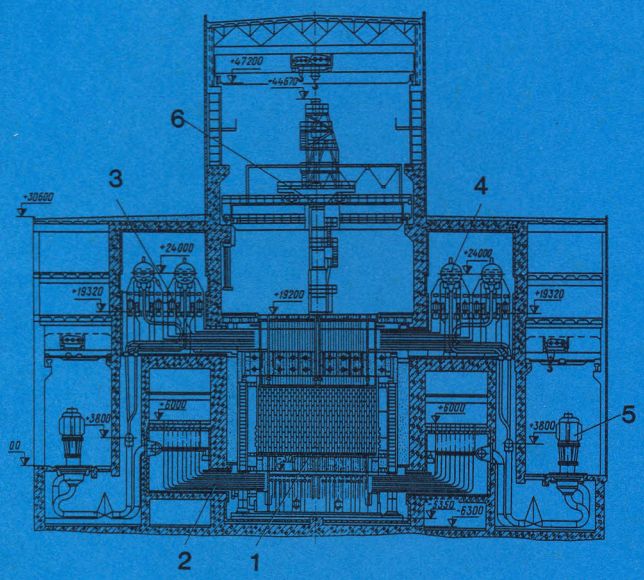
Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP



Lettvannskjølt grafittmoderert reaktor (Tsjernobyl type)

INNHOLD:

Redaktørskifte	49
Sverre Bruun 100 år	49
Olaf Devik 100 år	50
Ole Rømer og lyshastigheten	50
Stråledoser fra Tsjernobyl . . .	52
Måling av ^{137}Cs med enkle midler	38
Internasjonale dager ved UiO	41
Tsjernobylulykken - bakgrunn og tekniske omstendigheter	43
Årsmelding fra NFS 1985/86	46
Norsk Fysisk Selskap	69
Norsk Fysikkråd	70
Fysikermøtet 1987	71
Den 17. internasjonale Fysikkolympiaden	71
Kritisk evaluering av norsk forskning	72
Seminar på Dombås	72
Nye medlemmer	72
Trends in Physics	73
Radioaktivitet og røntgenstråling	74
Anvendelse av ioniserende stråling	81

Nr. 3/4 - 1986
Årgang 48
ISSN-0015-9247

NORSK FYSISK SELSKAP

TRENDS IN PHYSICS
EPS -7

SEVENTH GENERAL CONFERENCE OF THE EUROPEAN PHYSICAL SOCIETY
HELSINKI, AUGUST 10–14, 1987

Er du interessert i å delta på Helsinki-møtet? Hvis et tilstrekkelig antall av medlemmene er interessert, vurderer selskapet å arrangere en fellestur.

Gi beskjed innen 15. januar 1987.

FLY
Gruppereise, (fra Oslo) minimum 10 personer, felles utreise, individuell hjemreise. Ca. kr. 2.850,- (pris fra 1. nov. 1986).

TOG/BÅT
Pris for en gruppe på 20 ca. kr. 1.490,- (pris pr. 15. okt. 1986) med plass i dobbeltlugar. Avreise Oslo søndag morgen kl. 8.55, ankomst Helsinki mandag morgen kl. 6.55.

STIPEND
Styret har bevilget 4 reisestipend à kr. 3.000,- for dr.grads-/hovedfags-/5. års-studenter. Søknad sendes styret innen 15. januar 1987.

Videre opplysninger og påmeldingsskjema fås hos
Gerd Jarrett, Fysikkavdelingen, Institutt for energiteknikk,
Postboks 40, 2007 Kjeller.

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 3/4 - 1986

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

48. årgang
ISSN-0015-9247

REDAKTØRSKIFTE

Med dette dobbeltnummer avslutter Fra Fysikkens Verden sin 48. årgang. Hermed avslutter også Knut Jostein Knutsen og Hans Kolbenstvedt sin redaktørgjerning. Fra nyttår 1987 flyttes redaksjonen til Oslo, der Øivin Holter og Finn Ingebretsen overtar som redaktører.

FFV ble startet av Fysikkforeningen i Oslo i 1939. Professor Egil A. Hylleraas var den første redaktør, og han ønsket i sin tiltredelseserklæring at tidsskriftet skulle være «halvveis populært, det vil si at det skulle kunne leses av fysikklærere, realstuderende med fysikk som fag, ingeniører og læger med interesse på området, forsåvidt delvis også av elever i realgymnasiet».

Han holdt også døren åpen for korte meddelelser av originalarbeider, som f.eks. resyméer av konferanseforedrag. Hylleraas holdt fram som redaktør helt til 1956, da Gotfred Kvifte overtok. Fra samme tidspunkt overtok også Norsk Fysisk Selskap utgivelsen av tidsskriftet. Fram til i dag har tidsskriftet hatt disse redaktører:

E. A. Hylleraas	1939-1955
G. Kvifte	1956-1961
H. A. Olsen	1962-1976
O. Steinsvoll	1977-1981
K.J. Knutsen og H. Kolbenstvedt	1981-1986

Hylleraas sin redaksjonelle linje har stort sett vært fulgt opp av de senere redaktører. Steinsvoll hevdet at tidsskriftet burde være en mellomting mellom dagsavis og fagtidsskrift, og dette programmet har også Knutsen og Kolbenstvedt fulgt. De enkelte nummere har vært bygd opp omkring et par større artikler av faglig art og to-tre andre med pedagogisk og historisk stoff. Nytt fra forskningens verden har vært presentert gjennom korte meldinger, og det har også vært plass til bokanmeldelser og annen informasjon. Gjennom korte, fyndige redaksjonelle notiser har Knutsen og Kolbenstvedt gitt til kjenne sin mening om aktuelle spørsmål, ofte knyttet til fysikkundervisningen.

Fysikere skriver dessverre ikke alltid lettfattelig, og de avtroppende redaktører fortjener honnør for at de utrettelig har forsøkt å få forfatterne til å uttrykke seg enkelt og klart. Som de tidligere redaktører har de med beskjedne økonomiske midler skapt et allsidig og interessant tidsskrift som NFS kan være bekjent av. NFS har til formål å fremme forskning, opplysning og samarbeid på fysikkens område. Her har FFV vært uunnværlig. Vi takker Knutsen og Kolbenstvedt for deres innsats for norsk fysikk gjennom deres arbeid med tidsskriftet!

Når redaksjonen av tidsskriftet fra nyttår flyttes til Oslo, slutter også tidsskriftets redaksjonssekretær gjennom 23 år, laboratorieingeniør Halvard Torgersen, og tidsskriftets sekretær gjennom 17 år, førstekontorfullmektig Gudrun Græsmann. NFS vil gjerne takke dem for det store arbeid de har nedlagt for tidsskrftet gjennom alle disse år.

Samtidig ønsker vi den nye redaksjon med redaktørene Øivin Holter og Finn Ingebretsen og redaksjonssekretær Tor Langeland velkommen. Deres fagområder er henholdsvis plasmafysikk, kjernefysikk og biofysikk. Dessuten er Ingebretsen bestyrer og Holter visebestyrer ved Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo. Selskapet er glad for at de ser FFVs oppgave som så vesentlig at de også har villet påta seg ansvaret for tidsskriftet blant sine mange andre gjøremål.

Redaksjonen av dette dobbeltnummer er utført som et samarbeid mellom de av- og påtroppende redaktører. Fra nyttår vil så tidsskriftet komme i nytt format og med ny lay-out.

Eivind Osnes

SVERRE BRUUN 100 år

Lektor Sverre Bruun fyllte 100 år 15. mai i år.

Bruun ble født i Moss og tok artium i 1904. I 1910 tok han matematisk- naturvitenskapelig embedseksamen. Han tok pedagogisk seminar året etter. Samme år ble han ansatt ved Tønsberg kommunale høgre almenskole. Han gikk av på pensjon i 1958. Mest kjent er Bruun for sine lærebøker i kjemi og fysikk.

Fysikkbøkene skrev han sammen med O. Devik. I alt har Bruun vært forfatter eller medforfatter av ca. 20 lærebøker og elevøvelseshefter. Den første

læreboken med elevøvelser skrev han i 1914. På den tiden brukte en ikke elevøvelser og realfagene var lavstatusfag. Bruun hadde tro på arbeidsskoleprinsippet før det på godt norsk ble hetende «learning by doing». Han regnes som «far» til elevøvelsene i Norge.

Obligatoriske elevøvelser i fysikk og kjemi ble det først i henholdsvis 1924 og 1935.

Bruun var medlem av Undervisningsrådet (som nå heter Rådet for videregående opplæring) fra 1929-57. En av hans oppgaver var å reise rundt i landet å inspisere naturfagrom og utstyr. Han var også behjelpelig med å planlegg mange fysikk-, kjemi- og biologirom.

I 1948 fikk Bruun St. Olavs orden for «fortjenstfullt arbeid med naturfagene i norsk skole».

I et intervju i Skoleforum uttaler Bruun: «I mine timer pleide jeg å la elevene ta to minutter hver time til å tenke over ordet GLEDE som jeg da skrev på tavla».

Jeg vil tro at det var to vel anvendte minutter, og som norsk skole burde gjøre til tradisjon.

K.J.K.

Olaf Devik 100 år

Olaf Devik er født 20. desember 1886 i Gjerdrum og blir således 100 år i år. Han tok artium ved Oslo Katedralskole i 1904 og embetseksamen ved Universitetet i Oslo i 1911 med fysikk som hovedfag. I studietiden arbeidet Devik for professor Carl Størmer og professor Wilhelm Bjerknes. Høsten 1911 begynte han å arbeide hos professor Kristian Birkeland. I 1913 fikk han et utenlandsstipend. Det brukte han til et opphold hos professor Philipp von Lenard i Heidelberg. I 1914 fikk han stilling som amanuensis ved Fysisk institutt ved UiO. Samme år tok Devik på seg arbeidet med å organisere stormvarsling i Nord-Norge. Han oppholdt seg da en stor del av tiden frem til 1918 på observatoriet på Haldde i Alta. Fysisk instiututt i Tromsø ble opprettet i 1918, og her arbeidet Devik frem til 1922. Han har en stor del av æren for opprettelsen av dette instituttet. Fra 1922 til 1932 arbeidet han som dosent i fysikk ved NTH, og arbeidet da for en stor del med høgspenningsfysikk. I denne tiden startet samarbeidet med Sverre Brun om de nå så kjente lærebøkene for middelskolen (realskolen) og gymnaset. Han begynte også å interessere seg for isforhold i elver og innsjøer. Et arbeide som han fortsatte med lenge etter han ble pensjonert.

Fra 1932 til 1938 arbeidet Devik ved Christian Michelsens institutt.

Fra 1938 finner vi Devik som ekspedisjonssjef i Kirke- og undervisningsdepartementet. Men han ble avsatt av Quislingregjeringen i 1942. I 1943 flyktet han via Sverige til England. Her opparbeidet han gode kontakter med engelske høgskoler og universiteteter. Dette kom vel med da Norge etter krigen trengte studeplasser i England. Etter krigen arbeidet Devik meget med utbygging av høyskoler og universiteter; kanskje mest med nybyggingen på NTH.

K.J.K.

NATURVITENSKAP PÅ NORDISKE FRIMERKER

OLE RØMER OG LYSHASTIGHETEN

Anders Johnsson *

I hvert fall to årstall er spesielt betydningsfulle i lyshastighetens historie. Her skal vi hovedsaklig legge vekten på det første, 1676. Inn på scenen kommer Ole Rømer, født i Århus i 1644.

Frimerkebildet kom 300 år etter hans fødsel.

Det går en tråd tilbake til en annen naturviter i Danmark, Tycho Brahe. Tycho's observasjoner på Uranienborg var av stor interesse for det Franske Vitenskapsakademiet. Man trengte imidlertid en god lengdegradsbestemmelse for Brahes observatorium og sendte derfor Jean Picard ved Parisobservatoriet til Danmark. Picard kom tilbake til Paris og brakte med seg en Ole Rømer - 27-årig assistent til professor Bartholinus i København.

Ole Rømer begynte i 1672 å arbeide med observasjoner av Jupiters måner. Drivkraften for dette var at man ville skape seg en mulighet for å kunne navigere på den åpne sjø. Man ville undersøke om de regelmessige bevegelsene av Jupiters satelitter kanskje kunne bli brukt som en klokke (som jo er nødvendig for å bestemme en lengdegrad).

Jupiters måner kom ikke til å spille noen rolle for fartøysnavigasjonen (det ville sannsynligvis også ha vært helt umulig å observere månebevegelsene med kikkert fra et bevegelig skrog i rom sjø). Men i lyshastighetens historie ble de godt kjent. La oss ta et skritt fram til september 1676.

Paris, høsten 1676

Rømer presenterer nå for Vitenskapsakademiet sin forutsigelse at man vil kunne se en av Jupiters måner dukke opp fra Jupiters skygge 10 min. senere enn hva tabellene gir (de presiserer 9. november 1676 klokken 5h25min 45s). Og den 9. november ser astronomene ved Parisobservatoriet at Jupitermånen dukker opp akkurat slik Rømer har forutsagt, klokken 5h 35min 45s.

Hvorfor denne 10 minutters forsinkelse sammenlignet med tabellene?

Lørdagen den 21. november 1676 (møtedag for Vitenskapsakademiet) presenterer Rømer en forklaring. Han foreslår at forsinkelsen skyldes at lysets hastighet er endelig og at det tar stort sett 22 min. for lyset å gå en strekning som tilsvarer jordbanediameteren. Det ble derfor en forskjell i tiden for Jupitermånens opptreden som simpelthen skyldes at jordens avstand til Jupiter er forskjellig ved forskjellige årstider.

En uke senere ble Rømers hypotese diskutert på Vitenskapsakademiets møte og den 5. desember (to uker senere) angrep Cassini (Rømers lærer og sjef) resultatene og kom med innsigelser. Den 7. desember blir så Rømers resultat utgitt - så raskt går ikke publiseringen i våre dager! I årene som kommer gir hans resultat opphav til reaksjoner fra Huygens i Holland, Hooke, Halley etc. i England osv. I 1686 aksepterer Newton Rømers oppdagelse i sin «Principia» og skriver blant annet at det tar omtrent 10 min. for lyset å gå fra solen til jorden.

Verdien på lyshastigheten

Vi har vel alle hørt om Rømers bestemmelse av lyshastigheten. Men hvilken verdi på c fikk han da fram? Med kjennskap til jordbanens diameter og til den tid det tar for lyset å gå den, kan man jo regne ut c-verdien. Tidsforsinkelsen skulle ifølge Rømer være omtrent 22 min. Diameteren til jordbanen var i 1676 vanskelig å få et godt mål på: grekerne hadde gitt metoder, men usikkerheten var stor.

Andrzej Wroblewski har gjort en meget interessant sammenstilling i Am. J. Phys. (1985) over hvilke c-verdier, som forskjellige forfattere tilskriver Rømer. Et stort antall engelske, tyske, russiske etc. tekster/bøker i fysikk eller i vitenskapshistorie er blitt gjennomgått. Typiske verdier som ofte blir gitt på Rømers lyshastighetsverdi er 200.000, 210.000, 250.000, 300.000, 350.000 km/s, 50 forskjellige referanser gir, etter hva jeg kan se, stort sett 30 forskjellige verdier!

Lærebøkene gir også en rekke forskjellige årstall for *når* Rømers oppdagelse kom (1675, 1676, 1678, 1876!, 1666, 1656 etc) - men man ligger oftest i riktig årstiende.

Hva er dette? Er ikke fysikkbøker og bøker i vitenskapshistorie eksakte i sin gjengivelse av Rømers c-verdi?

Sannheten er at Rømer ikke selv ga en verdi på c. Man har simpelthen tilskrevet Rømer forskjellige verdier på c. Enkelte forfattere har sannsyligvis selv regnet ut lyshastigheten med utgangspunkt i Rømers 22 min.-opplysning og med forskjellige antakelser om jordbanediameterens lengde. Så har man fått en rekke forskjellige c-verdier, satt i gang å sitere hverandre, av og til galt, og så har ballen etterhvert rullet uten at noen har gått til kilden og sett hva Rømer selv skrev. Originalpublikasjonen «Journal des Scavans» (altså fra 1676, p. 233), sier Wroblewski, er forholdsvis enkel å få tak i.

Rømers mål var ikke å finne en eksakt verdi på c. Han var ute etter noe mye mer fundamentalt: han ville bevise at lyshastigheten var *endelig*. Det hadde nærmest vært en doktrine i 2000 år at lyset beveget seg momentant, med uendelig stor hastighet skulle vi vel si. Bare noen få enkelte individer satte spørsmålstegn for doktrinens gyldighet, Galileo var egentlig den første som gjennom eksperiment ville prøve doktrinen. Men han misslyktes i dette, (Van Nostrand's Scientific Encyclopedia - 1976 - hevder til og med at det ikke var Rømer, men Galileo som utførte lysobservasjoner i 1676. Dårlig historieskriving får her enda et bidrag: Galileo døde faktisk allerede 1642!). Rømers bidrag var altså fundamentalt og ga en ny kvalitativ forståelse av lyset. Det var et stort og betydningsfullt skritt fremover.

Rømer tilbake til København

Rømer drar seg tilbake til Danmark i 1682. Det var nok bra - som protestant hadde han fått vanskeligheter hvis han hadde blitt i Frankrike da Ludvig den 14.e opphevet det nantiske ediktet tre år senere. I København ble han en opptatt man og pålagt mange offentlige oppgaver. Politi- og borgermester i byen, astronom og professor i matematikk m.v. m.v., dette tok tid. Meridian-sirkelen ble oppfunnet. Notater fra hans virksomhet er sjeldne - en stor brann i København i 1728 tok største delen av dem, bare tre dagers observasjoner finnes igjen (tredagersarbeidet, Triduum, fra 21.-23. september 1706).

Tredve år etter publiseringen av oppdagelsen av lysets endelig hastighet, altså i 1706, leser Rømer oversatte deler fra Newton's «Opticks». I marginen noterer han (og nevner seg selv i tredje person slik man pleide å gjøre) at «Newton nå har godkjent lysets forsinkelse («luminis mora») slik Rømer og andre har demonstrert. . . Huygens sier at lys er 600.000 ganger raskere enn lyd». Ikke en gang her og nå presiserer Rømer altså lyshastigheten i km/s! Det er fortsatt viktigst for ham at lyshastigheten er endelig.

I 1710 dør Rømer, hans observatorium ble nedlagt. Ikke før i 1978 ble restene gravet fram av en entusiastisk musikk-lærer med brede interesser. Nå finnes det et lite Ole Rømer-museum i København,

ikke mange meter unna plassen for det gamle observatoriet.

Varierende c?

Er lyshastigheten konstant fra år til år?

Ikke alle mener det. I senere år har den såkalte kreasjonistbevegelsen prøvd å føre bevis for at c hele tiden minker. Ved hjelp av ekstrapolasjoner har man funnet fram til at minkningen i c skulle «støtte» hypotesen om at universet skulle ha blitt skapt for omtrent 6000 år siden. Fysikere er overbevist om at c-verdien ligger fast og er en naturkonstant - og noen tendens til minkende c-verdi har man ikke kunnet finne i de senere årenes målinger.

Lyshastighetens historie blir endelig!

Jeg nevnte innledningsvis at to viktige årstall preger lyshastighetsmålingenes historie. Det første av dem er Rømers publiseringsår 1676, da lyshastigheten ble funnet å være endelig. Det andre årstallet jeg tenker på ligger mye nærmere oss: 1983.

I 1983 ble det bestemt at man skulle innføre en ny internasjonal meter-definisjon. General Conference of Weights and Mesures besluttet da at en meter skulle være lik den strekning som lyset tilbakelegger i vakuum på 1/299792458 s. En av konsekvensene av den nye meterdefinisjonen er at lyshastigheten aldri mer kan bli målt eksperimentelt! Lengdeenheten meter er gitt ut fra en definert lyshastighet og da kan man jo ikke bestemme lyshastigheten selv i meter pr. sekund.

Lyshastighetens målehistorie kan sies å begynne den 5. november 1676 da Rømer rapporterte om Jupiters måner. Lyshastighetens målehistorie kan sies å slutte den 20. oktober 1983 (klokken 15.17!) da man omdefinerte meteren.

I 300 år prøvde mennesket å finne bedre og bedre verdier på lyshastigheten c. Rømer startet jo opp noe som senere ble en målefysikkens hjørnestein, der presisjonsmålingene feiret sine triumfer. Disse forsøkene er et stykke fascinerende og viktig fysikkhistorie.

*) Fysisk institutt, UNIT/AVH

HUSK KONTINGENTEN

STRÅLEDOSER FRA TSJERNOBYL I RELASJON TIL NATURLIG STRÅLING

Terje Strand og Erling Stranden *

INNLEDNING

Det radioaktive nedfallet vi fikk over Norge etter reaktorulykken i Tsjernobyl har stått i fokus i media denne sommeren og høsten. Usikkerheten og engstelsen i befolkningen har vært stor, og det har vært en god del diskusjoner om stråledoser og risikobetraktninger i forbindelse med dette. I denne artikkelen vil vi oppsummere en del av de målingene og doseestimatene som er gjort, og vi vil også sette dette i relasjon til de stråledoser vi årlig får fra naturlige strålekilder i Norge.

DOSER FRA NEDFALLET

1) Ekstern stråling

Like før kjernekraftulykken i Tsjernobyl den 26. april ble måledelen i et kartleggingsprosjekt av naturlig gamma-stråling i norske boliger startet opp. Ialt 4500 målinger i et tilsvarende antall boliger fordelt på alle Norges 454 kommuner var planlagt gjennomført i løpet av 1986. Boligene ble utvalgt fra Statistisk Sentralbyrås Boligtelling 1980 etter en samplingsprosedyre basert på epidemiologiske kriterier. Dette fordi materialet videre skulle benyttes i en korrelasjonsanalyse med kreftdata, i samarbeid med Kreftregisteret. Det vitenskapelige formål med prosjektet var å fremskaffe data når det gjelder kreftrisiko for lave doser av ioniserende stråling. Forutsetningene for et slikt prosjekt i Norge lå meget godt tilrette på grunn av en forholdsvis betydelig geografisk variasjon i naturlig gamma-stråling, relativ liten flyttefrekvens og den unike kvalitet som Kreftregisterets data representerer i internasjonal sammenheng. Prosjektet ble finansiert av Landsforenignen mot Kreft og lagt opp som et samarbeid mellom Statens institutt for strålehygiene, Kreftregisteret og Fysisk og Biologisk Institutt ved Universitetet i Oslo.

Målemetoden for prosjektet var basert på termoluminescensdosemetri (TLD), med postforsendelse av dosimetre til boliginnehaver og med en måneds integrasjonstid. På grunn av et begrenset antall dosimetre og begrenset arbeidskraft, ble måledelen delt opp i 5 serier á 900 dosimetre. Første måleserie ble sendt ut i perioden 22.-26. april, og var ventet tilbake for avlesning ved Statens institutt for strålehygiene siste dagene i mai. På grunn av opplegget ble første måleserie begrenset geografisk til Østfold, Akershus/Oslo, Hedmark og de nordlige deler av Opp-

*) Statens institutt for strålehygiene. P.O.Box 55, 1345 Østeraas. T. Strand er forskningsstipendiat; Landsforeningen mot Kreft.

land. Da de første dosimetrene ble avlest forsto vi meget fort at de var påvirket av nedfallet, på grunn av de høye verdiene vi fikk; særlig for kommunene i de nordlige deler av Oppland. Vi forsto også at det ville være vanskelig å fortsette prosjetet slik det opprinnelig var skissert på grunn av et betydelig innsalg av langlivede nuklider som vil influere på gammastrålingen på lang sikt. Prosjektet ble derfor omformet til å dreie seg om innendørs doser fra nedfall. Det geografiske området vi gjorde målinger viser seg å representere et meget bredt variasjonsintervall med hensyn til nedfallsnivå. Blant annet viser det seg, på grunnlag av jordprøvedata fra Statens institutt for strålehygiene, at områdene i de nordlige delene av Oppland er av de som har fått størst nedfall pr. areal i hele Norge. Områder med lavt nedfallsnivå er representert ved f.eks. Oslo/Akershus. På grunnlag av tidligere måledata når det gjelder innendørs gamma-stråling i området og et ganske omfattende kalibreringsarbeid, ble så mildere innendørs dose første måned fra nefallet beregnet for hver kommune. Resultatet av dette klassifisert i doseintervaller, er vist på kartet i figur 1. Vi har gjort oppfølgende målinger i noen få utvalgte hus i de områdene med høyest nedfall blant annet med den hensikt å sammenlikne decay innendørs med utendørs. Vi har videre påbegynt forberedelser for å gjennomføre nye målinger i de 900 husene vi hadde målinger i under nedfallet. I dette videre arbeidet er vi i hovedsak interessert i:

1) Forholdet innendørs/utendørs i dosenivå som funksjon av tiden.
2) Beregninger av midlere effektiv doseekvivalent fra ekstern stråling fra nedfallet for alle norske kommuner.

Foreløpige resultater basert på innendørs målinger første måned og beregninger av eksternt dosenivå basert på overflateaktivitetsdata fra jordprøver, viser at midlere doserate innendørs første måned er ca. 60% av utendørs. På grunn av at man oppholder seg så stor del av tiden innendørs, vil likevel innendørs beståling bidra med ca. 70% til den totale effektive doseekvivalent fra ekstern stråling første måned.

Et foreløpig konservativt estimat av midlere effektiv doseekvivalent fra nedfallet til Norges befolkning i løpet av første år fra ekstern stråling viser en verdi på 0,11 mSv.

2) Inhalasjon

I den første tiden etter ulykken var det varierende mengder radioaktive nuklider i lufta over Norge alt etter hvordan vinden sto i forhold til ulykkesstedet. Målinger ved Statens institutt for strålehygiene (SIS) og Norsk institutt for luftforskning (NILU) har blitt brukt til å estimere dosene til befolkningen fra inhalert radioaktivitet. Inhalasjonsdosene domineres av radioaktivt jod (I-131) i lufta de første 2 uker etter ulykken startet, og beregninger utført av SIS gir et doseoverslag på ca. 0,005 mSv i middel til den norske befolkningen.

3) Inntak via matvarer

Dosene til befolkningen pga. radioaktive stoffer fra Tsjernobyl i matvarer er på nåværende tidspunkt vanskelig å estimere. Man kan imidlertid ved å se på innholdet av Cs-137 og Cs-134 i de viktige matvaresortene kunne estimere midlere doser til befolkningen utfra data om midlere konsum av de ulike matvarer. Den største mengde av den mat vi spiser selges over disk og er kontrollert etter en grenseverdi på 600 Bq/kg (total cesium), slik at «gjennomsnittskonsumenten» neppe spiser særlig mye matvarer med høyere aktivitet enn dette. Utfra slike betraktninger har man kommet fram til en midlere effektiv doseekvivalent på 0,15 mSv det første år etter ulykken pga. nedfallsaktivitet i maten. Enkelte befolkningsgrupper har et spesielt kosthold, og det er her vanskelig å anslå dosene til disse, men det er lite trolig at noen får en effektiv doseekvivalent over noen få mSv første året uansett kosthold.

NATURLIG STRÅLING

1) Ekstern gammastråling

Den naturlige eksterne gammastrålingen vi utsettes for skyldes i første rekke nuklider i U-238 og

Th-232 kjedene samt K-40. Disse radioaktive elementene finnes i varierende mengde overalt i berggrunnen, jordsmonnet og i byggematerialer. Det er her en del geografiske variasjoner pga. ulike geologiske forhold. Innendørs i trehus er gjerne dosen pr. tidsenhet (doserate) lavere enn utendørs, mens det er høyere doserater inne i betonghus enn utendørs. Tillegget i ekstern gammastråling ved å bo i et betonghus i forhold til i et trehus er i middel omtrent 0,15 mSv/år. I middel får vi en effektiv doseekvivalent fra ekstern gammastråling her i landet på 0,55 mSv/år. I enkelte tilfeller (hvor geologien er spesiell), kan man komme opp i ca. 4 mSv/år.

