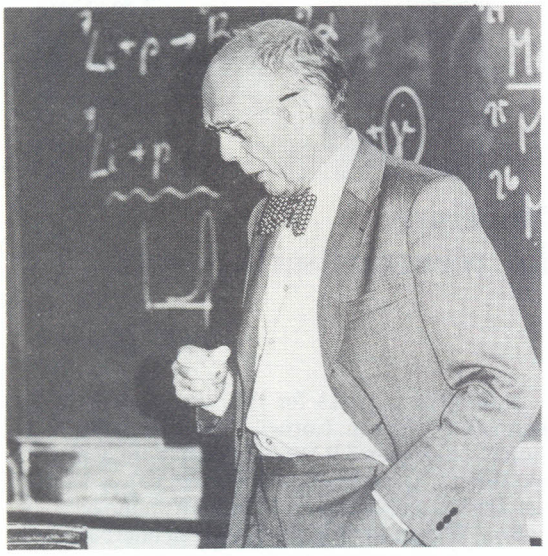
Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 4 - 1982

Redaktører: KNUT JOSTEIN KNUTSEN og HANS KOLBENSTVEDT
Redakjsonssekretær: HALVARD TORGERSEN

44. årgang
ISSN-0015-9247



PROFESSOR ROALD TANGEN 70 ÅR

Professor Roald Tangen fylte 70 år 8. februar i år. Roald Tangen er grunnleggeren av moderne kjernefysisk forskning i Norge. Som nyutdannet elektroingeniør og vitenskapelig assistent hos professor Holtsmark ved Norges tekniske høgskole fullførte Tangen i årene 1936-37 byggingen av den første partikkelakselerator i Norge, bare få år etterat Tuve, Dahl og Hafstad hadde bygget den første funksjonsdyktige van de Graaff-akselerator i USA. Tangen benyttet akseleratoren til å studere resonans-innfangning av protoner i atomkjerner. Undersøkelsene fortsatte i Oslo, dit akseleratoren ble flyttet i 1942, og er sammenfattet i hans doktoravhandling fra 1948. Tangens undersøkelser var et pionerarbeid, som han høstet stor internasjonal anerkjennelse for. Så sent som i 1972 fikk Tangens innsats på dette felt fortjent oppmerksomhet ved en større internasjonal konferanse:

«Work on the capture of protons and α-particles has always been closely connected with resonances. Although resonances had been observed well before 1940, the first high-resolution (p, γ)-yield curves have been measured during the war in Trondheim and Oslo by R. Tangen. Previous work had been limited to the p-shell wheremost resonances are rather broad, and it should be credited to Tangen that, by proceeding to slightly heavier nuclei, he discovered that resonances can be quite narrow (a few keV) and beautifully separated.»

Tangen var professor i fysikk ved NTH i årene 1948-52 og ved universitetet i Oslo fra 1952. Her fikk han bygget en større van de Graaf-akselerator, som ble brukt til kjernefysisk forskning helt fram til midten av 1970-årene. Akseleratoren er fremdeles i drift, men brukes i dag til materialstudier innen elektronikk. Tangens første akselerator står i dag på Teknisk museum.

Professor Tangen har lært opp en hel generasjon forskere, som i dag arbeider på en rekke forskjellige områder av fysikken. Som forskerveileder evnet han å gi sine studenter både solid faglig veiledning og frihet til å utfolde seg og ta nye initiativ. Han gjorde også en stor innsats for undervisningen. Hans egne forelesninger var mønstergyldige og pedagogisk tilrettelagt, og ble meget vel mottatt av studentene. Både som bestyrer av Fysisk institutt i årene 1953-64 og som dekanus for Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet i årene 1963-68 var han med å gjennomføre nye og mer demokratiske administrasjonsordninger.

Tangen tok avskjed i sitt professorat i 1979 for å gi plass for yngre krefter, og var i årene 1979-82 seniorstipendiat ved NAVF. I de siste årene har han med entusiasme og oppfinnsomhet ledet arbeidet med targetproduksjon ved instituttets nye syklotronlaboratorium. Vi ønsker ham mange gode arbeidsår fremover.

Eivind Osnes

FYSIKERMØTET 1983

holdes ved Universitetet i Oslo
6.-9. juni

JON GJØNNES NY PROFESSOR I FYSIKK VED UNIVERSITETET I OSLO

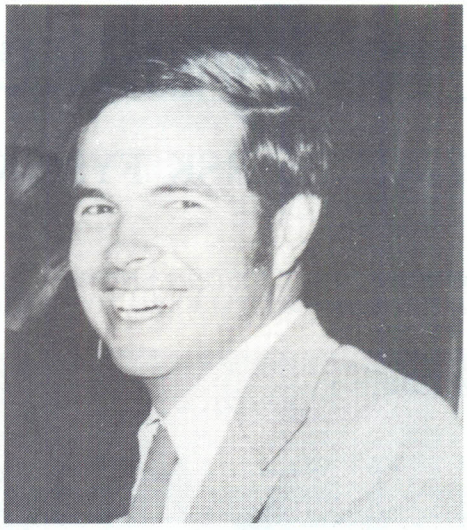
Førsteamanuensis dr. philos. Jon Gjønnes er utnevnt til professor (personlig professorat) i fysikk ved Universitetet i Oslo fra 1.1.1982.

Gjønnes er født i 1931, ble cand.real. med fysikk hovedfag ved Universitetet i Oslo i 1957 og dr. philos. samme sted i 1967. I årene 1956-59 arbeidet han i strukturgruppen ved Sentralinstituttet for industriell forskning i Oslo. I 1959-60 oppholdt han seg med NTNF-stipend ved C.S.I.R.O. Chemical Research Laboratories i Melbourne. I årene 1960-64 var han universitetsstipendiat ved Universitetet i Oslo. Siden 1965 har han vært universitetslektor, amanuensis og førsteamanuensis samme sted. I perioden 1973-75 var han bestyrer ved Fysisk institutt og i 1976-77 formann for Norsk Fysikkråd.

Ved Fysisk institutt har Gjønnes bygget opp et moderne elektronmikroskopilaboratorium med stor vitenskapelig aktivitet. Et nytt elektronmikroskop er for tiden under installasjon, og laboratoriet forventes fortsatt å få stor betydning for instituttets virksomhet innen materialvitenskap. Gjønnes har en omfattende vitenskapelig produksjon, som behandler teori og eksperimenter for elektrondiffraksjon fra amorfe filmer, diffus spredning og svake reflekser, undersøkelser over teori for Kikuchilinjer, studier av utfellingsreaksjoner i lettmetaller og strukturundersøkelser av oksyder med høye defektkonsentrasjoner. Han har også arbeidet med channelingseffekter og gitt et viktig supplement til den konvensjonelle teori for channeling. Gjønnes har vært invitert til en rekke vitenskapelige kongresser i Australia, USA, Japan, England og Israel. I 1972 arrangerte han en nordisk sommerskole i diffraksjonsmetoder og elektronmikroskopi.

FYSIKKPRISER I 1983

På Fysikermøtet i juni 1983 skal det deles ut to fagpriser i fysikk. Norsk Datas fysikkpris skal gis for et arbeid innenfor partikkelfysikk eller annen CERN-basert forskning, og Simrads fysikkpris for et arbeid innenfor elektro-optikk. Både grunnleggende, anvendt og teknologisk forskning kan tilgodesees. Begge prisene er på kr. 10.000. Nærmere orientering om prisene kan fåes ved henvendelse til Norsk Fysisk Selskaps sekretariat. Frist for innsendelse av forslag til kandidater er 15. januar 1983.



Nobelpris for renormaliseringsteori

*P. C. Hemmer**

Nobelprisen i fysikk for 1982 ble tildelt professor Kenneth G. Wilson, Cornell University, USA. Begrunnelsen peker på at han har fremkommet med en ny form for fysikalsk teori som langt på veg har løst det klassiske problem med faseomvandlinger.

Ken Wilson er opprinnelig elementærpartikkelfysiker, med eksamen fra Harvard 1956 bare 20 år gammel og doktorgrad fra California Institute of Technology 1961. Han var stipendiat ved CERN i 1962-63, og ble deretter knyttet til Laboratory of Nuclear Studies ved Cornell University. Til å begynne med arbeidet han med feltteoretiske problemer, som spørsmålet om hva som skjer i kvanteelektrodynamikk ved så høge energier at den vanlige perturbasjonsmetoden er unyttig. Begrepet «renormaliseringsgruppe», som ble introdusert i kvantefeltteori i 1953 av Stückelberg og Petermann, viste seg å være relevant for dette problemet.

I årene fram mot 1970 arbeidet Wilson med idéer om å utvikle en renormaliseringsgruppemetode som en *generell* angrepsmåte for ulike systemer der fysikken inneholder mange lengdeskalaer. Klassiske mangepartikkelsystemer med faseoverganger (som ferromagneter eller gass/væske likevekter) viste seg å være mer medgjørlige kandidater for utprøving av Wilsons idéer enn kvantefeltteoriens komplekse problemer. Nær kritiske punkter i slike systemer foregår fenomener på mange lengdeskalaer. Eksperimentelt kan en f.eks. se kritisk opalescens, en kraftig lysspredning, som viser at fluktuasjoner med bølgelengde av samme

* *Institutt for Teoretisk Fysikk, NTH*

størrelse som lysbølgelengden ihvertfall er tilstede. Fysiske størrelser, som kompressibiliteten av en gass eller susceptibiliteten for en ferromagnet, divergerer nær kritiske punkter på vis som det ikke hadde vært mulig å forutsi teoretisk. Slike kritiske fenomener skulle vise seg å være et fruktbart prøvefelt for Wilsons metode.

Wilsons idéer slo ikke igjennom med en gang. Grunnen var nok at de til å begynne med hadde mer karakter av et program, en visjon, en måte å tenke på, enn en deduktiv teoretisk struktur. Og praktiske bruksanvisninger på hvorledes en skulle gå fram for å beregne den kritiske oppførsel teoretisk fulgte slett ikke med på kjøpet. Men om ikke så lenge ble prosedyrer for konkrete beregninger utarbeidet av Wilson og andre, og dette utløste en lavine av artikler om teoretisk bestemmelse av kritisk oppførsel for ulike systemer. En revolusjon i statistisk fysikk hadde funnet sted.

Hva går så Wilson-teorien ut på? En hovedingrediens er transformasjoner av vekselvirkninger (heri inkludert påtrykte variable som temperatur og ytre magnetfelt). La oss ta utgangspunkt i at ett og samme fysiske system kan beskrives på ulike måter. Den naturlige beskrivelse benytter vekselvirkningene mellom basisenhetene (spinn, atomer, . . .) som stoffet er bygd opp av. Men en kan også beskrive systemet ved å bruke aggregater av disse basisenhetene (grupper av 5 spinn, f.eks.) som nye primærenheter. Disse nye primærenhetene vil da ha en vekselvirkning forskjellig fra den opprinnelige kopling. Dette kan en gjøre nok en gang: av de nye enhetene danne aggregater som har en tredje type innbyrdes vekselvirkning. Og slik kan en holde på. Wilson viste at dersom systemet var i en kritisk tilstand ville en nærme seg en situasjon der vekselvirkningene praktisk talt transformerte til seg selv i hvert skritt. Selve grensetilfellet vil da være en *fikspunkt-vekselvirkning*, og det faktum at i naboskapet endrer vekselvirkningene seg bare ørlite under en transformasjon av denne typen gjør at en kan håndtere situasjonen her ved perturbasjonsteori og derved virkelig finne den kritiske oppførsel.

Siden alle sett av vekselvirkninger som en har vært innom på vegen mot fikspunktet beskriver samme fysiske system, så har en som biprodukt funnet en hel rekke vekselvirkninger som gir *samme* kritiske oppførsel. Dette reflekterer et tidligere kjent faktum, kalt *universalitet*, at store klasser av fysiske systemer har samme kritiske singulariteter.

En nøyere beskrivelse av Wilsons teori og dens mangeartede realiseringer går jeg ikke inn på her, spesielt fordi tidligere artikler i Fra Fysikkens Verden (Nr. **2**, 1976, side 42-46 og Nr. **4**, 1977, side 88-91) av O. Steinsvoll og E. H. Hauge allerede har omtalt dette.

Wilsons idéer har hittil gitt størst uttelling når det gjelder kritiske fenomener ved faseoverganger. Men denne nye og elegante metodologien er så generell at den har et langt videre anvendelsesområde: Wilsons eget utgangspunkt var som nevnt kvantefeltteori. På mange områder har metoden allerede vist seg slagkraftig, som i polymerfysikk, i såkalte perkolasjonsproblemer, for Kondoeffekten i faststoff-fysikk, for kaotisk oppførsel av dynamiske systemer. Wilson sa i 1975:

> «It is likely that there will be a vast extension of the renormalization group over the next decade as the methods become more clever and powerful; there are very few areas in either elementary particle physics, solid state physics, or theoretical chemistry that are permanently immune to this infection.» (Rev. Mod. Phys. 47, s. 773)

Spådommen er ved å gå i oppfyllelse.

FYSIKERE OG NEDRUSTNING

Eksekutivkomitéen i European Physical Society har sendt en uttalelse til nedrustningsforhandlingene i Geneve mellom De forente stater og Sovjetunionen. I uttalelsen, som er gjengitt i sin helhet nedenfor, heter det at fysikerne ikke stilltiende kan se på at deres vitenskapelige resultater utnyttes til destruktive formål. Det henstilles til forhandlerne om å få slutt på rustningskappløpet og redusere arsenalet av atomvåpen i verden som et første skritt på veien mot en varig fred.

Statement of European Physicists

The purpose of the European Physical Society is to contribute to, and promote the advancement of physics in Europe and in neighbouring countries. As a body we integrate all the European Physical Societies, North and South, East and West from a total of 30 countries.

In the past, scientific advances for which physicists have been largely responsible have contributed substantially to the well-being of mankind. Regrettably some of our discoveries have led to the creation of weapons of mass destruction.

As physicists we know better than any one else the power of these weapons which can, in minutes, ruin our civilization, kill most living beings and cripple the progeny of those left. By their very presence these weapons already destabilize peace, instil fear and insecurity.

Being scientists and engineers we are fully aware of the logic that leads to the development of weaponry and we are deeply convinced that it is hopeless through an arms race to resolve political problems or increase our security. With growing concern we notice the tremendous expense both material and moral, that is uselesly detracting from effort which should be directed to the major social and economic issues facing us all.

As people of Europe we can note that our continent could be a theatre of war and we, expendable

hostages in a global conflict. We should like to recall the resolution written by two great Europeans - Russel and Einstein in their Manifesto 27 years ago and signed by leading physicists of that time:
«In view of the fact that in any future world war nuclear weapons will certainly be employed, and that such weapons threaten the continued existence of mankind, we urge Governments of the world to realize and to acknowledge publicly that their purpose cannot be furthered by a world war, and we urge them consequently to find peaceful means for the settlement of all matters of dispute between them».

Today peace in the world is at stake. The talks shortly to take place in Geneva are to be concerned with the meaning of detente and the establishment of that understanding which can lead to means of maintaining world security. The peaceful life and work of hundreds of millions of people hang upon the outcome of those talks.

The Executive Committee of the European Physical Society meeting in Geneva on 18th June 1982 calls to those statesmen engaged in the Geneva talks to bring an end to the arms race and to bring about a reduction in the level of nuclear armaments as a first step for creating that atmosphere of political trust in which all means of nuclear warfare can be abolished, so that warfare itself can be finally eliminated.

Geneva, 18. June 1982

Fra redaktørene.

Det syndes fremdeles meget mot en konsekvent gjennomføring av SI-enheter og riktig symbolbruk i bøker, tidsskrifter og kringkasting. Undervisningsutvalget i NFS har i årenes løp gjort henvendelser til såvel forlag som kringkasting om dette forhold uten at resultatene har svart til forventningene. Vi fysikere må imidlertid selv ta på oss en stor del av skylden; for eksempel så mottar redaksjonen i FFV stadig manuskripter der forfatteren tydeligvis er ukjent med Norsk Standard. Nå kan det innvendes at fysikerne selv ikke burde ha problemer med kalorier, liter - atmosfærer og kilopond eller med bruken av symboler forskjellige fra de anbefalte. Men, det er ingen tvil om at det volder unødvendige problemer for gymnasiaster og studenter.

Det er derfor vårt håp at leserne, og spesielt fremtidige forfattere blant dem, vil studere vår artikkel om standardisering nøye, slik at de for fremtiden i hvert fall vet hvor de skal finne de korrekte betegnelser og symboler.

NORSK FYSIKKRÅD

Årsmelding juni 1981 - juni 1982

Styret for Norsk Fysikkråd har siste år hatt følgende sammensetning:
Formann: Thormod Henriksen, UiO
Viseformann: Olav Holt, UiTromsø
Styremedlemmer: Bjørn Grandal, FFI. Haakon Olsen, UiT. Karl Nybø, UiB.
Varamedlemmer: Kristian Fossheim, NTH. Torgeir Engeland, UiO.

Hverken Råd eller Styre har vært innkalt siden siste årsmøte.

Rådet har arbeidet med følgende saker:
Grunnforskning i fysikk i Norge
Synkrotronforskning
Fusjonsforskning
Gjærevollutredningen (NOU 46:81)
Rekruttering - forgubbing

Referat fra årsmøtet

Årsmøtet fant sted på Rogaland distriktshøgskole, Ullandhaug, søndag 13de juni (kl. 1400-1730).

