

N08600097

## TSJERNOBYL-ULYKKEN

- ULYKKESFORLØP
- SKADEVIRKNINGER
- KONSEKVENSER

**IFE/KR/E-86/004**

**TSJERNØY - ULYKKEN**

**ULYKKEFORLØP - SKADEVIRKNINGER - KONSEKVENSER**

**JON OLAV BERG  
GORDON CHRISTENSEN  
ROLF LINGJÆRDE  
HELGE SMIDT OLSEN  
PER IVAR WETHE**

**KJELLER/HALDEN**

**OKTOBER 1986**

<b>UTGIVER</b> Institutt for energiteknikk Boks 40 2007 Kjeller		<b>DOKUMENT NR.</b> IFE/KR/E-86/006	
		<b>DATO</b> 15. oktober 1986	
		<b>OPPDRAGSGIVER</b>	
<b>PROSJEKTNR./KONTRAKT NR.</b>			
<b>PROSJEKTNAVN</b>		<b>OPPDRAGSGIVERS REF.</b>	
<b>TITTEL OG UNDERTITTEL</b> Tsjernoby1-ulykken Ulykkesforlop - skadevirkninger - konsekvenser			
<b>FORFATTER(E)</b> J.O. Berg, G. Christensen, R. Lingjarde, H. Smidt Olsen, P.I. Wethe			<b>GODKJENT</b>
<b>REFERAT</b>			
<b>STIKKORD</b>			
<b>KLASSIFIKASJON OG/ELLER EMNEGRUPPE</b> UDK: 621.039(100)			
<b>INDEKSSYSTEM/TESAURUSTERMER</b> INIS: Nuclear power; Reviews			
<b>ANDRE BIBLIOGRAFISKE OPPLYSNINGER</b>		<b>ISSN</b> 0333-2039	
		<b>ISBN</b> 82-7017-083-6	
		<b>ANTALL SIDER</b> 25	
<b>TILGJENGELIGHET: DETTE DOKUMENT/DENNE SIDE</b> Åpen / Åpen		<b>SPRÅK: DOKUMENT/SAMHENDRAG</b> Norsk /	
<b>DISTRIBUERES AV</b> Institutt for energiteknikk		<b>MOTTAKERS NOTATER</b>	
<b>PRIS</b>			

**I N N H O L D S F O R T E G N E L S E**

	<b>Side</b>
1 <b>INNLEDNING/SAMMENDRAG</b> . . . . .	1
2 <b>ULYKKESFORLØPET</b> . . . . .	3
3 <b>BEGRENSENDE TILTAK - SKADEVIRKNINGER</b> . . . . .	6
4 <b>SIKKERHET VED SOVJETISKE OG VESTLIGE REAKTORER</b> . . . . .	8
5 <b>TEKNOLOGISKE OG FORSKNINGSMESSIGE KONSEKVENSER FOR VESTLIGE KJERNEKRAFTPROGRAMMER</b> . . . . .	11
6 <b>MÅLINGER AV DET RADIOAKTIVE NEDFALLET</b> . . . . .	12

## 1 INNLEDNING/SAMMENDRAG

Den 26. april 1986 skjedde det en alvorlig ulykke i reaktorenhet nr. 4 ved kjernekraftanlegget Tsjernobyl i Ukraina, USSR. Reaktorens kjerne havareerte og deler av bygningen rundt reaktoren ble ødelagt. Store mengder radioaktive stoffer ble frigjort fra kjernen. Mange av disse stoffene ble spredd i form av gasser eller som små partikler, mesteparten til områdene rundt selve anlegget. Ut til en avstand av 30 km fra anlegget ble mennesker og husdyr evakuert. 31 mennesker er til nå (oktober 1986) omkommet.

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 Tsjernobyl-reaktorens 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 konsekvenser.

Erfaringene har gjort det klart at det kanskje viktigste spørsmålet når kjernekraftrisiko vurderes, er om risikoen er underlagt god nok kontroll. Dette forutsetter at det planmessig gjennomføres:

- kvalitetssikring i videste forstand
- kvalifisering og utdanning av personell
- beredskap innenfor og utenfor anlegget.

De uhell av sikkerhetsmessig betydning som tidligere har funnet sted i vestlige kjernekraftverk, og nå ulykken i det sovjetiske, har tydelig demonstrert konsekvensene av at disse forutsetningene ikke er oppfylt. Et fellestrekk ved samtlige uhell er den hovedrolle som operatørene har spilt (den menneskelige faktor). Farlige og grove feil har ikke bare vært den umiddelbare årsak til uhellene, men også spilt en

avgjørende rolle for uhellsforløp og -utvikling. På den annen side er det også demonstrert at dyktig personell kan gripe inn og stabilisere en kritisk situasjon.