2) Kosmisk stråling

Kosmisk stråling er partikler som treffer oss fra verdensrommet. Ved jordoverflaten består den kosmiske strålingen vesentlig av myoner og elektroner samt noe protoner og nøytroner.

Intensiteten av den kosmiske strålingen varierer med høyde over havet og breddegrad (høyere intensitet mot polene). I Norge er det estimert at den årlige effektive doseekvivalent fra kosmisk stråling varierer mellom 0,3 og 0,4 mSv/år med en middelverdi på 0,35 mSv/år.

Det bør også nevnes at en flytur Oslo-New York vil gi et tillegg i kosmisk stråling på ca. 0,03 mSv.

3) Naturlig aktivitet i matvarer

Alle matvarer vil inneholde noe av den naturlige radioaktive elementene i jordsmonnet. Kalium er en vital bestanddel i både planter og dyr, og ved at kaliumisotopen K-40 er radioaktiv, får vi via en vital byggesten i vår organisme strålingsdoser til kroppen. Dosene fra K-40 varierer noe med alder og kjønn, men ikke i særlig grad med spisevanene. Andre naturlige radioaktive stoffer som gir oss stråledoser er elementene i U-238 og Th-232 kjedene. Den viktigste her er Po-210. Hvor mye stråledoser man får fra Po-210 varierer med kostholdet og faktisk også med røykevanene. (I det tobakksplanten tar opp Po-210 i større grad enn mange andre planter.)

I middel er den effektive doseekvivalent fra naturlig radioaktivitet i maten estimert til 0,37 mSv/år. I ekstreme tilfeller kan en komme opp i over 1 mSv år.

3) Radon i hus

Et av datterproduktene i U-238 serien er en gass, nemlig radon (Rn-222). Radon følger etter radium i kjeden.

Noe av den radongassen som kontinuerlig blir produsert i berggrunnen og byggematerialene vil slippe ut til lufta. Derfor er det noe radon i all luft. Utendørs vil radonkonsentrasjonene nesten alltid være neglisjerbar.

Ved at husene «stenger» inne noe av gassen som kommer inn, vil radonkonsentrasjonen så og si alltid være høyere innendørs enn utendørs.

I Norge er det til nå utført målinger av radon i henimot 2000 hus på landsbasis. Målingene er utført ved postforsendelse av små dosimetre til den enkelte husstand. Dosimetrene står utplassert i huset en ukes tid og sendes så tilbake til SIS for avlesning. Dosimetrene (ETB) er utviklet ved SIS, og baserer seg på en kombinasjon av aktivt kull og termoluminescens dosimetre (TLD). Prinsippet er svært enkelt: Det aktive kullet adsorberer radon fra lufta slik at radonpartiklene blir sittende på kullet. Inne i kullet ligger en TLD-krystall. Denne krystallen bestråles da kontinuerlig av radon og datterprodukter som sitter på kullet. En annen TLD-krystall ligger på utsiden av kullboksen. Denne brukes til å korrigere for dosen fra gammastråling utenfra. Ved å avlese TLD-krystallene kan man så utfra kalibreringer, eksponeringstid og tid mellom avsluttet eksponering og avlesning, bestemme middelverdien av radonkonsentrasjonen i en tidsperiode. Radonkonsentrasjonen vil i høyeste grad være avhengig av årstidene, med de høyeste verdiene i fyringsperioden. Dette på grunn av undertrykk inne i hus ved oppvarming.

Den viktigste radonkilden i Norge er berggrunnen under huset. I enkelte områder hvor man bruker husholdsningsvann som tas fra dype borede brønner i granitt, kan også husholdningsvannet gi fra seg noe radon til innendørsluften. Byggematerialene i Norge har gjennomgående lave radiumkonsentrasjoner og bidrar derfor lite til innendørs radon.

Ved at man puster inn radons datterprodukter (isotoper av bly, polonium og bismuth), får man stråledoser til lungene. Det er blitt påvist en klar sammenheng mellom radoneksponering i gruver og lungekrefthyppighet, og mye tyder på at radon i norske boliger bidrar signifikant til lungekrefthyppigheten (10-30%).

Radonkonsentrasjonen innendørs er sterkt avhengig av de geologiske forhold. I Norge finner vi de høyeste verdiene i områder med mye alunskifer i grunnen, spesielt i områdene omkring Hamar. Huskonstruksjonen er også svært viktig, her er tettheten i gulv og hvor stort undertrykk man har i huset viktige stikkord.

Radon i hus kan man gjøre noe med, og SIS er nå i gang med å utvikle metoder for å redusere radonkonsentrasjonen i hus hvor man har svært høye verdier. I et hus på Løten i Hedmark er det gjennomført slike mottiltak med svært godt resultat. En investering på ca. kr. 3000 ga en reduksjon av radonkonsentrasjonen på mer enn 90%. I effektiv doseekvivalent for dette spesielle huset vil det si en reduksjon fra ca. 150 mSv/år til under 15 mSv/år.

Ser man på middelverdien for radon i norske hus gir denne en effektiv doseekvivalent på ca. 4 mSv/år til den norske befolkning. De høyeste målte verdier tilsvarer mer enn 200 mSv/år.

OPPSUMMERING

Tabellen nedenfor gir en oppsummering av stråledosene fra Tsjernobyl det første året etter ulykken, sammenlignet med naturlig stråling. Variasjonsbredden er satt i parantes.

Doser til den norske befolkning (effektivt doseekvivalent) det første år etter Tsjernobyl-ulykken.

Eksponeringsmåte	Effektiv doseekvivalent pr. år (mSv) Tsjernobyl		Naturlig
Eksternt	0,11 (0-2,3)	Gamma	0,55 (0,2-4)
		Kosmisk	0,35 (0,3-0,4)
Matvarer	0,15 (0,1-3)		0,37 (0,3-1,0)
Inhalasjon	0,005 (0-0,1)		4,0 (1-200)
Totalt	0,3 (0,1-6)		5,3 (2-200)

Det fremgår med nokså stor tydelighet at radon er det som gir en det desidert største dosebidraget i Norge. Det er også nokså illustrerende at toaldosen fra nedfallet det første år etter ulykken tilsvarer det vi får i dose hvert år fra naturlig radioaktivitet i matvarer. Dette betyr i og for seg ikke at man ikke skal søke å begrense dosene fra Tsjernobyl (noe som da også gjøres ved å sette restriksjoner på omsetning av visse matvarer). Det bør imidlertid være klart at når man ser på de resurser som settes inn på dette feltet, burde man også bruke noe mer resurser på å redusere radonkonsentrasjonene i hus. Her kan man med enkle midler oppnå en vesentlig større dosereduksjon også over tid.

Forfatterne av denne artikkelen vil få rette en takk til Landsforeningen mot Kreft for økonomisk støtte i forbindelse med dette arbeidet.

MÅLING AV ^{137}Cs MED ENKLE MIDLER

*Anders Storruste**

Måling med GM teller.

I det følgende er beskrevet hvordan man med enkle midler kan måle ^{137}Cs og ^{134}Cs f.eks. i en kjøttprøve med en enkel Geiger-Muller teller eller scintillasjonsteller.

Har man utstyr for en Geiger teller, bør man helst ha et Geiger rør beregnet for lavaktivitet gamma stråling. Det vil si et relativt langt rør som er noe energikompensert. Fig. 1 viser energiavhengigheten for et slikt rør. Men alle typer rør kan i prinsippet brukes.

*) Fysisk institutt UNIO

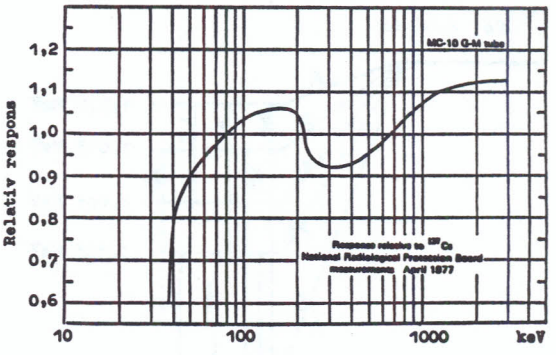


Fig. 1. Kurven viser den relative respons for et energi kompensert GM rør som funksjon av foton energien.

For å kalibrere telleren kan en benytte f.eks. en KOH standard av vekt og omfang som kan sammenliknes med kjøttprøven. Kalium består av 93,10% ^{39}K, 0,0118% ^{40}K og 6,88% ^{41}K. Den radioaktive isotopen ^{40}K har en halveringstid $T_{1/2} = 1{,}28.10^9$ år. 89,3 % av desintegrasjonene foregår ved beta emisjon. Midlere energi er 0,585 MeV. 10,7% foregår ved elektroninnfangning som etterfølges av gammastråler med energi 1,461 MeV. I 1 kg KOH er antall ^{40}K atomer $N_{40K} = 6{,}023.10^{23}.0{,}0118.10^{-2}/0{,}0561 = 1{,}267.10^{21}$ idet atomvekten av KOH = 56,1. Aktiviteten A_{KOH} i en standardkilde med vekt 1 kg er derfor:

$A_{KOH} = \lambda.N_{KOH} = 1{,}267.10^{21}.0{,}693/1{,}28.10^9$ år = 21.800 Bq.

Antall gammastråler med energi 1,461 MeV som per sekund emitteres fra vår KOH standardkilde blir derfor G_{KOH} lik:

$G_{KOH} = A_{KOH} \cdot 10{,}7/100 = 2.330$ Bq

Forsøket vårt går ut på å sammenlikne antall

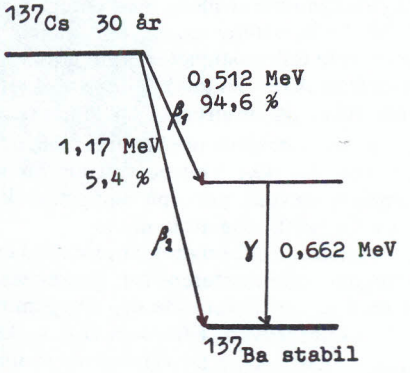


Fig. 2. Decay skjema for isotopen cesium-137. 5,4% av desintegrasjonene går ved utsendelse av β-partikler med maksimalenergi 1,17 MeV til grunntilstanden av den stabile isotop barium-137. 94,6% av β-partiklene har en maksimal energi 0,512 MeV som etterfølges av gammastråler med energi 0,662 MeV.

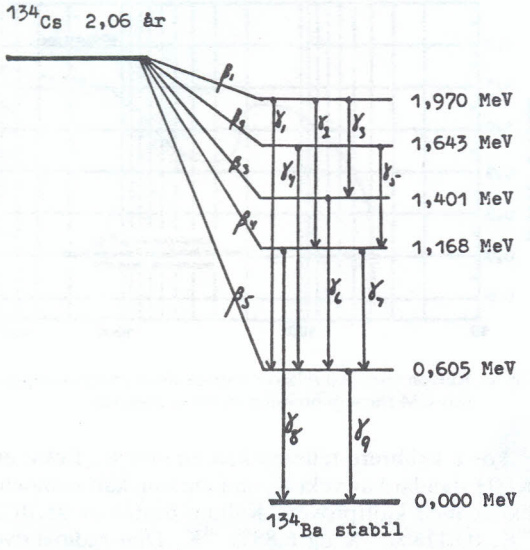


Fig. 3. Decay skjema for isotopen cesium-134. Som vi ser er decay skjemaet til denne isotopen noe komplisert fordi β-overgangen fra isotopen cesium-134 foregår til 5 forskjellige energinivåer for isotopen barium-134.

gamma stråler emittert fra en kjøttprøve med antall gamma stråler fra vår KOH standard.

For ^{137}Cs ser vi av decay skjemaet fig. 2 at 94,6% av desintegrasjonene foregår ved utsendelse av beta partikler med midlere energi 0,1734 MeV. De etterfølges av gamma stråler med energi 0,6616 MeV. I noen av tilfellene vil energien i stedet bli overført til et K eller L elektron, slik at antall gammastråler G_{137} som blir sendt ut blir noe mindre enn ^{137}Cs aktiviteten A_{137}. Vi får i stedet:

$$G_{137} = 0{,}852 \cdot A_{137}$$

La oss så anta at vi pakker vår KOH standard kilde omkring Geiger røret, og finner en tellefart n_K som skyldes gamma strålene med energi 1,461 MeV alene. Med tellefartene n_K, n_{137} osv. mener vi heretter observerte tellehastigheter etter at tellerens bakgrunn er fratrukket. Vi pakker deretter kjøttprøven omkring røret og observerer en tellefart n_{137} som skyldes gamma strålene med energi 0,6616 MeV fra kjøttprøven. Er ikke kjøttprøven og vår standard like i omfang og vekt, må vi på vanlig måte korrigere for dette for forskjellig avstand etc.

Nå vil tellerens effektivitet variere med energien. Vi betegner effektiviteten for gammastråler fra KOH med e_K og tilsvarende e_{137} for gammastråler fra ^{137}Cs i kjøttprøven. Ettersom $G_{137} = 0{,}852\ A_{137}$ og $G_{KOH} = 0{,}107\ A_{KOH}$ får vi følgende sammenheng mellom aktivitetene:

$$A_{137} = \frac{0{,}107}{0{,}852}\ \frac{e_K}{e_{137}}\ \frac{n_{137}}{n_K}\ A_{KOH}$$

Benyttes 1 kg KOH som standard og et GM rør hvor $e_K/e_{137} = 1{,}10$ i likhet med Fig. 1 ovenfor, vil vi få:

$$A_{137} = 3010\ \text{Bq} \cdot n_{137}/n_K$$

I neste avsnitt hvor vi benytter en scintillasjonsteller skal vi se på hvordan man måler aktiviteten A_{137} for isotopen ^{137}Cs og aktiviteten A_{134} for isotopen ^{134}Cs på samme tid. Med en Geiger teller kan vi ikke gjøre dette. Vi tar resultatet fra neste avsnitt litt på forskudd, og kan da si at man gjør ingen nevneverdig feil om man sammenfatter alle gamma strålene i det kompliserte decay skjemaet til ^{134}Cs til bare 2 forskjellige stråler a og b, hvor a har midlere energi $E_a = 0{,}596$ MeV med en emisjonsrate $= p_a A_{134} = 1{,}23\ A_{134}$. Den andre strålen b har midlere energi $E = 0{,}799$ med emisjonsrate $= p_b \cdot A_{134} = 0{,}95\ A_{134}$.

Når vi skal sammenlikne telleraten n_{134} fra isotopen ^{134}Cs med telleraten n_{137}, ser vi av fig. 1 at effektiviteten e_{137} for 0,662 MeV strålene, $e_a = (1\text{-}x_a)\ e_{137}$. For stråle b har vi tilsvarende $e_b = (1+x_b)\ e_{137}$, hvor x_a og x_b er små positive tall mye mindre enn 1. Vi gjør derfor ingen nevneverdig feil om vi setter:

$$x_a\, p_a \approx x_b\, p_b \ll 1$$

og får da:

$$n_{134} = e_{137}((1\text{-}x_a)p_a + (1+x_b)p_b)A_{137} = e_{137}(p_a+p_b)\ A_{137} = 2{,}18\ e_{137}A_{137}$$

For nedfallet etter Tsjernobyl fikk man som resultat i den første tiden:

$$A_{134} = 0{,}50\ A_{137}$$

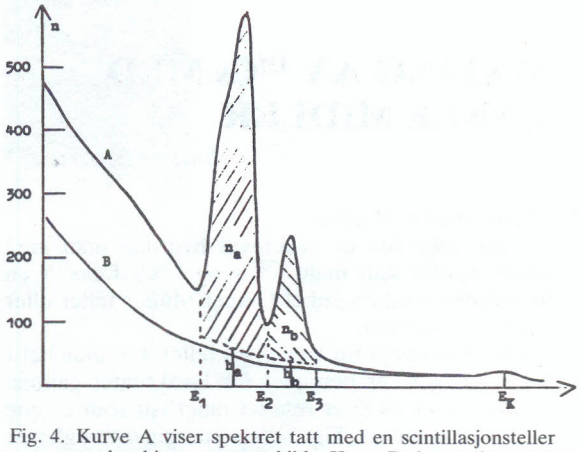


Fig. 4. Kurve A viser spektret tatt med en scintillasjonsteller med en kjøttprøve som kilde. Kurve B viser spektret tatt uten kilde. Kurvene viser resultatet for en scintillasjonsteller med nokså stor NaJ krystall, men ikke særlig god oppløsning.

Da halveringstiden for ^{137}Cs er 30,0 år og for ^{134}Cs lik 2,062 år, vil faktoren y avta med tiden etter formelen:

$$y = 0{,}50\ e^{-0{,}313\ t/år}$$

For å finne den totale aktivitet $A_T = A_{137} + A_{134} = (1+y)A_{137}$ får vi likningen for den totale telleraten h_T

$$n_T = e_{137}\ (0{,}852 + 2{,}18\ y)\ A_{137}$$

og herav:

$$A_T = \frac{0{,}107\ e_K\ (1+y)}{(0{,}852 + 2{,}18\ y)\ e_{137}} \cdot \frac{n_T}{n_K} A_{KOH}$$

Om vi benytter 1 kg KOH og y = 0,50, får vi med $e_K = 1{,}10\ e_{137}$ og $A_{KOH} = 21.800$ Bq

$$A_T = 1980\ Bq\ .\ n_T/n_K$$

Bruk av scintillasjonsteller

Har man en mangekanaler scintillasjonsteller kan man skille topper som svarer til forskjellige gamma energier fra hverandre. Med en germaniumteller ville man kunne skille alle toppene svarende til tabell I.

Tabell I: Energi E_x og emisjonsrate $p_x\ .\ A_{134}$ for gammaspektret for isotopen ^{134}Cs.

E_xMeV	0,4754	0,5632	0,5693	0,6047	0,7958	0,8019	1,039	1,3652
p_x%	1,41	8,38	15,4	97,6	85,4	8,73	1,00	3

Med en scintillasjonsteller med ikke altfor god oppløsning vil man få to hovedtopper bare. Toppene svarende til linjer med $p_x < 3\%$ vil man ikke kunne se, og de tre linjene med E_x fra $E_x = 0{,}56$ MeV til $E_x = 0{,}60$ MeV vil flyte sammen til en topp. Vi får derfor bare to topper svarende til en midlere energi $E_a = 0{,}597$ MeV med $p_a = 1{,}21$ og den andre toppen svarende til $E_b = 0{,}797$ MeV med $p_b = 0{,}941$.

Dette er for strålingen fra isotopen ^{134}Cs alene. Nå inneholder prøven også isotopen ^{137}Cs, og fra denne får man en topp svarende til energien E = 0,662 MeV. Med en scintillasjonsteller får man ikke oppløst toppene svarende til 0,662 MeV og 0,596 MeV, slik at spektret på en oscilloskjerm vil se ut noe i likhet med den heltrukne kurve i fig. 4.

I fig. 4 er det skraverte arealet n_b mellom kanalene svarende til engergiene E_2 = ca. 0,73 MeV og E_3 = ca. 0,87 MeV i flateinnhold proporsjonalt med emisjonsraten p_bA_{134}. Det skraverte areal n_a mellom kanalene svarende til energiene e_1 = ca. 0,50 MeV og E_2 = 0,73 MeV er proporsjonalt med emisjonsraten = $p_aA_{134} + p\ A_{137}$, hvor p = 0,852 angir at bare 85,2% av desintegrasjonene i ^{137}Cs er etterfulgt av en 0,662 MeV gammastråle. Vi lar bokstaven c betegne forholdet mellom arealet i fullenergi toppen og hele arealet som også omfatter compton absorpsjonen (c = peak to total). Intrinsik effektivitet for telleren betegner vi med e_i. For energien 0,662 MeV benytter vi disse bokstaver uten indeks, mens for de andre energier tilføyer vi indeksene a, b og K svarende til energiene for toppene a, b og kalium. I tabell II er verdier for disse størrelser oppgitt relativt til verdiene for energien 0,662 MeV

Tabell II. Verdier for intrinsik effektivitet e_i og peak to total c relativt verdiene ved energien E = 0,662 MeV.

Energi E MeV	0,597	0,662	0,797	1,46
1"hx1,5"d NaJ krystall				
peak to total c_i/c	1,13	1,00	0,84	0,50
intrinsik e_i/e	1,07	1,00	0,92	0,67
$c_ie_i/ec = z_i$	1,20	1,00	0,77	0,33
3"hx3"d NaJ krystall				
peak to total c_1/c	1,08	1,00	0,92	0,59
Intrinsik e_1/e	1,05	1,00	0,95	0,77
$e_ic_i/e\ c = z_j$	1,13	1,00	0,87	0,45

Vi får da for de skraverte arealene n_a og n_b: $n_b = e_bc_bp_bA_{134}$ og $n_a = e_ac_ap_aA_{134} + ecpA_{137}$

Innfører vi z_i fra tabell II og $A_{134} = y\ A_{137}$, får vi: $n_b = z_byp_bceA_{137}$ og $n_a = (z_ay\ p_a + p)\ ceA_{137}$

Innfører vi tallverdiene for z_i fra tabell II og $p_a = 1{,}23$, p = 0,852 og $p_b = 0{,}95$, får vi for en NaJ krystall med diameter 3" og høyde 3":

$$n_b = 0{,}83yceA_{137} \text{ og } n_a = (1{,}39\ y + 0{,}852)ce\ A_{137}$$

Vi tar så opp et spektrum med en KOH standard av vekt m_K og måler arealet n_K under fullenergi toppen omkring energien $E_K = 1{,}46$ MeV. Det er å bemerke at antall kanaler en må ta med her avhenger av tellerens oppløsningsevne. Men antall kanaler øker omtrent proporsjonalt med $E^{1/2}$, slik at ved E = 1,46 MeV er toppen en faktor ca. 1,5 bredere enn toppen omkring E = 0,662 MeV for en ren ^{137}Cs kilde. For arealet n_K har vi:

$$A_{134} = \frac{0{,}45 \cdot 2330}{0{,}87 \cdot 0{,}95} \cdot \frac{n_b}{n_K}\ m_K\ Bq/kg$$

$$= 1270\ (n_b/n_K)\ m_K\ Bq/kg$$

$$Av\quad n_a = (1{,}39\ y + 0{,}85)\ ce\ A_{137}$$

$$= 1{,}45\ ce\ A_{137}$$

der vi har satt y = 0,43 for tiden t = 1/2 år etter Tsjernobyl, får vi:

$$A_{137} = 720\ (n_a/n_K)\ m_K\ Bq/kg$$

Ved andre dimensjoner på NaJ krystallen er det bare i samme formler å benytte andre verdier for $c_i e_i$ fra tabell II.

Har man ingen pulshøydeanalysator i forbindelse med scintillasjonstelleren, kan man selvsagt bruke telleren på samme måte som beskrevet for GM telleren. I stedet for Fig. 1 benytter man da intrinsik effektivitet e_i fra tabell II.

Når det gjelder å finne de rette høyder h_a og h_b under arealene n_a og n_b for å trekke fra høyden på den heltrukne linje i fig. 4, er disse litt større enn de tilsvarende man finner ved å måle bakgrunnen uten prøve. Dette kommer av at prøven kan inneholde litt av de naturlige radioaktive isotopene. Dessuten har ^{134}Cs et lite tilskudd av gammastråler med energi større enn 0,80 MeV. For høyden h_a under n_a må man også ta med en liten tilleggskorreksjon på grunn av litt comptonspredning relatert til arealet n_b. Brukes scintillasjonstelleren uten pulshøydeanalysator, skal denne siste korreksjonen selvsagt ikke tas med.

INTERNASJONALE DAGER VED UNIVERSITETET I OSLO

Referat ved Olav Steinsvoll *

«Etter Tsjernobyl» var emnet for et tverrfakulært seminar på Blindern 28. oktober 1986. Universitetslærere og andre interesserte tok der for seg hva Tsjernobyl-ulykken har lært oss og hva den vil kunne bety for forskning, vitenskap og utdanning.

Professor N. Roll-Hansen fra Biologisk institutt var først ute. For å sette Tsjernobyl i perspektiv gikk han raskt gjennom russisk vitenskaps historie. Med den første av Stalins femårsplaner (1928-1933) skulle revolusjonen virkelig gjennomføres. Landbruket ble kollektivisert med katastrofale følger og i 1929 ble Vitenskapsakademiet bolsjevisert. Lenins privatsekretær uten akademisk utdannelse ble fast sekretær og opptrådte som partiets kommisær innen akademiet. En hadde en enorm (over)tro på vitenskap og teknikk og satset på høyere utdannelse. En ny teknisk elite med arbeiderbakgrunn skulle rekrutteres. Antall studenter økte raskt til flere hundretusen, men samtidig gikk nivået ned. Samtidig avskaffet man de mer presise sannhetskriterier for vitenskapen; sannhet var de resultater som ga avkastning i praksis. Dette la veien åpen for fantaster og sjarlataner som ved hjelp av gode partiforbindelser tilrev seg kontrollen ved flere institusjoner. Et skrekkens eksempel er Lysenko som var Stalins protesje. Under Krustsjov ble Vitenskapsakademiet omorganisert, og de anvendte tekniske avdelinger gikk ut i 1961. Akademiet skulle nå føre kontroll med den vitenskapelige kvalitet. Men det har tatt tid å rette opp fortidens synder. Akademiet har ført en seig kamp mot myndighetene og fått stor autonomi. Det har presset på for ytringsfrihet og mer internasjonal kontakt. Men de har vært fullt av myndighetens mistenksomhet fordi universitetene naturligvis er blitt arnested for politisk opposisjon. Under Gorbatsjov kan vi ane en mer nøktern innstilling; mye av klassekampsvadaen er blitt borte. Vi må derfor slå fast at teknologien i øst ikke holder samme nivå som er vanlig i vest. Dette er tildels historisk betinget. Sovjet har faktisk en forskning som er størst i verden, men de får for lite ut av den. Ulykken i Tsjernobyl ble forårsaket av at teknikerne gjorde 5-6 grove feil pga. kunnskapsmangel. Ulykken kan derfor ses som en følge av utdanningssystemet i Sovjet, og viser hva som må endres for «å få fart» på landet.

Direktør Grammeltvedt fra Meteorologisk institutt fortalte om arbeidet med å overvåke forurensningene i Europa. Sammen med NILU har instituttet stor kompetanse og gode dataprogrammer for å følge langtransport av SO_2 og nitrogenoksyder fra varmekraftverk og industri. Det som slår en er hvor tynn atmosfæren er. 80% av luftmassen ligger under 10 km, og hele luftmassen tilsvarer bare ca. 10 m vann ved jordoverflaten. De meteorologiske forhold og selve utslippsmåten førte til at transporten skjedde mellom en høyde av 500-1000 m. Det var tørt vær over Polen og Baltikum, men da lufta kom inn over Skandinavia, ble radioaktiviteten vasket ut av regnbyer. Aktiviteten kom både som gass (J^{131}) og som partikler (Cs^{137}). En finner godt samsvar mellom de største konsentrasjoner av nedfall og regnbygeaktiviteten over Norge de aktuelle dagene. En har nå fått to internasjonale avtaler, en om tidlig varsling og en annen om gjensidig hjelp ved slike ulykker. En stiller instituttets sambandsnett og programmer til rådighet for IAEA i Wien. Informasjoner om alle eksisterende kjernekraftanlegg skal legges i en database og knyttes til forurensningsprogrammene.