Tilstede: T. Engeland, J. Rekstad, J. M. Hansteen, S. Skavlem. H. Olsen. B. Berre, A. Johnsson, B. Heldal, D. Slotfeldt-Ellingsen, B. Grandal, O. Holt, T. Riste, A. Sandås, K. Fossheim. E. L. Eriksen, K. Nybø, T. Sigmond, T. Henriksen.

Meldt forfall: H. J. Braathen, I. Svare, N. Bjørnå.

Ikke møtt: K. Rypdal, H. Moen, E. Boye.

K. Nybø og T. Henriksen gikk ut av Rådet 1.1.1982, men møtte på årsmøtet fordi de satt i Styret frem til nytt valg ble foretatt. De ble gitt tale og stemmerett på årsmøtet.

1. T. Henriksen ble valgt til møtedirigent. B. Berre fungerte som referent.

2. *Valg*

Valgkomitéen bestående av: T. Riste (formann), A. Johnsson, A. Brekke og J. Bjordal foreslo følgende som medlemmer av styret:

Olav Holt (gjenvalg). Bjørn Grandal (gjenvalg). Haakon Olsen (gjenvalg). Johannes M. Hansteen (Ny). Erik L. Eriksen (Ny).

Disse ble enstemmig valgt.

I egne valg ble enstemmig valgt:

Formann: Haakon Olsen

Viseformann: Olav Holt.

Alle valg ble vedtatt å gjelde fram til neste årsmøte.

3. *Grunnforskning i fysikk i Norge*

Rådet vedtok å oppdatere undersøkelsen over Norsk fysikk regelmessig. Undersøkelsen bør søkes koordinert med NAVF's utredninger og ikke oftere enn hvert 4. år.

Styret fikk i oppdrag å finne et utvalg til å forberede og gjennomføre neste undersøkelse.

4. *Synkrotronstråling*

Rådets medlemmer fra Bergen (J. M. Hansteen, H. Holbæk og K. Nybø) har utarbeidet en utredning om synkrotronstråling som tidligere er sendt Rådets medlemmer. Saken ble diskutert på grunnlag av denne utredning.

Rådet vedtok å sette ned et utvalg bestående av: T. Riste, J.M. Hansteen, J. Feder og B. Slagsvold som skal arbeide videre med saken. Utvalget skal holde kontakt med NAVF og utarbeide forslag til uttalelse om en eventuell norsk deltagelse i ESRF.

Styret fikk fullmakt til å supplere utvalget om nødvendig.

5. *Fusjonsforskning*

Rådets representanter i Tromsø ble på forrige årsmøte bedt om å utarbeide et forslag til uttalelse. O. Holt redegjorde for saken på møtet. Det ble gitt uttrykk for beklagelse over at Norge ikke finner det mulig å skape og opprettholde forskningsaktivitet på et slikt viktig område av fysikken. Det avslag forslaget om fusjonsforskning har fått gjør det ikke realistisk med nye forslag om aktivitet på dette fagområde den nærmeste fremtid. NFR fant ikke grunn til å forfølge denne sak ytterligere, men ønsker å poengtere fagfeltets betydning og fundamentale karakter.

O. Holt ble bedt om å oppsummere fusjonsprosjektets skjebne.

6. *Gjærevollutredningen (NOU 46:81)*

Rådets medlemmer fra Trondheim har utarbeidet en uttalelse om «Grunnforskningens vilkår i Norge». Denne uttalelsen ble diskutert og det nye styret fikk fullmakt til å foreta enkelte endringer.

7. *Rekruttering - forgubbing*

Rådets representanter fra Oslo fremla et forslag til uttalelse om NAVF's utredning; «Aldersammensetningen i de naturvitenskapelige fag - konsekvenser og tiltak» (januar 1982).

Med noen mindre redaksjonelle endringer, som Riste skulle foreta, ble uttalelsen vedtatt oversendt universiteter og høgskoler, forskningsrådene og aktuelle departement.

8. *Strukturen i studieretningen for almene fag. Forslag om endringer*

Olav Holt gjorde Rådet oppmerksom på utredningen. Astrid Sandås sa seg villig til å gå gjennom utredningen og gi styret råd om det skal oppnevnes et utvalg som skal følge saken.

Til slutt takket Haakon Olsen den avgående formann Thormod Henriksen for måten han hadde ledet rådet på i sin formannsperiode.

Thormod Henriksen

Dosimetri ved stråleuhell

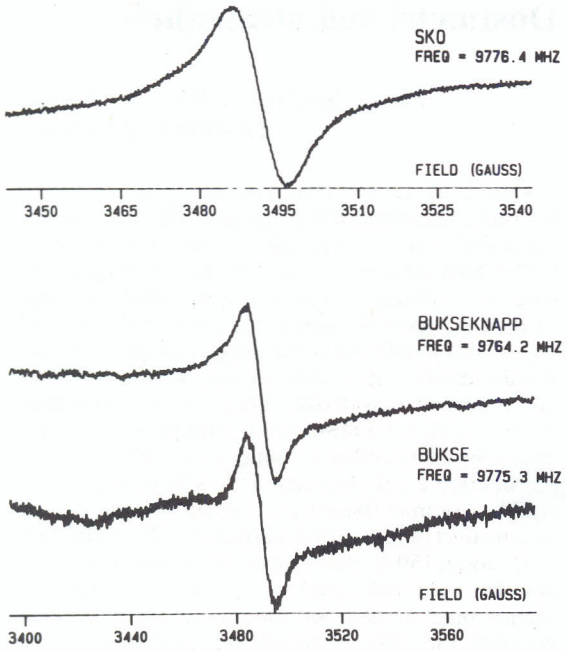
Einar Sagstuen, Håkon Theisen og Thormod Henriksen

Den 2. september 1982 gikk en av de ansatte (J. L.) ved gammabestrålingsanlegget ved Institutt for engergiteknikk (IFE) på Kjeller inn i rommet med Co^{60}-kilden uskjermet. Han fikk en betydelig stråledose som umiddelbart ga sykdomssymptomer som kvalme og oppkast (sjøsyke), og han døde etter 13 dager. Ved den første evaluering av dosen ut fra det filmdosimeter han hadde på seg, kunne det slåes fast at dosen var godt over 5 rad (1 rad = 0.01 gray (Gy) = 0.01 x 1 J absorbert energi pr. kilo). Ut fra målte dosehastigheter i rommet og tidsstudier der en forsøkte å rekonstruere J. L.'s bevegelser i bestrålingsrommet (basert på intervju samme dag og dagen etter) ble det antydet doser på 100 til 200 rad. LD^{30}_{50}-dosen (50% dør i løpet av 30 dager) er ikke bestemt med høy grad av nøyaktighet, men vi regner med at den for mennesker er i området 400-500 rad. Det er imidlertid muligheter for å overleve større doser (inntil ca 1000 rad) ved umiddelbar medisinsk behandling med bl.a. benmargstransplantasjon. I forbindelse med uhellet på Kjeller ble det gjort forsøk på biologisk dosebestemmelse basert på stråleinduserte kromosomforandringer. Disse undersøkelsene antydet en dose på over 1000 rad, noe som støttes av det faktum at mannen døde etter 13 dager.

Det hendelsesforløp som her er antydet viser at en ofte står svakt når det gjelder å bestemme stråledoser ved uhell eller ved andre ukontrollerte bestrålinger. Vi må da basere oss på stråleinduserte forandringer av mere permanent karakter som kan registreres *etter* at uhellet har funnet sted. Ioniserende stråling fører som kjent til dannelse av ioner og fri radikaler. Dette er reaktive produkter med levetider i løsning og levende celler på brøkdelen av et sekund. Levetiden øker imidlertid betydelig når en bestråler faste stoffer (eller bruker lave temperaturer). I de fleste organiske forbindelser (i fast form) kan en stabilisere radikaler i dager, måneder og år etter en bestråling. Dannelse og stabilitet vil variere noe fra et stoff til et annet. I enkelte aminosyrer og sukkerarter er radikalutbyttet og stabiliteten spesielt stor. Fri radikaler, som er paramagnetiske produkter, kan studeres ved elektron spinn resonans (ESR) spektroskopi og kan brukes for dosebestemmelser.

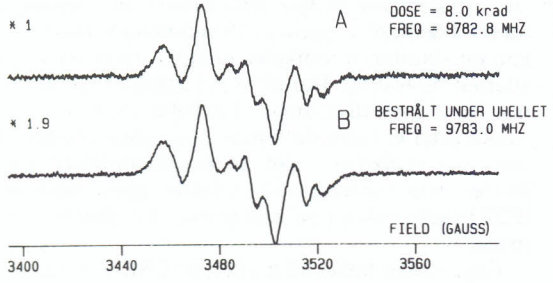
Etter stråleuhellet på Kjeller ble ESR-laboratoriet ved Fysisk institutt, UiO bedt om å gjøre et forsøk på å bestemme den dose J. L. ble utsatt for. Vi fant stråleinduserte ESR-signaler i de fleste bekledningsgjenstander. I Fig. 1 er vist noen signaler fra sko,

* *Fysisk Institutt, UiO.*



1. ESR-spektre av noen bekledningsgjenstander som ble bestrålt under uhellet på IFE 2. september. De registrerte kurver er forstederivert av selve absorpsjonsspektrene. I et ESR eksperiment, basert på resonansbetingelsen: hν = gβH (h er Planck's konstant, β er Bohr magneton og g-faktoren for et fritt elektron er 2.0023), holdes frekvensen (ν) konstant mens magnetfeltet (H) varieres. De straleinduserte radikaler er ikke identifisert, men det er rimelig å anta at resonanskurvene som er vist er satt sammen av spektrene til flere ulike radikaler.

bukseknapp og fra buksen som J.L. hadde på seg. Han hadde også på seg en eske med nitroglycerol-tabletter (for hjerteproblemer). Slike tabletter består for det meste av (ca 95 vekt - %) av sukkerforbindelser, og disse er godt egnet for dannelse av stabile radikaler. I kalibreringsøyemed ble derfor samme type tabletter bestrålt med Co ^{60}- kilden på Kjeller til ulike doser i området ½-10 krad. Tabletter bestrålt sammen med J. L. under uhellet ble sammenlignet med de som ble bestrålt under kontrollerte forhold.



2. ESR-spektre av bestralte nitroglycerol-tabletter (type Nitromex). I A er vist resonansspektret til en tablett bestralt under kontrollerte forhold med en dose på 8.000 rad (Co^{60}-γ-straling, romstemperatur). I B er vist spektret fra en av de tabletter som ble bestralt sammen med J. L. under uhellet. Relative forsterkningsfaktorer er gitt på venstre side.

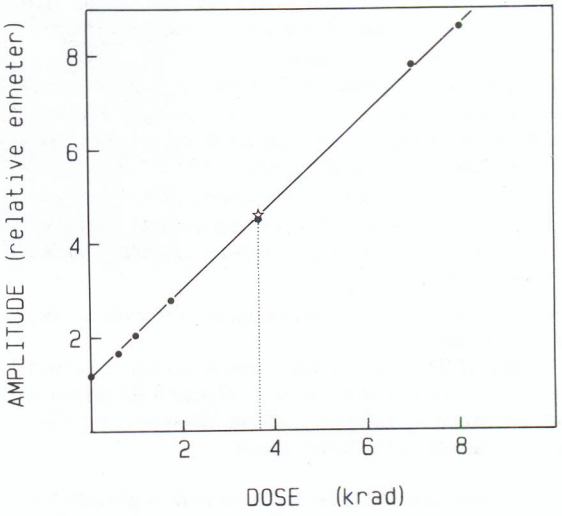
I Fig. 2 er vist ESR-spektrene fra noen av nitroglyseroltablettene.

For å fastlegge en kalibreringskurve måles antall stråleinduserte radikaler som funksjon av dosen. Antall radikaler er proporsjonalt med arealet under selve absorpsjonskurven. Siden et ESR signal vanligvis registreres som den første-deriverte av absorpsjonen (fasesensitiv deteksjon) beregnes arealet av spekterets dobbelt-integral. Dersom de resonansspektra som sammenlignes er like kan vi også benytte amplitudeverdien for bestemte linjer i spekteret. Vi har benyttet begge disse framgangsmåtene, og den endelige dosebestemmlse viste seg å være uavhengig av framgangsmåten.

I Fig. 3 er vist kalibreringskurven som gir forholdet mellom dose og indusert ESR-signal (dose-effekt kurven). Som vi ser er kurven lineær i dette doseområdet. Våre resultater viser at de tabletter som J. L. hadde i bukselommen under uhellet har fått en dose på omkring 3700 rad (eller 37 Gy).

Ved gammabestrålingsanlegget er doseraten i forskjellige posisjoner rundt Co^{60}-kilden godt kjent. Dosehastigheten (målt vertikalt i ulike posisjoner) er størst i bukselommehøyde (50-100 cm over gulvet) og avtar til ca. 65% av dette i halshøyde (150 cm). De målinger vi har gjennomført angir dosen til tablettene. Det er rimelig å anta at tablettene under bestrålingen har vært mer eller mindre skjermet av kroppen en del av tiden.

Vi mener at denne metode for å fastlegge stråledoser ved uhell eller andre ukontrollerte forhold sannsynligvis er den beste som kan benyttes. En må forsikre seg om at de signaler som benyttes ikke



3. Kalibreringskurven som viser sammenhengen mellom antall radikaler (bestemt ved en amplitudeverdi) og straledosen. Ubestralte tabletter gir et bakgrunnssignal som gjor at kurven ikke gar gjennom origo. Tabletter som ble bestralt under uhellet gir et signal som er markert med en stjerne. Dette tilsvarer en dose på 3700 rad eller 37 Gy.

varierer i tid etter bestråling. Hvis kvalitative, evt. kvantitative, forandringer forekommer, må alle målinger referere seg til samme tid og behandling etter bestråling for å få reproduserbare forhold. For en rekke organiske forbindelser vil det være mulig å måle doser på denne måten (lineær dose-effekt kurve) fra 10 rad og opp til Mrad-området.

Dosebestemmelsen ved uhellet på Kjeller ble forenklet på grunn av det faktum at J. L. hadde på seg nitroglyserol-tabletter som ga et godt målbart ESR-signal. I det generelle tilfelle kan det by på vanskeligheter å finne et materiale som gir et godt utbytte av stråleinduserte radikaler og som samtidig stabiliserer dem ved romtemperatur og i luft. Fig. 1 viser at det er en rekke stoffer som med noen anstrengelser kan benyttes for dosimetri. Det er i første rekke fast *organisk* materiale vi ønsker og det kan vise seg at negler er en brukbar mulighet.

Standardisering av størrelser, enheter og symboler

*Trygve Holtebekk**

I 1975 ble meterkonvensjonens 100-års jubileum feiret. I år er det 100 år siden de gamle enhetene offisielt gikk ut av bruk. Siden 1. juli 1882 har bare de metriske enhetene vært tillatt brukt i handel og vandel. Loven inneholdt dengang detaljerte bestemmelser om de nye enhetene, om desimale underenheter, om forkortede betegnelser og om omregningsfaktorer fra de tidligere brukte enhetene. Det var til og med i lovs form gitt to omregningsfaktorer, en for eksakt bruk og en avrundet som lettet overgangen og som kunne brukes ved kontraktfestede avtaler o.l. For å gjøre lovbestemmelsene kjente, ble de tatt inn i den vanlige husalmanakken.

Overgangsbestemmelsene ble senere tatt ut av loven, men opplysninger om de internasjonale prototypene og bestemmelser om riksprototypene og kontrollen av disse stod der helt fram til 1977. Også desimalenhetene fra kilo- til milli-, vektenheten tonn, lengdeenheten mikron og definisjonen av liter og celsius-grader var med, mens det var overlatt Kongen å treffe beslutninger om elektriske og eventuelt andre enheter. At Generalkonferansen for mål og vekt, CGPM, i 1960 vedtok en ny definisjon av meteren, hadde ingen praktiske konsekvenser, men det førte til uoverenstemmelse mellom norsk lov og vedtakene til CGPM. Innføringen av SI på samme konferanse medførte flere uoverenstemmelser.

Istedenfor å revidere loven og få inn de nye bestemmelsene tok man i 1977 alle detaljbestemmelser om enheter ut av loven, og det ble overlatt Kongen å fastsette «hvilke av de måleenheter som vedtas av Generalkonferansen for mål og vekt som skal gjelde her i riket.» Med sanksjon av denne loven og godkjennelse av Justervesenets forskrifter om måleenheter ble SI i 1977 offisielt innført i Norge. I praksis var det nye systemet da allerede tatt i bruk innen en rekke områder. Dette skyltes ikke minst det arbeidet som var gjennomført i regi av Norges Standardiseringsforbund, NSF.

Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen, ISO, hvor NSF er medlem, nedsatte i 1950 en komité med oppgave å standardisere enheter og symboler for fysiske størrelser og enheter som brukes innen forskjellige områder av vitenskap og teknikk. Komitéen, som fikk betegnelsen ISO/TC 12, har fulgt opp CGPMs vedtak om bruk av SI, ved å utgi en standard, ISO 1000, som inneholder opplysninger og anbefalinger i forbindelse med bruk av SI-enhetene og en serie med standarder, ISO 31-serien, som inneholder bestemmelser om størrelser, enheter og symboler for bruk innen forskjellige områder av fysikken. I denne forbindelse betyr «standard» et dokument som inneholder bestemmelser om størrelser og kvaliteter og som etter nærmere angitte regler har fått almenn tilslutning.