Erfaringene fra uhell i vestlige kjernekraftverk har vist at reaktor-uhell vil ha et visst tidsforløp og utvikle seg over flere timer eller dager. Det er således mulig å gripe inn og til en viss utstrekning styre forløpet av et uhell samt treffe nødvendige tiltak for å redusere omfanget av uhellet.

Tsjernobyl-ulykken karakteriseres av helt andre omstendigheter som skyldes reaktorens konstruksjon, og driftsegenskaper (grunnleggende ustabilitet i konstruksjonen) samt årsaken til selve ulykken (grove brudd mot sikkerhetsforskrifter). Etter den første spontane, ukontrollerbare effekttøkningen med påfølgende to eksplosjoner der vitale deler av reaktorens kjøle- og kontrollsystemer ble satt ut av funksjon, hadde operatørene ingen muligheter til å gripe inn eller styre utviklingen.

Tsjernobyl-ulykken har ikke gitt lærdommer som vil få vesentlig betydning for eksisterende vestlige reaktorkonstruksjoner og deres sikkerhetsteknologi. Ulykken har heller ikke avdekket problemer som i vesentlig grad kan ventes å påvirke hovedlinjene i arbeidet med utviklingen av nye reaktorsystemer. Derimot har ulykken avdekket et klart behov for bedret beredskap.

Denne rapporten gir en beskrivelse av de tekniske forhold omkring Tsjernobyl-ulykken; ulykkesforløp, skadevirkninger, og forskjeller mellom vestlig og sovjetisk reaktorsikkerhetstankegang som har spilt en avgjørende rolle for omfang og konsekvenser av ulykken. Rapporten gir også en vurdering av teknologiske og forskningsmessige konsekvenser for vestlige kjernekraftprogrammer. En betydelig del av det tekniske materialet om ulykken er basert på informasjon fremlagt av sovjetiske eksperter på møtet som IAEA (Det internasjonale atomenergi-byrået) arrangerte i Wien 25.-29. august 1986.

Resultater fra IFEs målinger av nedfallet fra Tsjernobyl og måleprogram på en rekke ulike næringsmidler er også presentert.

## 2 ULYKKESFORLØPET

I Tsjernobyl var 4 reaktorenheter i drift da ulykken skjedde. To reaktorer var under bygging. Hver enhet har en effekt på 1000 MWe (3200 MWth). Det er to turbiner à 500 MWe pr reaktor.

Reaktorene er av en lett vannskjølt grafittmoderert type som bare bygges i Sovjetunionen. Elleve liknende reaktorer som Tsjernobyl - i størrelse - er i drift andre steder i Sovjet, bl.a. 4 i Leningrad.

To reaktorer bygges gjerne sammen i en blokk, med endel felles anleggssystemer. Tsjernobyl 3 og 4 var bygget sammen på denne måten. Ulykken skjedde med reaktor nr. 4, som hadde vært i drift siden begynnelsen av 1984. Et forenklet diagram av en Tsjernobyl-reaktor er vist i fig. 1. Reaktoren består av en grafittblokk med ca. 1700 vertikale kanaler med trykkrør av zirkonium. I kanalene er brenselementene plassert. Disse kjøles med vann. Vannet som pumpes gjennom kanalene blir brakt til koking. I en dampseparator skilles dampen ut og ledes inn på turbinen.

Den 25. april 1986 skulle Tsjernobyl-4 stoppes for rutinemessig vedlikehold. Før avstengningen skulle det gjennomføres et eksperiment med den ene av de to turbogeneratorene. Hensikten med eksperimentet var å teste muligheten for å utnytte tregheten i rotoren på turbogeneratoren til å opprettholde anleggets strømforsyning en viss tid etter at damptilførselen var brutt.

Lignende forsøk hadde vært utført tidligere. Eksperimentalprogrammet denne gang var imidlertid dårlig forberedt og det var ikke sikkerhetsklarert. En elektroingeniør som ikke var kjent med reaktoranlegget var satt til å lede eksperimentet og kontrollromspersonalet.

ikke bare var eksperimentalprogrammet dårlig forberedt, men det forutsette at reaktorens nedkjølesystem skulle settes ut av funksjon under hele testperioden.

Fordi sikkerheten under dette eksperimentet ikke hadde fått nødvendig oppmerksomhet var heller ikke driftstaben forberedt og klar over mulige farer. I tillegg avvek driftstaben fra kjøreprogrammet og skapte derved krisesituasjonen.