Professor Per Oftedal gikk raskt gjennom ulykkesforløpet i Tsjernobyl og hvordan radioaktiviteten hadde variert over Norge. Den første måneden var preget av usikkerhet og forvirring. SIS kom med meldinger om at totalaktiviteten i gjennomsnitt hadde økt med 60% i forhold til normal totalbakgrunnsaktivitet. NGU i Trondheim forkynte at (luft)aktiviteten hadde økt med en faktor tusen. Begge institusjoner hadde naturligvis rett, men befolkningen ble oppskaket. Det ser ut til at cesiumutslippet har kommet i en slik form at det er lettere biologisk tilgjengelig nå enn det tilsvarende cesiumnedfallet under bombeprøvene i 50-60 åra. Øvre del

*) IFE, Kjeller.

av Gudbrandsdalen og Frostaområdet viste seg å bli særlig belastet. SIS målingene anga disse områdene allerede i mai måned, men områdene ble «gjenoppdaget» av NGU ved flymålinger en måned senere. Ved et jamt inntak av en fast aktivitet pr. dag vil det etter en 3-4 halveringstider for stoffet innstille seg en balanse mellom inntak, hendøen av aktiviteten og biologisk utskilling. Ved et daglig inntak av 1000 Bq Cs^{137} vil en få et likevektsnivå på 160.000 Bq Cs^{137}, eller en spesifikk aktivitet på 2000 Bq/kg for et voksent menneske. Et engangsinntak av 400.000 Bq Cs^{137} gir en total ekvivalentdose på 5 mSv. Dersom et reinsdyr over et år har opparbeidd en spesifikk aktivitet på 10.000 Bq/kg, vil det over et år gi reinsdyret en dose på 25 mSv. Dette er halvparten av hva en tillater yrkeseksponerte mennesker å utsettes for. Det er derfor en grov overdrivelse å påstå at reinsdyra i Norge står i fare for å utryddes eller blir påført genetiske skader pga. det radioaktive nedfallet. En dose på 50 mSv pr. år gir samme dødsrisiko som arbeidsulykker i næringslivet ellers. En regner 5 mSv som tillatelig dose for ett enkelt år for enkeltindivider i en befolkning, mens 1 mSv er tillatelig gjentatt årlig dose for enkeltindivider i en befolkning.

Det er stråledosen fra radon som gir det største bidraget i det naturlige strålingsmiljøet i Norge. Radon bidrar med 54%, stråling fra bakken og kosmisk bakgrunn utgjør 18%, medisinsk diagnose og terapi utgjør 21%. I denne sammenheng vil Tsjernobyldosen utgjøre bare 7%, altså en forsvinnende liten del av den totale dosen for befolkningen. Oftedal mente at tiltaksgrensa på 600 Bq/kg for matvarer var riktig satt for å skåne de utsatte gruppene som barn og reinsdyrssamer. Den burde stå til neste år inntil vi ser hvor fort aktiviteten dør hen.

Professor Kringlen mente at det som virkelig truer oss er våpenkappløpet og en kjernefysisk krig ved et uhell. Helserisikoen for befolkningen etter Tsjernobylulykken er minimal, men likevel får omtalen av den store overskrifter og spalteplass. Det blir ikke gitt tilsvarende omtale av trusselen om total utslettelse av menneskeheten ved en kjernefysisk utveksling. Det viser hvordan menneskene stikker hodet i sanden og nekter å se de virkelige problemene i øynene.

Den tekniske historie er egentlig en historie om ulykker, i forrige århundret eksploderte dampkjeler, tog går av sporet, broer bryter sammen, fly faller ned. I det siste har vi hatt romfergeulykken med Challenger, kjernekraftverket Three Mile Island, Bhopalulykken og nå sist Tsjernobyl. Ulykkene har ført til stadig nye forbedringer av teknikken. Tsjernobylkraftverket er en første generasjonsutgave og en sikrere annen generasjonsutgave er allerede i bruk. Men har vi lov til å gå videre langs lærekurven med uhell og læring i vekselvirkning slik som for annen teknikk? De menneskelige og økonomiske omkostningene kan vise seg å bli for store.

Ett er sikkert, det er at vi ikke har lov til å ta tilsvarende risikoer når det gjelder den kjernefysiske opprustning. Det ene «uhellet» er ett for mye. Vi kan redusere sjansen for uhell, men vi kan ikke unngå uhell; det forteller statistikkens lover oss. Vi har nå lært gjentatte ganger at en ikke kan stole på ekspertene. Dessuten har Tsjernobyl lært oss at verden er én når det gjelder kjernefysisk krig.

Hospital nr. 6 i Moskva var spesielt utvalgt til å ta seg av strålingsskadde. Kapasiteten ble fort sprengt da flere hundre mennesker ble innlagt det første døgnet etter ulykken. Ulykken kan sammenlignes med en liten kjernefysisk krig med sprengning av én bombe på et halvt kilotonn. Tenk på hvordan verden ser ut etter utveksling av titusen bomber i megatonnsklassen!

Som psykiatere har vi observert at kjernefysisk utslettelse har innført en ny virkelighet. Vi ser de psykologiske konsekvenser i barns tegninger og oppførsel. De preges mer og mer av det å leve i en verden med muligheten for økologiske katastrofer og kjernefysisk krig. For noen barn har framtida ingen mening, den historiske kontinuiteten er brutt. Intervju med tenåringer har vist at mange preges av fortvilelse, sinne og stor forvirring. Kjernekraftuhell og atomkrig ser ut til å influere framtidsplaner og tanker om ekteskap og det å sette barn til verden. Disse indre konflikter kamufleres ofte av ulike forsvarsmekanismer slik at angsten spaltes av. Dette er farlig i det lange løp siden den ofte fører til en selvopptatt, narsissisk holdning: Hvorfor skal jeg bry meg?

En må klandre Universitetet at det gjør for lite for å hindre økologiske katastrofer og kjernefysisk ragnarokk. En burde overveie om ikke framtidige naturvitenskapsmenn burde avkreves en slags Hippokratisk ed om å bevare menneskeheten og livet på kloden.

Professor V. Aubert mente at ulykken hadde aktualisert samenes (eller minoriteters og urbefolkningers) problem med å være med i beslutningsprosessene i storsamfunnet. Samene på Nordkalotten ble rammet av nedfallet fra de russiske kjernefysiske prøvene i sekstiåra. Og nå er de atter blitt rammet. Det samme mønstret ser en igjen ved prøvene i Stillehavet og i Australia. Det er polynesere, aborigines og japanske fiskere som har fått nedfallet over seg. De lever på grensen av det mulige og er derved veldig sårbare.

For samenes vedkommende har en gjentatte eksempler i norsk historie på trakassering fra storsamfunnets side. En kan nevne sameoppstanden i Kautokeino i 1854 som endte med 2 henrettelser og livstidsstraff for et titalls samer. Høyesterett betegnet dem som «usiviliserte grupper». Mangelen på omtanke gjentar seg og vi får lenkegjengen i Stilla

ved Alta i 1980. Nå er reinen blitt radioaktiv. Det er bare 10% av samene som driver reindrift, men mange er knyttet til den indirekte. For samene er reindrift en symbolsk handling. Verdien av dette symbolet kan sammenliknes med staten Israels betydning for jødene over hele verden. Valget av Becquerelverdier får derfor virkning på sosiale og kulturelle forhold for samene.

Professor T. Eckhoff fortalte om hvilke folkerettsregler og avtaler som fantes vedrørende kjernekraft før Tsjernobyl, hvilke avtaler som nå er kommet i stand og hva som bør skje framover. Ikkespredningsavtalen for atomvåpen «NPT» fra 1968 har tilslutning av 130 land. De fleste av disse landene tillater inspeksjon av inventaret i sivile kjernekraftverk av folkene fra IAEA, men byrået i Wien kontrollerer ikke den alminnelige sikkerhet ved kjernekraftverkene. De kommer bare med råd og veiledning i slike spørsmål. Det burde komme en internasjonal sikkerhetsstandard, bedre opplæring av operatørene, sikring mot terrorister, regler om erstatningsansvar osv. Men et internasjonalt avtaleverk har fått en flying start pga. Tsjernobyl. Den første avtalen trådte faktisk i kraft 26.10.86. Den gjelder tidlig varsel ved uhell. Naboland og IAEA skal få beskjed umiddelbart dersom noe går galt. Den andre avtalen gjelder gjensidig teknisk hjelp. Her får IAEA ansvar for å stille med ekspertise og utvikle spesielt hjelpeutstyr for slike ulykker.

Direktør Skjelsbak i Norsk utenrikspolitisk institutt mente at ulykken ikke hadde hatt noen stor betydning for internasjonal politikk, men den vil føre til vansker for bruk av kjernekraft i verden. Økt krav til sikkerhet vil igjen føre til at kjernekraft blir dyrere. Supermaktene er blitt ført sammen fordi de begge har hatt sine ulykker. Det hersker gjensidig sympati på dette området, selv om en så tendenser på amerikansk side like etter ulykken til en propagandautnytting av situasjonen.

I IAEA har supermaktene alltid samarbeidet godt selv om det har vært «krig» dem i mellom i andre internasjonale fora. Sovjet åpnet seg for inspeksjon for 2 år siden, og Tsjernobyl sto faktisk på inspeksjonslista til IAEA. Et tilfelle ville at inspektørene dro til et annet kraftferk. Etter ulykken har russerne vist stor åpenhet, men det er en del av utviklingen under Gorbatsjov. Både USA og Sovjet er svært interessert i ikkespredning av atomvåpen. Flere atommakter ville gjøre verden mindre oversiktlig for dem. De er derfor innstilt på å styrke IAEA. Ulykken kan få betydning for den strategiske tenkning i Sovjet. De skiller ikke mellom konvensjonelle våpen og atomvåpen slik som i Vest. De mener at om krig starter, skjer opptrappingen til bruk av a-våpen automatisk. Derfor må krig unngås. I den offisielle propagandaen overfor befolkningen har en ikke gått inn på virkningen av begrenset bruk av a-våpen. Nå har befolkningen i Sovjet ved selvsyn fått erfare noe som tilsvarer en liten a-bombe. De sovjetiske kjernekraftverk er tydeligvis svært sårbare, og kan bli fristende mål for vestlige konvensjonelle presisjonsvåpen. Men også vestlige kraftverk er mulige terrormål. Tillitsbyggende tiltak er derfor nødvendige mellom øst og vest.

Teknologi og etikk var emnet til *professor Fløistad.* Det er tegn i tiden for større interesse for dette området. Et nytt institutt for tverrfaglige studier er nylig opprettet, og ved flere læresteder hadde en forsøkt med å innføre kurs i filosofi og etikk i tekniske studier. Etikkens innvirkning på teknologien går dypere enn den profesjonelle yrkesetikk som nærmest kan kalles godt håndverk. Undersøkelser i tekstilindustrien i Tyskland i forrige århundre viste at kvinner fra pietistiske hjem hadde klare fordeler i arbeidssituasjonen framfor andre kvinner. De hadde større *konsentrasjon* om arbeidsoppgavene fordi de hadde øvd opp denne evnen ved bønn. For dem var arbeid en mening med livet. De hadde derfor større *pliktfølelse* og *lystfølelse* overfor arbeid. De var flinkere til å holde orden på inntekter og utgifter og bidro til sunne økonomiske forhold. Arbeidsulykkene var tydelig færre i denne gruppen. For andre grupper var arbeidet bare et ork de måtte finne seg i for å tjene penger til eget forbruk. De var adspredte og ukonsentrerte og hadde også høyere ulykkesfrekvens og lavere arbeidsevne. Kanskje kunne humaniorafagene i våre dager bidra på liknende måte som pietismen i forrige århundre?

I våre dager er både voksne og barn utsatt for så mange inntrykk fra morgen til kveld at konsentrasjonsevnen blir skadelidende. Den moderne form for analfabetisme kan karakteriseres som en nedsatt evne til å lytte konsentrert til sammenstilte sekvenser. Evnen til selv å tale i logiske sekvenser er også nedsatt. For spesialister i særlig utsatte stillinger (operatører i kjernekraftverk) kreves det i enda høyere grad god konsentrasjon.

I det generelle tilfelle i fabrikker, organisasjoner og administrasjon kan det trenges et bredere spektrum av etiske overveielser av typen: La oss bygge denne fabrikken så pen som mulig. La oss lage denne maskinen stillere, bilen sikrere, fabrikken mindre forurensende, papiret mer holdbart. La oss bevare denne gamle bygningen. - Ved å høyne den menenskelige etikk får en også bedre menneskelige komponenter i arbeidslivet.

Professor Oftedal summerte sine inntrykk i flere punkter: 1. Vi befinner oss i en strålingshverdag. En må derfor ha forskning og kompetanse på et bredt område for å kunne tolke omverdenen. 2. Ulykken har vist hvor liten verden er. 3. Undervisningen ved Universitetet må bli holistisk. Molekylærbiologien representerer en fare, og vi risikerer å tape de store biologiske og økologiske problemer av syne. 4. Samfunnet må ha en bestand av selvstendige, samfunnsbevisste og ikke matnyttige forskere ved uav-

hengige universiteter. De representerer et reservoar av kunnskap og innsikt som kan komme til nytte i uvante krisesituasjoner. 5. En mer global tenkemåte ville gi oss perspektiver og siktemål for vårt daglige virke. En større følelse av altomfattende solidaritet ville føre til nye etiske normer overfor livet på jorda.

TSJERNOBYL-ULYKKEN - BAKGRUNN OG TEKNISKE OMSTENDIGHETER

Per I. Wethe *

Bakgrunn

Sovjetunionen har lang erfaring med kjernekraft. I 1954 startet verdens første kjernekraftanlegg i Obninsk syd for Moskva, med en såkalt kanalreaktor, lettvannskjølt grafittmoderert reaktor (LWGR). I dag har Sovjetunionen ca. 50 reaktoranlegg i drift. 19 reaktorer er av trykkvannstype (PWR), 1 av kokevannstype (BWR), 3 av typen hurtig-breederreaktor (FBR) og 28 av LWGR - eller Tsjernobyl-type. Fire av LWGR-reaktorene (1000 MWe) ligger ved Leningrad og ett anlegg (1500 MWe) ligger i Litauen. Fire av PWR-anleggene (hver på ca. 440 MWe) ligger på Kola-halvøya. Sovjetunionen har 35 kjernekraftverk under bygging. 8 av disse er av LWGR-type, resten av PWR-type. Kjernekraft dekker i dag ca. 10% av landets el-kraftproduksjon.

Tsjernobyl-ulykken har ikke endret Sovjetunionens prioritering av kjernekraften, og innen århundreskiftet regnes det med at kjernekraft skal svare for 25-30% av el-kraftproduksjonen. Ulykken har heller ikke ført til noen generell avstengning av LWGR-

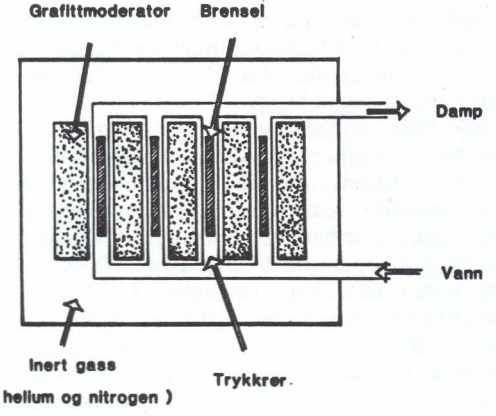
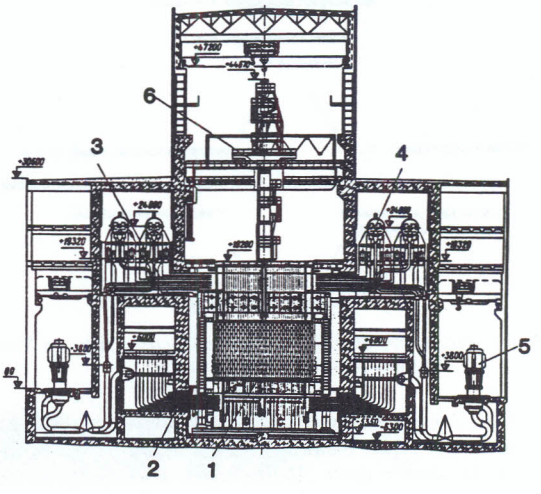


Fig. 1. Prinsippskisse av LWGR-konseptet.

*) Institutt for energiteknikk, Kjeller.



LETTVANNSKJØLT GRAFITTMODERERT REAKTOR
(TSJERNOBYL TYPE)

1. REAKTORBLOKK (KJERNE)
2. KJØLEVANN – INN
3. KJØLEVANN – UT
4. DAMPSEPARATORER
5. HOVEDSIRKULASJONSPUMPER
6. LADEMASKIN FOR BRENSEL

Fig. 2. Forenklet snitt av en reaktor av Tsjernobyl-type.

reaktorene. Ulykkesreaktoren Tsjernobyl-4 er snart helt innstøpt i betong med innebygde kjøleanlegg. Tsjernobyl-1 startet opp igjen i oktober, og anlegg-2 vil bli satt i drift før utgangen av året. Etter planene skal selv aggregat nr. 3 (naboreaktoren til nr. 4) tas i drift, men det er ennå ikke fastlagt når dette skal skje. Når det gjelder anlegg-5 og -6, ligger byggearbeidene her nede, og det er ikke tatt noen beslutning om utbyggingen skal fortsette.

Den lettvannskjølte grafittmodererte reaktoren som havarerte i Tsjernobyl, tilhører en av de to hovedtypene Sovjetunionen satser på. Den sovjetiske PWR er i prinsippet lik trykkvannsreaktorer av vestlig type. LWGR bygges bare i Sovjet. *Fig. 1* viser en prinsippskisse av LWGR-konseptet, der damp produseres ved at lettvann bringes til koking i et system av vertikale trykkrør (kanaler) hvor UO_2-brenselet er plassert. Moderator-funksjonen ivaretas av en forholdsvis stor grafittblokk (tverrmål ca. 12 m, høyde ca. 7 m). Moderator-blokken inneholder i alt ca. 1700 brenselskanaler. Selve trykkrørene er av en zirconium-niob legering. Samme legering brukes også som kapslingsmateriale for UO_2-brenselet. Grafitt-blokken har ingen separate kjølesystemer, noe som gir en forholdsvis høy driftstemperatur - opp til 700°C. Grafitt-blokken er omgitt av en atmosfære av helium og nitrogen for å hindre oksydasjon.

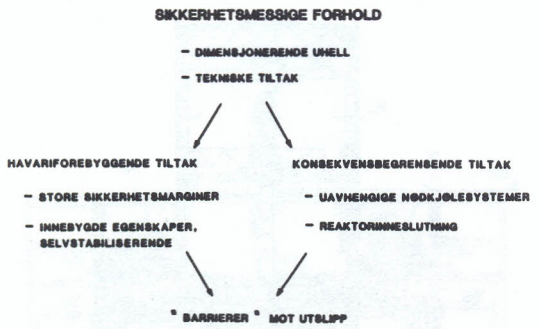


Fig. 3. Skjematisk fremstilling av sikkerhetsmessige forhold ved et kjernekraftverk (vestlig tankegang).

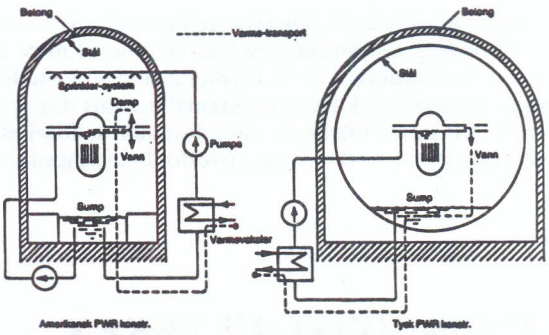


Fig. 4. Amerikanske og vest-tyske utforminger av reaktorinneslutninger av systemer for bortføring av restvarme ved et uhell (NOU 1978:35A).

Fig. 2 viser et skjematisk snitt av en reaktor av Tsjernobyl-type. Reaktoren er konstruert for brenselbytte under drift. Dette skjer ved hjelp av en lademaskin som kan bringes i posisjon over hver enkelt brensel-kanal. Brenselbytte under drift vil i prinsippet øke driftstilgjengeligheten, og anleggene i Tsjernobyl har i mange år toppet sovjetisk driftsstatistikk. I 1985 hadde f.eks. Tsjernobyl-4, den beste driftstilgjengeligheten av alle sovjetiske reaktorer.

Sikkerhetstekniske aspekter

De tekniske sikkerhetstiltak ved et kjernekraftverk deles vanligvis inn i haveriforebyggende og konsekvensbegrensende tiltak, *fig. 3*. De *havariforebyggende* tiltak skal primært hindre at feil oppstår, samt hindre at eventuelle feil utvikler seg videre slik at kjernen mister kjøling. Administrativt og teknisk betinger dette bl.a. krav til utdannelse og trening av personell, adekvate prosedyrer for drift og vedlikehold av anlegget, og konstruerte sikkerhetssystemer som f.eks. nødkjølesystemer og uavhengige avstengningssystemer for reaktoren. De *konsekvensbegrensende* tiltak/systemer skal på sin side forsinke og redusere utslipp av radioaktive stoffer til omgivelsene hvis store uhell skulle skje. Disse systemene består bl.a. av en kraftig, gasstett bygning rundt reaktoren (reaktorinneslutningen), samt systemer for reduksjon av trykk og temperaturbelastninger på inneslutningen ved et uhell. For å kunne holde de radioaktive stoffene bedre tilbake, anvendes springlings-, filter- og kjølesystemer, *fig. 4*. Inneslutningen kan skades ved f.eks. gjennomsmelting av brensel, og ved gass- og dampeksplosjoner. Dette bestemmer i sin tur hvilke krav inneslutninger må dimensjoneres etter, *fig. 5*.

Dette siste refererer seg i hovedsak til vestlig tenkemåte og vestlig praksis. Denne «barriere»-tenkningen er fundamental for vestlig sikkerhetsfilosofi, og er først i de senere år blitt adoptert av sovjetiske reaktorsikkerhetsmyndigheter. Av samtlige sovjetiske kjernekraftverk i drift er det kun de nyeste trykkvannsreaktor-anleggene som har en sikkerhetsteknisk utrustning sammenligbar med det vi finner i vestlige konstruksjoner, f.eks. sekundær reaktorinneslutning (Novo-Voronezh 5). Sovjetiske PWR-anlegg er i stedet utstyrt med en primær inneslutning, en sikkerhetskuppel («Safety dome») bygget over drivverket for kontrollstavene og dekkplaten for reaktortrykktanken. For reaktorene av Tsjernobyl-type er det i stedet for en gasstett betong- og stålinneslutning bygget et system av massive betongceller omkring reaktoren. Dette systemet omslutter deler av primærsystemet, og kan i det minste betegnes som en partiell inneslutning. Det svake punktet i konstruksjonen er imidlertid området rett over reaktoren, hvor det er ca. 1900 gjennomføringer for brenselkanalene og kanalene for kontrollstavene. Selve taket på reaktorbygningen er i store trekk identisk med det vi finner i vanlige industribygg dvs. uten spesielle forsterkninger av noe slag. Takstrukturen har heller ikke vært tiltenkt noe flammehindrende eller flammedempende funksjon. Manglende vekt på konsekvensreduserende systemer, samt manglende muligheter til å isolere de nukleære deler av anlegget i tilfelle uhell, bryter på en rekke avgjørende punkter med de krav vestlige sikkerhets- og lisensieringsmyndigheter legger til grunn for godkjennelse av reaktoranlegg.

Også i vestlige land er det bygget reaktoranlegg der selve reaktorbygningen mangler inneslutningskvalitet. Dette gjelder bl.a. for de gasskjølte grafittmodererte anlegget bygget i Frankrika og i Storbritannia. Disse reaktorene har imidlertid en primær trykktank/sikkerhetsbeholder av forspent betong 5-6 m tykk, kledd innvendig med en gasstett stålkledning som omslutter reaktoren og dampgeneratorene. Disse reaktorene har dessuten reaktorfysikalske stabilitetsegenskaper som de sovjetiske LWGR-reaktorene i stor utstrekning mangler. I tillegg ligger arbeidstemperaturen i de vestlige gasskjølte reaktorene rundt 400°C sammenlignet med 700°C i de sovjetiske LWGR-anleggene. Dette betyr at grafittblokken vil kunne ta imot overskuddsvarme og derved forsinke temperaturøkningen i brenselet og overoppheting av brenselskapslingen med flere

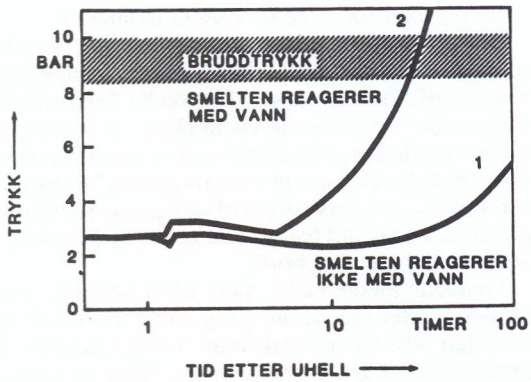


Fig. 5. Trykkforløp i reaktorinneslutning ved et uhell (NOU 1978: 35A).

timer, selv ved et fullstendig trykktap i primærkretsen.

LWGR-anleggskarakteristikker

Basert på brede og grundige redegjørelser fra sovjetisk side har vi idag god innsikt i Tsjernobyl-reaktorens konstruksjons- og driftsegenskaper, årsakene til ulykken samt selve ulykkesforløpet. Selve ulykkesårsaken ligger i den serie av grove brudd mot driftsprosedyrer og sikkerhetsforskrifter som ble begått i forbindelse med forberedelse og gjennomføring av et eksperiment. Selve ulykkesforløpet ble i første rekke bestemt av den manglende effektstabilitet (selvregulering) som karakteriserer denne reaktortypen ved lave effektnivåer.

I en såkalt likevekts-syklus (med hensyn til utbrenning og brenselbytte) har LWGR-reaktoren en positiv void-(dampvolum)reaktivitetskoeffisient. Dette er i prinsippet en konsekvens av en effektiv moderator og et kjølemedium (lettvann) som bringes til koking. Forholdet vil være særlig fremtredende i en såkalt overmoderert reaktor der volumforholdet mellom brensel og moderator er lavt, som i Tsjernobyl-reaktoren. Hvis temperaturen øker, øker også dampvolumet, slik at volumet av nøytronabsorberende vann mellom brensel og moderator (grafitt) avtar. Dette øker i sin tur reaktoreffekten og temperaturen. I reaktorer der lettvann både er moderator og kjølemiddel, vil derimot void-koeffisienten være negativ, dvs. at reaktiviteten *avtar* hvis temperaturen øker. Dette skyldes at moderatorfunkjsonen her ligger i selve vannvolumet, som avtar hvis dampvolumet øker. Positive, alternativt negative void-koeffiseienter, er egenskaper som kan *konstrueres* eller bygges inn i de forskjellige reaktortypene, avhengig bl.a. av hvordan volumforholdene mellom brensel og moderator velges. Reaktorer der brenselet er naturlig eller lav-anriket uran, er ofte utformet med et relativt lavt brensel/moderator-forhold. Dette gir forholdsvis store konstruksjoner. Kompakte reaktorutforminger som moderne PWR-anlegg, har derimot forholdsvis høye brensel/moderator-forhold.

ET KRITISK BLIKK PÅ ANLEGGSKARAKTERISTIKKER

— LWGR/Tsjernobyl - type

- **Kompleks vann/damp - krets**
  - **1700 brenselkanaler**
- **Betydelig mengde zirconium**
  - **potensial for H2 utvikling**
- **Stor grafittkjerne**
  - **brennbar**
  - **svelling**
  - **vann-grafitt reaksjon mulig**
  - **høy driftstemperatur , lite effektiv som varmeavleder**
- **Effektfordeling vanskelig å kontrollere (200 kontr. staver)**
- **Ugunstig transientrespons**
- **Strenge krav til operativ kvalitet av sikkerhetssystemer**

Slike reaktorer benytter brensel med høyere anrikning, 3-4% U-235.

En positiv void-koeffisient er i seg selv ikke umulig å kontrollere, men for en såvidt stor reaktorkjerne som i Tsjernobyl-reaktoren, er kontrollmulighetene helt avhengig av en pålitelig instrumentering og et effektivt system for deteksjon og styring av lokale effekttransienter (on-line computer control).