Fra norsk side er arbeidet til ISO fulgt opp av NSF som også allerede i 1950 nedsatte en komité for enheter og formeltegn, senere kalt Komitéen for tekniske og fysiske enheter, TK 19. Denne komiteen har oversatt og bearbeidet ISO 1000 og ISO 31-serien for norsk bruk og NSF har utgitt de norske standardene under betegnelsene NS 1024 og NS 1020-serien. Serien omfatter 14 standarder med delnumre 0 - 13. (Se tabell).

I programmet for ISO/TC 12 inngår at standardene skal vurderes og eventuelt revideres hvert 5. år. Ved en slik revisjon blir standarden bragt i overensstemmelse med nye vedtak av CGPM eller CIPM. (Den internasjonale komité for mål og vekt, CIPM, fatter vedtak på CGPMs vegne mellom CGPM-møtene, som bare holdes hvert 4. år.) Men standardene, som er beregnet på spesialområder, er langt mere omfattende enn vedtakene til CGPM og CIPM. Størrelsesnavn, enheter og symboler som det er registrert behov for, skal være med i standarden, og ved revisjonene blir det tatt hensyn til nye behov.

Sekretariatet for komitéen utarbeider utkast til ny eller revidert standard. Dette sendes medlemmene, dvs. de nasjonale komitéene og en rekke internasjonale organisasjoner som blir berørt av standarden, til uttalelse. Når fristen for å uttale seg er ute og etter at det eventuelt har vært avholdt plenumsmøte i komitéen, utarbeider sekretariatet et endelig forslag til standard som sendes ISO-medlemmene til votering. Hvis minst 3/4 av medlemmene stemmer for forslaget, blir det godkjent som ny Internasjonal Standard. Når denne foreligger, kan de nasjonale komitéene ta til med sin revisjon.

* Dr. philos Trygve Holtebekk er førsteamanuensis ved Fysisk institutt, UiO.

Internasjonale standarder og tilsvarende Norsk Standard for størrelser og enheter.

ISO 1000 - 1981: SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units	NS 1024: 3.utg. 1982. SI-enheter og anbefalinger for bruken av deres multipler og visse andre enheter
ISO 31 Part O: General principles concerning quantities, - units and symbols - 1981	NS 1020 Del O: 2. utg. 1982. Generelle prinsipper for størrelser, enheter og symboler.
Part I: Quantities and units of space and time - 1978	Del 1: 4. utg. 1979. Rom og tid.
Part II: Quantities and units of periodic and related phenomena - 1978	Del 2: 3. utg. 1981. Periodiske og beslektede fenomener.
Part III: Quantities and units of mechanics - 1978	Del 3: 3. utg. 1980. Mekanikk
Part IV: Quantities and units of heat - 1978	Del 4: 3. utg. 1981. Varme
Part V: Quantities and units of electricity and magnetism - 1979	Del 5: 3. utg. 1981. Elektrisitet og magnetisme
Part VI: Quantities and units of light and related elctromagnetic radiations - 1980	Del 6: 2. utg. 1977. Lys og beslektet elektromagnetisk* stråling
Part VII: Quantities and units af acoustics - 1978	Del 7: 3. utg. 1981. Akustikk
Part VIII: Quantities and units of physical chemistry and molecular physics - 1980	Del 8: 2. utg. 1977. Fysikalsk kjemi og molekylfysikk*
Part IX: Quantities and units of atomic an nuclear physics -1980	Del 9: 2. utg. 1977. Atom- og kjernefysikk*
Part X: Quantities and units of nuclear reactions and ionizing radiations - 1981	Del 10: 2. utg. 1977. Kjernereaksjoner og ioniserende* stråling
Part XI: Mathematical signs and symbols for use in the physical sciences and technology - 1978	Del 11: 1. utg. 1980. Matematiske tegn og symboler for bruk i naturvitenskap og teknikk
Part XII: Dimensionless parameters - 1981	Del 12: (NS 1026): 1. utg. 1977. Dimensjonløse parametre
Part XIII: Quantities and units of solid state physcis - 1981	Del 13: 1. utg. 1977. Faste stoffers fysikk*

*) Ny utgave 1982 - 83.

Dette foregår på en liknende måte. NSFs komité, TK 19, sender ut forslag til ny standard til institusjoner og privatpersoner som de antar er interesserte, og ber om deres kritikk. På grunnlag av de innkommende merknader utarbeider komitéen det endelige forslaget som forelegges NSFs hovedkomité for språklig og administrativ kontroll, herunder at det er samsvar med den tilsvarende internasjonale standard og med norsk rettskrivning. Etter dette blir forslaget vedtatt som Norsk Standard av NSFs styre.

Siden det er en forutsetning at det skal være full overenstemmelse mellom den norske og den tilsvarende internasjonale standarden, blir det å lage en norsk standard fra en side sett et rent oversettelsesarbeid. Mange av de merknadene som kommer inn, kan det derfor ikke tas hensyn til. Kritikken vil ofte være preget av den motviljen vi alle har mot å forandre på det vi er vant til. Dette er en barriere som må overvinnes hvis en vil komme videre med standardisering. Hundre års erfaring med metersystemet har vist hvor lenge enkelte ting kan henge igjen.

Komitéen må følge ISO-standarden i valg av hvilke størrelser som skal være med og ved fastsettelse av symboler. Størrelser som ikke står i den internasjonale standarden, men som det synes å være behov for på norsk, kan likevel tas med. Det skal da tydelig markeres at dette er et tillegg til ISO-standarden. Ved navnsetting av størrelser står en ofte overfor valget mellom å finne et dekkende navn av norsk opprinnelse og å bruke en fornorsking av f.eks. den engelske betegnelsen. I slike tilfeller kan uttalelser fra pedagog og fagspesialist stå mot hverandre. Det å fastsette to navn på samme størrelse, som fra standardiseringssiden sett er lite heldig, kan av og til være et nødvendig kompromis.

På det tidspunkt den norske standarden blir ferdigbehandlet, er det allerede gått tre - fire år siden arbeidet med revisjon av ISO-standarden tok til, og tidspunktet for ny revisjon nærmer seg raskt. Den kritikken som den norske komitéen i og for seg kan ha vært enig i, men som den ikke har kunnet ta til følge fordi dette vil bryte med ISO-standarden, kan komitéen nå bringe videre for å påvirke den nye ISO-standarden.

De fleste standardene i ISO-31 og NS 1020 seriene er nå revidert to eller tre ganger, og de siste forandringene har vært små. Men enhetssystemet er kontinuerlig under utvikling. Gamle enheter defineres på nye måter. I 1983 forventes det f.eks. at CGPM fatter vedtak om ny definisjon av meteren. Valg av nye symboler vurderes også. I 1979 vedtok CGPM at L kunne brukes som alternativt symbol til l for liter, og om noen år vil kanskje L bli eneste tillatte symbol. Behovet for enheter tilpasset nye områder eller anvendelser av fysikk og teknikk melder seg stadig. Standarisering av størrelser og enheter kom igang før datamaskinenes tid. Før eller senere må spørsmålet om å tilpasse standardiserte symboler og skrivemåter til dataindustriens behov, tas opp til vurdering. Dessverre er det å frykte at en

da vil stå overfor problemer som blir vanskeligere å løse enn overgangen fra tommer til millimeter. Datateknikken har utviklet seg uten at det er tatt nevneverdig hensyn til internasjonal standardisering, og etterhvert er de økonomiske interessene som knytter seg til området, blitt så betydelige at det kan bli umulig å foreta de forandringene som det fra standardiseringssiden ville være naturlig å kreve. På den andre siden spiller datateknikk så stor rolle innen internasjonal kommunikasjon, at behovet for standardisering innen dette feltet er udiskutabelt. Hvor raskt en kan gå framover og hvor langt en kan nå, avhenger av den enkelte persons og det enkelte lands villighet til å gå inn i samarbeid om problemene og å bøye seg for beslutningene som fattes.

Bøyekraftverk

K. Budal og J. Falnes *

Innleiing

Til arbeidet med utvikling av bølgjekraftverk har Institutt for eksperimentalfysikk, NTH gjennom dei fire siste åra fått støtte gjennom Olje- og energidepartementet (OED). Det teoretiske arbeidet omkring utnytting av energien i havbølgjene starta under «energikrisa» for åtte år sidan. Fleire institusjonar i NTH-miljøet (m.a. OTTER med SINTEF og NHL) har hatt oppdrag i dei siste års arbeid med fullskalaprosjektering av og modellforsøk med kraftbøyar.

For Noreg og mange andre kyststatar representerer havbølgjene ein viktig energiressurs dersom det kan finnast praktiske framgangsmåtar for å utnytta denne energien. For å oppnå dette må det plasserast forholdsvis store konstruksjonar i sjøen. Hovudproblemet er å få kostnadene med anlegg og drift av konstruksjonane små nok i forhold til den nyttige energien som blir produsert.

I det teoretiske arbeidet la vi difor alt frå starten vekt på å optimalisera svingerørsla slik at den absorberte bølgjeenergien blir størst mogleg. For ein punktabsorbator, dvs. ein svingande kropp som er liten i forhold til bølgjelengda, er det særleg viktig med ei styrt optimal svingerørsle. Ulempa med det ekstra mekaniske utstyret som krevst, er meir enn oppvegd ved den oppnådde auken av den absorberte energien. Vi har arbeidt teoretisk og eksperimentelt særleg med optimalt styrte punktabsorbatorar i form av bøyar som svingar i hiv (vertikal rørsle). Modellforsøka viser godt samsvar med teorien. Vi har difor no bra kunnskap om vilkåra for å absorbera maksimalt med bølgjeenergi, og vi kan også rekna ut med god tilnærming kor mykje energi som blir absorbert frå bølgjene.

*Institutt for eksperimentalfysikk, NTH

Men det står mykje utviklingsarbeid att før vi når målet: eit praktisk og økonomisk konkurransedyktig bølgjekraftverk.

Vi tenkjer oss kraftverket sett saman av mange like kraftbøyar. Dei kan vera grupperte t.d. som vist i fig. 1. Vi skal nedanfor greia ut om dette kraftverket, korleis bøyane verkar, og kor mykje energi dei absorberer. Men fyrst skal vi nemna dei naturlege føresetnadene for å byggja bølgjekraftverk på norskekysten.

Naturlege føresetnader

Ei regelrett (sinusforma) plan bølgje med periode T har bølgjelengd

$$L = (g/2\pi)T^2 = (1{,}56\ \mathrm{m/s^2})T^2 \qquad (1)$$

på djupt vatn. Dette gjeld med god tilnærming om vassdjupna er minst ei halv bølgjelengd. Har bølgja amplituden H/2, der H er bølgjehøgda, blir det pr. lengdeining av bølgjefronten transportert ein mekanisk effekt

$$K = \alpha TH^2 \qquad (2)$$

der α er ein proporsjonalitetskonstant. Med vassdensitet $\rho = 1020\ \mathrm{kg/m^3}$ har vi

$$\alpha = \rho g^2/32 = 976\,\mathrm{Wm^{-3}s^{-1}} \approx 1\,\mathrm{kW/sm^3} \qquad (3)$$

Kraftbøye med styrt svingerørsle

Det kan visast at den energien som blir absorbert av ein bøye, er fullstendig bestemt av bølgjeparametrane og av svingerørsla til bøyen. Ved sinusforma rørsler er, etter lineær teori, den absorberte effekten pr. bøye (i tidsmiddel)

$$P = \tfrac{1}{2}FU\cos u - \tfrac{1}{2}RU^2 \equiv P_e - P_r \qquad (4)$$

Her er U fartamplituden til bøyen, og F er amplituden av eksitasjonskrafta, d.v.s. den hivkrafta som bølgjene ville påverka bøyen med dersom han var i ro (U = 0). Merk at F er proporsjonal med amplituden H/2 på den innkomande bølgja. Vidare er u fasevinkelen mellom farten og eksitasjonskrafta, og strålingsresistansen R er ein parameter som avheng av frekvensen og av geometrien (for grenseflata mellom bøyen og vatnet).

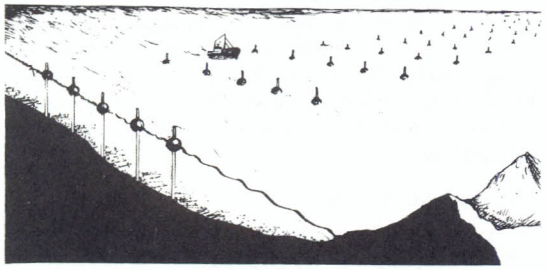
Siste leddet i likn. (4) representerer effekt som strålar ut når bøyen svingar. Kraftbøyen må stråla ut ei bølje som interfererer destruktivt med den innkommande bølgja slik at ei redusert bølgje går vidare.

Ser vi på F og R som gjevne parametrar og på U og u som uavhengige variable, vil vi finna at den absorberte effekten har eit maksimum

$$P_{maks} = F^2/8R \qquad (5)$$

For ei typisk bølgje med T = 10 s og H = 2 m får vi L = 156 m og $K \approx 40$ kW/m.

Frå ein utsett stad i Nordatlanten er det rapportert om årsmiddel på 90 kW/m for transportert effekt pr. lengdeining av bølgjefronten. For norskekysten har vi ca. 20 kW pr. m kystline. Den energien som bølgjene fører inn til vår 2500 km lange kyst er altså av same storleiksorden, 500 TWh/år, som den naturlege energien i alle våre vassdrag (med alle bekker og vassig). Bølgjeenergien er spesielt verdifull fordi han er rikelegast om vinteren. I vinterhalvåret er middeleffekten nærmare tre gonger så stor som i sommarhalvåret.



1. Bøyekraftverk sett saman av kraftbøyar av typen «N2». Det er 30-40 m avstand mellom bøyane i kvar gruppe på 5 bøyar. Avstanden mellom gruppene er ca. 120 m.

for

$$u = 0 \text{ og } U = U_{opt} = F/2R \qquad (6)$$

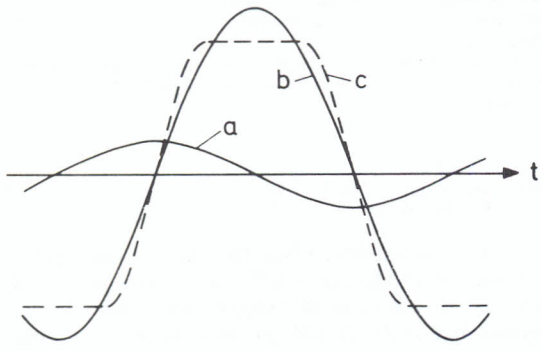
Vilkåret $U = F/2R$ svarar til at den mekaniske lastresistansen er valt lik strålingsresistansen. Dette er analogt fenomenet effekttilpassing i teorien for elektriske kretsar. I det optimale tilfellet er den absorberte effekten P og den utstrålte effekten P_r like store. Vilkåret $u = 0$, som svarar til at farten er i fase med eksitasjonskrafta, er oppfylt dersom den svingande bøyen er i resonans med bølgja.

Ved optimal svingerørsle for å få maksimal absorbert energi er det eit vilkår at svingesystemet er i resonans med bølgja. Svingefarten er då i fase med den eksiterande krafta frå bølgja. For ein liten bøye er krafta i fase med bølgjeutsvinget. Ved optimal fase vil då bøyen ha størst fart oppover (nedover) når der er ein bølgjetopp (bølgjedal). Sjå fig. 2.

Det kan visast at

$$P_{maks} = KL/2\pi$$

for ein enkelt hivande bøye med vertikal symmetriakse. Uavhengig av geometrien elles og av storleiken vil altså ein slik bøye med optimal hivrørsle absorbera like mykje energi som passerer i ein bølgjefront med breidd lik bølgjelengda dividert med 2π. Ei rett rekkje av optimalt svingande punktabsorbatorar kan absorbera halvparten av den innkomande bølgjeenergien, dersom den



2. Bølgjeutsving og utsving av bøye som funksjon av tida ved regelrett (sinusforma) bølgje.
Kurve a: Utsvinget av havoverflata, som er det same som utsvinget av ein lett bøye.
Kurve b: Utsvinget av bøye som er i resonans med bølgja.
Kurve c: Utsvinget av bøye som har kortare eigenperiode enn bølgjeperioden, men som ved ein fasthaldingsmekanisme kan styrast til å få tilnærma optimal rørsle.

innbyrdes avstanden mellom dei er under ei viss grense, som er lik bølgjelengda ved loddrett innfallande bølgje.

Desse resultata byggjer på lineær teori og på idealiserte forhold. I praksis gjer fleire modifikasjonar seg gjeldande.

I praksis er det grenser for kor store amplitudar det kan vera på utsving, fart og akselerasjon av bøyen. Den optimale fartamplituden U_{opt} etter likn. (6) er difor oppnåeleg berre dersom bølgjeamplituden $H/2$ er under ei viss grense. For større bølgjeamplitudar, får vi då maksimal absorbert effekt ved å setja $U = U_{maks}$ inn i likn. (4), der U_{maks} er den største fartamplituden som bøyen er bygt for. Effekten aukar då lineært med bølgjehøgda H, medan han for lågare bølger er proporsjonal med kvadratet av bølgjehøgda H, etter likn. (5). Etter likn. (6) er $U_{opt} \infty F \infty H$. Ut frå økonomiske grunnar bør kraftbøyane dimensjonerast slik at $U_{maks} \geqslant U_{opt}$ berre for låge bølgjer, og ikkje for ei bølgje med middels bølgjehøgd. Mesteparten av året vil kraftbøyen då svinga med den største utsvingsamplituden han er bygt for. Siste leddet i likn. (4), den utstrålte effekten, vil då telja etter måten lite i den årlege energirekneskapen. Men framleis er det optimalt å halda fasevinkelen u lik null.