Kl. 01.00 den 25. april begynte nedkjøringen av reaktoren fra 3200 MWth. Kl. 13.05 ble den ene turbogeneratoren stoppet. Effekten var da 1600 MWth.

Kl. 14.00 ble reaktorens nedkjølesystem koblet ut. Effektreduksjonen skulle nå fortsette, men pga. kraftbehov på det eksterne el-nett ble den videre nedkjøring utsatt. Først kl. 23.10 kunne man fortsette. Selve eksperimentet skulle utføres ved en effekt på 700-1000 MWth. Ved nedkjøringen skal det automatiske kontrollsystemet kobles ut når effekten kommer under en fastsatt grense. Under utførelsen av denne operasjonen klarte ikke operatørene å eliminere ubalansen mellom manuell og automatisk regulering fort nok, med det resultat at effekten falt til 30 MWth.

Først kl. 01.00 den 26. april klarte operatørene å stabilisere reaktoren på 200 MWth. På grunn av reaktorkjernens fysiske tilstand var det nå ikke mulig å øke reaktoreffekten ytterligere.

Av driftsinstruksen for reaktoren fremgår det at det alltid skal være minst 30 kontrollstaver inne i kjernen. For å nå de 200 MWth hadde imidlertid operatørene overskredet dette krav og trukket flere staver ut enn tillatt.

På tross av dette ble det likevel bestemt å gjennomføre eksperimentet.



Kl. 01.22.30 var det 6-8 kontrollstaver inne i kjernen, dvs. langt færre enn det absolutte minimum som er spesifisert i driftsreglementet.

Kl. 01.23 syntes imidlertid reaktoren å være så stabil at eksperimentet kunne starte.

Kl. 01.23.04 stengte operatørene for damptilførselen til turbo-generatoren og forsøket startet. På grunn av redusert dampleveranse begynte nå damptrykket i systemet sakte å øke. Reaktoren var på dette tidspunkt i en tilstand der en forholdsvis liten endring i effekten ville bety en betydelig økning i dampvolumet, noe som på grunn av reaktorens innebygde fysiske egenskaper (positiv void koeffisient) ville føre til sterk økning i reaktoreffekten.

Kort etter starten av eksperimentet observerte operatørene en tiltagende økning i effekten og reaktorstopknappen ble trykket inn.

Dette skjedde kl. 01.23.40. Fordi nesten alle kontrollstavene var kjørt helt ut av reaktorkjernen var innkjøringshastigheten for stavene (40 cm/sek.) for lav til at det var mulig å stoppe den raske effektøkningen som nå var i ferd med å skje. Reaktoren var i en tilstand helt ute av kontroll. Økning i effekt og dermed trykk førte til nedsatt vannsirkulasjon gjennom brenselkanalene og til en intens koking og dampformasjon.

I løpet av 4 sekunder steg reaktorens effekt til 300.000 MWth. Denne spontane ukontrollerbare effektøkning førte til en fullstendig pulverisering av selve brenselet og brudd på zirkoniumkapslingen rundt brenselet. Blandingen av pulverisert brensel og vanddamp i kjølekanalene resulterte i en dampekspløsjon som ødela brenselkanaler, reaktoren og deler av bygningen. Damp og høy temperatur forårsaket damp-zirkonium- og damp-grafittreaksjoner som dannet en blanding av hydrogen- og karbonmonoksydgass.

Fordi reaktorsystemet nå lå åpent etter den første eksplosjonen, ble denne gassblandingen tilført oksygen og det resulterte i en ny og

kraftigere eksplosjon få sekunder etter den første. Resultatet av eksplosjonen var det rene fyrverkeri av glødende partikler og bestandeler fra reaktoren som ble spredd over større områder, og brannflammer så høye som 30 m over den ødelagte reaktorbygningen. Grafitten i reaktorens kjerne tok også fyr.

Redningsinnsatsen ble straks konsentrert med to umiddelbare mål for øye, nemlig å redusere/stoppe utslipp av radioaktive produkter og å kjøle reaktorkjernen.

Ved hjelp av helikoptere ble toppen av reaktoren begravet i mere enn 5000 tonn sand, bly, leire og bor og den 6. mai var utslippene så og si opphørt.