En negativ brensel-temperatur-koeffisient* bidrar imidlertid til å utbalansere den postitive void-koeffisienten, slik at nettoeffekten av en effekttransient avhenger av effektnivået. Under normale driftsforhold er denne nettoeffekten (effekt-koeffisienten) negativ ved full reaktoreffekt, og blir først positiv når effektnivået faller til under ca. 20% av nominell effekt, dv.s ved ca. 700 MWt (termisk). Dette forholdet avspeiles også i driftsprosedyrene for anlegget, som legger sterke operative begrensninger på driften av anlegget under 700 MWt.

Den globale og romlige effektfordelingen samt nødstoppfunksjonen i en LWGR styres av 211 nøytronabsorberende kontrollstaver. Ved nødstopp kjøres samtlige kontrollstaver momentant inn i reaktorkjernen (maksimalhstighet 0.4 m/s). Innkjøringshastigheten er tilstrekkelig til å kompensere for posi-

*) Det negative bidraget kommer i hovedsak fra økt resonansabsorpsjon i U-238 ved økende temperatur i brenselet. Dopplereffekten «smører ut» absorpsjonslinjene i resonansområdet, og øker på denne måten sannsynligheten for uproduktiv innfanging (ingen fisjon) av nøytronene før de kommer ned i termiske områder.

tive reaktivitetseffekter, i første rekke forhindre såkalte «prompt» kritiske tilstander, dvs. der reaktoreffekten øker eksponentielt. For kontroll av effektfordelingen i kjernen og sikring av nødstoppfunksjonen, forlanger driftsinstruksen at det alltid skal være minst 30 kontrollstaver inne i kjernen.

Ulykken

Vi har i dag et ganske godt bilde av selve ulykkesforløpet, hva som gikk forut for selve ulykken, og hvilke omstendigheter som bidro til å gi den de konsekvenser den fikk. Dette er først og fremst basert på det tekniske materialet som Sovjetunionen la frem på «Post-Accident Review»-møtet i Wien i slutten av august 1986, og den analyse som her ble foretatt. Gjennom en serie grove feil og brudd på driftsprosedyrene, feil som anleggssystemene ikke var konstruert for å blokkere eller nøytralisere, skjedde en dampsprengning av reaktorkjernen med en påfølgende gasseksplosjon som ødela reaktorbygningen. Hele ulykkesforløpet varte i kun 6 sek. og resulterte i en havarert reaktorkjerne med en brennende grafitt-moderator, med fri adgang for radioaktive utslipp til atmosfæren. Eksplosjonene og brannen skapte dessuten en transportmekanisme som bragte de radioaktive spaltningsproduktene opp i en høyde på 700-1000 m. Med inversjon og en sydøstlig vind, drev den radioaktive skyen ovenpå inversjonsskiktet mot nordvest - mot Polen og Skandinavia.

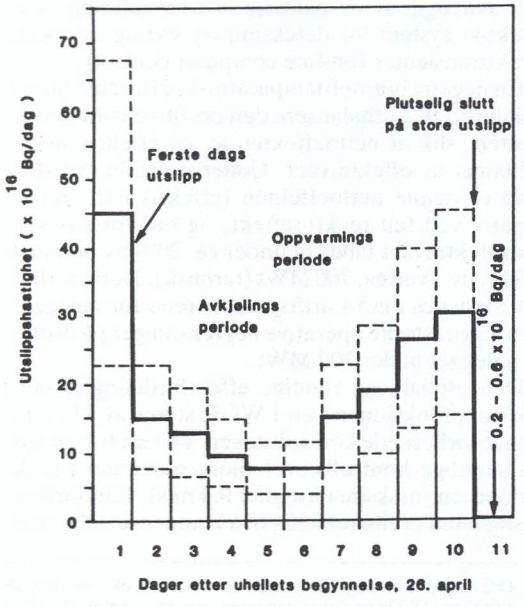


Fig. 6. Daglige utslipp av radioaktive stoffer fra den ødelagte Tsjernobyl-reaktoren. Sovjetiske anslag over de mest sannsynlige utslippene, medregnet feilmarginer (± 50%). Verdiene omfatter ikke edelgasser.

- Det skjebnesvangre sikkerhetseksperimentet

Ironisk nok var det et eksperiment med en klar sikkerhetsteknisk motivering som utløste ulykken i Tsjernobyl. Den 25. april 1986 skulle Tsjernobyl-4 stoppes for rutinemessig vedlikehold. Før avstengningen skulle det gjennomføres et eksperiment for å teste muligheten for å utnytte tregheten hos turbinrotoren til å gi reservestrøm til viktige sikkerhetskomponenter en viss tid (ca. 45 sek.) etter at damptilførselen til turbinen var brutt.

Lignende forsøk hadde vært utført tidligere, men eksperimentet var denne gang dårlig forberedt og dessuten ikke sikkerhetsklarert. Eksperimentet var planlagt og ble ledet av el-tekniske spesialister uten innsikt i reaktorfysikk eller i reaktoranlegget forøvrig. I hele planleggingen hadde man gått ut fra at eksperimentet kunne betraktes som et elektroteknisk forsøk uten noen sammenheng med reaktoren og dens sikkerhet. Sikkerhetsorganisasjonen hadde fått en skisse av eksperimentprogrammet, men ikke gitt noen sikkerhetsklarering. Like fullt ble eksperimentet besluttet gjennomført. Dette reiser naturlig nok spørsmål om administrasjonen av sikkerhetsgranskningen ved kjernekraftverket, og organiseringen av selve beslutningsprosessen når det gjelder sikkerhetsmessige spørsmål. Hittil er slike spørsmål ikke besvart.

For å kunne gjennomføre eksperimentet ble bl.a. nødkjølesystemet og utløsningssignalene for hurtigstopp i dampseparatorene koblet ut. Dessuten ble nesten alle kontrollstavene trukket ut av kjernen i forbindelse med stabilisering av effektnivået på 200 MWt etter et tidligere fall i nivå til 30 MWt. Etter driftsinstruksen skulle det alltid være minst 30 kontrollstaver i kjernen, men da eksperimentet startet, var det kun 6 staver inne.

Etter en serie brudd på driftsprosedyrer og sikkerhetsreglementet, der en samordnende organisering av sikkerhetsmessige krav og hensyn totalt synes å mangle, var Tsjernobyl-4 bragt over i en tilstand som i realiteten ikke kunne stabiliseres via manuell kontroll. På grunn av reaktorens spesielle design-karakteristikker (positiv effektkoeffisient ved lave effektnivåer) ville selv små effekttransienter gi en akselerert økning av reaktoreffekten.

Det var nettopp dette som skjedde da damptilførselen til turbinene ble redusert og damptrykket og dampvolumet i systemet begynte å øke. Det ble gjort forsøk på å stoppe kjedereaksjonen, men dette mislyktes siden nesten samtlige kontrollstaver var trukket ut og innkjøringshastigheten for stavene var for lav.

I løpet av 4 sekunder økte reaktoreffekten til 100 ganger nominelt effektnivå (300.000 MWt), og denne spontane effektøkningen førte til en fullstendig pulverisering av deler av brenselet. Denne sprengmekanismen er velkjent fra en rekke eksperimenter innen reaktorsikkerhetsforskning. Pulveri-

serte brenselspartikler forårsaket deretter en voldsom dampeksplosjon som ødela deler av reaktorblokken og løftet den 1000 tonn tunge dekkplaten over reaktoren ut av stilling. Derved ble samtlige kjølekanaler kuttet over. Etter 2-3 sek. skjedde en ny eksplosjon og glødende deler fra reaktoren ble kastet ut av den ødelagte reaktorbygningen. I denne eksplosjonen har sannsynligvis hydrogen dannet via zirkonium-vann-reaksjoner spilt en avgjørende rolle. Tilførsel av luft til den ødelagte reaktoren førte i sin tur til at grafitten begynte å brenne.

RESPONS PÅ EFFEKTTRANSIENTER

- Sammenligning mellom LWGR (Tsjernobyl -type) og lettvannsreaktorer av vestlig type (LWR)

Egenskap	LWGR	LWR
• Brensel-temp. koeff.	Neg.	Neg.
• Moderator-temp. koeff.	Pos.	Neg.
• Void(dampvolum) - koeff.	Pos. eller nær null	Neg. eller nær null
• Selvstabilisering	Begrenset	Effektiv
• Transientkontr. via kontrollstaver	Avgjørende	Liten betydning

Utslipp av radioaktive stoffer

Frem til 6. mai fortsatte det å strømme radioaktivitet ut av den ødelagte reaktoren. Det er beregnet at utslippet av edelgassinnholdet i kjernen (Xenon og Krypton) har vært bort imot totalt (ca. 100%). Av de gjenværende kondenserbare radionuklidene slapp det ut omkring 270 PBq I-131, bort imot 40 PBq Cs-137, og omkring 8 PBq Sr-90, og 0.03 PBq Pu-239. Dette utgjorde henholdsvis ca. 20%, 13%, 4% og 3% av reaktorkjernens innhold av de respektive isotopene. Totalutslippet, unntatt edelgassene, utgjorde en aktivitetsmengde på ca. 1300 PBq eller ca. 4% av reaktorkjernens totale aktivitetsinnhold. Totalutslippet medregnet edelgassene (ca. 1700 PBq Xe-133) utgjorde i underkant av 10% av aktivitetsinnholdet i kjernen, som er beregnet til ca. 32000 PBq på det tidspunkt ulykken inntraff.

Aktivitetsutslippet skjedde over flere dager og ikke som et stort engangsutslipp, *fig. 6*. Det største utslippet skjedde i forbindelse med selve havariet og ødeleggelsen av reaktoren. Utslippene avtok i

UTSLIPP AV VIKTIGSTE RADIOAKTIVE ISOTOPER

- **EDELGASSER ~ 100%**
- **ØVRIGE SPALTNINGSPRODUKTER : Ca. 3 - 4 % av reaktorkjernens totale innhold.**

Element	Prosentvise utslipp
I - 131	20
Te - 132	15
Cs - 134	10
Cs - 137	13
Sr - 90	4
Pu - 239	3
Pu - 240	3

Usikkerhet i anslagene : 50 %.

dagene som fulgte, sannsynligvis som et resultat av de anstrengelser som ble gjort for å dekke reaktoren med store mengder sand, bly og leire. Fem dager etter ulykken begynte utslippene å øke, med kulminasjon 5. mai. Deretter stoppet utslippene så og si opp.

Oppsummering

Tsjernobyl-ulykken har vært en dramatisk demonstrasjon av et stort reaktorhavari med tragiske konsekvenser, og er det alvorligste havari hittil med sivile kjernekraftverk. Ulykken har imidlertid lite å bidra med når det gjelder grunnlaget for vurdering av risikonivået knyttet til driften av store kjernekraftverk. Både forhold omkring Tsjernobylreaktorens konstruksjons- og driftsegenskaper, samt årsakene til ulykken og selve ulykkesforløpet tilsier dette. En slik ulykke er vanskelig å forestille seg i vestlige reaktorsystemer både med hensyn til ulykkens karakter og omfang.

Tsjernobyl-ulykken ventes ikke å få betydning for eksisterende vestlige reaktorkonstruksjoner og deres sikkerhetstekonologi. Det kan imidlertid ventes en fornyet vurdering av konstruksjonskriteriene for selve reaktorinneslutningen, og eventuelt enkelte tekniske modifikasjoner for å sikre deres integritet under ekstreme belastninger.

Tsjernobyl-ulykken har imidlertid demonstrert at den totale sikkerheten av et anlegg både bestemmes av anleggets tekniske egenskaper og av kvaliteten av den drifts- og sikkerhetsorganisasjon som skal drive anlegget. I vestlige land legges det allerede stor vekt

på dette samspillet mellom mennesker og teknologi, men det er rom for forbedringer. Det kan derfor ventes fortsatt innsats på utvikling av bedre menneske/maskin-kommunikasjonssystemer, blant annet ved bruk av avansert informasjonsteknologi/datateknikk.

- *Nye perspektiver*

Dagens generasjon av kommersielle reaktorer bygger i stor utstrekning sin sikkerhetsfunksjon på konstruerte sikkerhetssystemer og -tiltak. Den aktuelle organiseringen av de sikkerhetsmessige funksjoner og tiltak bygger på prinsippet om «forsvar i dybden». Viktige deler av sikkerhetsfunksjonen ivaretas også av de selvregulerende egenskaper som bygges inn i reaktorsystemet. I hovedsak baseres sikkerheten på prinsipept om *aktiv sikkerhet*, dvs. at de fleste sikkerhetstiltak må aktiveres eller settes i funksjon via elektro-mekaniske systemer og komponenter (ventiler, pumper etc.). Selve reaktorinneslutningen regnes i denen sammenheng som et passivt sikkerhetstiltak.

Den sikkerhetsteknologiske utvikling har bragt sannsynligheten for kjernesmelting og større radioaktive utslipp ned til meget lave nivåer. En utvikling mot økende kompleksitet, mangfoldighet og flerdobling av viktige sikkerhetsmessige funksjoner og tiltak kan imidlertid ikke eliminere denne muligheten. En såkalt «rest-risiko» vil alltid være til stede. Det er i dette perspektivet sammen med det faktum at antall kjernekraftverk øker, man må se den interesse som i dag er i ferd med å rettes inn mot reaktorsystemer der sikkerheten bygger på prinsippet om *passiv sikkerhet*. Dvs. at sikkerhetsfunksjonen blir en iboende og integrert del av selve reaktorsystemet.

ÅRSMELDING FOR NORSK FYSISK SELSKAP 1985-1986

Årsmeldingen omfatter tiden mellom årsmøtene 27. juni 1985 og 16. juni 1986.

Organisasjonsforhold

Styret har bestått av:

Eivind Osnes, formann
Reidar Svein Sigmond, viseformann
Noralv Bjørnå (til 31.12.1985)
Torgeir Engeland
Ove Havnes (fra 1.1. 1986)
Kårmund Myklebost

med varamedlemmer:

Alv Egeland
Anne Grete Frodesen (til 31.12.1985)
Kjell Henriksen (til 31.12.1985)
Hallstein Høgåsen
Unni Løvhaug (fra 1.1.1986)
Jørgen Løvseth
Johan Stadsnes (fra 1.1. 1986)

Selskapets sekretær er Gerd Jarrett.

Styret har hatt fem møter i perioden: to i Oslo, to i Trondheim og ett på Kjeller.

Selskapet har 671 personlige medlemmer pr. 31.5.1986, derav 12 studentmedlemmer. T. Riste og S. Westin er æresmedlemmer. Videre har selskapet 12 kollektive medlemmer:

Chr. Michelsens Institutt
Det Norske Veritas
A/S Elektrisk Bureau
A/S Hafslund
Laborel A/S
Norsk Data A/S
Norsk Hydro A/S
Rogalandsforskning
Simrad A/S
SINTEF
Statoil
Aanderaa Instruments

Årskontingenten er for 1986 kr. 135 for ordinære medlemmer og kr. 70 for studentmedlemmer. Tilskuddet fra de kollektive medlemmer var i 1985 kr. 24.500,-.

Selskapets økonomi er tilfredsstillende og regnskapet for 1985 er gjort opp med et overskudd på kr. 20.993,-.

Fra Fysikkens Verden

Norsk Fysisk Selskap utgir tidsskriftet Fra Fysikkens Verden. Det utkommer 4 ganger i året og har et opplag på 1400. For selskapets medlemmer er abonnementet inkludert og utgjør halvparten av årskontingenten.

Redaksjonen består av:

Redaktører:	Knut Jostein Knutsen
	Hans Kolbenstvedt
Redaksjonssekretær:	Halvard Torgersen
Sekretær:	Gudrun Græsmann
Redaksjonskomité:	Ove Bratteng
	Tore Grønningsæter
	Alf Halsteinslid
	Kjell Mork
	Svein Sjøberg
	Olav Steinsvoll

Tidsskriftets økonomi har vist fortsatt bedring i 1985, og viser et overskudd på kr. 18.760,-, når NAVFs tilskudd på kr. 30.000,- er regnet som inntekt. Den likvide kapital er ca. kr. 40.000,- og er tilstrekkelig til å dekke utgivelsen av et par numre av tidsskriftet. Økonomien er imidlertid mer anstrengt i inneværende år, idet NAVF har redusert sitt tilskudd til kr. 20.000,-.

Redaksjonen tar fortsatt sikte på at hvert nummer

skal inneholde to større artikler av faglig art, og to-tre andre med mer pedagogisk og historisk stoff. Resten av plassen er tenkt til informasjon og bokanmeldelser. Redaksjonen mener det er spesielt viktig å anmelde alle nye norske læremidler i fysikk.

Fysikermøtet

Fysikermøtet ble i 1985 holdt ved Universitetet i Tromsø i tiden 26.-29. juni, med 90 registrerte deltagere. Noralv Bjørnå var formann i arrangementskomitéen.

Møteprogrammet besto av 12 inviterte oversiktsforedrag i plenum, og 29 påmeldte faglige foredrag i parallellsesoner. Blant plenumssesjonene inngikk presentasjon av norsk plasma- og gassutladningsfysikk. Det ble dessuten arrangert ekskursjon til EISCAT og åpent hus på Nordlysobservatoriet/ Tromsø Telemetristasjon. Det sosiale program besto av fisketur til Straumsbukta og festmiddag i Kulturhuset. Festtalen ble holdt av Kårmund Myklebost.

Plenumsforedrag

M. Baron (EISCAT): EISCAT Facility
P. Grangier (Paris): Localization in Quantum Mechanics - Experimental Test of Bell's Inequalities
E. Grün (Heidelberg): Space Missions to Comet Halley
H. Høgåsen (Oslo): Top Quark?
J. Kalckar (København): Niels Bohr - Foundations of Quantum Theory and the Unity of Knowledge
A. Litherland (Toronto): The Accelerator Dating Technique
V. Nilsen (Tromsø): Virksomheten innen billedprosessering ved Universitetet i Tromsø
R.S. Sigmond (Trondheim): Presentasjon av norsk gassutladnings- og ionetransportfysikk
J.F. Thorsteinsen (Bergen): Oktupoldeformerte atomkjerner
J. Trulsen (Tromsø): Norsk plasmafysikk
J. Wesson (JET): The Challenge of Fusion
A.P. Young (London): Spin Glasses

Selskapets årsmøte ble avholdt 27. juni, og er referert i Fra Fysikkens Verden *47* (1985) Nr. 4. Under årsmøtet ble Norsk Datas fagpris i kjernefysikk for 1985 tildelt Gunnar Løvhøiden, Karl Nybø og Tor F. Thorsteinsen for deres studier av oktupolformerte atomkjerner. Prisforedraget ble holdt av Thorsteinsen. En kort omtale av prisarbeidet er gitt i FFV *47* (1985) Nr. 3. Simrads pris i elektrooptikk for 1985 ble tildelt Lars O. Svaasand for hans arbeid med medisinske anvendelser av elektrooptikk. Svaasand var forhindret fra å delta på møtet i Tromsø og fikk prisen overrakt under et møte i Norges Tekniske Vitenskapsakademi 10. oktober 1985. Prisarbeidet er omtalt i FFV *47* (1985) Nr. 3.

Faggruppene

Selskapet har for tiden 13 faggrupper: Akustikk, Astrofysikk, Biofysikk, Datafysikk og måleteknikk, Partikkelfysikk, Kondenserte fasers fsyikk, Generell teoretisk fysikk, Geofysikk og ionosfærefysikk, Kjernefysikk, Optikk og atom- og molekylærfysikk med spektroskopi, Petroleumsfysikk, Plasma- og gassutladningsfysikk og Undervisning. Disse har til oppgave å skape kontakt og stimulere forsknings- og undervisningsaktiviteten i Norge innen sine respektive fagområder, og kan innenfor disse oppfattes som nasjonale fagseksjoner. Gruppene har utarbeidet femårsplaner for sine respektive fagområder. Disse er samlet i boken «Fremtidsplaner for norsk fysikk 1985-1988» som er utgitt av Norsk Fysikkråd og NFS på TFS på Tapir forlag i 1985.

Under Fysikermøtet 1986 i Trondheim er det som vanlig satt av tid for kontaktmøte mellom styret og formennene for de faglige gruppene. Optikkgruppens virksomhet vil bli presentert i en plenumssesjon.

Styret har gitt økonomisk støtte til Trondheim Workshop i teoretisk fysikk 9.-13. september 1985 (astrofysikk og partikkelfysikk) og 10.-13. juni 1986 (faste stoffers fysikk), Fysikkseminar for lærere i den videregående skole på Alver hotell 11.-12. oktober 1985, Det 9. nordiske møte i elementærpartikkelfysikk på Spåtind 4.-10. januar 1986 og Det 21. nordiske plasma- og gassutladningssymposium i Gausdal 16.-19. februar 1986.

Fysikkolympiaden for 1985 ble arrangert i Jugoslavia. Fem norske elever deltok under ledelse av Ingerid Hiis Helstrup og Vidar Horsfjord. Deltagelsen ble støttet gjennom bidrag fra Kirke- og undervisningsdepartementet, NAVF, Rogalandsforskning, Simrad og Aanderaa Instruments. En rapport er publisert i FFV *48* (1986) Nr. 1. I 1986 arrangeres fysikkolympiaden i England. Uttagningsprøver er avholdt i to omganger (november og mars) og fem deltagere er tatt ut. Disse har gjennomgått et treningskurs på Fysisk institutt ved Universitetet i Trondheim/AVH i tiden 9.-11. juni.

Norsk Fysikkråd

Selskapet har i 1985-86 vært reprentert i Norsk Fysikkråd ved Ingerid Hiis Helstrup (varam. Anders Isnes) Ole J. Løkberg (Olav Kaalhus), Gunnar Løvhøiden (ingen), Haakon Olsen (Stein Ullaland), Eivind Osnes (Per Vold) og Turid Sigmond (Svein Lie). Haakon Olsen er rådets formann. Norsk Fysikkråd har i samarbeid med NFS utgitt «Fremtidsplaner for norsk fysikk 1985-1988» på Tapir Forlag. Boken forelå ferdig trykt på sensommeren 1985 og er sendt til Forskningspolitisk Råd, forskningsrådene, universitetene og høgskolene.

Nordisk Samarbeid

Samarbeidet med de fysiske selskaper i de andre nordiske land har i denne perioden vesentlig foregått

innenfor rammen av Physica Scripta. Det har ikke vært noe møte i samarbeidsutvalget, hvor formennene møter (Vedr. Europhysics Letters henvises til neste avsnitt.)

Norsk styremedlem i Physica Scripta er Tormod Riste med varamedlem Kjell Mork, mens Eystein Husebye, Jens Feder, John Rekstad og Arne Skjeltorp er fagredaktører.

Physica Scripta har nå opparbeidet en bra økonomi. Regnskapet for 1985/86 ventes å gi et overskudd og vil øke den opparbeidede reservekapital på Skr. 971.000,-. Dette innebærer innebærer imidlertid at støtten fra Nordisk Publiseringsnemnd etterhvert vil falle bort. Tidsskriftet tar sikte på å fordoble sidetallet i løpet av to-tre år, likeledes abonnementstallet. Det er inngått avtale om markedsføring av tidsskriftet i USA gjennom American Institutet of Physics. Manuskripttilgangen er bra, men det er ønskelig å øke andelen av manuskripter fra ikke-nordiske land (nå ca. 60%).

Nordisk samarbeidsutvalg har sammen med NORDITA utgitt en medlemskatalog pr. 15. september 1985 for de fem fysiske selskaper i Norden.

European Physical Society
Representasjon

Torgeir Engeland og Svein Sigmond har vært selskapets representanter i rådet for EPS. Sigmonds funksjonstid utløp 1. april 1986. Som nytt rådsmedlem er valgt Ove Havnes. Engeland deltok i rådsmøtet i London 20.-21. mars 1986 og en tilstøtende konferanse om internasjonale forskningsinstallasjoner. Her deltok også Endre Lillethun, som er medlem av EPS Advisory Committee on Physics and Society og formann i den nyopprettede Interdivisional Group on Physics for Development. IGPDs hovedoppgave vil være å oppmuntre til og legge til rette for økt samarbeid mellom fysikere og industrialserte land og utviklingsland. En norsk kontaktgruppe for IGDP er opprettet med Egil Fett som formann. Knut Jostein Knutsen er medlem av EPS Advisory Committee on Physics Education.

NFS' medlemskontingent til EPS for 1986 er ca. kr. 25.000,-.

Europhysics Letters

Utgivelsen av Europhysics Letters startet 1. januar 1986. Tidsskriftet kommer ut to ganger i måneden og dekker alle områder av fysikken. NFS har gått sammen med de fysiske selskapene i Finland, Island og Sverige om å stille en felles garanti for Sfr. 10.000,- som kan trekkes på om påkrevet. Fordelingen er Sfr 500 på Island, 2375 på Finland og Norge, og 4750 på Sverige. Danmark har senere sluttet seg til med et beløp på Sfr. 2375. Garantibidraget gir de nordiske land rett til å oppnevne et rådgivende medlem til tidsskriftets forretningsutvalg.

International Union of Pure and Applied Physics

Styret utgjør sammen med Sverre Westin fra Det norske Videnskaps-Akademi den norske nasjonalkomité for IUPAP. Norge har nå 5 plasser i IUPAP:

P.C. Hemmer, Executive Council
K. Birkeland, C.2 SUN-AMCO (Symbols, Units, Nomenclature, Atomic Masses and Constants)
W. Løchstøer, C.7, Acoustics
T. Engeland, C.12, Nuclear Physics
P. Maltby, C.19, Astrophysics

Andre internasjonale kontakter

Formannen deltok etter invitasjon fra American Physical Society i APS International Conference on Research and Communications in Physics i Washington D.C. 28. april - 1. mai 1986. Konferansen ble holdt i tilknytning til det store vårmøtet til APS og hadde til hensikt å orientere om problemstillinger og internasjonale samarbeidsmuligheter i fysikken. Representanter fra ca. 50 fysiske selskaper i alle verdensdeler deltok.

Menneskerettigheter og akademisk frihet

Som nevnt i forrige årsmelding oppnevnte styret i 1985 et «Rådgivende utvalg for menneskerettighetsspørsmål vedrørende fysikk og fysikere» med mandat:

1. Behandle og gi styret råd om menneskerettighetsspørsmål vedrørende fysikk og fysikere, etter anmodning fra styret.
2. Ta opp slike spørsmål på eget initiativ.
3. Holde arkiv over henvendelser og behandlede saker.
4. All offisiell korrespondanse og uttalelser skal gå gjennom styret.

Medlemmer i utvalget er Per Chr. Hemmer (formann), Kristoffer Gjøtterud og Tormod Riste.

Etter forslag fra utvalget har styret i rapportperioden sendt følgende appeller i menneskerettighetssaker:

1. Telegram til aktor i saken mot datafysikeren Roald Zelichonok og til presidenten for det sovjetiske vitenskapsakademi om å ta hensyn til Zelichonoks helsetilstand og bidra til at hans emigrasjonssøknad innvilges.
2. Henvendelse til Det Norske Videnskaps-Akademi og Det Kgl. Norske Videnskapers Selskap om å appellere til Det sovjetiske vitenskapsakademi for 17 sovjet-jødiske forskere som i mer enn 10 år har vært nektet utreisetillatelse. Appellen var et ledd i en internasjonal aksjon fra International Committee of Scientists for Soviet Refusniks.
3. Henvendelse til de sovjetiske myndigheter om å gi utreisetillatelse til fysikklæreren Marat Osnis og hans familie.

Forøvrig vises til egen rapport fra utvalget.

Takk

Styret vil rette en takk til alle tillitsvalgte i selskapet for oppofrende frivillig innsats til beste for norsk fysikk.