For høge bølgjer og store utsving på bøyen, vil sjølvsagt avvik frå lineær teori også gjera seg gjeldande.

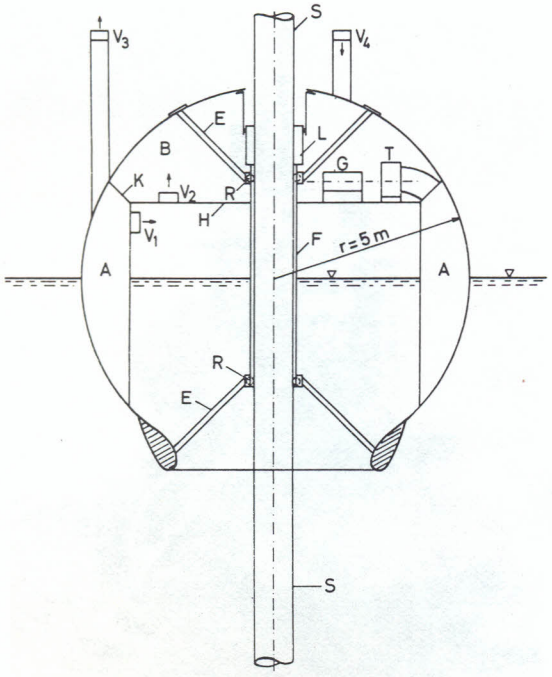
Forholdet mellom absorbert energi og volumet av ein flytande bøye i hiv går mot ei øvre grense

$$(P/V)_{maks} = \pi\rho gH/4T$$

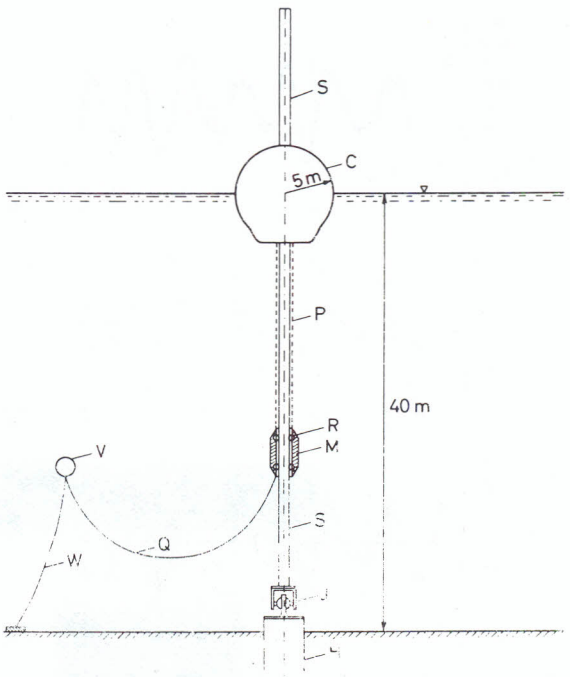
dersom bøyevolumet går mot null. I dette tilfellet er den utstrålte effekten P_r forsvinnande liten for endelege bølgjehøgder H. Med typiske verdiar $T = 10$ s og $H = 2$ m gir dette $(P/V)_{maks} \approx 1{,}6$ kW/m³. Poenget med optimalt styrte punktabsorbatorar er å koma så langt opp mot denne teoretiske grensa som det er praktisk mogleg. Forholdet mellom absorbert effekt og volumet av konstruksjonen er minst ein storleiksorden under denne grensa for dei fleste andre framlegg til bølgjekraftverk, som det blir arbeidt med ved ymse institusjonar i fleire land. Jamvel punktabsorbatorer kan gjerne koma til å liggja ein faktor 2-4 under den teoretiske grensa, fordi det er praktiske grenser for kor små ein kan gjera dei einskilde punktabsorbatorane som eit kraftverk er bygd opp av.

Perioden for havbølgjene kan variera i området 5-15 s. Då resonanskurva for ein punktabsorbator er etter måten smal, er det difor upraktisk å få til optimal fase ($u = 0$) m.h.a. resonansavstemming. I staden utnyttar vi fasthaldingsprinsippet som gir ei tilnærma optimal svingerørsle i samsvar med kurve c i fig. 2. Bøyen har ein eigenperiode, t.d. 5 s, som er kortare enn aktuelle bølgjeperiodar, og han blir halden fast i ytterposisjon i eit kontrollert tidsintervall kvar halvsyklus. Merk at bøyen går oppover i ein bølgjetopp og nedover i ein bølgjedal. Då eksitasjonskrafta er nær i fase med bølgja, vil dette seia at farten er i fase med krafta. Momentaneffekten som er produktet av farten og krafta, er difor alltid ikkje-negativ. Energien går då alltid frå bølgja til bøyen, og ikkje omvendt, slik som tilfellet hadde vore om produktet var negativt ein del av syklusen.

Havbølgjene, som til vanleg er uregelrette, blir målte heile tida, og predikterte minst eitt sekund inn i framtida av ein datamaskin slik at bøyen kan bli sleppt fri omlag ein kvart eigenperiode før eksitasjonskrafta har ein ekstremalverdi. Lengda av det



3. Kraftbøyen «N2». Skrovet av bøyen er kuleforma med ei opning i botnen så sjøen står opp i det indre rommet. Det ringforma lågtrykkskammeret A gir bøyen oppdrift så halve kula er over vatnet ved likevekt. I høgtrykkskammeret (maskinrommet) B er det plassert ein luftturbin T og ein elektrisk generator G. Låsemekanismen L, som kan låsa bøyen fast til stonga S, er tilgjengeleg frå maskinrommet. Eit konsentrisk røyr F er fest til bøyeskrovet v.h.a. staga E. Rullar R monterte på dette røyret tener til å føra bøyen opp og ned langs stonga S med minst mogleg friksjon og slitasje. Stonga S er fest til eit ankerledd på sjøbotnen (sjå fig. 4). Fire tilbakeslagsventilar V_1-V_4 tener til å skaffa turbinen ein likeretta luftstraum som blir sett opp ved relative svingerørsler mellom bøyen og den innvendige vassflata.



4. Forankring av kraftbøyen «N2». Forankringsstonga S er fest til ankeret H på sjøbotnen gjennom eit universsalledd J. Ein straumlineforma konsentrisk masse M, som er fest til bøyen med tau eller stenger P, og som kan røra seg langs stonga S med hjelp av rullar R, tener til å skaffa stonga med bøyen ei vertikal likevektsstilling. Oppdriftskroppen V med forankringstau W og Q tener til å bera ein bøyeleg elektrisk kabel for å føra den genererte elektriske energien frå bøyen til ein fast kabel på sjøbotnen.

tidsintervallet bøyen er halden fast, kan difor variera frå den eine halvsyklusen til den neste.

Kuleforma kraftbøye med luftturbin

Dei siste fire åra har vi vurdert fleire ulike tekniske framlegg til kraftbøyar. For å redusera kostnadene med bygging og med drift av eit bøyekraftverk har vi funne å måtta gjera til dels store forandringar i konstruksjonen. I eit par år har vi no arbeidt med ein kraftbøye (av såkalla type «N2») som er vist i figurane 3 og 4.

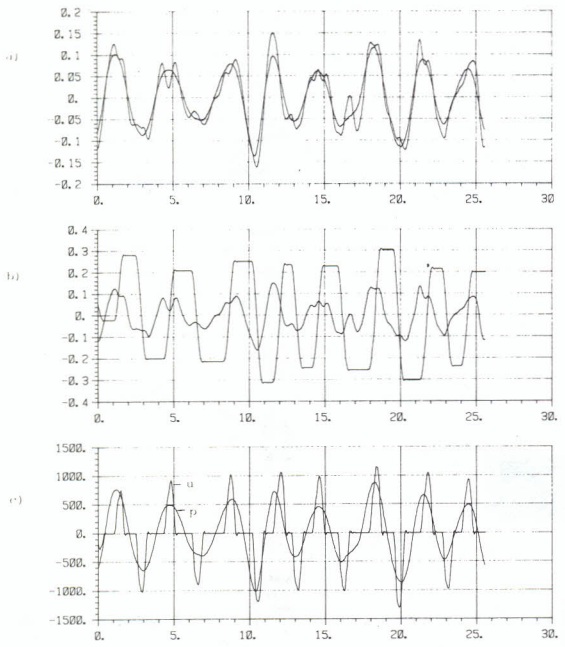
Bøyen, som er kuleforma og har ei vid opning i botnen, kan røra seg opp og ned langs eit røyr som er kopla til sjøbotnen gjennom eit ankerledd. Diameteren på bøyen er tenkt å vera 10 m. Bøyen kan låsast fast til røyret med ein låsemekanisme når han er i ferd med å snu svingeretning i ytterposisjon. I passeleg tid føre bølgja har ekstremalutsving, blir bøyen sleppt laus så han kan svinga med mest mogleg optimal fase i forhold til bølgja.

Fig. 5 viser måleresultat frå eit modellforsøk utført i skipsmodelltanken ved Norges Hydrodynamiske Laboratorier. Vi ser (særleg tydeleg på fig. 5c) at fasestyringa ikkje er heilt fullkomen. Dette tyder på at den enkle matematiske modellen som her er brukt til å prediktera uregelrette bølgjer, kan forbetrast. Den brukte bøyemodellen er seinare blitt sett ut for vidare prøver i Trondheimsfjorden. Sjå fig. 6.

Ein grunn til at bøyen er valt kuleforma er for å få redusert bøyepåkjenningar på ankerstonga S (fig. 4) i uver. Ein annan grunn er at ei dobbeltkrum overflate gjev god styrke og dermed ei økonomisk materialutnytting.

Ved optimal fasestyring blir bølgjeenergi ført over til kinetisk og potensiell energi i den svingande bøyen. Svingingande blir dempa med at energien blir omforma til nytteenergi gjennom ei luftpumpe, ein luftturbin og ein elektrisk generator.

Lufta over vassflata inni bøyen utgjer ei forholdsvis stiv fjør. Når bøyen er i låg posisjon, blir det overtrykk i rommet over vassflata, og luft kan strøyma gjennom tilbakeslagsventilen V_2 til turbinen T og vidare ut i atmosfæren gjennom tilbakeslagsventilen V_3. Når bøyen er i høg posisjon, kan det bli soge luft frå atmosfæren gjennom ventilen V_4 til turbinen T og vidare gjennom ventilen V_1. Dette prinsippet for likeretting av luftstraumen er brukt i små, japansk produserte, bølgjedrivne generatorar, som i årevis har forsynt navigasjonsbøyar o.l. med elektrisk straum. Kammera A og B (fig. 3) tener til å jamna ut den likeretta luftstraumen gjennom turbinen. Trykkskilnaden over turbinen blir av storleiksorden 20-30 kPa (eller omlag 1/4 atm.).



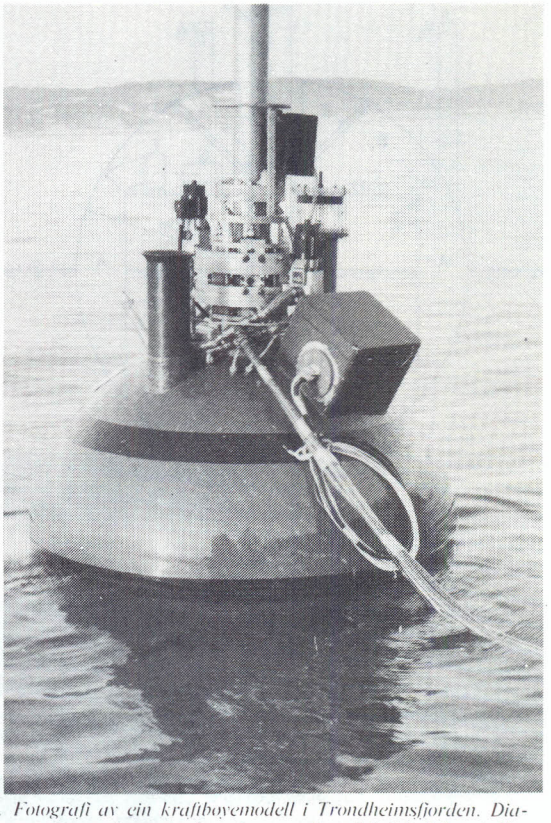
5. Måleresultat frå forsøk med ein bøyemodell i lengdemålestokk 1:10. Den horisontale aksen representerer tida i sekund.
a. Bølgjeutsvinget η (meter) er vist med den mest svingute kurva. Den jamnare kurva viser det hydrodynamiske trykket p (relative einingar) målt med ein stillestaande sonde 0,7 m under vassflata, ved sida av bøyen.
b. Hiv-utsving s for bøyen og bølgjesvinget η (begge i meter).
c. Hydrodynamisk trykk p (N/m²) og hivfarten u = ds/dt for bøyen (i relative einingar).

Det er tenkt installert ein aksialturbin med styrte leieskovler. Truleg vil det løna seg å likeretta vekselstraumen frå generatoren og vekselretta straumen inn på samkjøringsnettet på land. Ein føremon med det er at turtalet på turbinen då kan varierast for ulike bølgjetilstandar slik at verknadsgraden i middel kan haldast høgare for turbinen. Installert effekt i generatoren er tenkt å vera ca. 0,4-0,5 MW.

Når bølgjene er forholdsvis høge, kan bøyen ta opp meir bølgjeenergi enn turbinen og generatoren er dimensjonerte for. I slike tilfelle må fasen på svingefarten styrast til å avvika frå fasen på eksitasjonskrafta. Ved endå høgare bølgjer, kan bøyen haldast fast til ankerstonga heile tida, medan den indre vassflata i bøyen svingar og pumpar luft gjennom turbinen. I ekstremt høge bølgjer, som er heller sjeldne, må låsemekanismen vera ute av funksjon slik at bøyen kan svinga heilt fritt i forhold til ankerstonga. Modellforsøk i målestokk 1:100 og 1:50 har nemleg vist at bøyepåkjenningane på ankerstonga blir mindre om bøyen får svinga fritt enn om han er låst fast til stonga.

Energiproduksjon og byggjekostnad for bøyekraftverk

Vi skal sjå på den energien som blir absorbert av ein lang konfigurasjon av kraftbøyar som vist i fig. 1.



6. Fotografi av ein kraftbøyemodell i Trondheimsfjorden. Diameteren på bøyen er 1 m. I motsetning til fullskalabøyen (fig. 3) er låsemekanismen her plassert oppå bøyen. Oppå bøyen er det også ein koplingsboks for elektriske kablar.

Det er arbeidt ut eit reknemaskinprogram som gjeld for uregelrette bølgjer, og som med utgangspunkt i bølgjedata kan rekna tilnærma ut absorbert energi for ein viss lokalitet. Med bruk av målte bølgjedata frå Halten finn vi at kvar gruppe på 5 kraftbøyar absorberer ein energi ca. 9 GWh pr. år når den innbyrdes avstanden mellom gruppene er d = 120 m. Den innbyrdes avstanden mellom bøyane i kvar gruppe er ca. 30-40 m.

Av den absorberte energien går noko tapt i form av viskøse tap i vatnet, friksjon og varmetap t.d. i låsemekanismen, i rulleføringane og i ventilane. For turbinen vil verknadsgraden i middel truleg vera 0,75-0,8. Også i dei elektriske komponentane er det litt energitap. Reknar vi med ein totalverknadsgrad på 0,6 blir den produserte elektriske energien pr. bøye ca. 1 GWh. Omlag tilsvarande energiproduksjon er det rekna med (ref. 1 i litteraturlista bak) i eit tenkt bøyekraftverk utanfor Bremanger.

Vasskraftverk med byggjekostnad i området 2-3 millionar kroner (Mkr) pr. GWh årsproduksjon, er i dag økonomisk interessante på den norske energimarknaden. T.d. gjev utbygginga av Orkla-Granavassdraget ein kostnad nær det lågaste talet her. Då ein må rekna med at bøyekraftverk vil ha høgare driftskostnader og kortare levetid enn eit vasskraft-

verk, bør ikkje byggjekostnaden pr. kraftbøye vera over 2 Mkr om dei skal ha von om å kunna konkurrera på den noverande norske energimarknaden. For kystområde i visse andre land, som er avhengige av oljefyrte kraftverk, vil det kanskje vera akseptabelt om byggjekostnaden pr. kraftbøye ligg i området 4-5 Mkr. Ein studie (ref 1) viser at bølgjeenergien vil ha sin verdi i området 0,25-0,30 kr/kWh i den norske elektrisitetsforsyninga etter at vasskrafta er bygt ut.

På oppdrag frå OED har NVE (Noregs vassdrags- og elektrisitetsvesen) i 1981 arbeidt med å evaluera norske bølgjekraftverk. I dette arbeidet er byggjekostnaden pr. installert kraftbøye «N2» sett til 6 Mkr (ref. 1). Vi meiner at det finst billegare tekniske løysingar på ein del av komponentane i bøyekraftverket. Dessutan går vi ut frå at vidare optimalisering, teknisk utvikling og masseproduksjon vil føra til monaleg reell prisreduksjon i framtida. Etter vår kostnadsvurdering, som er oppsummert i tabell 1, er byggjekostnaden pr. installert kraftbøye i området 2-4 Mkr. Det høgaste talet reknar vi gjeld for det fyrste kraftverket som skal byggjast, og som er sett saman av fleire hundre kraftbøyar, t.d. 400 stk. Det lågaste talet gjeld eit kostnadstal lenger inn i framtida når det er bygt og prøvt fleire slike større bøyekraftverk. For det er velkjent at produksjonskostnaden har tendens til å gå ned når produksjonsvolumet går opp. Dette gjeld særleg når det, som her, er arbeidsinnsatsen og ikkje materialinnsatsen som gjer seg sterkast gjeldande i prisen.