### 3 BEGRENSENDE TILTAK - SKADEVIRKNINGER

Natten mellom 25. og 26. april var det totalt 176 personer tilstede ved de 4 reaktorinstallasjonene i Tsjernobyl. I tillegg var 268 byggere arbeidere på nattskift ved Tsjernobyl 5 og 6. Av rundt 300 personer som ble lagt inn på sykehus hadde 203 personer symptomer på akutt stråleskade og ble tatt under medisinsk behandling. Til nå er 31 av disse omkommet. Alle tilhørte kraftverkets egen stab (driftspersonell, brannmannskap). Ingen utenfor kraftverksanlegget har fått akutte stråleskader (grensen for akutte skader ligger på ca. 1 Sv (100 rem). I følge sovjetiske kilder (oktober 1986) er det nå bare et fåtall av de stråleskadede som fremdeles ligger på sykehus (11 personer).

Søndag 27. april ble 45.000 mennesker evakuert fra byen Pripjat, se fig. 2. Der kunne man om formiddagen samme dag registrere et betydelig strålingsnivå på gatene (2-6 mSv pr. time). Evakueringen startet kl. 14.00 og var avsluttet innen 3 timer. Husdyr ble også evakuert. Pripjat ligger nær Tsjernobyl, de nærmeste husene bare i en avstand av 3 km. I byen bodde i alt vesentlig byggere arbeidere og driftspersonell ved kraftverket. I løpet av de nærmeste påfølgende dager ble andre befolkningsgrupper ut til en avstand av 30 km fra

anlegget evakuert. Totalt 135.000 mennesker ble evakuert fra denne sonen.

Ingen av de evakuerte har fått akutte stråleskader. De fleste individdoser har vært lavere enn 250 mSv, selv om enkeltpersoner i de mest forurenkede områdene kan ha fått stråledoser på 300-400 mSv eller høyere. Doser til skjoldbruskkjertelen fra inhalasjon (og muligvis inntak av forurenset mat) er beregnet i hovedsak å ligge under 300 mSv, selv om barn kan ha fått doser til skjoldbruskkjertelen på hele 2500 mSv.

Omfanget av de såkalte sen-effektene, i hovedsak kreft og genetiske skader, kan bare bli bedømt på basis av kollektivdosevurderinger. Informasjonen fra Sovjetunionen på dette området er foreløpig og usikker. Fra den informasjon som er tilgjengelig kan det utledes at i de neste 70 år, blant de 135.000 evakuerte, kan det forventes en maksimal økning på rundt 0.6% av spontan hyppighet av kreft. For resten av befolkningen i de fleste områder av den europeiske del av Sovjetunionen forventes økningen maksimalt å ligge rundt 0.15%. Den faktiske økningen forventes å ligge betydelig lavere, rundt 0.03%.

Antallet genetiske skader forventes å utgjøre 20-40% av økningen i antallet krefttilfeller. Det foreligger i øyeblikket ingen opplysninger om eventuelle konsekvenser i form av fosterskader etter bestråling av gravide i den befolkningsgruppen som befant seg innenfor 30 km-sonen.

Når det gjelder helsemessige konsekvenser av Tsjernobyl-ulykken i land utenom Sovjetunionen så er det for tidlig å kunne si noe bestemt om f.eks. mulig øket krefthyppighet. På basis av tilgjengelig informasjon har bl.a. en ekspertgruppe innen OECD-NEA foreløpig konkludert med at det blir vanskelig, for ikke å si umulig, å kunne påvise en målbar økning i krefthyppigheten som følge av ulykken i de nærmeste 30-50 år. Dosebidraget fra nedfallet er lite i forhold til den stråling vi utsettes for fra naturens side. Beregninger tilsier at dosen i gjennomsnitt blir ca. 10% av årstdosen fra naturlig bakgrunnsstråling.

Uhellet har ført til omfattende forurensning av omgivelsene. Alle de radioaktive isotoper som produseres i brenselet, inkludert plutonium, er blitt påvist. Denne forurensningen, som nødvendiggjør ekstreme innsatser både for kontroll og fjerning, karakteriserer i dag deler av anleggsområdet og det omkringliggende området ut til en avstand av 30 km. Ca. halvparten av det radioaktive materialet som ble frigjort ble avsatt innenfor denne sonen, og all mark, vegetasjon, bygninger og vannkilder her er berørt. I tillegg er det påvist betydelige forurensningsnivåer i visse områder utenfor 30 km-sonen, helt ut til en avstand av 60 km fra den ødelagte reaktoren.