Blindern, 31. mai 1986
Eivind Osnes
formann

NORSK FYSISK SELSKAP

Årsmøtet i Norsk Fysisk Selskap ble holdt ved Norges Tekniske Høgskole mandag 16. juni kl. 14. Formannen, Eivind Osnes, ønsket velkommen til møtet. Det var ingen kommentarer til innkallingen og Osnes ble valgt til møteleder.

Sakliste

1. Godkjenning av innkalling og sakliste
2. Referat fra årsmøtet 1985 (se FFV nr. 4 1985)
3. Årsmelding
4. Faglige grupper
5. Fra Fysikkens Verden
6. Physica Scripta (orientering)
7. EPS og utviklingslandene. Orientering v/prof. E. Lillethun
8. Rapport fra rådgivende utvalg for menneskerettigheter
9. Regnskap for 1985 for NFS og FFV
10. Budsjett for 1986 og 1987 for NFS og FFV
11. Valg:
    a) vise-formann og 1 styremedlem, 2 varamedlemmer
    b) revisorer og valg-komité
    c) medlemmer til Norsk Fysikkråd
12. Statuttendringer
13. Fysikermøtet 1987
14. Eventuelt

Pkt. 1. Saklisten ble godkjent.
Pkt. 2. Referatet fra årsmøtet 1985 ble godkjent.
Pkt. 3. Årsmeldingen var lagt ut på forhånd og vil bli gjengitt i Fra Fysikkens Verden.

Under gjennomgåelsen av årsmeldingen ga Haakon Olsen en orientring om Fysikkrådet som hadde hatt årsmøte 15. juni 1986. Styret i Fysikkrådet består fra 1/1 86 av: H. Olsen, formann, H. Hobæk, H. Kolbenstvedt, E. Osnes og J.E. Solheim. Det arbeides med forslaget om å redusere antallet representanter til Fysikkrådet fra 21 til 11 representanter. Det er viktig at Fysikkrådet holder kontakt med de fysiske institutter, de frittstående forskningsinstitusjoner og med de videregående skoler. 5-årsplanene var stort sett blitt godt mottatt og har nok en viss innflytelse.

Årsmeldingen ble godkjent.

Pkt. 4. De fleste av de faglige gruppene hadde sendt inn skriftlig rapport. Selskapet har i 1985/86 støttet faggruppene med tilsammen kr. 22.500,- til symposier.

Pkt. 5. Formannen takket H. Kolbenstvedt og K.J. Knutsen for den entusiasme de hadde vist som redaktøren av FFV og for det store arbeid de hadde nedlagt for å få folk til å skrive forståelig. Times Atlas ble overrakt. Kolbenstvedt takket bidragsyterne gjennom de siste fem år.

Formannen fortalte at Øivin Holter hadde sagt seg villig til å bli ny ansvarlig redaktør med Finn Ingebretsen som medredaktør fra 1. januar 1987. Alt arbeid med tidsskriftet vil da bli flyttet til Oslo. Årsmøtet sluttet seg til styrets forslag om at nr. 3 og 4 slås sammen og at det skal ta opp noe av problematikken som vil bli diskutert på seminaret om Tsjernobyl-ulykken.

Pkt. 6. T. Riste ga en kort orientering om Physica Scripta som nå går meget bra. Han mente Nils Robert Nilsson hadde gjort en flott innsats for tidsskriftet, bl.a. fått i stand en avtale med American Institute of Physics om markedsføring i USA. Redaksjonen er nå flyttet fra Uppsala til Stockholm, og det vil bli innkjøpt datautstyr for å lette arbeidet.

*Pkt. 7.*E. Lillethun fortalte om «Interdivisional Group on Physics and Development (IGPD)» som ble opprettet av EPS i 1985. Han har skrevet om dette i Fra Fysikkens Verden nr. 4, 1985. Lillethun er formann for denne gruppen, og det vil nå bli dannet en norsk undergruppe for «Fysikk i utviklingsland». H. Fett, Bergen har sagt seg villig til å være formann i et interimstyre for en slik gruppe, hvor K. Rypdal, Tromsø, og M. Mehlen fra Oslo er med, det vil også bli valgt et styremedlem fra Trondheim. Fett har utarbeidet et fyldig notat om saken. Notatet var kopiert og lagt ut, interesserte kan få kopi ved henvendelse til Fett eller selskapets sekretariat. Det var lagt ut en liste hvor interesserte kunne meldes seg som medlemmer av denne tverrfaglige gruppen.

Pkt. 8. Det rådgivende utvalg for menneskerettigheter hadde levert en skriftlig rapport som var lagt ut. Her fortelles det om de saker utvalget har behandlet og hvilke råd det har gitt til styret (se årsmeldingen).

Gjøtterud oppfordret selskapet til enda en gang å sende en henstilling til Det sovjetiske videnskapsakademi og de sovjetiske myndigheter v/Gorbatsjov angående Sakharov, Zelichonok og Orlov.

Årsmøtet vedtok at styret får fullmakt til å utforme og sende en slik henstilling.

Pkt. 9. Regnskapet for NFS ble godkjent med et overskudd på kr. 20.992,99, og regnskapet for FFV ble godkjent med et overskudd på kr. 18.759,97.

Pkt. 10. Budsjettene for 1986 og 1987 for NFS og FFV ble godkjent. Når det gjelder budsjettet for FFV for 1987, er dette noe usikkert, da man ikke vet hvor mye omleggingen av tidsskriftet vil koste.

Pkt. 11. Valgkomitéen la frem forslag om gjenvalg

på styremedlem T. Engeland. H. Olsen ble foreslått som nytt styremedlem etter R.S. Sigmond, og O. Havnes som ny viseformann. Årsmøtet sluttet seg til valgkomitéens innstilling, og styret har fra 1. januar 1987 følgende sammensetning:

E. Osnes, formann
O. Havnes, viseformann
T. Engeland, styremedlem (gjenvalg)
K. Myklebost, styremedlem
H. Olsen (ny)

Varamedlemmer:

H. Høgåsen
U. Løvhaug
H. Skullerud (ny)
J. Stadsnes
L. Veseth (ny)

F. Tønnesen ble gjenvalgt som revisor, med J. Debernard som varamedlem. Styret fikk fullmakt til å finne en ny revisor for FFV.

Valgkomitéen: T. Amundsen, formann, O. Bratteng, A.G. Frodesen og K. Mork ble gjenvalgt.

c) Som medlemmer av Norsk Fysikkråd for perioden 1987/88 ble valgt:

Som medlemmer: G. Løvhøiden (gjenvalg)
O. Havnes (ny)
P. Vold (ny)

Som varamedlemmer: A. Isnes (gjenvalg)
O. Kaalhus (gjenvalg)
K. Myklebost (ny)

Dessuten ble V. Horsfjord valgt som varamedlem for resten av 1986.

Pkt. 12. Statuttendringer.

1) Styret har mottatt flere henvendelser om at det bør kreves 2/3 flertall for resolusjonsforslag og hadde sendt ut forslag om at dette skulle tas inn i § 7. På årsmøtet ble det hevdet at bestemmelsen om 2/3 flertall for resolusjonsforslag ikke bør blandes sammen med bestemmelsene om statuttendringer og den ble isteden foreslått tatt inn som et eget avsnitt i § 5, etter avsnitt 3. Styret sluttet seg til dette og følgende ble vedtatt med 28 stemmer, 2 stemte i mot, og 3 avholdt seg fra å stemme:

Årsmøtet kan vedta resolusjoner med minst 2/3 flertall av de avgitte stemmer. Ikke møtende medlemmer kan avgi skriftlige stemme. Forslag til resolusjoner må ha vært sendt styret senest 3 uker før årsmøtet, og styret skal sende disse til medlemmene senest 2 uker før årsmøtet. Som reaksjon på uforutsette, viktige begivenheter kan årsmøtet dog vedta resolusjoner som er fremlagt av et enstemmig styre senere enn ordinær frist.

2) Spørsmålet om studentmedlemmene har stemmerett har vært reist, et flertall av styrets medlememr mener at dette hele tiden har vært en underforstått forutsetning, men statuttene reflekterer ikke denne forståelsen, og flertallet foreslår at dette presiseres i § 5, 2. avsnitt. Mindretallet i styret foreslår at hvis dette blir vedtatt, må § 3, 2. avsnitt forandres tilbake til vedtaket av 1974.

Etter en del diskusjon ble det holdt en prøvevotering for å se hvor mange var stemt for å gå tilbake til den gamle paragrafen om studentmedlemskap fra 1974, 10 stemte for, 20 mot. Det ble hevdet at det bare bør være to kategorier medlemmer, individuelle og kollektive, men at studenter betaler 1/2 kontingent.

Styreflertallets forslag:

> Ordinære medlemmer, studentmedlemmer og æresmedlemmer har adgang til å delta i årsmtøet med stemmerett, og kollektive medlemmer kan til årsmøtet sende én representant med stemmerett i likhet med de øvrige medlemmer.

fikk 33 stemmer, ingen stemte i mot, 7 avholdt seg fra å stemme.

Styremindretallets forslag om å gå tilbake til 1974 versjonen av § 3, avsnitt 2, fikk 5 stemmer.

Det var enighet om at en bør operere med bare to medlemskategorier i statuttene, og styret fikk i oppdrag å harmonisere statuttene til neste årsmøte.

Pkt. 13. Fysikermøtet 1987 vil bli holdt i Stavanger.

Pkt. 14. Det var ingen saker under eventuelt.

Referent Gerd Jarrett

NORSK FYSIKKRÅD

Halvårsmelding 1. januar - 1. juli 1986

Norsk Fysikkråd har vært inne i en vanskelig periode. Fysikkrådets virksomhet har ligget nede i forrige formannsperiode fra 6/6 1984 - 31/12 1985. Årsmøtet 1985 ble avholdt, men referat foreligger ikke.

Det har vært avholdt et styremøte i vårsemesteret, 20. mai.

Årsmøtet 1986 ble avholdt 15. juni ved Universitetet i Trondheim, AVH. Til stede var: F. Bakke, T. Engeland, O. Havnes, I. Hiis Helstrup, F. Ingebretsen, H. Kolbenstvedt (nestformann) O. Løkberg, H. Olsen (formann), E. Osnes, T. Sigmond.

Fysikkrådets fremtid. Årsmøtet understreker de oppgaver Fysikkrådet har både som Nasjonalt fagråd i fysikk og som kontaktorgan til den videregående skole og til fysikk/teknologi ved de frittstående forskningsinstitutter og i industrien.

Årsmøtet ønsker at Fysikkrådet holder nær kontakt med de fysiske institutter ved våre universiteter og høgskoler, med forskningsråd og med fysikkgrupper innenfor den videregående skole.

Fysikkrådets størrelse og sammensetning. Årsmøtet ba styret arbeide videre med et forslag til vedtektsendring der antallet av medlemmer reduseres. Årsmøtet ba styret om å legge frem et forslag til nye vedtekter til neste årsmøte. Bakgrunnen for forslaget er at det vil være lettere å sammenkalle til ple-

numsmøte og at i et mindre fysikkråd vil de enkelte medlemmer føle et større ansvar for rådets virksomhet. Det nåværende råd har 21 medlemmer som gir tilfredsstillende representasjon til de enkelte institusjoner. En reduksjon av antall medlemmer bør ikke forringe de enkelte deltakende institusjoners innflytelse i Fysikkrådet.

Aldersfordelingen av fysikere ved universiteter og høgskoler. Fysikkrådet drøftet saken under årsmøtet 1984 der årsmøtet ba formannen og styret om å arbeide videre med saken. Intet ble gjort, og Fysikkrådet tar nå opp saken på nytt. Styret vil blant annet ta opp spørsmålet i kontaktmøtene med styrerne for de fysiske institutter for å få en best mulig informasjon om aldersfordelingen og de problemer som knytter seg til vanskeligheter med rekruttering til fysikken.

Fysikkens stilling i den videregående skole. Dette er igjen en sak som har vært lite tatt vare på i forrige formannsperiode, og som årsmøtet ønsker at det arbeides med - bl.a. ved å etablere en nærmere kontakt til skoleverket.

Valg: Styret bestående av Haakon Olsen (formann), Hans Kolbenstvedt (nestformann), Halvor Hobæk, Eivind Osnes og Jan Erik Solheim ble gjenvalgt. Til valgkomite ble valgt: Einar Sagstuen (formann), Finn Bakke, Johan Stadsnes og Ove Havnes.

Neste møte i Fysikkrådet finner sted i forbindelse med Norsk Fysisk Selskaps årsmøte 1987 i Stavanger, eller tidligere dersom styret ser behov for et tidligere møte.

Haakon Olsen

FYSIKERMØTET 1987

avholdes for andre gang på Universitetsområdet, Ullandhaug i Stavanger, mandag 15. - torsdag 18. juni 1987. Tidspunktet er valgt for at interesserte kan kombinere oppholdet med Teknologidagane i Rogaland (TIR) som avholdes uka i forveien på samme sted.

Med forbehold om endringer, vil den faglige delen av møtet være viet følgende emner:

1. Supercomputere og deres anvendelse i fysikken (fraktaler, molekylær dynamikk, reservoirsimulering, kvantemekanikk, hydrodynamikk, etc.)
3. Petroleumsfysikk.
4. Forskningsrådene og norsk fysikk (paneldebatt).

Vi vil for 1987 få presentasjon av petroleumsgruppen i selskapet. Ellers henstiller vi til faggruppenes ledere om å inspirere til mange og interessante foredrag til parallellsesjonene.

Det øvrige faste programmet vil foruten årsmøtet i år bestå av to prisutdelinger; Norsk Datas og Simrads fysikkpriser.

Det sosiale programmet håper vi også blir vellykket; høydepunktet blir sannsynligvis en båtutflukt til Lysebotn/Lyse Kraftferk innerst i Lysefjorden, som byr på vill og vakker natur (Preikestolen) underveis. Mer utfyllende program og påmeldingsskjema til møtet vil komme i første nummer av Fra Fysikkens Verden i 1987.

Hilsen arrangementskomiteen i Stavanger

DEN 17. INTERNASJONALE FYSIKKOLYMPIADEN FOR SKOLEUNGDOM

For tredje år på rad deltok Norge i sommer i fysikkolympiaden, som denne gang ble arrangert i England, nær London, på den ærverdige Harrow School. Etter to uttakingsprøver med deltakere fra hele landet, i november i fjor og i mars i år, fikk vi disse deltakerne: Torstein Sunde, Strinda vgs., Joar Sæther, Verdal vgs., Kjetil Helstrup, Langhaugen skole, Harald Topphol, Ulstein vgs. og Olav Syljuåsen, Tranberg vgs. Egentlig kom Stig Hemmer, Strinda vgs. på annenplass i uttakingen, men han vant matematikkuttakingen og deltok i den olympiaden i stedet!

Etter et lite «trimmekurs» holdt av Erlend Østgaard, Hans Kolbenstvedt, Thor Bernt Melø og Kaare Stegavik i Trondheim i juni, kunne de fem uttatte reise til England 13. til 20. juli med undertegnede som ledere. Takket være et genereøst tilbud fra The British Council, kunne vår beste i uttakningen, Torstein Sunde, rett etter olympiaden fortsette til The London International Youth Science Fortnight.

Under selve olympiaden ble det, som seg hør og bør, en blanding av skjemt og alvor. Vi konkurrerte med deltakere fra 20 andre land, de fleste fra Europa, men vi må legge til at både Kina og USA fra i år av også deltar. Det var to prøvedager, en med tre teoretiske oppgaver, og en med to eksperimentelle. De teoretiske oppgavene dreiet seg om forplantning av jordskjelvbølger, teori for diffraksjonsgitter og koblede svingninger i et partikkelsystem, mens de eksperimentelle handlet om regnbuer i væskedråper og computersimulering av partikkelbevegelse i gitter. Interessante og utfordrende problemer, men vanskelige!

Våre deltakere har ingen sjanse til å nå særlig høyt opp siden vårt fysikkpensum er mindre en mange andre lands, slik at en alltid må regne med at det kan bli oppgaver som norske gymnasiaster ikke har sjanse til å greie noe særlig av, selv med «trimmekurs». Men det er interessant å delta likevel, både for å få dette fastslått, og fordi det er stimulerende for våre beste å treffe «kolleger» fra andre land som er enda bedre. Og det er unektelig en opplevelse å være med, rent sosialt: vi traff mange hyggelige mennesker, og vi deltok i utflukter, bl.a. var det populærforelesning om såpebobler i The Royal Institution, i Faradays forelesningssal.

Likevel tror vi den største verdi ved tiltaket ligger i den breddevirkning de nasjonale uttakninger kan

ha. Vi er meget interessert i ros og ris, og kommentarer, råd og ideer for fremtiden. Ta kontakt med Ingerid Hiis Helstrup, Bjørndalen 48, 5000 Bergen, eller Vidar Horsfjord, Senter for realfagundervisning, Postboks 1124 Blindern, 0317 Oslo 3.

I tillegg til støtten fra The British Council (se over), ble vår deltakelse finansiert av NAVF og KUD, vi fikk bidrag fra NERA, og RVO bisto ved usending av oppgaver til skolene. Vi takker hjertelig for dette!

Vi greide ikke å slå svenskene i år heller. Men det er under et år til neste sjanse, da er det olympiade i Øst-Tyskland, i Jena, 5. til 13. juli 1987.

Ingerid Hiis Helstrup og Vidar Horsfjord

KRITISK EVALUERING AV NORSK FORSKNING

Styret for faggruppe for kondenserte fasers fysikk, Norsk Fysisk Selskap.

Norges Almenvitenskapelige Forskningsråd (NAVF) har i løpet av siste året fått utført flere granskninger av norsk grunnforskning. To av dem er på områdene «Strukturkjemi og -fysikk» og «Kondenserte fasers fysikk». Områdene overlapper hverandre i noen grad og kan sammenfattes i begrepet *materialgrunnforskning*.

Begge rapportene konkluderer med at norsk forskning på feltet er karakterisert ved

- lite penger til utstyr og drift.
- gjennomgående små forskningsgrupper
- stigende gjennomsnittsalder for forskerne og for liten rekruttering.

Undersøkelsene munner ut i anbefalingen om betydelig oppjustering på utstyr og personellsida, spesielt ved nye stipendiater.

Fagutvalget for kondenserte fasers fysikk av Norsk Fysisk Selskap har diskutert rapportene og er enig i de ovenfornevnte vurderingene.

Komiteene er kritiske til de rammebetingelser forskningen arbeider under, og deres vurderinger kan forhåpentligvis åpne myndighetenes øyne og legge grunnlager for en ny giv når det gjelder materialforskning i Norge.

Men utvalget konstaterer også stor uoverensstemmelse mellom de to rapportene i vurderinger av de enkelte aktiviteter. Spesielt er noen av vurderingene i rapporten om kondenserte fasers fysikk blitt feilaktige, ved at evalueringskomiteen har trukket konklusjoner om fagspesialiteter den tydeligvis ikke har satt seg tilstrekkelig inn i. Dette har gitt deler av rapporten en uheldig og lite konstruktiv form, og svakhetene ved norsk forskning på feltet er blitt sterkt overdrevet.

Det har vært en betydelig tilbakegang av norsk forsknings-volum på dette feltet over de siste 10-15 år. Innenfor de stramme ressursrammene og manglende forståelse fra myndighetene har forskerne stort sett likevel klart å holde en internasjonal standard.

Norsk Fysisk Selskap tar sikte på å arrangere et faglig seminar i januar måned neste år. Programmet vil omfatte en del aktuelle faglige foredrag innen kondenserte fasers fysikk, bl.a. om elektronoptik og -diffraksjon som fikk årets Nobelpris i fysikk. Hensikten med seminaret vil ellers være å gjennomgå og diskutere de to rapportene og å ta for seg undervisningen på dette området ved Universitetet i Oslo og ved Norges Tekniske Høgskole i Trondheim.

Emil J. Samuelsen

Apropos evaluering i fysikk

I fysikk burde det være bedre å felle ørn med sprettert, enn å skyte spurv med kanoner og insistere på at det er interessante ørner.

Seminar på Dombås i Kondenserte Fasers Fysikk

Seminaret er planlagt til dagane 12.-13. januar 1987 på Dovrefjell hotell, Dombås.

Programmet vil omfatte faglege foredrag og forskningspolitiske drøftningar.

Vi har von om å få hit nobelprisvinnaren A. Rohrer frå IBM, Zürich for å fortelle om forskning med tunneling-mikroskopet. Vidare er invitert H.E. Jagodzinski frå München om «Polytype materials» og S. Hagstrøm frå Xerox, Palo Alto, om fotoelektronspekstroskopi. Vi legg opp til diskusjon om stoda i norsk kondenserte fasars fysikk på både forskningsog undervisningssida, med idear og planar for næraste framtid. Representantar frå NAVF vil delta.

Det er òg sett av eit par timar for «Korte faglege rapportar» frå forskningsmiljøa.

Midt på dagen blir det ski-pause.

Prisen på hotellet blir 445,- kr. per person per døgn for enkeltrom, 50,- kr. mindre for dobbeltrom. For ektefeller er prisen 260,- kr. Hotellet har eit spesielt tilbod for helga 10.-11., for dei som ønsker det.

Det er mulighet for begrensa reisestønad etter behov. Søknad om det sender ein faggruppestyret.

Påmelding før 15.12.1986 til Gerd Jarrett, IFE, Kjeller.

NYE MEDLEMMER OPPTATT UNDER FYSIKERMØTET 1986

Forsker Lasse Amundsen
IKU
Postboks 1883
7001 Trondheim

Vit.ass. Roger Bergh
Lab. for radiologisk datering
7034 Trondheim-NTH

Vit.ass. Arne Karlsson
Institutt for røntgenteknikk
7034 Trondheim-NTH

Avd.sjef Sigmund Kvernes
Avd. for medisinsk teknikk
SINTEF
7034 Trondheim - NTH

Avd.ing. Jan-Erik Nordtvedt
STATOIL, PROLAB
Postboks 300, Forus
4001 Stavanger

Siv.ing. Jon Andreas Støvneng
Båhusgt. 5
7000 Trondheim

Forsker Arild Saasen
Rogalandsforskning
Postboks 2503 Ullandhaug
4001 Stavanger

NYTT MEDLEM
opptatt på styremøtet 3. oktober 1986:

Vit.ass. Svein Ellingsrud
Institutt for almen fysikk
7034 Trondheim-NTH

«TRENDS IN PHYSICS» - 7TH GENERAL CONFERENCE OF THE EUROPEAN PHYSICAL SOCIETY

Konferansen holdes i Helsinki 10.-14. august 1987, og vil som vanlig dekke hele spektret av fysikken. Det vil bli oversiktsforedrag i plenum over følgende emner:

- The Evidence for a Black Hole in our Galaxy
- Big Bang and Little Bang. Cosmology in the Laboratory
- Halley's Comet, a Close Look
- Alignment, Polarization and Orientation in Electron-Ion Collisions
- Supercomputers in Physics
- New Architecture for Digital Optical Computers
- Study of Liquid Sufraces by Synchrotron Radiation
- Quasi-Crystas
- Quantum Gravity
- Accelerators for the Future
- New Experiments on the Quantum Theory of Light
- JET and the Prospect of Nuclear Fusion
- Chaos in Lasers
- A New Look on Physics Education

Dessuten vil det bli arrangert spesialsymposier over emnene:

- Physics in Space
- Laser Spectroscopy
- The Dynamics of Excited Particles in Collisions
- Modern Computation of Molecular Structure
- Two Dimensional Electron Gases
- Heavy Fermions
- Electron Tunnelling Microscopy
- High Energy Physics and Particle Physics
- New Aspects of Nuclear Structure
- Very Short Laser Pulsers
- Plasma Treatment of Surfaces: Science and Technology
- Quantum Optics of Single Particle Systems
- New Biophysical Experiments in Brain Research
- Physics in the Factory
- Hot Carriers in Electronic Devices

Dersom et tilstrekkelig antall norske deltagere melder seg, vil Norsk Fysisk Selskap arrangere fellesreise til konferansen. Følgende alternativ foreligger:

Fly
Gruppereise, (fra Oslo) minimum 10 personer, felles utreise, individuell hjemreise. Ca. kr. 2.850,- (pris fra 1. nov. 1986).

Tog/båt
Pris for en gruppe på 20 ca. kr. 1.490,- (pris pr. 15. okt. 1986) med plass i dobbeltlugar. Avreise Oslo søndag morgen 9.8. kl. 8.55, ankomst Helsinki mandag morgen 10.8. kl. 6.55.

Interesserte bes melde seg til selskapets sekretær innen 15. januar 1987.

Stipend
Styret har bevilget 4 reisestipend á kr. 3.000,- for dr.grads-/hovedfags-/5. års studenter. Søknad sendes selskapets sekretær innen 15. januar 1987.

RADIOAKTIVITET OG RØNTGENSTRÅLING - EGENSKAPER OG BIOLOGISKE EFFEKTER

Thormod Henriksen, Eli O. Hole og Einar Sagstuen *

INNLEDNING

Til alle tider har planter, dyr og mennesker vært utsatt for stråling. Livet på jorden startet og utviklet seg på tross av - eller kanskje nettopp på grunn av - stråling. Stråling er noe vi verken kan se, høre eller føle. Det kommer stråling fra verdensrommet og det kommer stråling fra alle de radioaktive stoffene som er - og alltid har vært - i maten vi spiser, i vannet vi drikker og i luften vi puster. Vi utsettes for stråling fra radioaktive stoffer i bakken når vi er ute, og fra gulv, vegger og tak når vi er inne.

Foruten disse *naturlige* strålekildene finnes det strålekilder som røntgenapparater og kunstige radioaktive preparater. Disse brukes til en rekke nyttige formål innen medisin, forskning og industri. All stråling, naturlig såvel som den kunstig produserte, innebærer en viss risiko for skadevirkninger.

I løpet av de 90 år som er gått siden oppdagelsen av radioaktivitet og røntgenstråling er det samlet betydelige kunnskaper om stråling og dens biologiske virkninger. Denne kunnskap har hatt en forholdsvis anonym tilværelse og i Norge var det svært få mennesker som brydde seg om stråling. Dette ble med ett slag forandret etter den store reaktorulykken i Tsjernobyl i april 1986. Her fikk en demonstrert hvordan radioaktivitet kan spres med vær og vind over store landområder.

HVA ER STRÅLING?

En radioaktiv kilde består av ustabile atomer. Når atomkjernen går over i en annen form eller tilstand kalles prosessen en desintegrasjon. Hvis atomkjernen, etter å ha sendt ut stråling, forsatt ikke er stabil har vi en radioaktiv serie. For eksempel starter uranradium serien med U-238 og gjennomgår 14 desintegrasjoner før den ender opp som et stabilt blyatom. Blant de produkter vi finner på veien er både radium og radon.

De fleste grunnstoffer forekommer i flere utgaver, isotoper. Disse er like rent kjemisk, men vekten varierer som følge av variasjon i kjernesammensetningen. Isotoper av et gitt grunnstoff vil ha et likt antall protoner (som definerer grunnstoffet), men et ulikt antall nøytroner i kjernen. Noen av disse isotopene kan være radioaktive.

Omkring århundreskiftet var det atskillig interesse for å finne ut *hva slags* stråling som ble sendt ut fra de ulike naturlige radioaktive kilder. En fant fort ut at det var 3 typer stråling, og fordi en ikke visste hva de bestod av ble de kalt alfa (α), beta (β) og gamma (γ) stråling.

Både α og β-stråling består av ladde partikler. α-stråling er heliumkjerner og β-stråling er elektroner. Dette er partikler som kommer ut av kjernen med stor energi. Energien måles gjerne i enheten elektronvolt (eV):

$$1\ \text{eV} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{joule}$$

som er definert som den energi et elektron får når det akselereres gjennom et spenningsfall på 1 volt.

Energien til en α-partikkel idet den sendes ut, kan gå opp i noen millioner eV (MeV). Alle α-partikler fra en bestemt radioaktiv kilde har samme energi. Når de treffer et stoff vil avgitt energi pr. lengdeenhet være stor. Det betyr at rekkevidden er liten. Selv i lufta blir den bare noen få cm når α-partiklene kommer fra en radioaktiv kilde.