Tabell 2 viser overslag for investeringskostnaden med eit bøyekraftverk på 0,2 GW som er sett saman av 400 einingar kvar på 0,5 MW. Elektrisitetsproduksjonen kan reknast til 0,4 TWh/år. Investeringskostnaden i forhold til energiproduksjonen blir etter dette i området 2-4 kr pr. kWh/år.

For å rekna ut energiprisen trengst det og tal for drifts- og vedlikehaldskostnader, rente og avskrivningstid.

Britiske vurderingar av bølgjekraftverk reknar med at årlege kostnader til drift og vedlikehald ligg i området 1-3 % av investeringskostnaden. Då kraftbøyane inneheld etter måten mange rørlege delar, vil vi her rekna med 3 %. Vidare reknar vi med 7 % rente og 20 års avskrivingstid, dvs. 9,44 % i årlege renter og avdrag etter annuitetsprinsippet. Med investeringskostnader som vist i tabell 2, og med 0,4 TWh/år i elektrisitetsproduksjon finn vi då at energiprisen ligg i området 0,28-0,53 kr/kWh. Med avskrivingstid 25 år i staden for 20 år ville kWh-prisen ha blitt 2-3 øre lågare. Det må understrekast at tala her har stor uvisse, og at det eigentleg er meiningslaust å bruka to gjeldande siffer i tala.

Men samanliknar ein tala her med det som framanfor er sagt om verdien på bølgjeprodusert elektrisitet etter at vassdragsutbyggingane er ferdige, så ser ein det er sjanse for at bøyekraftverk kan bli økonomisk konkurransedyktige jamvel på den norske energimarknaden. Sjansane er sjølvsagt endå større for at bøyekraftverk kan bli eit eksportprodukt til land med dyrare energi.

Førebels er berre stålkonstruksjon av bøyen vurdert, men det kan tenkjast at andre material, t.d. plast, vil gi betre økonomi. Hittil er det prosjektert berre ein bøye med diameter 10 m, men det er ikkje sikkert at dette er den økonomisk beste storleiken. Det står enno att å finna optimale dimensjonar på sjølve bøyen og dei einskilde komponentane i han. Og framanfor alt står det mykje utviklingsarbeid att for å koma fram til driftssikre og vedlikehaldsvenlege komponentar.

Sluttord

Med sin rikelege tilgang i vinterhalvåret er havbøljene ei fin energikjelde, som høver særs godt i samkøyring med norske vasskraftverk. Etter vårt syn fører bølgjekraftverk til mindre miljøulemper og naturinngrep enn dei fleste konvensjonelle energikjeldene. Eit bøyekraftverk kan plasserast i eit belte langs kysten svarande til eit arealbehov $120 \cdot 40 = 4800\ m^2 \approx 5$ da pr. bøye, altså pr. GWh årsproduksjon. Til samanlikning blir det i utbygginga av Orkla-Grana-vassdraget demt ned land svarande til 12 da pr. GWh årsproduksjon. I samanlikning med vasskraftverk er bølgjekraftverk lite arealkrevjande.

Ulike kostnadsvurderingar for ymse framlegg til bølgjekraftverk viser nokså sterkt sprikande tal for energiprisen. Nyare svenske og britiske vurderingar (ref. 3) nemner prisar i området 0,5-1 kr/kWh, medan det norske evalueringsarbeidet (ref. 1) har kome fram til prisar i området 1,2-2,3 kr/kWh. Så lenge bølgjekraftverka ikkje er blitt bygde og prøvde, er sjølvsagt tala hefta med mykje uvisse.

I vårt arbeid med utvikling av optimalt styrte punktabsorbatorar har det vore eit motiv å få eit høgt forhold mellom energiproduksjonen og materialbruken ved bygginga. Etter vårt syn har vi kome langt på den vegen. Men då dette krev relativt mange rørlege delar, trengst det relativt mykje teknisk utviklingsarbeid for å koma fram til komponentar som er driftssikre nok.

Eit bøyekraftverk er sett saman av ei mengd med like einingar som er relativt små. Av økonomiske grunnar kan det ikkje bli ein praktisk realitet utan at kraftbøyane blir fabrikerte i ein kostnadsreduserande masseproduksjon. Det vil kosta relativt lite å utvikla ei slik eining, eit minikraftverk. Når kraftbøyen er utvikla til eit nok vedlikehaldsvenleg nivå, kan ein starta kopieringsarbeidet, dvs. masseproduksjonen.

Etter vår kostnadsvurdering vil det fyrste bøyekraftverket (av typen «N2») få ein kWh-pris i nærleiken av ei halv krone. Lenger inn i framtida, ettersom produksjonsvolumet aukar, gissar vi på at kWh-prisen vil koma ned til omkring ei kvart krone.

Tabell 1.
Kostnadsoverslag for bygging og installasjon av kraftbøye «N2». Prisar i Mkr (1 million kroner). Dei høgaste tala gjeld eit tenkt fyrstegenerasjons større kraftverk. Dei lågare tala gjeld framtidige velutvikla bøyekraftverk.

Bøyeskrov	0.6 - 0.3
Forankringsstong	0.32 - 0.22
Universalledd	0.14 - 0.1
Maskinelt utstyr	0.9 - 0.5
Elektrisk utstyr	0.2 - 0.16
Anker	0.8 - 0.2
Utplasseringskostnader	0.6 - 0.3
Diverse	0.3 -0.2
Totalkostnad pr. installert bøye	3.8 - 2.0

Tabell 2.
Investeringsoverslag for anlegg av bøyekraft sett saman av 400 kraftbøyar «N2». Prisar i Gkr (1 milliard kroner).

Bygging og installering av 400 bøyar	1.5 - 0.8
Elektrisk anlegg for ilandføring av energi	0.12 - 0.07
Rentekostnader m.m.	0.1 - 0.05
Investeringskostnad for heile kraftverket	1.7 - 0.9

Litteratur om bølgjekraftverk

1. Stortingsmelding nr. 65 (1981-82) «Om nye fornybare energikilder i Norge».
2. Utfyllande opplysningar om kraftbøyeprosjektet finst i våre artiklar i nr. 3 nedanfor og i The International Journal of Ambient Energy, (April 1982).
3. Proceedings of 2nd Int. Symp. on Wave Energy Utilization, NTH, 22.-24.6.1982. (Tapir, NTH, Trondheim). Inneheld 24 artiklar frå internasjonal forsking.
4. M.E.McCormick: «Ocean Wave Energy Conversion» (J. Wiley, New York 1981).
5. J. Falnes og L.C. Iversen: «Hydrodynamisk teori for bølgjekraftverk». (Institutt for eksperimentalfysikk, NTH, 1980). Kompendium for dr.ing. fag nr. 71090.

DANIEL BERNOULLI 1700 -1782

Daniel Bernoulli hørte til den berømte matematikerdynastiet, og fikk i ung alder interesse for matematikk. Han ytet vesentlige bidrag til sannsynlighetsregning, statistikk og matematisk fysikk. Når det gjelder fysikk, er hans kinetiske gassteori spesielt interessant. Her gjør han bruk av en del forestillinger som først slo gjennom i den mekaniske varmeteorien i det 19. århundre. I hovedverket hans Hydrodynamica, finner man den nå så kjente Bernoullis ligning.

Han virket som matematiker ved Petersburgakademiet fra 1725 til 1733. Fra 1733 til 1750 var han professor i anatomi og botanikk i Basel, og fra 1750 professor i fysikk samme sted.

Blodtrykksmåling og fysikk

Øystein Jensen *

Fysiologiske trykkmålinger

En av de mest grunnleggende fysiologiske parametre å måle i den menneskelige organisme er *trykk*. Ved ulike trykkmålinger kan den dynamiske og statiske situasjon i kroppens vev og reguleringsmekanismer undersøkes.

Den klassiske fysiologiske trykkregistrering er måling av systolisk/diastolisk blodtrykk (max. og min. verdi av pulstrykk) i arteriene. Dette har vært utført med ulik metoder på mennesker siden midten av forrige århundre. De siste 20 års utvikling i kirurgi, og spesielt hjertekirurgi, har medført utstrakt bruk av intravaskulær blodtrykksmåling (dvs. målt «blodig» i arteriene).

Denne direkte målemetoden gir informasjon om selve tidsforløpet av trykket i arterien, i motsetning til legekontorets velkjente «mansjettmetode» som empirisk søker å relatere indirekte strømningsbaserte lydfenomener til systolisk/diastolisk trykk i arterien. Arterien avklemmes da med en luftfylt mansjett som omslutter armen. Når trykket i mansjetten langsomt slippes ned strømmer blodet støtvis forbi avklemmingen. Åreveggbevegelser og turbulens i blodstrømmen fremkaller et lavfrekvent lydbilde som kan oppfanges med et stetoskop plassert over arterien nedenfor mansjetten. Moderne versjoner av mansjettmetoden utnytter doppler ultralydteknikk for deteksjon av åreveggens bevegelser under mansjetten og kan måle systolisk diastolisk trykk med bedre nøyaktighet enn den klassiske stetoskopmetoden.

Den enkeltes blodtrykk avhenger foruten av alder og eventuelle sykdomstilstander, også av korttidsvariable som tidspunkt på dagen og sinnstilstand. Typiske verdier i hvile for en normal voksen er 130 mmHg systolisk trykk og 75 mmHg diastolisk trykk (oppgitt som 130/75). Diastoliske trykk større enn 95 mmHg karakteriseres som hypertensjon og blir behandlet medikamentelt.

Selv om det norske helsevesen i 1977 alment gikk over til SI-systemet ser det ikke ut til at måleenheten mmHg viker plass for kPa i overskuelig fremtid. (Det normal manometer ved indirekte målinger er kvikksølvsøyle og den mest opplagte måleenhet er nettopp mmHg).

Bortsett fra dårlig nøyaktighet og store muligheter for målefeil gir normalt indirekte metoder bare en punktvis registrering av arterietrykket. Det er nylig lansert en indirekte servometode som muliggjør indirekte måling av pulstrykkets tidsforløp (1).

* Forfatteren er cand.real. og arbeider ved Medisinsk teknisk avdeling, Rikshospitalet. Han beskriver i denne artikkelen noen av de grunnleggende problemene ved trykkmålinger i hjerte/karsystemet.

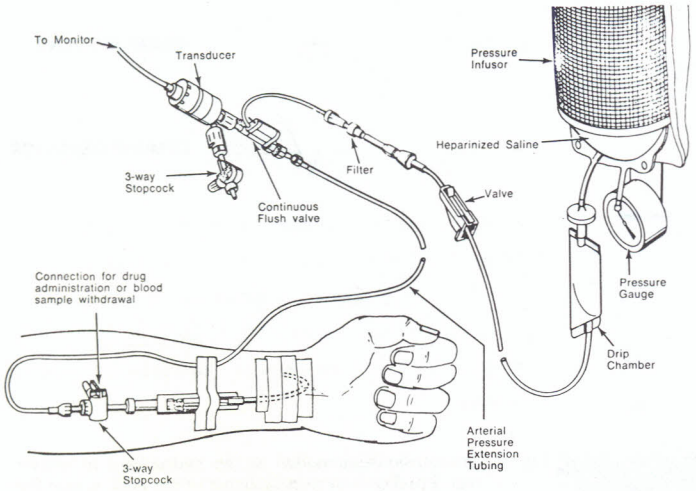
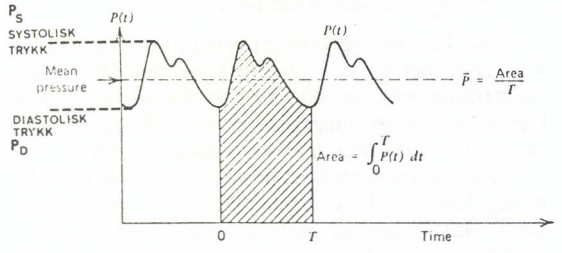


Fig. 1: Intravaskulær blodtrykksmåling slik det utføres under postoperativ overvåking. Rørsystemet skylles kontinuerlig med Heparin-saltvann (anti-koagulasjonsstoff).



Trykket i en mansjett reguleres med en hurtig servostyring slik at blodstrømmen (målt med doppler ultralyd) forbi avklemmingen er konstant (ikke pulserende). Mansjettrykket vil da i prinsippet følge arterietrykket. Mansjettrykkets tidsforløp vil være ekvivalent med det intravaskulære trykkets tidsforløp. Metoden er ennu ikke kommersielt tilgjengelig. Den normale metoden for å oppnå en kontinuerlig registrering med stor nøyaktighet er å måle blodtrykket intravaskulært.

Den normale måten å måle trykket i en arterie på er å skjære hull i åreveggen og sette inn en væskefylt slange («kateter»), som setter arterietrykket i hydraulisk forbindelse med en ekstern trykktransducer. I figur 1 er skissert hvordan dette gjøres. Trykksystemet må skylles kontinuerlig med saltvann tilsatt antikoagulasjonsstoffer for å unngå at røråpningen tettes igjen på grunn av blodets naturlige koagulasjonsevne. Ved å skyve et kateter innover i arterier eller vener kan trykket måles alle steder i karsystemet, også foran og bak hjerteklaffene.

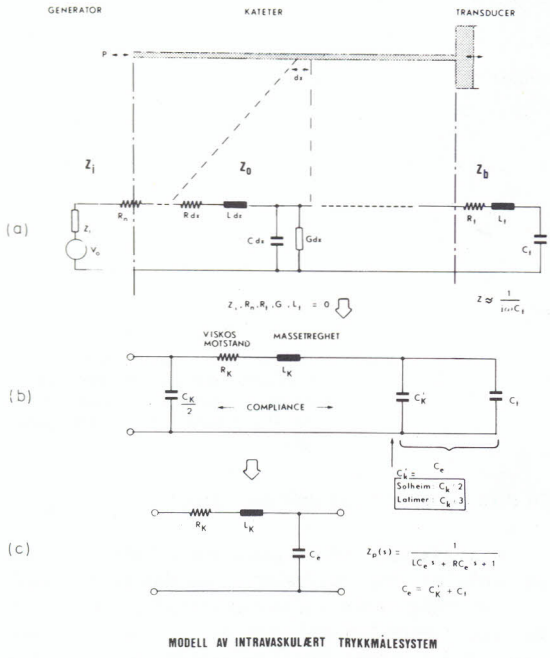
Det finnes i dag på markedet flere miniatyriserte såkalte tipptransducere som kan føres inn i arterien og måle trykket direkte uten væskekopling. Høy pris og skjørhet gjør imidlertid at dagens metode med ekstern trykktransducer er og lenge vil være den normalt anvendte. Dessuten ønskes ofte væskekopling uansett fordi blodprøver blir tatt ut gjennom kateteret. Medisiner og ernæring gis ikke i dette kateteret, men i egen intravenøs kanyle. Ved måling av dp/dt i venstre hjertekammer er det bare tipptransducere som egentlig kan gjøre jobben godt nok.

Intravaskulær blodtrykksmåling utføres idag preoperativt (før operasjon) i cardiologisk utredning av ulike hjerte- og sirkulasjonsfeil, for eksempel ved hjerteklaffefeil (måling av differenstrykk over en forsnevret klaff) og nedsatt kontraksjonsevne i hjertekammeret (måling av derivert trykkforløp). Peroperativt (under operasjon) overvåkes ofte det perifere blodtrykk (i en arterie ved håndleddet), da det perifere trykket er en indikator på den anesteserte pasientens totale tilstand. Postoperativt (etter operasjon) overvåkes også dette trykket som en av de vitale parametre ved siden av EKG (Elektrokardiogram - hjertets elektriske aktivitet).

Med blodtrykk menes normalt det arterielle blodtrykk (i sirkulasjonssystemets «høytrykksside»). Det venøse blodtrykk (i sirkulasjonssystemets returvei - venene) kan imidlertid også gi interessante informasjoner om hjertets pumpefunksjon. En forringet kontraksjonsevne i hjertemuskelen fører raskt til en opphopning av blod i de sentrale samlevenene ved høyre atrium (HA, høyre hjerteforkammer) med venetrykkstigning som resultat. Det sentrale venetrykk er lite pulserende og er normalt bare ca 10 mmHg.

Ved en rekke undersøkelser måles andre fysiologiske trykk, for eksempel i nevrokirurgi (væsketrykk i hjernens hulrom), i urinveiene (drivtrykk i urinblære, strømningsprofiler), i svelg/mage (svelgeprosessen, lukning mellom strupe og mage), ved fødsel (drivtrykk i livmor). Nyere anvendelse er til og med måling av trykk i muskel under kontraksjon.

Det finnes ved Rikshospitalet totalt over hundre medisinske trykktransducere i mer eller mindre daglig drift, og det utføres årlig flere tusen ulike trykkmålinger på pasienter. Kravet til målenøyaktighet varierer med hvilken måling som utføres, og kan ved arterielle trykkmålinger være opptil 1 mmHg absolutt nøyaktighet. I visse postoperative



MODELL AV INTRAVASKULÆRT TRYKKMÅLESYSTEM

overvåkingssituasjoner vil endringer i pasientens systoliske trykk på bare 5 mmHg kunne medføre behandling med medikamenter som endrer hjertets pumpeevne eller blodkarenes strømningsmotstand.