Før opprenskingsarbeidet innenfor 30 km-sonen for alvor kommer igang, må den ødelagte reaktoren dekkes fullstendig til, se fig. 3 og 4. Dette arbeidet samt opprensking av nærområdet for radioaktiv forurensning er nå på det nærmeste fullført. I de områder av 30 km-sonen der konsentrasjonen av radioaktive stoffer er svært høy, blir bl.a. plaststoffer sprøytet på bakken for å binde radioaktiviteten, og for å hindre ytterligere spredning, f.eks. opptak i planter. Andre tiltak vil bl.a. bestå i fjerning og lagring av det øverste laget med sterkt forurenset jord, opprensking av skogsområder eller iverksettelse av skogbrann-forebyggende tiltak slik at skogbrann ikke skal bidra til spredning i luften av aktiviteter på trærne. Dessuten rensking av vann og vassdrag. Formålet er å bringe området tilbake til dyrkbar status så raskt som mulig, dvs. i løpet av en 5-7 års periode.

I oktober 1986 ble Tsjernobyl-1 startet opp igjen. Etter planen skal også aggregat nr. 2 settes i drift i nær framtid.

#### 4 SIKKERHET VED SOVJETISKE OG VESTLIGE REAKTORER

Et kjernekraftverk består av et stort antall ulike komponenter og systemer som dekker et bredt spektrum av funksjoner. Som i andre komplekse tekniske anlegg vil det også i kjernekraftverk jevnlig inntreffe feil og feilfunksjoner av ulike slag. Feilene kan oppstå hvor som helst i anlegget pga en rekke ulike årsaker som f.eks.

konstruksjons- og produksjonsfeil, dårlig vedlikehold, brann, jordskjelv og sabotasje. Et hovedprinsipp ved utformingen av slike anlegg er derfor at visse feil skal kunne inntreffe uten at dette får konsekvenser for viktige systemfunksjoner. Prinsippet kan betegnes som "innebygget toleranse".

Et grunnleggende prinsipp når det gjelder oppbyggingen av den totale sikkerhetsfunksjonen i de kjernekraftverk som er bygget i de vestlige og øvrige land innen OECD, er at sikkerhet ikke bare skal bero på funksjonsdyktigheten av de tekniske sikkerhetssystemer slene, men vere "bygget inn" i selve konstruksjonen av reaktoren og anlegget forevrig. Dette søkes oppnådd gjennom konstruksjonsmessige løsninger, kvalitetskontroll og utprøving og inspeksjon under drift. En slik måte å bygge inn sikkerhetsmessige krav og funksjoner på betegnes gjerne for "sikkerhet i dybden". Man snakker også om ulike "barrierer" mot uhell. Et alvorlig uhell som kan lede til kjernesmelting og eventuelt utslipp, krever således en samtidig svikt i en rekke uavhengige sikkerhetssystemer.

Sikkerhetstiltakene kan deles i havariforebyggende og konsekvensbegrensende tiltak. 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 utdanning og trening av personell, prosedyrer for drift og vedlikehold av anlegget, og konstruerte sikkerhetssystemer som f.eks. nødkjølesystemer og uavhengigige avstengningssystemer for reaktoren. De konsekvensbegrensende tiltak-/systemer skal forsinke og redusere utslipp av radioaktive stoffer til omgivelsene hvis store uhell likevel finner sted. Systemene består av en kraftig, gassett bygning rundt reaktoren (reaktorinneslutningen), se fig. 5, samt forskjellige systemer for å redusere trykk og temperaturbelastninger på denne ved uhell. For å kunne holde de radioaktive stoffene bedre tilbake, anvendes sprinklings-, filter- og kjølesystemer. Inneslutningen kan skades ved f.eks. gjennomsmelting av brensel, gasseksplosjoner og dampekspløsjoner. Dette definerer i sin tur de dimensjonerende krav til inneslutningen.

Det er de enkelte lands myndigheter som bestemmer hvilke sikkerhets-kriterier reaktorene skal tilfredsstille. Dette gjøres normalt ved å bestemme den verste situasjon eller uhell som anlegget skal kunne klare uten konsekvenser for omgivelsene. Dette varierer noe fra land til land, men har i de vestlige land hittil vært definert som et momentant tverrbrudd på et av de største damp- og vannrørene som er forbundet med reaktortanken. For dimensjonering av sikkerhetssystemer legges det også til grunn andre typer uhell med tilsvarende konsekvenser. Disse uhell utgjør tilsammen de såkalte "dimensjonerende uhell" (Design Basis Accidents, DBA).