For β-partikler er forholdene noe anderledes. De β-partiklene som kommer fra en bestemt radioaktiv kilde vil ha et helt spektrum av energier opp til et bestemt maksimum.

Gamma-strålene er det vi kaller elektromagnetisk stråling på lik linje med radiobølger, synlig lys og ultra-violett stråling. Gamma-strålingen kommer i følge med enten en α-partikkel eller en β-partikkel. Energien er gitt ved:

$$E = h\nu$$

der h er Plancks konstant og ν er frekvensen. I fig. 1 er vist det elektromagnetiske spektret hvor de forskjellige typer stråling er angitt innenfor bestemte frekvens- eller energiintervaller.

Røntgenstråling har samme karakter som γ-stråling, men produseres kunstig.

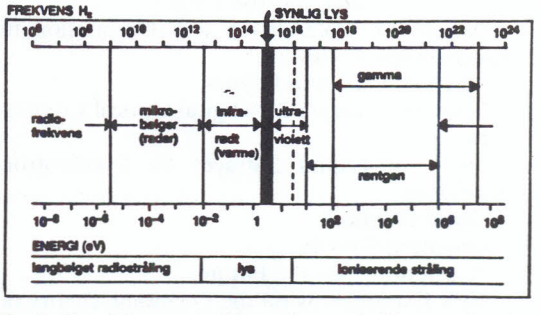


Fig. 1: Det elektromagnetiske spektrum. Strålingen er karakterisert ved frekvensen (ν) gitt i Hz eller energien i eV.

*) Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

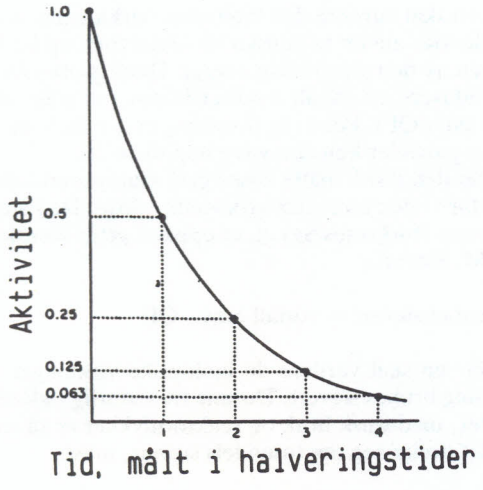


Fig. 2: Tidsforløpet for radioaktiv desintergrasjon. Aktiviteten avtar eksponensielt med tiden, og begrepet halveringtid er illustrert.

AKTIVITET OG MÅLEENHETER

Styrken (intensiteten) av en radioaktiv kilde er antall atomer som desintegrerer pr. tidsenhet. Enheten som brukes er becquerel (forkortet Bq):

1 Bq = 1 desintegrasjon pr. sekund.

Spesifikk aktivitet er antall Bq pr. kg. Dette er en måleenhet som har fått betydelig oppmerksomhet etter reaktorulykken i Tsjernobyl. I nedenstående tabell er gitt den spesifikke aktivitet for endel radioaktive isotoper i forskjellige kjente stoffer.

Stoff	Isotop	Bq/kg
KOH (kalilut)	K-40	21.800
Menneske	K-40	62
Menneske	C-14	30
Reinsdyr	K-40	62
Reinsdyr i 1985	Cs-137	ca. 400
Reinsdyr i 1986	Cs-137 og 134	fra 400 til 30.000

Becquerel er en liten måle-enhet. På sykehus brukes ofte mange millioner becquerel for en undersøkelse. Radioaktive kilder på 10 til 100 Bq er ørsmå, men med det utstyr en har i dag er det mulig å måle slike små kilder.

FYSISK HALVERINGSTID

Strålingen fra en radioaktiv kilde vil gradvis avta. Dette er helt forskjellig fra røntgenstråling som forsvinner momentant i det øyeblikk røntgenapparatet slås av. En viktig størrelse som forteller hvordan den radioaktive strålingen avtar er halveringstiden, $T_{1/2}$, som angir tiden det tar før aktiviteten fra et gitt antall atomer er halvert. Styrken av en radioaktiv kilde avtar eksponensielt. Starter vi med N_0 atomer, vil antall atomer (N) ved tiden t være:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

der λ er en karakteristisk konstant, - desintegrasjonskonstanten. Av denne formelen finner en at halveringtiden er gitt som:

$$T_{1/2} = \ln 2/\lambda$$

I fig. 2 er stråleintensiteten (f.eks. i Bq) gitt som funksjon av tiden, målt i enheter av halveringstider.

De fleste naturlige radioaktive stoffene ble dannet samtidig med jorden. Når det fortsatt finnes slike radioaktive stoffer betyr det at halveringstiden må være av samme størrelsesorden som jordens levealder - altså noen milliarder år. F.eks. U-238 har en halveringstid på $4{,}5 \cdot 10^9$ år.

BIOLOGISK HALVERINGSTID

De fleste stoffer som vi får i oss skilles etterhvert ut igjen. Det skjer via urin, avføring, ånding og svette. Et radioaktivt stoff vil således delvis kunne skilles ut igjen før det desintegrerer. Det innføres derfor en ny størrelse som kalles biologisk halveringstid. Denne størrelse avhenger av ulike faktorer som bl.a. kjønn og alder.

Etter reaktorulykken i Tsjernobyl har det vist seg at det er Cs-137 som er og vil bli den viktigste isotop i tiden som kommer. Den har en fysisk halveringtid på 30 år. Cesium skilles raskt ut av kroppen og den biologiske halveringstiden er kort. Typisk verdier er gitt i tabellen under.

Medium	$T_{1/2}$ (biologisk) for Cs-137
Menneske, voksent	ca. 3 mnd
Menneske, barn	under 3 mnd
Sau	ca. 1 mnd.
Lam	ca. 15 dager
Rein	ca. 27 dager

Radium og strontium er stoffer som spesielt går til beinbygningen og de vil vanskeligere skilles ut igjen. Har en derfor først fått radium i kroppen (fysisk halveringstid 1600 år) vil dette forbli i kroppen så lenge en lever.

Det har vært arbeidet en god del med metoder som enten kan påskynde utskillelsen av et radioaktivt stoff, eller som kan redusere opptaket. Som eksempel på det siste kan nevnes at hvis en utsettes for radioaktivt jod så kan en tilføre ikke-radioaktivt jod samtidig.

STRÅLEDOSER

Nøkkelordet når det gjelder de biologiske virkninger av stråling er *stråledosen*. Det er meningsløst å diskutere den biologiske virkning av stråling uten at stråledosen er fastlagt. Store doser kan drepe levende celler, for eksempel kreftceller. Det er også kjent at store stråledoser til hele kroppen kan føre til akutte dødsfall.

Når det gjelder betydningen av middels store og spesielt små stråledoser er en noe mer usikker. En hovedårsak til dette er at det tar måneder og år før de biologiske virkninger observeres. Det finnes likevel temmelig sikre holdepunkter for å hevde at stråling innebærer en risiko for kreft.

Det er viktig å skille mellom den radioaktive kildes *styrke* (intensitet) og *stråledosen* som den kan føre til. Styrken er et mål for hvor mange atomer som desintergrerer pr. tidsenhet og den måles i becquerel. Her spiller det ingen rolle hvor kilden er - lukket inne i en blybeholder - i fri luft - på bakken - i maten vår - eller inne i oss. Stråledosen som den radioaktive kilden kan føre til derimot er i høyeste grad avhengig av hvor kilden er plassert.

Med stråledose menes den energimengde som blir absorbert i det stoff som treffs av strålingen. Dosen måles i enheten gray (forkortet Gy). Navnet har den fått etter engelskmannen L. H. Gray som var en av strålebiologiens store pionerer:

1 gray = 1 joule absorbert energi pr. kilo.

Rad - («radiation absorbed dose») - er en av de mange enheter som tidligere ble benyttet for å angi stråledoser. Den blir fortsatt brukt og sammenhengen mellom rad og gray er gitt ved:

1 gray = 100 rad.

I dag brukes disse enhetene tildels om hverandre, men det er gray som er det korrekte mål for den energimengde strålingen avsetter i et stoff når vi bruker Si-systemet.

BETYDNING AV STRÅLETYPE. BIOLOGISK EFFEKTIV DOSE

Uansett hvilken stråletype en har, enten det er α, β, γ eller røntgen, så vil de første produktene som dannes etter at strålingen treffer et stoff være ioner og eksisterte molekyler. Fordelingen av disse vil avhenge av type stråling. β-partikler, γ- og røntgenstråling treffer ett molekyl her og ett der med det resultat at energien avsettes i mange små punktområder. α-partikler avsetter all sin energi langs et relativt kort spor.

Det viser seg at den biologiske virkningen er avhengig av hvordan strålingsenergien fordeles. Virkningen er gjerne størst når energien absorberes på et lite område - slik som for α-partikler. Følgelig, når en skal vurdere den biologiske virkningen av en stråledose må en ta hensyn til stråletypen og fordelingen av den absorberte energi. Dette gjøres ved å introdusere en såkalt kvalitetsfaktor («quality factor» eller QF). For γ- og β-stråling er den lik 1, mens for α-partikler kan den være opp til 10-20.

Når den fysisk målte dose i gray multipliseres med QF får vi den biologisk virksomme dose. Den angis i sievert (forkortes Sv) og er oppkalt etter svensken R. M. Sievert:

Antall sievert = Antall gray · QF

Når en skal vurdere de biologiske virkninger av stråling brukes sievert. Dosene fra naturlig radioaktivitet, medisinsk bruk og reaktorulykker er så små at det dreier seg om tusendels sievert, mSv.

EFFEKTIV DOSE-EKVIVALENT

Som et hjelpemiddel innen strålevernet benyttes «effektiv doseekvivalent». Dette er en størrelse som brukes for å kunne sammenlikne virkningen av ulike typer stråling som treffer forskjellige organer i kroppen. En tar da hensyn til at de forskjellige organer ikke er like følsomme overfor senvirkninger av stråling. Når en bestråler *en del* av kroppen og oppgir den effektive doseekvivalent vil den resulterende strålebelastningen være som om en dose på størrelse med doseekvivalenten ble gitt til *hele* kroppen.

Effektiv doseekvivalent er definert som:

$$H_E = \Sigma_i \, w_i H_i.$$

Her er H_i dosen gitt til organ i, og w_i er en vektfaktor som gjenspeiler organ i's stråleføLsomhet. Noen slike vektfaktorer er gitt i tabellen nedenfor:

Organ	Vektfaktor
Gonader	0,25
Bryst	0,15
Benmarg (rød)	0,12
Lunger	0,12
Skjoldbruskkjertel	0,03
Benoverflater	0,03
Øvrige kroppsdeler tils.	0,30
	Sum = 1,00

NATURLIG BAKGRUNNSSTRÅLING

Det meste av den stråling vi utsettes for stammer fra naturlige kilder. Det er kosmisk stråling fra verdensrommet og stråling fra de radioaktive familiene samt enkelte radioaktive isotoper der K-40 er den viktigste.

a) Kosmisk stråling

Inn mot atmosfæren kommer en strøm av protoner, α-partikler samt endel tyngre kjerner. I atmo-

sfæren oppstår det av og til kjernereaksjoner, og inn mot jordoverflaten kommer den sekundære kosmiske strålingen som består av protoner, nøytroner, mesoner, elektroner, nøytrinoer og noe γ-stråling.

Kosmisk stråling inneholder også en strøm av partikler og elektromagnetisk stråling fra solen. Intensiteten av denne er noe variabel (± 15%), blant annet avhenger den av solflekkaktiviteten.

Intensiteten til den kosmiske strålingen varierer med høyden over havet. I 1600 m høyde har den økt til det dobbelte av hva den er ved havoverflaten. Den varierer også noe med breddegraden siden elektrisk ladde partikler påvirkes av jordmagnetfeltet. Dette fører til at intensiteten er noe mindre ved ekvator enn ved polene.

b) Naturlige radioaktive kilder

Det er tidligere nevnt noen radioaktive serier eller familier som var tilstede den gang jorden ble til (omlag $5 \cdot 10^9$ år siden). Det var opprinnelig fire slike serier, men to av disse har en såvidt kort halveringstid at de nå er borte. Uran-radium familien og thoriumfamilien er fortsatt tilstede.

Kaliumisotopen K-40, med en halveringstid på $1{,}28 \cdot 10^9$ år er også viktig selv om det nå bare er omkring 10% igjen av den. Det kan være interessant å peke på at livet på jorden startet og utviklet seg i et strålemiljø som var større enn det er i dag.

Uran og thorium forekommer overalt, men i variable konsentrasjoner. Konsentrasjonen gis gjerne i enheten «ppm» (parts per million). I middel er forekomsten av uran 4 ppm. I sør-Norge varierer den fra mellom 1-4 ppm for sedimenter og kalkstein til omlag 200 ppm for svovelrik alunskifer. Thoriumkonsentrasjonen varierer også. På enkelte steder i Brasil og India får menneskene en stråledose fra thorium som er ca. 10 ganger større enn i Norge.

Kalium finnes overalt, i jord, planter og dyr. Kalium utgjør 2,4 vektprosent av alle stoffer, og av all kalium er 0,012% radioaktiv.

Både ute og inne vil vi utsettes for stråling fra de naturlige radioaktive kilder. Alle bygningsmaterialer inneholder noe radioaktivitet og de har betydning for den stråling vi utsettes for inne.

c) Radon. Forekomst i Norge.

I de radioaktive seriene forekommer gassen Radon-222. Denne er et element i den serien som starter med Uran-238, og følger etter Radium-226.

Radium finnes overalt i naturen og når den spaltes dannes radon. Radon frigjøres til luften fra jordsmonnet. I Norge er det jordsmonnet og berggrunnen som er de viktigste radonkildene, mens f.eks. bygningsmaterialer og vann spiller mindre rolle.

Radongassen er en α-emitter. Gassen har dessuten spaltningsprodukter, de såkalte «radondøtre» som er metalliske. Dersom radon desintegrerer i lungene vil radondøtrene feste seg til lungevevet for så å avgi sin stråling der.

STRÅLEDOSER FRA NATURLIG BAKGRUNNSSTRÅLING

De naturlige strålekildene som omgir oss og som bidrar til den totale stråledose vi utsettes for er følgelig:

- kosmisk stråling fra verdensrommet
- γ-stråling fra bygningsmaterialer og byggrom
- interne stråledoser fra naturlig radioaktivitet i mat
- stråledoser fra inhalert radon og dens døtre.

I Norge varierer den *årlige stråledose* (effektive doseekvivalent) som skyldes *kosmisk stråling* mellom 0,3 og 0,4 mSv, med et gjennomsnitt på 0,35 mSv.

Gamma-strålingen varierer med berggrunnen og byggematerialene. I middel fåes en *årlig stråledose fra γ-stråling* på omtrent 0,5 mSv (i enkelte områder av landet kan årsdosen bli så høy som 2 mSv).

All mat vi spiser inneholder noe radioaktivitet. Stråledosen vi får fra K-40 vil variere noe med kjønn og alder.

Av andre isotoper som vi får i oss gjennom maten kan nevnes radium og polonium. Dosene fra disse er avhengig av kosthold og levevaner (f.eks. inneholder sigarettrøyk betydelige mengder polonium). I middel regner vi med at den *årlige dose* (effektive doseekvivalent fra *naturlig radioaktivitet i mat* er på ca. 0,4 mSv, med det største bidraget fra K-40.

Innholdet av radon i innendørsluft varierer sterkt fra distrikt til distrikt i landet. Dette gir også store variasjoner i stråledose til enkeltindivider. Ut fra målinger i norske hus ligger middelverdien for effektiv doseekvivalent fra *inhalert radon* på 4 mSv *pr. år.* Dosen til lungene er da omlag 8 ganger større, d.v.s. 32 mSv.

Tabellen nedenfor summerer opp de effektive dose-ekvivalenter vi får fra naturlige strålekilder - og som vi til alle tider har vært utsatt for.

Type stråling	Dose (mSv/år)	Variasjon	Kommentarer
kosmisk	0,35	0,3-0,4	Avhengig av høyden
γ-stråling	0,5	0,3-2,5	Avhengig av lokal geologi og materialer.
Intern stråling	0,4	0,3-1,5	Avhengig av røykevaner, kosthold, kjønn, alder.
Radon i hus	4	1-200	Avhengig av geologi

BIOLOGISK VIRKNING AV STRÅLING

a) Hva er en «stor» stråledose?

En stor dose er alt over 1-2 Sv, mens en liten dose er mindre enn 0,1 Sv. En ørliten dose er følgelig av størrelsesorden 1 mSv.

På sykehus brukes stråling for å behandle kreft. Omtrent halvparten av alle kreft-tilfeller blir stråle-

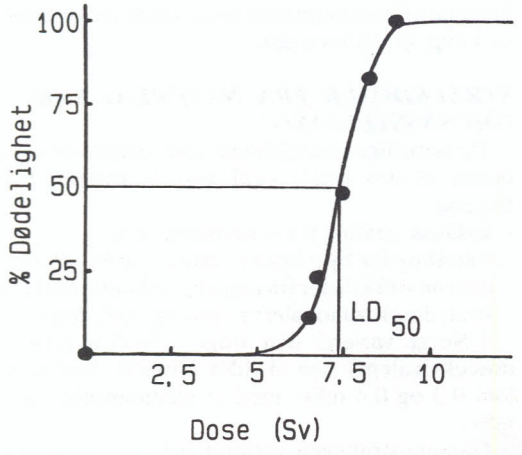


Fig. 3: Dose-effektkurve for bestemmelse av LD_{50} for rotter eksponert for røntgen hel-kroppsbestråling.

behandlet. Poenget er å drepe de syke cellene mens de friske skal overleve. Til dette brukes totale doser på fra 10 til 70 Gy, fordelt på flere porsjoner.

Strålevirkningen er avhengig av dosen. Jo større dose, jo større virkning. Forholdet mellom dose og virkning kalles en dose-effekt kurve.

Eksempel: La oss ta for oss et eksperiment med rotter som ble bestrålt med store stråledoser. Dyrene ble delt inn i 5 grupper (ca. 15 i hver gruppe). De ble fulgt etter bestråling og en registrerte hvor mange som døde i hver gruppe i løpet av 30 dager. Resultatet er vist i fig. 3.

Av denne kurven ser vi at etter en dose på ca. 5 Sv vil alle rottene overleve, mens etter 10 Sv vil alle dø.

Det går fram at etter en dose på omlag 7,5 Sv vil 50% av alle rottene dø. Vi sier at 7,5 Sv er LD_{50}-dosen for rotter (LD står for «lethal dose», dødelig dose). Vi kan bestemme LD_{50}-dosen for en rekke dyreslag, og noen verdier er gitt i følgende tabell:

Dyreart	LD_{50} (Sv)
Gullfisk	23
Skilpadde	15
Hare	8
Rotte	7,5
Frosk	7
Ape	6
Hund	3,5
Menneske	3-5

Når det gjelder encellede dyr (som f.eks. tøffeldyr eller paramecium) kan de overleve doser på 2000-3000 Sv.

Grunnen til at en registrerer antall døde først etter 30 dager er at stråling setter i gang en rekke prosesser, som hvis dosene er store kan føre til døden. Alle slike prosesser tar en viss tid. Hvis en klarer seg gjennom de første fire ukene er sjansene store for at en kan overleve.

Verdiene for menneske er, naturlig nok, svært usikker. Mye av vår kunnskap om strålevirkning på mennesker er basert på hva hva vi lærte fra Hiroshima og Nagasaki, samt noen få uhell (ca. 60 dødsulykker siden 1945).

I Norge hadde vi en dødsulykke på Kjeller i 1982. En tekniker som kom på jobb gikk inn i et rom hvor en meget sterk coboltkilde var i bruk ($2{,}43 \cdot 10^{15}$ Bq). Han var alene og ingen visste hva som hadde skjedd eller hvilken stråledose mannen fikk. Han døde 13 dager senere. Etter ca. 3 uker ble det slått fast at mannen hadde fått en effektiv doseekvivalent på 22 Sv (se forøvrig Fra Fysikkens Verden nr. 4 (1982) 77-78).

b) Strålevern. Grenseverdier.

Etterhvert som en forsto at stråling kunne ha skadelige virkninger ble det satt retningslinjer for hvor meget en kunne tillate av stråledoser *utover bakgrunns-strålingen.* Slike regler er utarbeidet av en internasjonal organisasjon, «International Commission on Radiological Protection», ICRP.

Det bærende prinsipp for disse retningslinjer er at stråledosene skal være så små som mulige, og at nytteverdien av strålingen skal være større enn skadevirkningene.

En deler befolkningen inn i to grupper: stråleutsatt personell (yrkesutøvere) som daglig arbeider med strålingsapparatur, og publikum forøvrig. Det er en rekke spesielle grenseverdier men de viktigste rammereglene er:

50 mSv pr. år til stråleutsatt personell
5 mSv pr. år til publikum forøvrig

De verdier som her er gitt er satt slik at den statistiske helserisiko skal være svært liten.

c) Kunstig strålingsmiljø

Etter at vi har lært å lage radioaktivitet og røntgenstråling har vi fått et kunstig strålemiljø i tillegg til det naturlige. Det er i hovedsak stråling som brukes i medisin, industri og forskning.

På sykehus brukes stråling til både diagnostikk og terapi. Det blir tatt omlag 2,6 millioner røntgenbilder årlig i Norge, og det foretas omlag 50.000 undersøkelser med radioaktive isotoper.

Til strålebehandling av kreft brukes gjerne γ-stråling fra Co-60 kilder eller røntgenstråling fra spesielle terapimaskiner. Omkring 7000 pasienter årlig får slik behandling i Norge.

Til både skjermbildefotografering og hos tannleger brukes røntgenstråling. All denne bruken av stråling fører til at vi får en liten ekstra dose. Enkelte får mye, andre svært lite. Vi er interessert i å finne frem til en *gjennomsnittsdose* som skyldes medisinsk bruk av stråling. En komite; «United Nations Com-

mittee on the Effects of Atomic Radiation» (UNSCEAR) har beregnet den effektive gjennomsnittsdose til omkring 1 mSv pr. år i industrialiserte land og til 0.4 mSv til verdens befolkning totalt. Når det gjelder Norge arbeides det for tiden med dette problem. Vi regner med at den ligger et sted mellom 0,4 mSv og 1 mSv (muligens 0,7 mSv).

Røntgenstråling og radioaktive isotoper brukes innen forskning og til en rekke industrielle formål. Også denne bruk av stråling er underlagt streng kontroll. Den tilleggsdose som denne bruk medfører er langt mindre enn den vi får ved medisinsk bruk av stråling.

Det kan bemerkes at, på grunn av uønsket spredning av radioaktivt materiale (bombeprøver, reaktor uhell, ymse utslipp), må vi regne med at det er kommet noe ekstra radioaktivitet inn i næringskjedene og at dette vil føre til små tilleggsdoser. Disse tilleggsdoser som det moderne samfunn har tilført menneskene er mindre enn den naturlige bakgrunnsstrålingen.

STRÅLING OG HELSERISIKO

Når det gjelder virkningene av stråling for mennesker, dyr og planter er det samlet betydelige kunnskaper de siste 30 årene. Den viktigste langtidseffekt for oss mennesker er kreft (en stråledose til hvilken som helst del av kroppen medfører en viss *risiko* for kreft).

Når det gjelder kreft, enten den forårsakes av kjemiske stoffer, røyking eller stråling, vil det gå en kortere eller lengre tid fra eksponeringen og til en kan registrere sykdommen. Denne tiden kalles *latenstiden* Latenstiden kan være fra måneder til mange år, og når det gjelder stråling mener en at det kan strekke seg opp til 20-30 år.

En kjenner fortsatt ikke selve mekanismen for dannelse av kreft. Et viktig spørsmål i den forbindelse er hvorvidt det eksisterer en nedre grense - en *terskel* - slik at doser under denne grensen er ufarlige.

Det finnes en rekke mennesker som enten i sitt arbeid eller på annen måte har fått betydelig større stråledoser enn gjennomsnittet. Disse gruppene benyttes for å estimere sammenhenger mellom kreft og lave stråledoser.

Det de fleste forbinder med stråleindusert kreft er knyttet til de befolkningsgrupper (omkring 75.000 personer) som overlevet bombene i Hiroshima og Nagasaki i 1945. En har funnet en økt hyppighet av en rekke typer kreft hos denne befolkningen. Disse menneskene er senere fulgt temmelig nøye og rent medisinsk har en gode kunnskaper. For å kunne bruke disse data i risikoberegninger er det helt avgjørende at en kjenner den stråledose som hver enkelt har fått. Det er ikke nok å si at de har vært utsatt for stråling - en må vite *hvor mye* stråling.

I 1965 og senere i 1980 og 1981 ble det framlagt større arbeider der en forsøkte å bestemme dosene

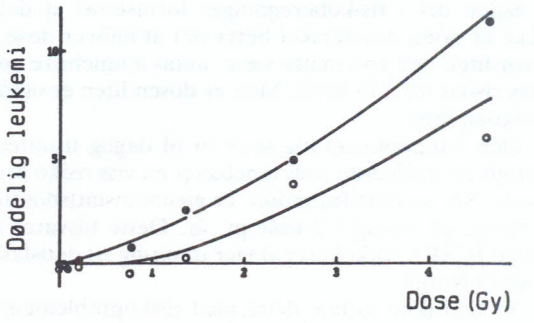


Fig. 4: Antall tilfeller av dødelig blodkreft (leukemi) hos overlevende etter bombe-eksplosjonene i Hiroshima og Nagasaki, i forhold til forventet insidens. På den vertikale aksen er angitt N(bestrålt)-N(forventet)/N(forventet). Fylte sirkler er data fra Hiroshima, der nøytronfluksen (og følgelig strålingens kvalitetsfaktor, QF) var større enn i Nagasaki (åpne sirkler).

til de overlevende i Hiroshima og Nagasaki. Figur 4 viser den relative økningen i antall tilfeller av leukemi (blodkreft) i Hiroshima og Nagasaki etter 1945.

Det har vært gjort en rekke eksperimenter med dyr som er blitt bestrålt med varierende doser og antall krefttilfeller som senere har oppstått er registrert. Slike eksperimenter tyder på at små doser har lite effekt. Videre gir strålingen mindre effekt når *dosehastigheten er liten,* og dessuten ser latenstiden ut til å øke når dosen avtar. En tror dette har sammenheng med den evne kroppen har til å reparere stråleskader. Mange skader på en gang er vanskelige å reparere, men kommer de mer spredt i tid blir de lettere å hanskes med.

Når det gjelder sammenhengen mellom *lave* doser og kreft hos mennesker er våre kunnskaper sparsomme. En kan ikke uten videre overføre resultater fra dyreforsøk til mennesker, men doseeffekt kurvene for mennesker har trolig den samme form som for andre pattedyr. Andre forhold som vil ha betydning er stråletypen, hvilke organer som bestråles, kjønn og alder.

Ut fra kjente data, og med de begrensninger de har når det gjelder fastsettelse av doser, angir ICRP og andre internasjonale komiteer sannsynligheten for strålingsindusert kreft under følgende forutsetninger:

1. Det antas en lineær dose-effektkurve *uten* terskelverdi. Dette vil si at risikofaktoren trolig overvurderes.
2. Det antas at latenstiden omfatter «resten av livet».

Basert på dette er risikoen (P) for kreftdød som følge av stråling anslått til et sted mellom 10 og 44 tilfeller pr. 1 million mennesker som hver har fått en dose på 1 mSv;

$$P = (10\text{-}44) \times 10^{-6} \text{ pr. mSv}$$

Den verdi ICRP bruker er $12{,}5 \times 10^{-6}$ pr. mSv.

Siden det i risikoberegninger forutsettes at det ikke er noen doseterskel betyr det at enhver dose, hvor liten den enn måtte være, antas å innebære en viss risiko for å få kreft. Men er dosen liten er også risikoen liten.