De aktuelle trykksignalene er ofte svært lavfrekvente. De høyeste signalfrekvenser finnes hjertenært i arteriene, der korrekt gjengivelse av blodtrykkssignalet innenfor 5% av reell verdi betinger at signalkomponenter i båndbredden DC - 20 Hz slipper gjennom målesystemet uten distorsjon. Venetrykksignaler er kvasistatiske og krever minimal båndbredde.

Målefeil og modeller

Statiske målefeil som ulinearitet, hysterese og temperaturdrift er for moderne transducere helt uvesentlige ved arterielle målinger. Derimot vil hydrostatiske bidrag på grunn av nivåforskjeller i det væskefylte kateteret kunne være vesentlige (0,8 mmHg pr. cm nivåforskjell). Hjertets mekaniske arbeidssyklus starter i høyre atrium (HA), og transduceren må plasseres slik at dens trykkfølsomme membran har samme nivå som pasientens HA. Ved venetrykksmålinger (< 15 mmHg) vil hydrostatiske trykkbidrag og statiske feil i transduceren kunne være av samme størrelsesorden som de trykk som ønskes målt.

Arterielt oppstår dynamiske målefeil fordi kateterets uungåelige mykhet og transducermembranens nødvendige bevegelse samt den innesluttede væskemasse oppfører seg som et svingesystem. For spesielle kombinasjoner av slanger, transducere og andre koplingsdetaljer (kraner bl.a.) oppstår resonanser innenfor det ønskete overføringsområde DC

$$f_o = 0{,}121 \cdot \frac{d_k}{\sqrt{C_e \rho L_k}} \quad [\mathrm{Hz}] \quad \textbf{EGENFREKVENS}$$

$$\zeta = 15{,}6 \cdot \frac{\eta}{d_k^3}\sqrt{\frac{L_k C_e}{\rho}} \quad \textbf{DEMPNINGSFAKTOR}$$

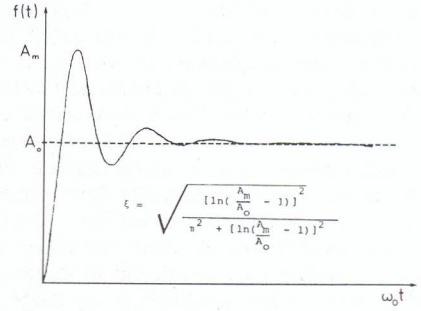
der: d_k = kateterets indre diameter [m] ; L_k = kateterets lengde [m] ; ρ = væskens tetthet [kg m^{-3}] ; η = væskens viskositet [N s m^{-2}] ; C_e = effektiv compliance = $C_t + \frac{C_k + C_f}{2}$ [m^5 N^{-1}] svarende til hhv. transducers, kateters og væskens compliance.

Fig. 2: Transmisjonslinjemodell av det hydrauliske målesystemet. I praksis beskrives systemet meget godt av den forenklete RLC-kretsen nederst.

- 20 Hz. En gitt registrert arteriell kurveform er da forvrengt, det vil si at systolisk og diastolisk verdi og forløpet imellom ikke er korrekt gjengitt. Dette kan dreie seg om meget store målefeil, og vi skal i resten av artikkelen analysere disse nærmere.

Målesystemets mykhet beskrives som dets compliance (også kalt volumdisplacement), se Appendiks. Målesystemets egenfrekvens (udempet resonans) vil i prinsippet være gitt av samme formel som beskriver en svingene fjæropphengt masse;

(S = stivheten i fjæren, M = opphengt masse). Det vil si: Et stivt målesystem med lite væske vil ventes å ha høy egenfrekvens. Kateter/transducersystemet kan mere nøyaktig modelleres som en elektrisk transmisjonslinje som vist i figur 2. Kateterets compliance, strømningsmotstand og innesluttet væskes massetreghet modelleres henholdsvis med serieelementets C, R og L. Transduceren utgjør en i hovedsak kapasitiv belastningsimpedans. Modellen kan under visse forutsetninger forenkles til den viste serie - RLC kretsen. Sammenhengen



$$f(t) = A_o\left[1 - e^{-\zeta\omega_o t}\left[\cos\omega_o t\sqrt{1-\zeta^2} + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\omega_o t\sqrt{1-\zeta^2}\right]\right]$$

Fig. 3: Steprespons. Matematisk beregnet tidsforløp og faktisk målt respons.

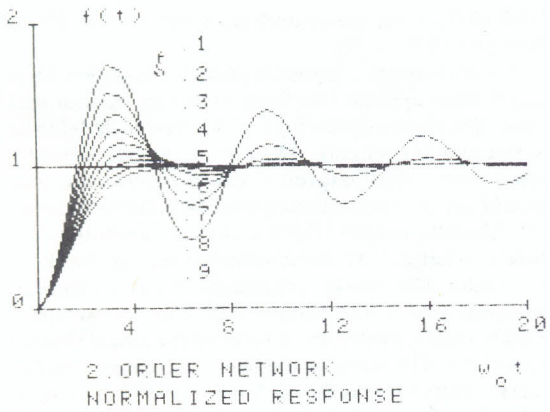


Fig. 4: Beregnet steprespons for ulike dempningsfaktorer. Såkalt optimal dempning er 0,71.

mellom denne 2. orden modellens egenfrekvens/dempningsfaktor og målesystemets mekaniske parametre er som beskrevet i ligningen i figur 2.

All informasjon om målesystemets (og modellens) dynamiske egenskaper ligger i dets steprespons, det vil si tidsforløpet av registrert trykk når det påtrykkes et trykksteg signal. Modellens matematiske tidsforløp er vist i figur 3 sammen med et faktisk registrert forløp. Systemet svinger på sin resonansfrekvens med en eksponensielt utdøende omhyllingskurve mot sin stasjonære verdi. Eksponensialfunksjonen er bestemt av systemets dempningsfaktor. Figur 4 viser beregnet virkning av ulike dempningsfaktorer. Et system med dempningsfaktor 0,87 vil gi minimalt oversving (det vil si det systoliske trykk vil gjengis tilnærmet korrekt). For å gjengi steil flanker med minimal stigetid må imidlertid systemet ha minst mulig dempningsfaktor (måling av dp/dt). Et system med dempningsfaktor 0,71 sies å være optimalt dempet, det vil si det har en optimal avveining mellom stigetid og oversving.

Modelligningen i figur 2 viser som ventet at korte stive og tykke katetere med en stiv transducer vil gi et system med en høy egenfrekvens.

Luftbobler i væsken vil i praksis være et problem. Inneslutning av bobler ved fylling, og kavitering bak skarpe kanter i plastdetaljene ved skylling (med sprøyte), gjør at væsken ofte inneholder bobler. En luftboble på 1 mm^3 vil ha et volumdisplacement på hele 0,12 $mm^3/100$ mmHg. Dette er fra samme til ti ganger størrelsesorden av transducerens volumdisplacement og kan virke helt ødeleggende på den totale responsen.

Dynamisk testing

For å undersøke trykkmålesystemenes faktiske dynamiske respons har vi ved Rikshospitalets Medisinsk tekniske avdeling bygget opp et testesystem som vist i blokkskjemaet i figur 5. I det luft/væskefylte elektrodynamiske trykk-kammeret kan det ge-

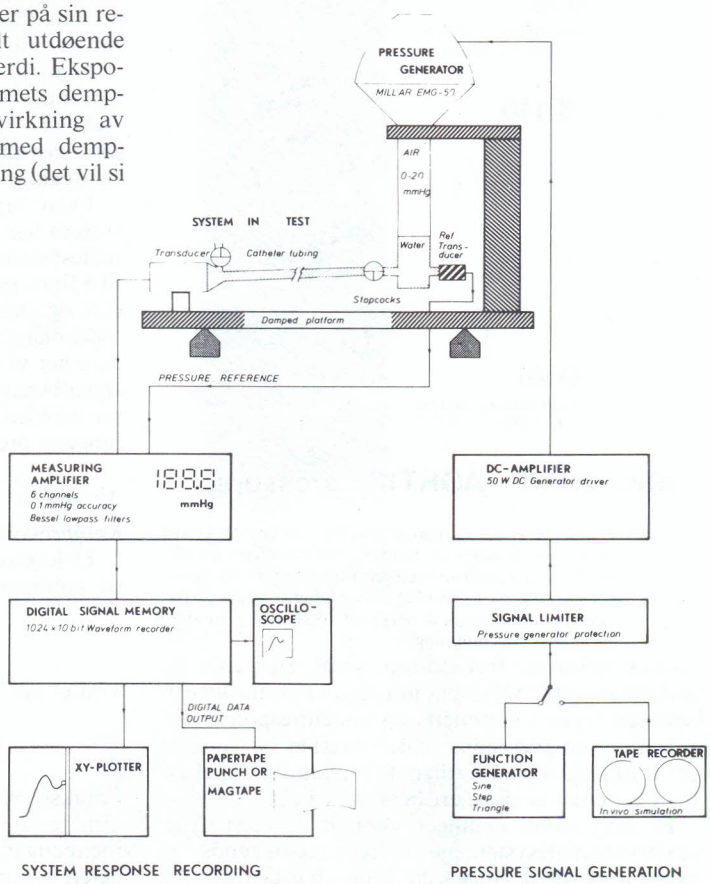


Fig. 5: Utviklet testesystem i blokkskjema. Vilkårlige trykk med amplityde < 20 mmHg og frekvens CC-1 kHz kan genereres i kammeret.

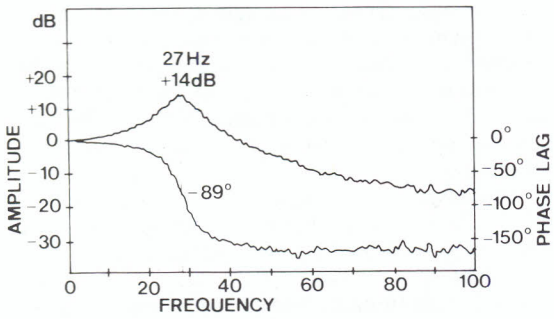


Fig. 6: Målt frekvens/fasegang for et faktisk trykkmålesystem. Resonansen er åpenbar. Ved resonansfrekvensen har et ideelt 2.ordens system en fasedreining på -90°.

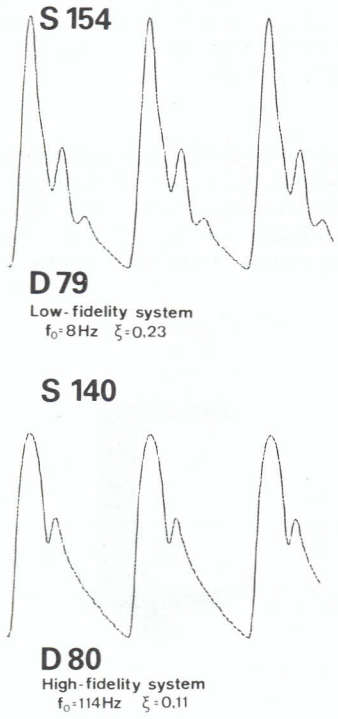


Fig. 7: Virkning av et dårlig målesystem (for lav egenfrekvens) er vist i høyre delen av figuren. Det simulerte arterietrykket gjengis med kurveformsforvrengning og systolisk oversving på 14 mmHg sammenlignet med «hi-fi»-systemet som gjengir drivtrykket (ikke vist i figuren) uten målbar forvrengning.

nereres vilkårlige trykkforløp; sinus, steg eller simulerte pasienttrykk (spilt inn med tipptransducer). Generert trykk i kammeret og systemresponser registreres i en presisjons måleforsterker og lagres i en transientrecorder (digital signalhukommelse). Testesystemet er detaljert beskrevet i (2).

Et stort antall målinger viser at de væskefylte blodtrykksmålesystemene nesten utelukkende er meget underdempet, typiske dempningsfaktorer fra 0,05 til 0,20, og med egenfrekvenser fra 110 Hz og helt ned til 8-10 Hz.

Forenklingene i transmisjonslinjemodellen viser seg å være gyldige i de fleste systemer og 2.ordens modellen (ligningene i figur 2) beskriver de faktiske systemene meget godt. Det har lite for seg å justere (øke) dempningsfaktoren i målesystemet med innsetting av strømningsmotstand (kapillær) i kateteret. Modelligningen i figur 2 viser at dempningsfaktoren avhenger av kateterdiameteren og væskens viskositet. Den sterke avhengigheten av kateterdiameteren gjør at fibrinfilmer som avsettes i kateteret under blodprøvetaking endrer dempningsfaktoren merkbart. Det samme gjelder viskositeten som er sterkt temperaturavhengig (over 2 % /°C i det aktuelle området). Ved skylling endres temperaturen og dempningsfaktoren endres.

Systoliske oversving kan sees på som resultat av fasedispersjon i den hydrauliske koplingen. 2.ordens systemer med liten dempningsfaktor ($<0{,}2$) vil gi vesentlig fasedreining allerede ved bare 1/5 av egenfrekvensen. For å fylle et krav om faselineær båndbredde DC - 20 Hz må altså den mekaniske resonansen ligge høyere enn 100 Hz. Figur 6 er et amplityde/fasediagram som viser den karakteristiske 2.ordens fasedreiningen i et faktisk system. Fasedreining $>$ 20° innenfor ønsket båndbredde vil være synlig på registrert kurve.

Figur 7 viser hvordan et simulert arterietrykk forvrenges av et målesystem med for lav resonansfrekvens. Slike oversving vil for eksempel umuliggjøre nøyaktig måling av differenstrykk over en hjerteklaff i kontraksjonsøyeblikket.

Et av brukerne tilfeldig sammensatt hydraulisk system har oftest en ukjent dynamisk respons. Det målesystemet som er beskrevet har satt oss i stand til å finne egenskapene til katetere, kraner, transducere og andre koplingsdetaljer, og til dermed å lage trykkmålesystemer med ønskede egenskaper. Videre har vi under utvikling et mikroprosessorbasert signalbehandlingssystem som i reell tid kompenserer målefeil i trykksystemene ut i fra modellbetraktningene presentert foran.

Appendiks

Kompressibilitet, compliance og volumdisplacement.

Et legemes kompressibilitet er definert ved relativ volumendring per applisert trykkenhet:

$$\kappa = (dV/V)/dP \quad [m^2N^{-1}]$$

Ved et gitt volum V defineres compliance C:

$$C = \Delta V/\Delta P = V \cdot \kappa \quad [m^5N^{-1}]$$

I praksis måles ofte compliance i enheten $mm^3/100$ mmHg og kalles da volumdisplacement V'. Sammenhengen mellom volumdisplacement og SI-enheten compliance er da

$$V'[mm^3(100mmHg)^{-1}] = 1{,}33 \cdot 10^{13} C[m^5 N^{-1}]$$

Den innesluttede væskes egen kompressibilitet er for alle praktiske formål neglisjerbar, utregnet som volumdisplacement tilsvarer den for rent vann 0,007 $mm^3/100$ mmHg.

Sammenhengen mellom den enkle modellens fjærkonstant S og størrelsen compliance er gitt av

$S = \frac{A^2}{C}[N\ m^{-1}]$ der A er transdusermembranens areal og C er transduserens compliance (eller henholdsvis kateterets hvis innesluttet væskemasse i dette er større enn i transduceren).

Innsatt korrekte SI-enheter vil da målesystemets egenfrekvens tilnærmet være gitt av

$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{M}}[Hz]$ der M er innesluttet væskemasse.

Referanser

(1) Aaslid, R, Brubakk, A O (1981): «Accuracy of an Ultrasound Doppler Servo Method for non-invasive determination of Instantaneous and Mean Arterial blood pressure». Circulation 4, **64**: 753-759.

(2) Jensen, Ø (1979): «Blodtrykksmåling. Evaluering av målemetoder, Utvikling av et testesystem for intravaskulære trykkmålesystemer». Hovedfagsoppgave i Fysikk, Universitetet i Oslo.

WILLIAM CROOKES 1832-1919

Crookes utførte grunnleggende arbeider med katodestråler. Han var en av de få som til å begynne med var overbevist om katodestrålenes korpuskulærnatur. Han oppfant den såkalte lysmølle, som han forøvrig ga en feilaktig forklaring på hvordan den virket. Prinsippet brukte han til å konstruere et radiometer. Han står som medoppdager av grunnstoffet tallium. Crookes var spiritist.

Nordisk forskerkurs i kjernefysikk

NFS's faggruppe for kjernefysikk arrangerer en vinterskole for yngre nordiske forskere i Hemsedal 10.-21. april 1983.

Nærmere opplysninger kan fås hos T. Engeland, Fysisk institut, UiO.

Søkandsfrist 10. januar 1983.

JAMES CLERK MAXWELL
NOE OVER 100 ÅR ETTER

Iver Brevik *

I 1979 var det 100 år siden James Clerk Maxwell døde. Selv om vi altså er noe sent ute til å delta i markeringen av hundreåret, er det likevel betimelig å minnes denne eminente skotske fysikeren. Mest kjent er han nok for sin innsats innen elektromagnetisk teori. Begrepet elektromagnetisk stråling skyldes Maxwell, og hans feltligninger dannet et essensielt grunnlag for utviklingen av den spesielle relativitetsteori. Under feiringen av 100 årsdagen for Maxwells fødsel i 1931 beskrev Albert Einstein den begrepsforandring som hadde funnet sted i fysikken etter Maxwell som «den mest fruktbare som har funnet sted etter Newton». Disse tre, Newton, Maxwell og Einstein, stiller i en klasse for seg blant fysikere på grunn av den enorme fruktbarheten av deres ideer.

Maxwell ga også fundamentale bidrag til andre grener av fysikken: termodynamikk, kinetisk gassteori og fargefotografering. Han arbeidet både med teoretisk og eksperimentell fysikk, og av de stillinger han kom til å inneha er nok stillingen som professor i eksperimentalfysikk ved Universitetet i Cambridge den mest velkjente.