I Sovjetunionen og de øst-europeiske land har man tidligere basert seg på en annen sikkerhetstankegang. Et uhell med tap av kjølevann som kan lede til kjernesmelting, har vært ansett som utenkelig, og det har derfor heller ikke vært bygget noen reaktorinneslutning i vanlig vestlig forstand rundt reaktorene. Bygging av inneslutning ved de nyere sovjetiske trykkvannsreaktorene (PWR) er imidlertid en klar erkjennelse av nødvendigheten av konsekvensreducerende tiltak, slik dette ble demonstrert ved uhellet i Three Mile Island-reaktoren i USA 1979.

Det er imidlertid bare et fåtall av de nyeste sovjetiske PWR-anleggene som har en sikkerhetsteknisk utrustning sammenlignbar med 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 reaktortrykkertanken. For reaktorene av Tsjernobyl-typen (LWGR) er det i stedet for en gasstett betong- og stålinneslutning bygget et system av mindre sikkerhetsrom omkring reaktoren. Dette systemet omslutter deler av primærsystemet. De fire PWR-anleggene på Kola-halvøya er uten sikkerhetsbeholdere.

Når det gjelder spørsmålet om hvilken tankegang eller sikkerhets-filosofi som hittil har vært mest effektiv, gir Tsjernobyl-ulykken grunnlag for visse konklusjoner. For konsekvensbildets del har fraværet av reaktorinneslutning vært helt avgjørende. For de omstendigheter som ledet til selve ulykken synes manglende kvali-

fisering av personell og grove brudd mot sikkerhetsforskriftene å ha vært samvirkende årsaksforhold.

I hvilken grad fraværet av en offentlig og pågående debatt om reaktor-sikkerhet og uhellskonsekvenser slik vi kjenner den her i vest har hatt innflytelse på sovjetisk reaktorsikkerhetstenkning er imidlertid vanskelig å bedømme.

### 5 TEKNOLOGISKE OG FORSKNINGSMESSIGE KONSEKVENSER FOR VESTLIGE KJERNEKRAFTPROGRAMMER

I vestlige land er det utført en rekke analyser og utredninger for å klarlegge hvilke konsekvenser Tsjernobyl-ulykken eventuelt kan ha for driften av vestlige reaktorer og for den videre utvikling av nye reaktorsystemer. Slike vurderinger er også gjort innenfor OECD/NEA av komiteen for sikkerhet ved nukleære anlegg (CSNI).

Basert på brede og grundige redegjørelser fra sovjetisk side har man nå god innsikt i Tsjernobyl-reaktorens konstruksjons- og driftsegenskaper, årsakene til ulykken samt selve ulykkesforløpet. Med denne innsikten kan det konstateres at en tilsvarende ulykke med et sammenlignbart omfang må bedømmes som ekstremt lite sannsynlig i kjernekriftverk av vestlig type.

De vestlige lettvannsreaktorene har innebygget en høy grad av selvstabilisering som gjør det umulig å få en slik voldsom og rask effektøkning som tilfellet var i Tsjernobyl. Dessuten er kontroll- og avstengningssystemene for reaktoreffekten utformet på en måte som i praksis gjør det umulig for operatørene å begå så farlige og grove feil som tilfellet var forut for selve ulykken i Tsjernobyl.

På bakgrunn av nevnte forhold kan det konkluderes med at Tsjernobyl-ulykken ikke har gitt lærdommer som vil få vesentlig betydning for eksisterende vestlige reaktorkonstruksjoner og deres sikkerhetsteknologi. Det kan imidlertid ventes en fornyet vurdering av konstruksjonskriteriene for vestlige sikkerhetsbeholdere, og muligens

senere enkelte modifikasjoner av disse for å sikre deres integritet under ekstreme belastninger. Ulykken har heller ikke avdekket problemer som i vesentlig grad kan ventes å påvirke hovedlinjene i arbeidet med utvikling av nye reaktorsystemer.

Tsjernobyl-ulykken har demonstrert at den totale sikkerheten bestemmes både av anleggets tekniske egenskaper og av kvaliteten ved den drifts- og sikkerhetsorganisasjon som skal operere 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-kommunikasjons-systemer, blant annet ved bruk av avansert informasjonsteknologi. Dette er et område som Institutt for energiteknikk gjennom en årrekke har drevet en omfattende utviklingsinnsats på gjennom det internasjonale Haldenprosjektet, "OECD Halden Reactor Project".

Tsjernobyl-ulykken har også demonstrert nødvendigheten av å øke det internasjonale samarbeidet om sikkerhet ved nukleære anlegg, og internasjonale handlingsprogrammer er nå i ferd med å avtegne seg både i regi av IAEA og OECD/NEA. Viktige momenter i dette utvidete samarbeidet er avtaler om varsling og assistanse i tilfelle av uhell, og sikkerhetsnormer for nukleære anlegg.