Den bakgrunnstråling som en til daglig utsettes for gir en stråledose som innebærer en viss risiko for kreft. Ser en bort fra radon, er gjennomsnittsdosen i Norge på omlag 1,2 mSv pr. år. Dette tilsvarer i følge ICRP's risikoberegninger omkring 60 dødsfall i året i Norge.

Vi skal ikke forlate dette med risikoproblemene innen helsesektoren uten også å nevne eller sammenlikne virkningen av stråling med for eksempel røyking. Antar en at nordmenn har samme røykevaner som amerikanere tilsier amerikanske data at omkring 3000 nordmenn dør hvert år på grunn av røyking!

Risikoen for trafikkdød på norske veier er omkring 1,2 personer pr. dag, eller ca. 400 i året.

Hudkreftformen «malignt melanom» har de senere år hatt en dramatisk øking i Norge. Idag dør 150 hvert år av denne kreftformen og den er stigende. Det er en klar sammenheng mellom denne kreftformen og soling. Vår livsstil med mer fritid og mer soling gir også mer hudkreftdød.

TSJERNOBYL-ULYKKEN

Et viktig spørsmål for mange er hvilke stråledoser vi får i Norge på grunn av reaktorulykken i Tsjernobyl. Det er helt klart at store mengder radioaktivt materiale ble frigjort under ulykken. Disse er ført med vær og vind og noe er falt ned i Norge. Det har kommet inn i næringskjedene - i kjøttet vi spiser og melken vi drikker. Det snakkes om radioaktivt jod i melkeprodukter, radioaktivt cesium i dyr på beite, og det finnes ganske sikkert også noe radioaktivt strontium. Mange er villige til å kaste matvarer som inneholder noe ekstra radioaktivitet - men er det faglig grunnlag for dette?

a) Tiltaksgrenser for aktivitet

Rett etter ulykken i Tsjernobyl fastsatte helsemyndighetene at matvarer med en aktivitet over 600 Bq/kg av cesium-isotopene (134 og 137) ikke skulle omsettes. Et inntak på ca. 400.000 Bq pr. år vil gi en årlig tilleggsdose på 5 mSv. I gjennomsnitt inntar vi ca. 650 kg matvarer pr. år, og hvis all mat innholder 600Bq/kg vil det tilsvare en årsdose på 5 mSv.

Men er det forsvarlig å opprettholde disse tiltaksgrensene *nå* som inngående målinger har gitt oss innblikk i den aktuelle fordelingen av radioaktivitet i matvarer?

b) Nordmenns matseddel

For å belyse dette, la oss se på matseddelen for en gjennomsnitts nordmann. Vi vil forsøke å gi en middlere verdi for radioaktivitet i de ulike typer matvarer, basert på resultater fra målinger fram til september 1986. For enkelthets skyld settes aktiviteten i all mat som kan kategoriseres som problemmat lik aktivitetsgrensen på 600 Bq/kg.

1. Korn, poteter, sukker, frukt, grønnsaker;
   330 kg à 10 Bq/kg
2. Kjøtt (her antar vi 8 kg som problem-mat, hvorav sau 5,9 kg, rein 0,6 kg)
   45 kg à 50 Bq/kg
   8 kg à 600 Bq/kg
3. Melkeprodukter
   220 kg à 25 Bq/kg
4. Egg, fisk, fett
   67 kg à 25 Bq/kg

Summerer vi dette finner vi at gjennomsnittsinntaket vil være på omlag 18.000 Bq det første året etter Tsjernobyl. Dette tilsvarer en dose på 0,23 mSv. Det er på denne bakgrunn vi vil påstå at Tsjernobyl-ulykken utgjør et lite - om enn noe i det hele tatt - helseproblem for Norge.

c) Endring av tiltaksgrenser?

Med denne matseddelen i bakhånd kan det være av interesse å se hva tilleggsdosene ville bli dersom tiltaksgrensen ble satt opp fra 600 til f.eks. 6000 Bq/kg for mat i den gruppen som kunne kategorieres som problem-mat. Dette dreier ser om i alt ca. 8 kg, i hovedsak kjøttvarer (sau og rein) og noe innlandsfisk. Målinger pr. august 1986 viser at middelaktiviteten i denne kategori matvarer er i underkant av 1000 Bq/kg. Dette ville således tilsvare et ekstra inntak på 5000-6000 Bq i forhold til tabellen over, eller en tilleggsdose på omlag 0,07 mSv.

d) Hvorfor heve tiltaksgrenser?

Når en akutt fase er over og individuelle doser ligger under dosegrensene skal, ifølge ICRP, strålevernttiltak baseres på optimaliseringsvurderinger der økonomiske og sosiale faktorer spiller inn.

Dersom alt problemkjøtt med en aktivitet over 600 Bq/kg skal kondemneres, representerer dette en kjøttverdi på et betydelig beløp. Til neste år vil trolig også reindriftsnæringen i Troms og Finnmark komme i faresonen. Det er målinger på reinlav i disse områdene som tyder på dette.

I tillegg kommer de sosiale kostnader som ikke kan måles i penger. I år er all reindrift sør for Rana berørt. Med tanke på den betydning sauehold og reindrift har for en rekke av norske småbruk er det klart at næringsgrunnlag og bosettingsmønster i store deler av dalførene og fjellheimen i Norge er truet. Dersom tiltaksgrensen for problem-mat settes til 6000 Bq/kg vil det si at alt sauekjøttet og over halvdelen av reinkjøttet sør for Rana frigjøres for omsetning.

En forutsetning for hevning av denne aktivitetsgrensen for problem-mat er at personer som tilhører kritiske grupper (samer, sauefamilier, fjellbønder)

ikke får en individ-dose som overstiger 5 mSv pr. år. Antas det at middel-aktiviteten for kjøtt i deres kosthold er ca. 2500 Bq/kg, og at de i de mest ekstreme tilfeller spiser 100 kg av disse kjøttslag, vil dosen likevel ligge godt under 5 mSv. Dette gir margin for doser fra andre matvarer m.m.

d) Konklusjon

Når vi ser på vårt strålemiljø og de doser det gir og samtidig benytter ICRPs risikoanalyser for kreftdød kan vi sette opp følgende tabell:

Stråleinduserte kreftdødsfall i Norge idag og hva vi kan forvente i perioden 1986 til 2016.

Stråletype	Antall/år	Tot. i perioden
Radon	200	6.000
Kosmisk stråling	17,5	525
Ekstern radioaktivitet	24	720
Intern radioaktivitet	18,5	555
Medisinsk bruk av stråling	35	1.050
Tsjernobyl	-	17
Malignt melanom (soling)	150	4.500
Røyking	3.000	90.000
Trafikkofre	400	12.000

Det materialet som er lagt fram i denne artikkelen leder fram til følgende konklusjoner:

- Tsjernobyl-ulykken representerer ikke noe reelt helseproblem for Norge når en tar i betraktning de andre frivillige risikofaktorer befolkningen kollektivt utsettes for.
- Aktivitetsgrensen for problem-mat (i første rekke reinsdyrkjøtt, sauekjøtt, og noe innlandsfisk) bør heves til f.eks. 6000 Bq/kg. Dette ville spare landet for sosiale problemer med hensyn til næringsgrunnlaget for utsatte grupper, og for store økonomiske uttellinger som med fordel kunne benyttes på andre, langt mere trengende, områder.

HUSK
KONTINGENTEN

ANVENDELSE AV IONISERENDE STRÅLING I MEDISIN

Arne Skretting *

Denne artikkelen er ment som en oversikt over de viktigste anvendelser av ioniserende stråling i medisin. Fordi Tsjernobyl-ulykken har gjort temaet svært aktuelt, legges hovedvekten på bruk av radioaktive kjerner (radionuklider). Det medisinske fag som betegnes nukleærmedisin er vel også den minst kjente anvendelsen av ioniserende stråling.

Nukleærmedisin

Nukleærmedisin hadde sitt utspring i bruken av ^{131}I. Denne isotopen ble laget av Fermi allerede i 1934, og ble tidlig brukt som sporstoff for å bestemme opptak av jod i skjoldbruskkjertelen. Denne anvender jod for produksjon av stoffskiftehormoner, og opptaksmålinger med svært enkle detektorer ga interessante data om kjertelens funksjon. Med utvikling av apparatur hvor detektoren hadde en fokuserende blykollimator og kunne flyttes fra punkt til punkt over skjoldbruskkjertelen, ble det også mulig å måle fordelingen av radioaktivt jod inne i kjertelen, og derved identifisere områder med forhøyet eller nedsatt opptak.

Etter pionerarbeidene med ^{131}I er et stort antall ulike radioaktive stoffer tatt i bruk i medisinsk diagnostikk, behandling og forskning. De fleste av disse kommer fortsatt fra reaktorer (nøytronaktivering), men et økende antall kommer fra syklotroner (vanligvis protonaktivering).

Et viktig gjennombrudd kom i form av generatorer som baserer seg på relativt langlivede mor-nuklider som ved radioaktivt henfall gir radioaktive datternuklider med egenskaper som gjør dem interessante for nukleærmedisinsk diagnostikk. Slike generatorer kan oppbevares i det enkelte laboratorium og datternuklidene kan på ulike måter ekstraheres ved behov. Det viktigste eksempel på en slik generator er ^{99}Mo - ^{99m}Tc - generatoren. ^{99}Mo har en halveringstid på 67 timer, mens den metastabile tilstanden av technetium faller ned i grunntilstanden med en halveringstid på 6 timer. De fleste av disse henfallene (84%) skjer under utsendelse av 140 KeV fotoner (gammastråling). ^{99}Mo ble tidligere laget ved nøytronaktivering av molybden anriket med den naturlig forekommende ikke-radioaktive isotopen ^{98}Mo, men produseres idag vesentlig ved kjemisk prosessering av reaktorbrensel (såkalt fisjonsmolybden).

^{99}Mo, i form av molybdat, sitter bundet på en kolonne av aluminiumoksyd. Dersom denne kolonnen gjennomskylles med fysiologisk saltvann, følger nydannet ^{99m}Tc med saltvannet ut, mens ^{99}Mo har

*) Radiumhospitalet

andre kjemiske egenskaper og derfor er uløselig i saltvannet. På denne måten kan man «melke» (eluere) kolonnen en hel uke. Det vil relativt snart innstille seg en likevekt mellom nydannet ^{99m}Tc og ^{99}Mo, likevel slik at mengden ^{99m}Tc som hver morgen kan elueres minker med samme hastighet som mornukliden henfaller.

Det er i denne forbindelse interessant å peke på at ^{99m}Tc og den relativt stabile ^{99}Tc (halveringstid 2.1 mill. år) er den eneste atomkjerne i det periodiske system (om vi ser bort fra transuranene) som ikke forekommer i naturen (bortsett fra på de få steder hvor man mener det har vært naturlige kjedereaksjoner i uran). Navnet technetium betyr jo også at det er kunstig laget.

En viktig side ved nukleærmedisin er radiofarmasi, kunnskapen om hvordan de radioaktive stoffene kan bindes til kjemiske forbindelser som er nyttige i diagnostikk. I forbindelse med anvendelser av ^{99m}Tc er disse prosedyrene idag gjort svært enkle for brukerne: Preparatene lages ved at (evt. fortynnet) ^{99m}Tc-løsning tilsettes frysetørrede stoffer på hetteglass, og man er klar for injeksjon i pasientens blodårer noen få minutter senere. Med utgangspunkt i ^{99m}Tc er det mulig å lage forbindelser som etter injeksjon samles i lungene, leveren, milten, nyrene, skjelettet, benmargen osv. Man kan derved ta bilde av hvordan disse forbindelsene fordeler seg i disse organene og få kunnskap om skader eller sykdom. Innenfor kreftdiagnostikk knytter det seg idag store forventninger til de såkalte monoklonale antistoffene. Noe forenklet sagt er dette proteiner som produseres av spesielle celler (som opprinnelig kommer fra hvite blodlegemer) i kultur og som har den egenskap at de etter injeksjon spesifikt vil søke seg fram til vevet i den svulsttypen som antistoffet gjenkjenner. Disse antistoffene merkes nå med radioaktive isotoper av ^{131}I (evt. med ^{123}I), men man har også lykkes i å merke noen få med ^{99m}Tc.

Forutsetningen for topografisk nukleærmedisin er at de radioaktive nuklidene sender ut fotonstråling med velegnet energi. Selv om det finnes instrumenter for avbildning med svært lave fotonenergier, er dagens nukleærmedisin dominert av instrumenter som arbeider med fotonenergier fra 80 keV oppover til ca. 600 keV. Det aller viktigste instrumentet er scintillasjonskameraet (se fig. 1). Detektoren er en scintillasjonskrystall av natruimjodid. Den er vanligvis sirkulær med en diameter på 40 cm og en tykkelse på ca. 1 cm. Foran detektoren sitter en blykollimator som er utformet med hull (opptil 40.000 hull) slik at bare fotoner som kommer inn i hullenes retning kan nå fram til detektoren. Vekselvirkninger med krystallen resulterer i svært kortvarige lysglimt (scintillasjoner) med varighet av størrelsesorden μs. Ved en fotoelektrisk vekselvirkning vil intensiteten i lysblinket være et uttrykk for det innkommende fotonets

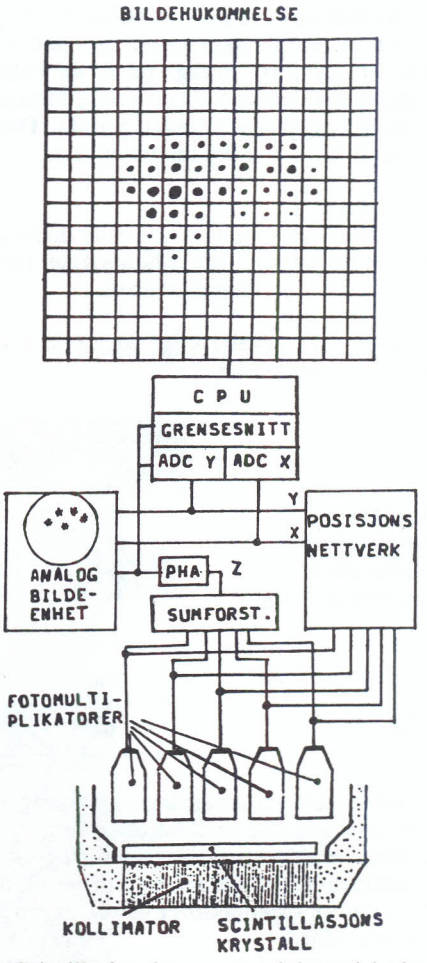


Fig. 1

energi. Scintillasjonskameraets elektroniske komponenter er bygget opp for å bestemme (i) hvor på krystallen scintillasjonen fant sted og (ii) intensiteten i lysblinket. Derfor er det over krystallen, adskilt fra denne med en kort lysleder (glass med spesielt tilpasset brytningsindeks), plassert et stort antall fotomultiplikatorrør.

Etter forsterkning går strømpulsene fra fotomultiplikatorrørene til en sumforsterker som adderer signalene til et såkalt Z-signal. Samtidig mates pulsene til et posisjonsnettverk som resulterer i to analoge signaler X og Y som er proporsjonale med scintillasjonens koordinater i detektoren. Vi kan ikke her gå inn på virkemåten for denne kretsen, men bakgrunnen er at koordinatene kan uttrykkes som posisjonsveiete summer av lysintensitetene fra de enkelte fotomultiplikatorrør. Merk at elektronikken tar seg av en scintillasjon om gangen og at den har en kort dødtid før neste scintillasjon kan behandles. Ved hjelp av såkalt derandomisering kan men stille signalene i kø («sample and hold»-kretser) og derved innen visse rammer unngå at to scintillasjoner kommer så tett at den siste ikke kan registreres. Et

moderne scintillasjonskamera kan håndtere over 200.000 scintillasjoner i sekundet. Tradisjonelt har bildet blitt til ved at man har kjørt Z-signalet gjennom en pulshøydeanalysator (PHA) med øvre og nedre signalterskel satt slik at man bare aksepterer pulser med signalstørrelse svarende til en fotoelektrisk vekselvirkning med fotoner fra den aktuelle nuklide. Når denne betingelsen oppfylles, åpnes det for en kortvarig elektronstråle i et oscilloskoprør. Samtidig legges X- og Y-signalene på avbøyningsplater, og elektronstrålen treffer skjermen i en posisjon som svarer til scintillasjonens i krystallen. Ved å la et polaroidkamera akkumulere slike glimt over tid, vil man få et «prikkbilde» (scintigram) hvor tettheten av prikker er uttrykk for konsentrasjon av radioaktivitet i det aktuelle organ.

Idag er det svært vanlig at scintallasjonskameraet er koplet direkte sammen med en datamaskin. X- og Y-signalene digitaliseres dersom Z-signalet aksepteres av pulshøydeanalysatoren. Sammen danner disse to signalene adressen til en hukommelsesposisjon i datamaskinen. Datamaskinens hukommelse kan i denne sammenheng tenkes organisert som en todimensjonal matrise med f.eks. 256x256 elementer. Datamaskinprogrammet går inn i den adresse som svarer til de digitaliserte koordinatverdiene (som i dette tilfelle ligger mellom 0 og 255), leser ut innholdet, adderer til 1 og skriver resultatet tilbake igjen til samme adresse. Over tid vil det derfor i hvert matriseelement bygge seg opp et tall som forteller hvor mange scintillasjoner som er registrert innenfor et tilsvarende lite flateelement på detektorflaten. Siden bildet er digitalt, kan det lagres på magnetplate (disk). Denne teknologien tillater også dynamiske studier (f.eks. av opptak og utskillelse av et stoff i nyrene) ved at bildene med jevne mellomrom spilles over til disk med nullstilling av alle matriseelementer før hvert nytt delbilde i serien. Slike studier gir mulighet for studium av regionale funksjoner og for matematiske analyse som resulterer i funksjonsparametre for det aktuelle organ.

Nyere scintillasjonskameraer er i tillegg til de kretsene som er skissert foran utstyrt med teknologi for on-line korreksjoner av små avvik fra geometrisk linearitet og for avvik fra uniform sensitivitet for lys fra ulike deler av krystalloverflaten. For hver eneste scintillasjon adresseres matriser med korreksjonsdata (read-only-memory) og det gjøres korreksjoner av X, Y og Z-pulsene før disse går videre til bildesammenstilling.

En spesiell form for datamaskinbasert nukleærmedisinsk undersøkelse fås ved å synkronisere bildeinnlagringen med de elektriske signalene fra hjertet (EKG). Man anvender en ^{99m}Tc -forbindelse som holder seg i blodbanene. Hjertesyklusen, fra en sammentrekning til den neste, deles inn i opp til 32 like lange tidsintervaller, og bildeformatet er 64x64 elementer. Bildedata fra første tidsintervall lagres i en del av datamaskinhukommelsen, data for neste tidsintervall i en annen del osv. Når data for første hjertesyklus er innlagret og EKG indikerer ny sammentrekning, begynner man på nytt å lagre data i hukommelsesområdet som svarer til første tidsintervall. Slik fortsetter man til man har samlet data fra ca. 500 hjerteslag. Den resulterende «kortfilm» av en hjertesyklus kan så brukes til detaljerte studier av veggbevegelse og analyse av faseforskyvninger mellom ulike deler av hjertemuskelen, samt til beregning av funksjonsparametre som f.eks. ejeksjons fraksjon fra venstre hjertekammer (den del av blodet som pumpes ut i et slag).

En annen anvendelse av datamaskinen i nukleærmedisinsk diagnostikk er såkalt datatomografi, eller mer presist enkeltfoton- emisjons- datatomografi. Det matematiske grunnlaget for denne teknikken er det samme ved en rekke ulike anvendelser innen (og utenfor) medisinen, og vil derfor kort bli gjennomgått i det følgende. Når scintillasjonskameraet skal brukes for dette formålet, roteres det med små vinkelinkrementer rundt pasienten. Kameraet er utstyrt med en parallellhullskollimator, og detektorflaten tangerer en sylinderflate med rotasjonsaksen som akse. For hver ny rotasjonsvinkel lagres et digitalt bilde i datamaskinen. Tenker vi oss bildene orientert slik at y-aksen peker i retning av pasientens hode, vil linjer i x-retningen representere såkalte projeksjonsprofiler. Verdien (antall scintillasjoner) i et bildeelement på en slik profil er proporsjonal med summen av den aktivitet som befinner seg på en linje som står loddrett på detektorflaten i det tilsvarende punkt (vi ser i denne utledningen bort fra absorbsjon av fotoner i kroppen). Slike profiler har vi altså registrert for mange vinkler, θ. Vi betrakter nå de profiler som ligger på samme y-koordinat i bildet, og

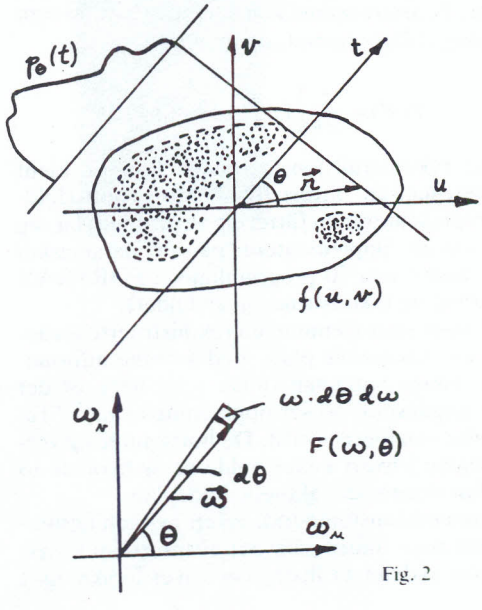


Fig. 2

legger en t-akse langs bildets x-akse. Ser vi bort fra en sensitivitetsfaktor, kan profilverdien for en gitt verdi av t skrives (se fig. 2).

$$P_\theta(t) = \int_L f(u,v)d\ell$$

hvor integralet er tatt langs linjen «1» som står vinkelrett på profilen i punktet «t». Den todimensjonale Fouriertransformasjon av aktivitetsfordelingen f(u,v) er gitt som

$$F(\vec{\omega})=F(\omega,\theta)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}\int f(\vec{r})\ e^{-i\vec{r}\cdot\vec{\omega}}\ dudv$$

hvor $\vec{\omega}$ er en vektor med komponenter ω_u og ω_v i et todimensjonalt frekvensrom (Merk at $|\omega| = 2\pi\nu$ hvor den romlige frekvens ν har dimensjon cm^{-1}). Figur 2 viser dette. Nå legger vi merke til at vektorproduktet $\vec{r}\cdot\vec{\omega}$ har konstant størrelse ($= \omega t$) langs linjen «1» og vi kan endre integrasjonsrekkefølgen:

$$F(\omega,\theta)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-i\omega t}\left[\int_L f(\vec{r})dl\right]dt = P_\theta(\omega)$$

Størrelsen $P_\theta(\omega)$, den Fouriertransformerte av profilen, er altså kjent for alle verdier av θ, og man kan bestemme f(u, v) ved en invers Fouriertransformasjon. Under den inverse transformasjonen er det hensiktsmessig å bruke polarkoordinater (flateelementet i Fourierrommet blir $|\omega|\ d\theta d\omega$) og man får:

$$f(\vec{r})=\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} P_\theta(\omega)\cdot\omega\cdot e^{i\omega t}d\omega\cdot d\theta$$

Dette arbeidet kan forenkles ytterligere dersom man velger en funksjon s(t) som er slik at dens Fouriertransformerte for lave verdier av ω er lik ω. Multiplikasjonen i Fourierrommet kan derved uttrykkes som en foldning i bilderommet, og man får:

$$f(\vec{r})=\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi}(p_\theta(t)*s(t))d\theta$$

Denne rekonstruksjonsmetoden, som er kjent under betegnelsen filtrert tilbakeprojeksjon (foldningen representerer en filtrering av profilen) lar seg utrolig enkelt implementere på en datamaskin (f.eks. mindre enn 30 programlinjer i FORTRAN for filtrering og rekonstruksjon av bildet).

Fig. 3 viser snitt gjennom en rekonstruerte fordelingen i tre ortogonale plan. Ved å bruke informasjon fra mange naboplan (ulike y-verdier), er det laget to lengdesnitt. Vi ser oppladning av en ^{99m}Tc-forbindelse i en hjernesvulst. De horisontale og vertikale linjene i hvert enkelt bilde angir hvor de to andre plan skjærer det aktuelle bildeplan.

Positronemisjonstomografi er en avbildningsmulighet som bare finnes på svært avanserte nukleærmedisinske avdelinger hvor man driver forskning. I Norden finnes det et slikt instrument i Sverige og minst ett i Finland, mens et svensk firma produserer og selger slike over store deler av verden. Metoden baserer seg på bruk av syklotronproduserte nuklider; de viktigste er ^{11}C, ^{13}N og ^{15}O. Det er utviklet metoder for hurtig syntese av f.eks. ^{11}C-merket druesukker ved hjelp av hurtigvoksende alger. En slik hurtig innmerkning er nødvendig pga. den meget korte halveringtid for ^{11}C. (20 min.). Etter en intravenøs injeksjon av dette stoffet vil man kunne måle hjernens opptak og forbruk av druesukker. Instrumentet som brukes for dette formålet er laget som en ring av et stort antall detektorer (se fig. 4) avskjermet slik at de bare «ser» inn mot et smalt snitt gjennom pasienten. Når positroner emitteres vil de i umiddelbar nærhet finne elektroner og vi får annihilasjonsstråling: to fotoner med energier på 0,511 MeV som beveger seg i stikk motsatt retning. En samtidig deteksjon (koinsidens) av fotoner i to detektorer betyr at man har hatt en positronemisjon

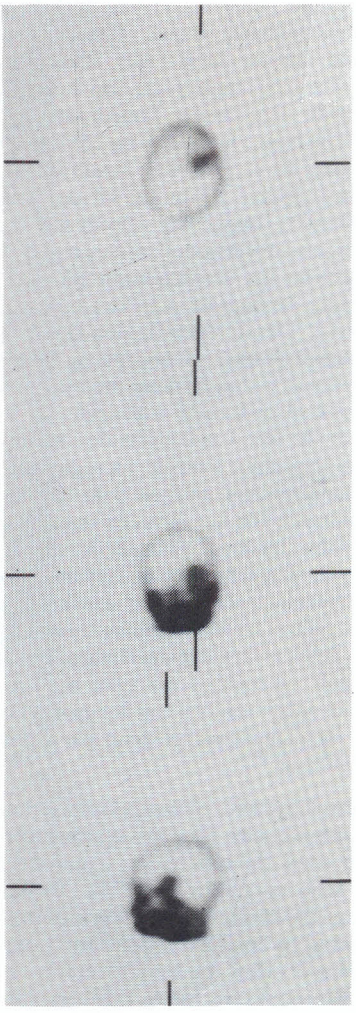


Fig. 3

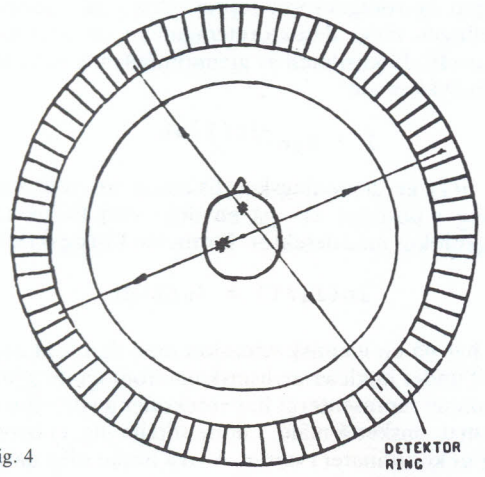


Fig. 4

på den linjen som forbinder disse detektorene. En rekke slike hendelser blir lagret i en datamaskin under undersøkelsen. Om man med utsiktspunkt fra én detektor teller opp hvor mange koinsidenser man har hatt med hver av de andre detektorene vil man få en profil. Profilverdiene representer summen av alle hendelser på en linje tilbake til utsiktpunktet. Selv om projeksjonslinjene her har form av en vifte, kan man bruke slik profiler og en modifisert utgave av den rekonstruksjonsalgoritmen som er skissert tidligere til å bestemme fordelingen av positronemitterende nuklider i tverrsnittet.