Samtidens vurdering

Storheten i Maxwells arbeider skulle først vise seg i ettertiden, i det tjuende århundre. Verdsettelsen fra hans samtidige kolleger var mer beskjeden. Da Cavendish-laboratoriet ble startet i 1871 var Maxwell nr. 3 på listen over de velegnede kandidater man kunne tenke seg til stillingen som direktør. Den første på listen var William Thomson (senere Lord Kelvin). Han ønsket imidlertid ikke å forlate Glasgow, og foreslo Helmholtz til stillingen. Helmholtz var nylig blitt tilsatt som direktør ved et nytt laboratorium i Berlin og ønsket heller ikke å forlate sin post. Så henvendte man seg altså til Maxwell, og det er kanskje verdt å sitere fra Reverend E. W. Blores invitasjonsbrev: «It has I believe been ascertained that Sir W. Thomson would not accept the Professorship. I mention this in case you should wish to avoid the possibility of coming into the field against him». Da Maxwell omsider kom til Cambridge var tilhørerskaren ved hans forelesninger i gjennomsnitt et sted imellom 2 og 3 studenter! Riktignok skulle det vise seg at flere av disse studentene var av ypperste kvalitet.

Maxwells første tilsetting som lærer var ved Marischal College, universitetet i Aberdeen, i 1856. I 1860 ble Marischal College slått sammen med King's College ved samme universitet, og en av de to lærestolene i Natural Philosophy ble overflødig.

* Dr. techn. Iver Brevik er høgskolelektor ved Luftkrigsskolen

David Thomson ved King's College fikk lov til å fortsette, angivelig på grunn av sin store dyktighet som lærer, og Maxwell ble erklært overflødig. Maxwell søkte så en ledig stilling ved universitetet i Edinburgh, men fikk den ikke, igjen på grunn av at hans konkurrent ble ansett for å være bedre som lærer. Det skulle bli King's College i London som hadde visdom nok til å knytte Maxwell til seg. De fem årene han tilbrakte i London var utvilsomt de mest fruktbare i hans liv. Han ble valgt inn som medlem av Royal Society i 1861 i en alder av 29 år. Hans to klassiske arbeider over det elektromagnetiske felt ble publisert i 1862 og 1864. I 1861 holdt han en forelesning ved the Royal Institution over teorien for de tre primære farger, og demonstrerte det første fargefoto. Hans teoretiske og eksperimentelle arbeid over viskositeten i gasser kulminerte med hans forelesning i the Royal Society i 1866. Han målte også forholdet mellom de elektromagnetiske og elektrostatiske enhetene i elektrisitetslæren og viste at det var i tilfredsstillende overensstemmelse med lyshastigheten.

Av grunner som ikke synes helt klare, sa Maxwell opp sin stilling ved King's College i 1865 og trakk seg tilbake til familiens eiendom i Glenlair, Skottland. Der oppholdt han seg til han ble kalt til stillingen i Cambridge i 1871, som vi nevnte ovenfor. I Cambridge tilbragte han de siste 8 årene av sitt liv; han døde 5. november 1879 bare 48 år gammel. Han rakk å publisere litt over 100 artikler, han mottok ingen offentlige æresbevisninger, og ble begravet i stillhet i landsbyen Parton i Skottland. Som kontrast fikk hans venn William Thomson leve omtrent 30 år til, fikk publisere omtrent 600 artikler, fikk enhver tenkelig hedersbevisning fra det offentlige, og ble begravet under pomp og prakt i selveste Westminster Abbey.

Biografiske bemerkninger

James Clerk Maxwell ble født inn i et relativt komfortabelt middelklassemiljø. Det opprinnelige familienavnet var Clerk; tilleggsnavnet Maxwell ble adoptert av faren på grunn av arvemessig tilknytning til forfedre med dette navn på Middlebie gods. James, som eneste barn i familien, ble født i Edinburgh hvor faren var sakfører. Som det bemerkelsesverdig nok har vist seg ved flere anledninger har de store begavelser gjerne tilårskomne foreldre; så også med Maxwell hvis mor var 40 år da han ble født. Like etter fødselen flyttet familien til sin eiendom Glenlair på Middlebie.

Etter opptegnelsene å dømme var Maxwell allerede som liten gutt karakterisert ved en enorm vitebegjærlighet. Hans mor skriver om ham som treåring at han var umåtelig opptatt av virkemåten for husets nøkler og låser - uttrykket «hvordan det virker» var sjelden ute av hans munn. Med hushjelpen som assistent kunne han benytte kjøkkenbjellen store deler av dagen, og han trakk sin far rundt omkring i huset for å vise ham hullene i veggene hvor ledningen gikk gjennom. Han var også utstyrt med en fenomenal hukommelse; som åtteåring kunne han for eksempel sitere de 176 versene i Salme 119 i Det Gamle Testamente utenat (en utmerket idé til etterfølgelse for dagens norske åtteåringer?).

Moren døde da James var åtte år. Etter et kort intermesso med en middelmådig privatlærer ble han sendt på skole i Edinburgh, og som 16-åring begynte han ved Edinburgh University hvor han med stor appetitt leste omtrent alle mulige emner. Han fortsatte til Cambridge i 1850, og det synes som om det var på denne tid at hans eksepsjonelle evner begynte å bli oppdaget i den akademiske krets. Hans posisjon blant medstudentene var ganske unik; hans venn W. N. Lawson skriver for eksempel med hengivenhet i sin dagbok at det var neppe mulig å finne ett eneste samtaleemne som ikke Maxwell var velinformert om. Det er av interesse å nevne også en noe mer avveiet uttalelse av den berømte matematikklæreren William Hopkins, som kunne sammenligne Maxwell med fremragende studenter som G. G. Stokes, William Thomson, Arthur Cayley og andre. Ifølge Hopkins var Maxwell den mest ekstraordinære student han hadde møtt i hele sin lærerkarriere. Det virket som det var umulig for Maxwell å tenke feilaktig om noe som helst som krevde fysisk innsikt. På den annen side var Maxwells evner i matematisk analyse ifølge Hopkins mer begrensede og ordinære. Sett fra ettertiden var nok Hopkins uttalelse ganske riktig. Maxwell viste senere i sine arbeider en forkjærlighet for geometriske snarere enn analytiske metoder, og det er ganske karakteristisk at flere av de formler han senere kom frem til - og som er blitt stående i ettertiden som milepeler - faktisk er utledet på et feilaktig matematisk grunnlag.

I 1856 døde faren og i 1858 ble Maxwell gift med Katherine Mary Dewar, datter av bestyreren ved Mariscal College. Ekteskapet forble barnløst, men blir likevel beskrevet som «a married life.... of unexampled devotion». For eksempel kunne Maxwell gjerne under fravær fra hjemmet skrive brev til sin kone to ganger om dagen. Da fru Maxwell ble syk under oppholdet i Cambridge ble det fortalt at han sov ikke i en seng på tre uker. Hun skulle vise seg å være til nytte for hans eksperimenter i fysikk også, både som fyrbøter under eksperimentene i gassteori (det var nødvendig å koke kjeler med vann for å produsere damp som ble sluppet ut i værelset), og under eksperimentene med farger i optikken.

Under Glenlair-perioden 1865-1871 fortsatte Maxwell å besøke London hver vår, og han gjorde tjeneste som eksaminator i matematikk i Cambridge. I 1867 besøkte han Italia. Hans språkkunnskaper var meget gode; fransk, tysk og italiensk bød ikke på noen problemer. Det eneste språket som ga ham noen vanskeligheter var det hollandske. Mes-

teparten av hans energi i denne perioden gikk likevel til skrivningen av den berømte «Treatise on Electricity and Magnetism», som presenterer resultatet av tjue års teoretisk og eksperimentelt arbeid.

I Cambridge fra 1871 så han det som sin oppgave å gjøre det nystartede Cavendishlaboratoriet til det beste av sitt slag, med den beste apparatur som kunne skaffes tilveie. Arbeidet var stort og krevende, og laboratoriet ble ikke ferdig utstyrt før i 1877. Han tilbragte en betraktelig del av sin tid med å bearbeide og utgi upubliserte manuskripter av Henry Cavendish (som med sine donasjoner hadde gjort etableringen av laboratoriet mulig). Maxwell gjorde en utmerket jobb, han gjentok viktige eksperimenter som Cavendish hadde utført, og påviste at Cavendish hadde vært først ute til å oppdage den inverse kvadratiske lov i elektrostatikken. Men dette arbeidet tok all tilgjengelig tid for Maxwell i de siste årene av hans korte liv, og det ligger nær og mene at hans evner kunne denne tiden vært brukt på en annen og mer fruktbar måte.

Våren 1879 var Maxwell alvorlig syk av kreft. Han reiste tilbake til Glenlair om sommeren, men tilstanden bedret seg ikke. Han holdt seg klar til det siste. Ifølge hans lege, dr Paget, «no man ever met death more consciously or more calmly».

Vitenskapelige glimt

Det er Maxwells innsats i elektromagnetismen som klassifiserer ham til en plass blant fysikkens giganter. Han var alltid omhyggelig med å gjøre det klart at han i høy grad bygget sin innsats på Faradays arbeider. Som han sier det i forordet til sin Treatise: hans hovedoppgave var å overføre Faradays fysiske ideer til matematisk form, og dermed gjøre dem mer tilgjengelige.

Der er tre store elektromagnetiske originalarbeider. Det første, «On Faraday's Lines of Force», publisert i 1856 under hans første opphold i Cambridge, hadde som mål å utlede de kjente resultater i elektrostatikken med bruk av en hydrodynamisk analogi, et «medium» som erstatning for fjernvirkningsteorien. Han andre hovedarbeid, «On Physical Lines of Force», er fra 1861-62. Her forsøker han å illustrere Faradays induksjonslov ved hjelp av konkrete mekaniske modeller. Begrepet «forskyvningsstrøm» i et dielektrisk medium blir innført. Dette mediet kan være sete for transversale bølger, og når han beregner bølgenes forplantningshastighet finner han at den er nær den målte hastighet for lyset. Han konkluderer dramatisk med at «vi kan neppe unngå den antagelse at lyset består av transversale svingninger i det samme medium som er årsak til elektriske og magnetiske fenomener». Det avsluttende arbeid, «A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field», fra 1864, unngår den mekaniske modellen og istedet kommer begrepet felt, sammen med begrepet *eter* som et allestedsnærværende medium «ved hvilket de elektromagnetiske effekter blir produsert». Sir Edmund Whittaker uttrykker sin oppfatning av Maxwells 1864-arbeid slik: «Maxwell viser oss arkitekturen av sitt system etter å ha avkledd det stillaset som var nødvendig under byggingen».

Vi tar med litt også om Maxwells innsats i statistisk mekanikk. I et fordrag i Aberdeen i 1859 påpekte han at molekylene i en gass må følge en statistisk fordeling. Han utledet fordelingsformelen, som er blitt kjent som maxwellfordelingen. Det er av de mest benyttede formler innen statistisk mekanikk. I senere arbeider undersøkte han transportegenskapene til gasser - oppførselen av viskositet, termisk konduktivitet og diffusjonskoeffisient under variasjon av temperatur og trykk. Han konkluderte at viskositeten må være uavhengig av trykket, og etterviste dette eksperimentelt. Hans siste hovedarbeid, fra 1879, legger grunnlaget for teorien for fortynnede gasser.

Etterord

Litt filosofi til slutt. Hva var det mest typiske trekk ved Maxwells begavelse? Var det kun hans store skarpsindighet eller intelligens? Neppe; det ville være et for overfladisk resonnement. Var hans egenart istedet evnen til å utnytte de tanker som lå i tiden, i en slags analogi med det som vi hører om Bjørnstjerne Bjørnsons Arne når han lager viser: «Jeg passer på de tanker som andre gjerne lar gå»? Til en viss grad var nok dette tilfelle. Tankene lå i tiden, ikke minst på grunn av Faradays store innsats. Som vi nevnte tidligere, holdt Maxwell alltid linjene bakover til Faraday klare. Tilsvarende var det også tildels innen statistisk mekanikk; selve ideen med å anvende sannsynlighetsregning og statistikk på molekylene i en gass hadde blitt påbegynt tidligere, av J. Bernoulli, Krönig og Clausius (man kan undertiden finne den feilaktige framstilling at hele ideen med sannsynlighetsbetraktninger skyldes Maxwell). Likevel, det mest framtredende trekk hos Maxwell er kanskje hans enestående evne til å utlede, på en eller annen måte, hva enten grunnlaget for analysen var solid eller gyngende, et resultat som var for det første korrekt og for det andre av varig verdi. Maxwells feltligninger har vist seg å være riktige, med en grad av nøyaktighet som Maxwell neppe selv ville ha drømt om, og disse ligningene tjener faktisk som mønster og utgangspunkt for de moderne gaugeteoriene i våre dagers forskningsfront. Det hele minner om hva det er blitt sagt om geniets egenart i sin alminnelighet; dets utmerkelse er ikke først og fremst dets intelligens, men snarere at det virker som en slags fødselshjelper for framtiden. Jeg husker fremdeles levende en uttalelse fra den japanske professor I. Fujiwara i 1966 da vi spaserte sammen en dag på Blegdamsvej i København: «Gjennombruddet i feltteori vil komme til å være basert på elektrodynamikken», den suksess som de moderne gaugeteori-

ene har hatt i de senere år gjør at vi med rimelig sannsynlighet kan konkludere allerede nå at Fujiwara hadde rett. Maxwells ideer er en forløper for våre dagers teorier.

Som nevnt ovenfor var Maxwells arbeider av grunnleggende betydning for Einstein under hans formulering av den spesielle relativitetsteorien. Som et pussig sammentreff ble Einstein født i 1879, i det samme år Maxwell døde. Så det er en kontinuitet her, både i idéutvikling og i tid. Som kjent døde Einstein i 1955. Hvis vi opphøyer kontinuiteten til prinsipp, skulle vi følgelig vente at våre dagers største feltteoretiker befinner seg blant 1955-generasjonen!

Litteratur

I utarbeidelsen ovenfor er benyttet:

1. *Cyril Domb*, James Clerk-Maxwell - 100 years later. Nature **282**, 235 (1979)
2. *James R. Newman*, James Clerk Maxwell, part II. Scientific American 1955. Trykket også i Project Physics Reader, An Introduction to Physics, **4**, Light and Electromagnetism. Distributed by Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1968-69.

FYSIKK - LIV - HELSE

Biofysikk i Norge

Thormod Henriksen *

Jeg har kalt denne oversikten for FYSIKK - LIV - HELSE.

Det er vel unødvendig å forklare leserne hva FYSIKK er - det er kanskje også unødvendig å definere begrepet HELSE. Men hva er LIV?

Mange av de store naturvitere har filosofert over dette:

Albert Szent-Gyørgyi sier: «Life is a little current of electricity driven by sunlight».

F. Engels: «Life si the mode of existence of protein bodies».

N. Bohr: «Life should be considered as the «basic postulate of biology», på samme måte som kvantebegrepet i fysikken.»

Vinteren 1943 holdt Erwin Schrødinger en serie forelesninger ved Universitetet i Dublin som dannet grunnlaget for en liten bok med tittelen; «What is life». Her beskriver han forskjellige aspekter av liv - men hva det *er* - se det forblir mystikk. Vi kan nok beskrive liv og kan langt på vei skille det levende fra det døde - men en definisjon klarer vi ikke.

Hvorfor er jeg så opptatt av dette? Jo - det er følgende årsak. Jeg ønsket å starte denne oversiktene med en definisjon av fagområdet *«biofysikk» og ved å ta for meg en rekke lærebøker fremgår det at den definisjon som samler størst oppslutning er; Biofysikk er fysikken om de levende ting (fysikken om liv).* Følgelig - hva er liv?

* Fysisk institutt UiO

Det er ofte en på biofysikk-kongresser ofrer tid på «The origin of life» ut fra den holdning at dette er starten på all biofysikk. La meg i den sammenheng få nevne hva Albert Szent-Gyørgyi sier om dette:

> «Det hele startet på en mørk lufttom klode dekket av vanndamp. Atmosfæren var sterkt reduserende dominert av «electron donors». Ved energiabsorpsjoner i ursuppen ble det skapt organiske stoffer (noe vi forresten kan etterape rent eksperimentelt). Alle elektronplasser i proteinlignende molekyler var fylt - det var ikke rom for elektronbevegelse - proteinet var en isolator.
> Ved nedkjøling av vår klode kondenserte vannet, lyset kunne nå overflaten, livet kunne begynne - utvikles og differensieres. Lysenergien spaltet vann i H og O. Oksygen er en elektron acceptor og vi fikk en donor/acceptor balanse. Oksygen kunne «ta» elektroner fra proteiner og således gi rom for bevegelse. Proteinet ble transformert fra isolator til halvleder. Ved å ta *ett* og *ett* elektron ble det dannet reaktive fri radikaler. Disse fri radikaler er betydningsfulle fra livets oppstandelse til dets slutt. Slik bygde en opp komplekse strukturer med stadig økende komplekse funksjoner.»
> «A living organism is an open, selfregulating and self-reproducing heterogeneous system, whose most important functional substances are biopolymers - proteins and nucleic acids.»

Den fundamentale enhet for liv er en celle. Ingen *mindre* enheter kan utføre de aktiviteter vi forbinder med liv - inkludert metabolisme, vekst og reproduksjon.