## 6 MÅLINGER AV DET RADIOAKTIVE NEDFALLET

Om morgenen mandag 28. april viste IFEs kontinuerlige målestasjon for radioaktivitet i luft på Kjeller en svak økning fra 08.00-tiden og en sterkere økning fra 10.00-tiden, se fig. 6. Straks denne økningen ble observert, satte Instituttet igang prøvetaking og målinger for å kartlegge isotopsammensetning og mengder av denne radioaktiviteten. Statens Institutt for strålehygiene (SIS) kontaktet Instituttet samme dag og ba om at IFE fortsatte sine målinger og at SIS ble holdt løpende underrettet om våre resultater. IFE fikk også telefonisk henvendelse fra Statens Strålskyddsinstitut i Stockholm med spørsmål om vi hadde registrert økning i luftradioaktiviteten.



Ved siden av IFEs interne kontrollprogram på Kjeller og i Malden, som bl.a. omfatter kontroll av radioaktivt jod i luft, fig. 7, driver IFE et program for registrering av radioaktivt nedfall på landsbasis på oppdrag for Forsvarets forskningsinstitutt (FFI). I dette programmet inngår bl.a. luftfilterstasjoner på Kjeller, i Bergen, Stjerda<sup>1</sup> og Tromsø, se fig. 8. Prevetakingen ved disse stasjonene ble straks intensivert, og målingene kunne i dagene som fulgte gi myndighetene utfyllende opplysninger om nedfallet fra Tsjernobyl over Norge. IFE tok også prøver av nedfallet i bl.a. nedbør og på gress.

Luftfilterstasjonene viste at det den 28. og 29. april var omtrent like stor luftkonsentrasjon av cesium-137 på Kjeller som i Stjerdal, ca.  $2.7 \text{ Bq/m}^3$ , fig. 9. Deretter falt konsentrasjonen kraftig ved alle stasjoner for å stige noe igjen ca. en uke senere. Da var høyeste registrerte verdier på Kjeller, i Bergen og i Stjerdal henholdsvis  $0.07$ ,  $0.06$  og  $0.04 \text{ Bq/m}^3$ . I Tromsø steg ikke konsentrasjonen i luft før 30. april og var  $0.003 - 0.004 \text{ Bq/m}^3$  fram til 6. mai da den sank.

De områdene som fikk nedbør samtidig som det var høye konsentrasjoner av radioaktive stoffer i luft, er de som er blitt hardest rammet.

I løpet av første halvdel av mai ble IFE også engasjert av Helsedirektoratet til å foreta kontroll av radioaktiviteten i matvarer. Til å begynne med ble hovedvekten lagt på norsk melk og importerte grønnsaker. Dessuten gjorde Instituttet en rekke målinger av oppdrettslaks fordi eksporten til bl.a. USA holdt på å stoppe opp på grunn av importørenes frykt for radioaktivitet i laksen. Resultatet av våre analyser viste bare ubetydelige mengder cesium-137 i fisken og samsvarte med hva amerikanerne selv fant etter egne analyser, og eksporten tok seg hurtig opp igjen.

En rekke målinger av andre fiskeslag fanget langs norskekysten viser at disse (inntil oktober 1986) ikke eller bare helt ubetydelig er rammet av nedfallet.

Senere kom norske grønnsaker inn i bildet, spesielt salat og andre vekster på friland fra de distriktene som normalt er tidligst ute med

sine produkter. Prøver av bl.a. salat fra Tautra som ble plantet ut den 28. april i regnvær viste innhold av jod-131 og cesium-137 over den daggjeldende tiltaksgrense på hhv. 1000 og 300 Bq/kg. Dette førte til restriksjoner på omsetning av grønnsaker fra Trøndelag en kortere periode. Bortsett fra planter som fikk nedfallet direkte på seg, har radioaktivitetsinnholdet i grønnsaker og hagebær vært ubetydelig. Enkelte prøver av multer og sopp (spesielt piggsopp) fra steder med mye nedfall har hatt et innhold som var noe over tiltaksgrensen, men ikke dramatisk høyt.

På et nordisk myndighets-møte i Uppsala i juni ble det vedtatt å harmonisere de nordiske lands tiltaksgrenser med grensene som EF-landene hadde innført for radioaktivt cesium, men med adgang for de enkelte land til å avvike noe. Mengden av jod-131 var på den tiden blitt uten noen helsemessig betydning pga. sin korte halveringstid. EF-grensene var for cesium-137 + cesium-134 satt til 370 Bq/liter eller kg for melk og barnemat og 600 Bq/liter eller kg for all annen mat. Norge satte sin grense lik EF-grensen, mens Sverige beholdt sin grense på 300 Bq/kg for cesium-137 alene. Finland beholdt sin grense på 1000 Bq/kg, også for cesium-137 alene.