I Norge utføres det årlig ca. 40.000 nukleærmedisinske undersøkelser. De viktigste undersøkelsene er gitt i tabellen nedenfor.

Nuklide/forbindelse	Undesøkelse av:
^{131}I	Skjoldbruskkjertel
^{131}I-hippuran	Nyrefunksjon
^{99m}Tc-kolloider	Lever, milt, benmarg
^{99m}Tc-metylendifosfonat	Skjelett
^{99m}Tc-makroaggregater	Lungegjennomblødning
^{133}Xe (gass)	Lungeventilasjon, blodstrøm
^{201}T1	Hjertemuskelvev

Tabell 1: Noen typiske nukleærmediske undersøkelser.

Slike undersøkelser skal bare gjennomføres dersom nytten av undersøkelsen er større enn den mulige risiko man utsetter pasienten for. De absorberte stråledoser er svært små, vanligvis av samme størrelsesorden som ved en røntgenundersøkelse, dvs. i mGy-området.

Det foreligger tabeller som angir absorbert dose til forskjellige organer for de forskjellige undersøkelser. I de tilfeller hvor slike data ikke finnes må man måle opp både vevsdistribusjon og tidsvariasjonen av denne for å kunne beregne den absorberte stråledose. Et meget viktig begrep i denne forbindelse er kumulativ aktivitet. La A(t) være den samlede aktivitet som funksjon av tid i et organ som har masse M. Den kumulative aktivitet er tidsintegralet:

$$A_c = \int_0^\infty A(t)dt$$

Regnes aktiviteten i becquerel og tid i sekunder, vil A_c altså være det totale antall nuklider som har desintegrert innenfor organet. For ikke-penetrerende stråling (beta, konversjonselektroner, Augerelektroner) fås bidraget til den absorberte dosen som produktet av A_c med den midlere energi per desintegrasjon (vanligvis av størrelsesorden 10^{-13}J) altså

$$D_\beta = \bar{E}_\beta \cdot A_c / M$$

Den absorberte dosen har dimensjon J/kg, altså Gy. For å beregne bidrag til absorbert stråling fra fotoner, må man summere over alle bidrag fra organer som har aktivitet (kildeorganer). Dette arbeidet forenkles ved at det for et stort antall aktuelle nuklider finnes publiserte tabeller for «standard man» med angivelse av dosebidrag fra kildeorganer til andre organer.

På dette punkt kan det være interessant å vite at man også bruker radionuklider i forbindelse med høyt differensierte dattersvulster fra kreft i skjoldbruskkjertelen. Cellene har har beholdt evnen til å ta opp jod, og vil altså kunne ta opp ^{131}I etter en intravenøs injeksjon. Doseringen avgjøres ut fra opptak av en mindre spordose, og det er faktisk mulig å gi pasienten behandlingsdoser som fører til at den absorberte dosen til svulstvevet kommer opp i over 100 Gy og uten at man overskrider toleransegrensene for nabovev eller særlig kritiske organer (i dette tilfelle benmarg).

Til slutt skal det bare nevnes at et stort antall undersøkelser av blodprøver forgår ved bruk av ulike radioaktivt merkede antistoffer. Disse undersøkelsene brukes først og fremst til å måle mengden av forskjellige proteiner (f.eks. hormoner). I denne sammenhengen er radioaktiviteten bare en markør for en ytterst liten kjemisk mengde. Teknikken konkurrerer idag med anvendelse av fluorescerende antistoffer (antistoffer merket med fluorescerende forbindelser).

Røntgendiagnostikk

Siden oppdagelsen av røntgenstrålingen for litt over 90 år siden har medisinsk radiologi utviklet seg til å bli en omfattende medisinsk spesialitet hvor svært komplisert teknologi er tatt i bruk. Selve røntgenrøret er blitt utviklet med roterende anoder for å kunne fordele varmen fra nedbremsingen av elektronene over en større flate. Man kan derved eksponere med stor intensitet fra et lite fokus (treffområde for elektronstrålen). Man bruker filtre som absorberer unyttige komponenter i røntgenspektret, man øker filmsensitiviteten ved å benytte fluorescerende

folier på hver side av røntgenfilmen, og man har spesielle rastere som reduserer innflytelsen fra spredt stråling. Høyspenningsgeneratorene er blitt bedre slik at man får praktisk talt likespenning under eksponeringen, og man benytter automatisk eksponeringskontroll med ionekamre plassert i strålebunten bak pasienten. På den måte blir det lettere å få riktig eksponering av filmen.

Den gamle gjennomlysningsskjermen, en fluorescerende skjerm som legen betraktet direkte, er avløst av spesielle bildeforsterkere. Dette er lufttomme rør som er utformet omlag som TV-bilderør. Inngangsskjermen inneholder et scintillerende materiale bygget opp som svært små parallelle nåler. Like bak disse, inn mot røret, sitter et belegg som sender ut elektroner når det treffes av fluorescenslyset. Elektronene akseleres i et sterkt elektrisk felt, og følger feltlinjene fram mot en elektrisk linse. Man får et forsterket (og forminsket) bilde på en utgangsskjerm. Denne utgangsskjermen kan filmes ved hjelp av et 35mm kamera eller man kan benytte et videokamera for å overføre skjermbildet til en videomonitor. Fordelen ved bildeforsterkeren er at man får tilstrekkelig informasjon for en rekke formål med bruk av svært lave stråledoser.

Bildet fra utgangsskjermen kan også digitaliseres med utgangspunkt i videosignalene (etterhvert også med faststoff digitalt kamera, såkalt CCD, (Charge Coupled Device)). Hittil har den viktigste anvendelsen av denne teknikken vært innenfor subtraksjonsangiografi, hvor man avbilder blodårer etter injeksjon av jodholdig kontrastvæske. Forut for injeksjonen tas det et referansebilde og deretter en rekke bilder under injeksjonen. Digital subtraksjon av referansebildet fra et senere bilde vil deretter gi et nettobilde som bare viser blodårene uten andre overliggende strukturer. I en slik bildeserie ligger det imidlertid langt mer informasjon, (bl.a. om blodstrøm), som nok vil bli utnyttet når maskin- og programvare for formålet blir tilgjengelig.

Det virkelig nye tilskuddet til røntgendiagnostikk kom i form av datatomografen eller mer presist: røntgen - transmisjons - datatomografen. (Nobelpris til Cormack og Hounsfield i 1979). Røntgenrøret roterer rundt pasienten og man registrerer gjennomfallende stråling (energi ca. 120 kV_p) ved hjelp av detektorrekken som befinner seg på motsatt side av pasienten. Detektorene kan være ionisasjonskamre med xenon-gass under høyt trykk eller scintillasjonskrystaller koplet til fotodioder. I begge tilfeller sitter det integrerende elektrometerforsterkere bak hver detektor, fulgt av multipleksere og analog til digital omvandlere. Med de nyeste datatomografer kan man ta inn inntil 400 målinger fra mer enn 600 enkeltdetektorer (240000 enkeltdata) i løpet av en rotasjonstid på 2 sekunder.

Strålebunten er kollimert slik at bare et lite (4-15 mm) skikt av pasienten bestråles. For en bestemt posisjon av røntgenrøret representerer intensitetsfordelingen langs detektorelementene en transmisjonsprofil. Intensiteten av gjennomfallende stråling kan uttrykkes som

$$I = I_0 e^{-\int \mu(\ell)\, d\ell}$$

hvor $\mu(1)$ er dempningskoeffisienten for røntgenstråling i posisjon «1» på en linje som forbinder røntgenfokus med detektor. Formelen kan også skrives

$$\ln(I_0/I) = \int \mu(\ell)\, d\ell$$

Vi har nå en identisk situasjon med den som ble omtalt under nukleærmedisinsk datatomografi: profilverdiene representerer linjeintegraler av den størrelse man ønsker å måle, i dette tilfelle $\mu(x,y)$ hvor x og y er koordinater i snittet. Ved å bruke slike data fra mange profiler kan man her rekonstruere $\mu(x,y)$ i tverrsnittet. Fordi de ulike vev har forskjellig dempningskoeffisient representerer $\mu(x,y)$ et bilde av de ulike organene som er så fint at man f.eks. kan se forskjell på koagulert og normalt flytende blod. Fig. 5 viser et snitt gjennom kroppen i høyde med leveren.

I dag knytter deg seg stor interesse til en ny type bildeplater som er bygget opp av halvledende bariumforbindelser dopet med Eu (BaFCl, BaFI og BaFBr). Disse har den egenskapen at elektroner innfanges (trappes) mellom ledningsbånd og valensbånd når materialet bestråles med ioniserende stråling. Ved hjelp av en laser kan man få frigjort disse elektronene igjen. Dette skjer under utsendelse av lys i et annet spektralområde enn laserens. Lysmengden er proporsjonal med den stråling et område av bildeplaten har mottatt. Utlesning av en slik bildeplate, som kan være eksponert med en dose langt under det som kreves for en vanlig film/folie-kombi-

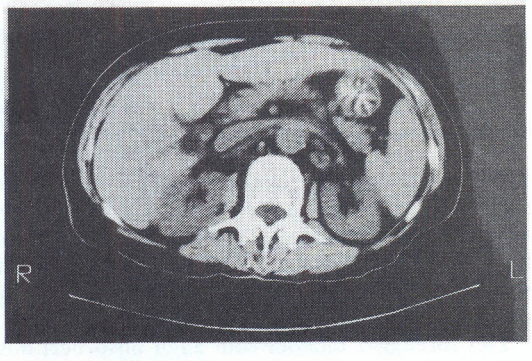


Fig. 5. Røntgendatatomogram. Vi ser inn i snittet fra pasientens fotende, og ryggsiden er nederst i bildet. Foruten leveren (venstre og fremre del av snittet) ses en rygghvirvel med de to nyrene på hver sin side, samt milten ytterst til venstre. Like nedenfor den smale leverlappen øverst ses bukspyttkjertelen og en del av magesekken.

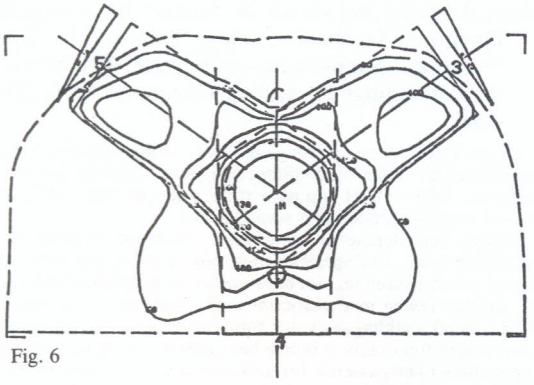


Fig. 6

nasjon, foregår ved at en laserstråle avsøker bildeplaten linje for linje. Det avgitte lyset måles ved hjelp av et fotomultiplikatorrør, signalene digitaliseres og verdiene tilordnes bildeelementer i et digitalt bilde i datamaskinen. Dette detektorsystemet er bare ett av flere systemer (bl.a. rekker av fotodioder) som nå utprøves innenfor det fagområdet som går under betegnelsen digital radiografi.

Stråleterapi

Stråleterapi av ondartede svulster har sitt utspring i bruken radium, men er i dag et fagfelt hvor man bruker ulike strålekilder for forskjellige formål. Innen ekstern stråleterapi er det spesielt bruken av høyenergetisk elektron- eller bremsestråling som har ført til nye effektive behandlingsformer. Norge var i denne sammenheng tidlig ute ved installasjon av den første betatron ved Radiumhospitalet i 1951. Idag er det lineærakseleratorer som dominerer ved siden av apparater som har høyaktive kilder av ^{60}Co. Akseleratorene er vanligvis utstyrt med avbøyningssystemer som bøyer de akselererte elektronene av mot et tungmetallstykke for produksjon av bremsestråling eller mot en spredefolie for homogen bestråling i en elektronstrålebunt. Apparatene er utstyrt med meget omfattende dosimetrisystemer, bl.a. med doble sett ionekamre og måleelektronikk.

Fordelen ved høyenergetisk stråleterapi ligger i formen på dybdedosekurvene (absorbert dose som funksjon av dybde i vev). For bremsestråling oppnår man en hudsparende effekt som ofte er ønsket ved at dosen når et maksimum et stykke innenfor overflaten. Dette skyldes at man på grunn av sterk forovers predning av sekundærelektroner først ved en viss dybde får likevekt mellom antall elektroner som kommer inn og forlater et lite volum. Dybden til maksimalpunktet avhenger av fotoenergien. Ved så høye fotonenergier (elektronenergien ved kollisjon med tungmetallet er typisk 5-20 MeV) fås dybdedosekurver som faller langsomt med økende dybde i vevet. Man kan altså nå en svulst langt inne i kroppen uten å få uakseptable doser til annet vev. Ved å benytte elektronstrålingen får man fra overflaten en relativt konstant verdi og deretter fra en bestemt dybde, som avhenger av elektronenergien, et raskt fall i absorbert dose.

Ved ekstern stråleterapi mot et svulstområde siktes ofte strålebuntene inn mot svulstområdet fra flere retninger. Ett trinn i planlegningen foregår ved hjelp av en datamaskin. Man mater inn pasientens ytre og indre konturer og omriss av behandlingsområdet, og bruker deretter matematiske/empiriske modeller til å beregne dosebidrag fra de enkelte strålebunter. Man forsøker seg fram med ulike kombinasjoner av fotonenergier, feltstørrelser, strålebuntretninger og ulik vektlegging av bidragene fra de enkelte strålebunter inntil man finner den kombinasjon som gir mest mulig jevn dose til svulstområdet og minimal dose til omliggende normalvev og kritiske organer (f.eks. øyne og ryggmarg (nervevev)). Figur 6 viser en doseplan for behandling av en svulst i spiserøret med tre strålebunter. To av disse er modifisert med absorberende kiler. Dosefordelingen er gitt ved isodolinjer.

Ekstern strålebehanling gis vanligvis som fraksjonert bestråling, d.v.s. at avlevering av en stråledose deles opp i flere enkeltbehandlinger (2-40). Svulstens celletype og beliggenhet avgjøre dosenivå og fraksjonering. Dosen i hver fraksjon kan variere fra 1 til 4 Gy og totaldoser opp til 70 Gy er vanlig.
Ved siden av ekstern stråleterapi spiller også interstitiell (inne i vevet) terapi en viss rolle. Her benyttes det bl.a. tråder av ^{192}Ir og korn av ^{198}Au eller ^{125}I. Ved riktig plassering av disse kildene kan man få en meget høy dose til et vel avgrenset behandlingsområde. Også her baserer man seg på datamaskinberegning av dosefordelingen.

Ved behandling av kreft i livmor eller livmorhals har man tradisjonelt benyttet radiuminnlegg, men bl.a. av strålehygieniske hensyn bruker man nå i økende utstrekning etterladningsteknikker. En tomhylse settes først på plass i behandlingsområdet, og deretter bringes de radioaktive kildene inn under fjernkontroll.

Av det som er sagt ovenfor, framgår at man i forbindelse med stråleterapi ofte anvender doser som ligger fra 1000 til 50000 ganger høyere enn hva man vil få ved en typisk nukleærmedisinsk eller røntgen diagnostisk undersøkelse. Likevel gir behandlingen vanligvis svært akseptable stråleskader i friskt vev, og induksjon av nye krefttilfeller i behandlingsområdet er sjelden.

Pasientmaterialet er gjengitt med tillatelse fra nukleærmedisinsk avdeling og røntgendiagnostisk avdeling ved Radiumhospitalet. Figur 6 er et eksempel på presentasjon av sluttresultatet fra et doseplanleggingsprogram skrevet av fysiker Sverre Levernes, Radiumhospitalet.

Bøker

Setsuo Ichimaru: «PLASMA PHYSICS An Introduction to Statistical Physics of Charged Particles», Lecture Notes and Supplements in Physics, Benjamin/Cummings, Menlo park, 1986.

Tradisjonelt defineres gjerne det fysiske plasma som et svakt koplet klassisk flerpartikkelsystem av ladete partikler. Disse egenskapene innehas av alle ioniserte gasser som kan skapes ved gassutladninger under laboratoriebetingelser, av planeters ionosfære og magnetosfære og av de fleste astrofysiske plasma. Det finns imidlertid viktige unntak. Faststoffplasma, som f.eks. den degenererte Fermi-gass av ledningselektroner i metaller, er normalt både sterkt koplet og krever en kvantemekanisk beskrivelse. Jupiters kjerne har omlag samme tetthet som solas indre, men temperaturen er så lav at elektrongassen er både degenerert og sterkt koplet. I det indre av eldre stjerner som hvite dverger er elektrongassen degenerert og svakt koplet, mens ionegassen kan beskrives klassisk og er sterkt koplet.

Ichimaru's ide er å gi en integrert framstilling av plasmafysikken, der sentrale disipliner som tradisjonelt har tilhørt faststoffysikk og astrofysikk er inkludert. Oppgaven er formidabel, spesielt når stoffet skal presses innafor permene av ei lærebok på 300 små sider.

Kapitlene som omhandler den tradisjonelle plasmafysikken bærer i stor grad preg av å være et resyme av forfatterens velrenomerte lærebok fra 1973. Et avsnitt om spredning av radiobølger fra ionosfæren er inkludert med beskrivelse av enkelte klassiske eksperimenter fra 60-årene. Det ledsagende teoretiske materialet virker unødvendig slapt, og forsøkene på å erstatte teoretisk analyse med anskuelige fysiske forklaringer er ikke alltid like vellykket.

Ikke-lineære effekter behandles via en kvalitativ studie av partikkelinfanging, ioneakustiske solitonér og selvfokusering av elektromagnetiske bølger. Dette er i og for seg viktige effekter i ikke-lineær plasmafysikk, men det forundrer undertegnede at forfatteren ikke har utnyttet den kvantemekaniske formalismens muligheter til å gi en elegant framstilling av sentrale emner som kvasilineær teori og ikke-lineære bølge-partikkel og bølge-bølge vekselvirkninger.

Bokas to siste kapitler behandler klassiske strålingsprosesser gjennom å behandle så tilsynelatende forskjellige emner som fri-elektron laseren på den ene side og røntgenstjerner og pulsarer på den andre. Den teoretiske analysen av fri-elektron laseren er, som så mye annet i denne boka, så knapp at at den er vanskelig tilgjengelig for en uinnvidd leser. Kapitlet om pulsarer er derimot en grei kvalitativ innføring som ikke pretenderer å bevege seg utover det rent deskriptive.

Selv om elektronplasma i metaller er sterkt koplet, gir beregninger basert på «random-phase» approksimasjonen (RPA) god innsikt i den rike flora av kollektive eksitasjoner og vekselvirkninger i faststoffplasma. Dette kommer imidlertid ikke klart fram i denne boka. De to kapitlene om faststoffplasma har mer karakter av «review» av de mange teorier som beregner korreksjoner fra RPA. De eksperimentelle resultatene som beskrives demonstrerer klart behovet for slike korreksjoner, men er for usikre til å skille mellom de forskjellige teorier.

Samme karakter har kapitlet om sterkt koplete klassiske plasma, der korreksjonene til RPA modifiserer termodynamiske størrelser og transportkoeffisienter. Her sammenlignes analytiske resultater med numeriske simuleringer, men de brokker av teori som presenteres vil nok oppfattes som vel fragmentariske av mange lesere.

Bokas knappe form, og mangelen på øvelesoppgaver, gjør den etter mitt syn lite egnet som lærebok i regulære universitets- eller høyskolekurs. Derimot kan den sikkert være verdifull for forskere og viderekomne studenter i plasma-, faststoff- eller astrofysikk, og da først og fremst som en guide for dem som ønsker å utvide sin faglige horisont.

Kristoffer Rypdal.

Hans A. Bethe and Roma W. Jackiw: Intermediate Quantum Mechanics, Third Edition. Lecture Notes and Supplements in Physics: The Benajmin/Cummings Publishing Company, 1986. 396 sider.

Denne boken utkom første gang i 1964, og den litt forandrede andreutgaven i 1968. Med mindre revisjoner og tillegg har andreutgaven blitt trykket opp på nytt flere ganger, sist i 1982, og har vel etter hvert fått status som klassiker.

Bokens hovedemne er atomfysikk, inkludert strålings- og spredningsteori. Det spesielle med boken er at den først og fremst konsentrerer seg om *anvendelser* av kvantemekanikken og *sammenligning* med eksperimentelle resultater. Det legges liten vekt på utviklingen av den formelle kvanteteori, og forfatterne understreker selv at boken bør oppfattes og brukes som et supplement til en passende lærebok som dekker det mer formelle. Som et eksempel nevner forfatterne her *Messiah:* Quantum Mechanics, Vol. II. Som boktittelen antyder forutsettes det at leseren allerede har kjennskap til den mer fundamentale del av kvantemaknikken; som et eksempel på en passende grunnbok nevnes *Merzbacher:* Quantum Mechanics.

Den nye utgaven er delt i fire hoveddeler: Part I: Theory of Atomic Structure. Part II: Semiclassical Radiatoion Theory. Part III: Atomic Collisions. Part IV: Relativistic Equations.

Som i tidligere utgaver er det oppgaver i slutten av hvert kapittel, og noen av disse er nye. Boken er videre oppdatert med en del nyere eksperimentelle resultater, og det er gjort en del forandringer i teksten - delvis på grunnlag av reaksjoner forfatterne har fått fra brukere av tidligere utgaver av boken. Som de selv sier i forordet til denne utgaven: «In our Third Edition we have made revisions, which were suggested during the almost quarter century that Intermediate Quantum Mechanics has been in print and in use. They are mainly of pedagogical nature, reflecting our own teaching experience and the many useful comments we have received from colleagues, for which we are very grateful. *Also a brief description of recent progress in the treatment of electron correlation is included. These new developments, based on the Buckner, Bethe, Goldstone method in nuclear physics, help substantially in calculating accurate atomic energy levels.*»

Sigmund Waldenstrøm

Superstrings. The first 15 years of superstrings. Vol. I og II. Edited by J.H.Schwarz. World Scientific, Singapore 1985. 1141 sider, uinnbundet.

Utviklingen innenfor superstrenger er kanskje det som har vakt aller størst oppmerksomhet innenfor partikkelfysikken i det siste året. Her kan en håpe å finne «teorien for alt», uten ubehagelige divergenser eller anomalier, uten ubestemte dimensjonsløse parametre, inklusive alle typer krefter og kanskje med realistiske partikkelspektra. Ennå er dette mye håp, men situasjonen er meget spennende.

Superstrenger er teoretisk fysikk på sitt mest eksotiske, og inneholder de fleste fasjonable moderne ideer som supergravitasjon, GUT og ekstra romdimensjoner. Dessuten benyttes avansert matematikk, særlig innenfor algebraisk geometri.

I de foreliggende to bind er samlet en rekke sentrale artikler i utviklingen av superstrenger. Alle har tidligere vært publisert, enten som originalbidrag eller oversiktsartikler. Schwarz har selv vært en av de viktigste bidragsyterne til teorien, og garanterer for at utvalget er det beste. Han har også skrevet gode forord til hvert av de 13 kapitlene. Bøkenes aktualitet defineres av at siste artikkel er fra april 1985.

Kjell Mork

Institutt for energiteknikk

KURSSENTERET

KURS I DATABEHANDLING VÅRSEMESTERET 1987

26.01-30.01	Innføring i EDB
02.02-27.02	COBOL
09.03-30.03	FORTRAN

Det vises også til Forbruker- og administrasjonsdepartementets kurskatalog for 1987.

PÅMELDINGSFRISTEN er som regel 1 måned før kursets begynnelse.

KURSAVGIFTEN ER kr.2.500,- pr. uke for deltagere fra offentlige institusjoner
kr. 3.750,- pr. uke for deltagere fra private bedrifter

Nærmere opplysninger
Kurssekretær Gerd Jarrett
Kurssenteret
Institutt for energiteknikk
Boks 40, 2007 Kjeller

Telefon (02) 71 25 60

Utgiverpoststed: 7034 Trondheim - NTH.

Norsk Fysisk Selskap

STYRE:
Formann: Professor E. Osnes, Fysisk Institutt, Universitetet i Oslo
Vise-formann: Professor R. S. Sigmond, NTH, Trondheim
Styremedlemmer:
Førsteamanuensis O. Havnes, Universitetet i Tromsø
Førstelektor T. Engeland, Universitetet i Oslo
Førstelektor K. Myklebost, Universitetet i Bergen.

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

Postgirokonto: 5 88 38 89.
Bankgirokonto: 5102.09.58344.

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Førsteamanuensis Knut Jostein Knutsen
Granlivn. 24, Ugla, 7000 Trondheim
Førsteamanuensis Hans Kolbenstvedt
Fysisk Institutt, AVH
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.
Informasjonskonsulent Tore Grønningsæter, NAVF/RNF, Munthesgt. 29, Oslo 2.
Forskningsstipendiat Svein Sjøberg, Skolelaboratoriet, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, Oslo 3.
Forsker Olav Steinsvoll, Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller

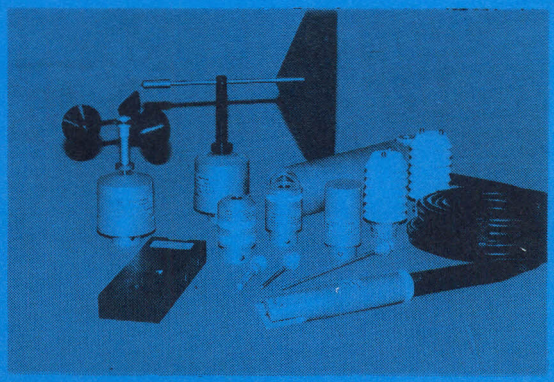
Fra Fysikkens Verden utkommer kvartalsvis. Abonnement kan tegnes gjennom postverket eller direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 75,-. Årsabonnement for studenter og skoleelever kr. 40,-.

Sekretær:
Gudrun Græsmann.

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

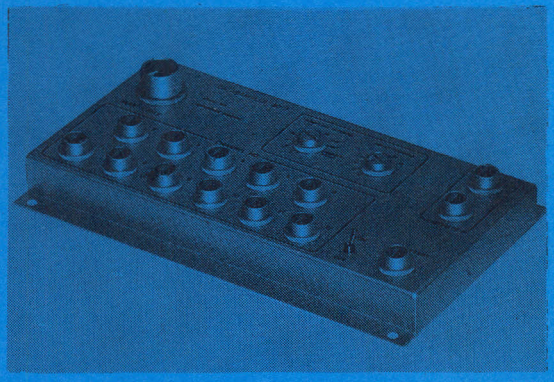
Postgirokonto: 5 10 47 24
Bankgirokonto: 8601.36.12279
Tlf. (07) 92 04 11, linje 134

Automatiske målinger av miljödata



STANDARDISERTE SENSORER for:

vindstyrke og -retning
lufttrykk
lufttemperatur
solstråling
relativ fuktighet
vannivå
regnfall
konduktivitet i væsker



SENSOR PLUG-IN BOARD 3010:
En kompakt, vanntett enhet som leser et sett Aanderaa-sensorer og gir ut data i 10-bits Aanderaa-kode og som ASCII-kodete RS 232 signaler.

AANDERAA INSTRUMENTS
DATA COLLECTING INSTRUMENTS FOR LAND, SEA AND AIR

FANAVEIEN 13 B
P.O. BOX 160
5051 BERGEN, NORWAY
TEL.: (05) 13 25 00
TELEX 40049

OSEANOGRAFISKE OG METEOROLOGISKE MÅLEINSTRUMENTER

Offset-Sats a/s
Trondheim