Det er ikke mulig for oss å slå fast det øveblikk da utviklingen passerte det punkt hvor en må karakterisere det som liv (skaperøyeblikket).

For livet i en celle kan en peke på 3 betydningsfulle områder:

1. *Cellen er omgitt av en membran.* Dette er ikke en passiv «vegg», men et dynamisk system av flere komponenter.
2. *Reaksjoner foregår på - i og innenfor membranen.* Reaksjonene gir energi for det arbeid cellen utfører og til å danne spesielle molekyler som kreves for at systemet skal funksjonere.
3. *Den nødvendige informasjon er lagret i DNA-molekylet* slik at livet kan reproduseres.

Videre vet vi at grupper av celler danner organer og muskler.

Med utgangspunkt i dette deles biofysikken ofte inn i:

a: Molecular biophysics.
b. Cell biophysics.
c. Biophysics of complex systems.

Å bevare liv - å forbedre livskvalitet det er «helse» og her kommer det 3dje ord i tittelen inn.

Biofysikkens historie

Helmholtz regnes av mange som biofysikkens grunnlegger. Vi kan nevne en rekke fremtredende naturvitere opp gjennom årene som har syslet med problemer som i dag må sies å representere *bio*fysikk. Som fag betraktet - som en del av fysikk er det likevel korrekt å si at det er fra og med siste verdenskrig vi har hatt et anerkjent fagområde - stående på egne ben, som har betegnelsen *«biofysikk»*.

Den ovenfor nevnte bok av Schrødinger fra 1944 (What is life) har nok spilt en viss rolle for biofysikkens utvikling. I 1944 kom det også en annen bok (av engelskmannen D. E. Lea) med tittelen; «Actions of radiation on living cells» og vi vet alle hvordan strålingsbiofysikk ble hyperaktuell i og med atombombene året etter. Vi må også nevne at i 1944 viste Avery og medarbeidere at DNA er det molekyl som sitter inne med all genetisk informasjon (det er «arvemolekylet»). Denne oppdagelse førte til at det ble viktig å studere DNA-molekylets struktur og virkemåte. En rekke forskningsresultater så dagens lys og vi kan nevne i stikkords form; Watson-Crick, den genetiske kode, recombinant DNA, etc.

Det er på grenseområdene mellom de gamle klassiske fag en stor del av vår tids forskningsfremsteg kommer. Denne forskning *kan* være ren grunnforskning, men den kan også være anvendt. Det vokser frem nye fagbetegnelser som «Biomedical Engineering, Molekylarbiologi, Biokjemi og Biofysikk». I denne sammenheng dukker det også opp nye institutter - løsrevet fra de gamle klassiske og i det store utland er ofte «Biophysics» et eget institutt. Ved enkelte Universiteter har biofysikk vært å sammenligne med en «gjøkunge» som har vokst seg større enn moderorganisasjonen «Department of Physics». Grunnen til dette ligger kanskje i det faktum at for 10-15 år tilbake ble biofysikk erklært som et vekstområde både internasjonalt og her hjemme.

La meg først si noen orienterende ord om internasjonal biofysikk. Den er i dag meget omfattende og inkluderer titusner av forskere. Det er en internasjonal organisasjon i biofysikk - IUPAB (International Union of Pure and Applied Biophysics) hvor også Norge er medlem gjennom en nasjonalkomite tilsluttet Det Norske Videnskabsakademi. IUPAB arrangerer internasjonale kongresser i samband med generalforsamling i organisasjonen og vi har til nå hatt 7 kongresser fra det startet i Stockholm i 1961 til den siste i Mexico City høsten 1981.

Det er en jevn og bred rekruttering til biofysikk. For å vise hvilket omfang den har kan jeg nevne at ved University og California i Berkeley har de hele 90 Ph.D. studenter i biofysikk. De tar opp ca. 25 nye hvert år ut fra en søkermasse på ca. 75. En slik flokk med velkvalifiserte «graduate students» fører naturlig nok til et rikt og bredspektret miljø.

Det er uten tvil molekylær biofysikk som er mest i skuddet - anført av membranbiofysikk og recombinant DNA-forskning. Noe av årsaken til dette ligger i det økonomiske. Det står pengesterke farmasøytiske firmaer bak.

La meg kort antyde noen prosjekter slik at det lettere forståes: En idé er å bygge viktige medisiner inn i små hulrom omgitt av en kunstig membran. Dette kan injiseres og transporteres til rett plass for så å avgi medisinene. Vi kjenner for eksempel til at nitroglycerol brukes mot angina. I tablettform har det en kortvarig virkning med topp en 6-7 minutter etter inntak. I dag eksperimenteres det med et plaster til huden og en transport av medisin gjennom membran/hud for derved å oppnå en jevn og langvarig dosering. Et annet eksempel er insulin som sukkersyke trenger. Det lages fra dyr/storfe etter en lang prosedyre. Innen recombinant DNA-forskning eller om en vil «genetic engineering» kan en nå «lure» en sverm bakterier til å lage dette nødvendige protein. Ikke bare kan det lages billigere, det kan lages nøyaktig lik den type insulin en finner hos mennesker (aminosyresammensetningen i insulin varierer noe fra et dyreslag til et annet).

Vi kan slå fast at internasjonal biofysikk er aktiv i utvikling og vekst. Hva så med norsk biofysikk? *Hvem* er vi - *hvor mange* er vi - *hva gjør vi* - er vi synlige på fysikernes kart?

Biofysikk i Norge

Biofysikk i Norge er knapt 30 år gammel. Det startet omkring 1953 da Norsk Hydros Institutt for Kreftforskning satset på fagområdet strålingsbiofysikk. En viss rolle spilte daværende direktør R. Eker som ga støtet til at biofysikk skulle ha sin plass sammen med biokjemi, biologi og medisin i kampen mot kreftsykdommene. Dette institutt har fortsatt den største biofysikkgruppe i Norge.

Som vi vet presenterte Norsk Fysikkråd i oktober 1981 en oversikt: «Grunnforskning i fysikk i Norge». Her ble de ulike fagområder spesielt studert (se FFV nr. 2 1982).

Biofysikk har hatt en betydelig vekst fra 1967 og frem til i dag, noe som klart vises i Fig. 1. Vi er nå nærmere 40 forskere som arbeider med biofysikk grunnforskning. Den sterke veksten vi kan notere i 1970-årene skyldes i det vesentlige oppbyggingen av 2 grupper i Trondheim - både ved NTH og NLHT. Forskningen er stort sett knyttet til 4 grupper som vist i tabell 1. Tabellen kan tyde på at det har vært en voldsom økning ved NHIK (Radiumhospitalet). Dette er neppe en reell økning, men heller en definisjonssak - hva er biofysikk og hvem er engasjert i slik forskning ved et stort institutt som arbeider med tverrfaglige prosjekter.

I tillegg til de grupper som tabell 1 omfatter, har vi omkring 40 hospitalfysikere (det er blant annet 16 ved Statens Institutt for Strålehygiene og 10 ved stråleterapiavdelingen ved Radiumhospitalet). Det drives utvilsomt også noe biofysikk-forskning ved

en rekke andre institutter av forskere som primært ikke regner seg som biofysikere. Omfanget av denne forskning er det vanskelig å kvantifisere.

På undervisningssiden har vi i dag 3 professorer, 1 professor II, 2 dosenter og 4 amanuenser.

Det har vært god tilgang på hovedfagsstudenter til biofysikk de siste årene og vi har nok utdannet noe slik som mellom 5 og 10 cand. real. og siv.ing pr. år. Det har gått en «grønn bølge» over verden hvor biologi var «in». Biofysikk har nok tildels ridd på denne bølgen - mange studenter har følt seg tiltrukket av en kombinasjon mellom fysikk - biologi - medisin.

En rekke av de unge studenter har vært meget gode og har satset på en videreerekruttering fram til dr.philos. nivå. Vi har de siste årene utdannet mellom 1 og 2 dr.philos. pr år. Dette har skapt liv og aktivitet og gode forskningsresultater, men siden veksten har foregått i en tidsepoke med stillingsstopp (*faste* stillinger) har det ført til en rekke åremålsansatte. Som det fremgår av Tabell 1 er det omkring 1.3 åremålsansatt for hver fast ansatt i biofysikk (i de fleste andre fagområdene i fysikk er dette forholdet omkring 0.5). Dette betyr at de åremålsanstatte er ytterst betydningsfulle for en rekke forskningsprosjekter i Norsk biofysikk. Mangel på faste stillinger og sparetiltak har ført til dystre tilstander for både åremålsansatte og forskningsprosjekter en rekke steder. Selv de aller beste med forskningsresultater som har høstet internasjonal anerkjennelse har vi vanskeligheter med å få beholde i fagområdet. Dette skaper usikkerhet og for oss etablerte går en god del av tiden med til å skrive søknader.

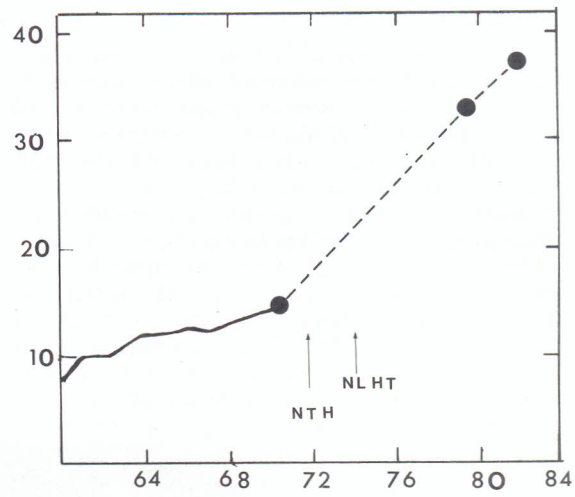
Organisasjonsmessig er Norsk biofysikk knyttet til IUPAB gjennom Nasjonalkomitéen. Vi har ikke, som i Sverige, et eget biofysisk selskap, men som kjent har vi en egen faggruppe inne NFS som tildels fører en anonym tilværelse.

Forskning

Jeg kan med en gang si at med det omfang Norsk biofysikk har kan vi ikke dekke alle områder av biofysikken. Vår innsats er mer å betrakte som spredte nålestikk og det er vel fair å si at biofysikk står svakt i Norge sammenlignet med de fleste andre land.

Det området der vi har vært sterke og vel kanskje fortsatt er sterke, er strålingsbiofysikk. Det var her det startet og målsettingen var å få basalkunnskaper om de prosesser som skjedde når ioniserende stråling kunne drepe celler. Vi så jo hver dag i hospitalet det makroskopiske resultat av en strålebehandling - dette at cellene dør - men detaljene i de mange fysikalsk/kjemiske prosesser som foregår var langt fra klarlagt. Jeg kan nevne et par ting som påskyndet interessen for strålingsbiofysikk.

Like etter at de første atombomber ble sprengt kom det frem et intenst ønske om å finne beskyttelse mot radioaktiv stråling. Man trodde at det



1. Antall forskere i Norsk biofysikk fra 1960 til 1982. I begynnelsen av 1970-årene startet de 2 gruppene i Trondheim (NTH og NLHT). Figuren er hentet fra NFR's utredning «Grunnforskning i Fysikk i Norge» og ajourført til mai 1982.

Tabell 1.
Struktur og vekst av Norsk biofysikk 1970 til 1982. Grunnforskningen foregår i 4 grupper. To av disse er kommet til etter 1970. Forholdet mellom åremålsansatte og fast ansatte (for 1982) er gitt i kolonnen til høyre.

	År			*Forh. (1982)*
	1970	*1979*	*1982*	*Åremålsansatt / Fast ansatt*
NHIK (Radiumhosp.)	*5*	*9*	*17.7*	*1.08*
Fys. inst. UiO	*7*	*7.5*)*	*5.7*	*1.85*
NTH	*0*	*11.5*	*9.0*	*2.0*
NLHT	*0*	*5.6*	*6.0*	*1.0*
SUM	*12.0*	*33.6*	*38.4*	*1.33*

**) Når antall forskere ikke er heltallig, skyldes dette at noen er ansatt bare en del av året.*

skulle være mulig å finne kjemiske stoffer som beskyttet - som drastisk kunne modifisere stråleforløpet. I dette arbeid og spesielt i studiet av de mekanismer som ligger til grunn for forandring av strålevirkningen har nordmenn deltatt med bravur.

Et annet helt analogt problem finner vi ved behandling av kreftsvulster. I de sentrale deler av en tumor hvor blodtilførselen er liten, finner vi celler med redusert oksygeninnhold. Slike celler er *mer* motstandsdyktige mot stråling og representerer derfor en alvorlig hindring for en vellykket strålebehandling. Det er derfor et klart behov for å finne metoder for å øke strålevirkningen til disse såkalte «hypoxic cells».

Som nevnt vokste det frem et godt norsk miljø innen strålingsbiofysikk. Dette var i første rekke konsentrert til NHIK, men også gruppen ved UiO med Aadne Ore i spissen tok del i dette arbeid. Mens Radiumhospitalet har et nært og aktuelt anvendt siktemål for sin forskning, har Universitetene i større grad kunnet la basalinteressene få fritt spillerom.

Fra Fysikkens Verden i Tapir:

- HIIS HAUGE: FYSIKK FOR BYGG
  1981, 142 sider, kr. 65,-
- KNUTSEN: ENGELSK – NORSK TEKNIKK OG REALFAG
  1980, 146 sider, kr. 70,-

André og Knutsen: Oppgavesamlinger m. løsn. i følgende fag:

- OPTIKK
  1971, 142 sider, kr. 28,-
- SVINGNINGER OG BØLGER
  I arbeid
- VARMELÆRE
  1981, 136 sider, kr. 60,-

TAPIR UNIVERSITETET I TRONDHEIM. Ordretelefon: (07) 982522

ANNONSEPRISER

Helside	kr. 750,-
Halvside	kr. 420,-

Utgiverpoststed: 7034 Trondheim - NTH.

Norsk Fysisk Selskap

Formann: Dosent E. Osnes, Fysisk Institutt, Universitet i Oslo.

Styre: Dosent R. S. Sigmond, NTH, Trondheim.
Amanuensis Noralv Bjørnå, Universitetet i Tromsø.
Førstelektor T. Engeland, Universitetet i Oslo, Blindern.
Førstelektor K. Myklebost, Universitetet i Bergen.

Selskapets sekretær:
Gerd Jarrett, Fysikkavdelingen,
Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller.

Postgirokonto: 5 88 38 89.
Bankgirokonto: 5102.20.16001.

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Høgskolelektor Knut Jostein Knutsen
Granlivn. 24, Ugla, 7000 Trondheim
Førsteamanuensis Hans Kolbenstvedt
Fysisk institutt, NLHT,
Universitetet i Trondheim, 7055 Dragvoll

Redaksjonssekretær:
Lab.ing. Halvard Torgersen, Universitetet i Trondheim, Norges Tekniske Høgskole, 7034 Trondheim-NTH.

Redaksjonskomite:
Førsteamanuensis Ove Bratteng, Nordlysobservatoriet, 9000 Tromsø.
Førsteamanuensis Alf Halsteinslid, Fysisk institutt, Universitetet i Bergen, 5014 Bergen.
Førsteamanuensis Kjell Mork, Fysisk institutt, NLHT, Universitetet i Trondheim, 7055 Dragvoll.
Forsker Jan Myrheim, NORDITA, NBI, Blegdamsvej 17, 2100 København Ø, Danmark.
Forskningsstipendiat Svein Sjøberg, Skolelaboratoriet, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, Oslo 3.
Forsker Olav Steinsvoll, Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller

Fra Fysikkens Verden utkommer kvartalsvis. Abonnement kan tegnes gjennom postverket eller direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 50.00. Årsabonnement for studenter og skoleelever kr. 25.-.

Sekretær:
Gudrun Græsmann.

Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden
Fysisk Institutt, Universitetet i Trondheim
Norges lærerhøgskole
7055 Dragvoll

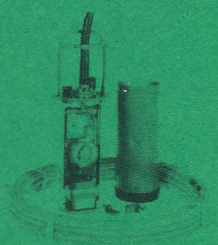
Postgirokonto: 5 10 47 24
Bankgirokonto: 8601.36.12279

Data Collection.....

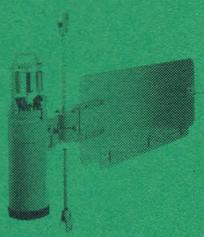
AANDERAA INSTRUMENTS has been developing and manufacturing oceanographical and meteorological data recording instruments since 1966.

The PRODUCTS are designed for long term unattended operation and are known for high quality and reliable performance.

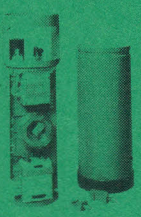
WEATHER STATIONS
Solar powered stations, designed for automatic recording / telemetering of data. A total of 11 different parameters can be registered. A complete range of standarized sensors are available for this station.



TEMPERATURE PROFILERS
for recording of temperature profiles in the sea or lakes. The system employes an 11 point thermistor string. The string is available in lengths up to 500 meters.



CURRENT METERS
for recording speed, direction and water temperature of the ocean currents. Available also with sensors for conductivity and pressure for calculation of salinity.



WATER LEVEL RECORDERS
for determining water level by precise measurement of the hydrostatic pressure at the sea bed. Resolution is 0.001% of full range.

Request datasheets for detailed information.

AANDERAA INSTRUMENTS
DATA COLLECTING INSTRUMENTS FOR LAND, SEA AND AIR

FANAVEIEN 13
P.O. BOX 160
5051 BERGEN, NORWAY
TEL.: (05) 27 40 30
TELEX 40049

N.T.H.-Trykk
Trondheim