De første prøvene av ferskvannsfisk ble mottatt i juni. Det viste seg at en rekke av disse hadde et innhold av radioaktivt cesium langt over tiltaksgrensen. Dette førte til restriksjoner på salg i alle de mest nedfallsbelastede fylkene og et større prøveprogram ble startet. De høyeste verdiene ble som ventet funnet i de områdene som hadde fått størst nedfall. "Rekordfisken" hittil på IFE hadde nesten 35.000 Bq/kg.

Med unntak av nedbør og susterne vann har det i prøver av ferskvann som IFE har analysert, både vann fra innsjøer, elver og bekker og drikkevann, med få unntak ikke vært mulig å påvise radioaktive stoffer som stammer fra Tsjernobyl.

Konsummelk har hele tiden holdt seg under de fastlagte grensene for cesium-137 + cesium-134, bortsett fra en kort periode i sommer da melk fra Valdres ble svartelistet. Gjennomsnittlig har innholdet i H-melk

vert 30-80 Bq/liter med økende verdier fram til omkring månedsskiftet juli/ august og deretter avtagende. Høyeste verdi registrert av IFE for H-melk fra Fosheim i Valdres var 320 Bq/liter (som er under tiltaksgrensen), mens tilsvarende for Fellesmeieriet i Oslo var 110 Bq/liter.

Det er også analysert morsmelk fra en rekke steder i Norge, med hovedvekt på prøver fra de mest nedfallsbelastede områder. Høyeste verdi som er funnet er på 20 Bq/liter av radioaktivt cesium totalt. I barnemat på glass er det til nå ikke funnet verdier over 16 Bq/kg. Så små mengder radioaktivitet som dette er helt ufarlig for barn.

Analyser av norsk ost viser at det radioaktive cesiumet går i den delen av melken som skal bli til brunost. I hvitoster som norvegia, Jarlsberg etc. er cesiuminnholdet ubetydelig, mens det i brunoster er målt en rekke prøver med innhold over tiltaksgrensen, spesielt ost helt eller delvis laget av geitemelk. Bare ost med innhold under tiltaksgrensen blir solgt.

IFE har gjennomført en rekke målinger av kjøtt fra storfe, svin og sau samt vilt som elg, rein, rådyr og hare. Hovedtyngden av sau- og reinsdyrprøvene er imidlertid analysert ved SIS. Resultatene viser at storfe og svin inneholder konsentrasjoner av radioaktivt cesium langt under tiltaksgrensen, mens sau og vilt har et innhold som avhenger av hvor dyret har beitet. Spesielt sau og rein har hatt konsentrasjoner tildels betydelig over tiltaksgrensen.

Fram til utgangen av september 1986 var det ved IFE i alt analysert rundt 4700 prøver av matvarer og 130 prøver av ferskvann. Dette inkluderer 520 prøver av kjøtt og vilt, 130 prøver av oppdrettslaks og marine produkter, 770 prøver av grønnsaker, frukt og bær, 1160 prøver av ferskvannsfisk, 1500 prøver av melk, 500 prøver av ost og 75 prøver av morsmelk, barnemat, honning og diverse andre matvarer. Det er også analysert råstoffer og ferdige produkter for flere norske bedrifter og utført en rekke målinger av bl.a. ventilasjonsfiltre for bedrifter spesielt i Oslo-området.

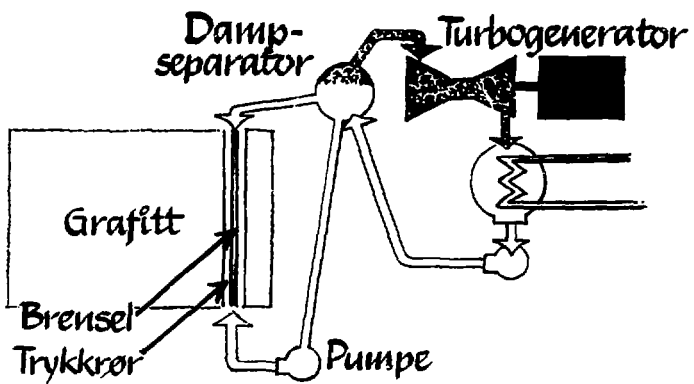


Fig. 1. Kjernekræftverk av Sovjetisk type (LWGR-system).

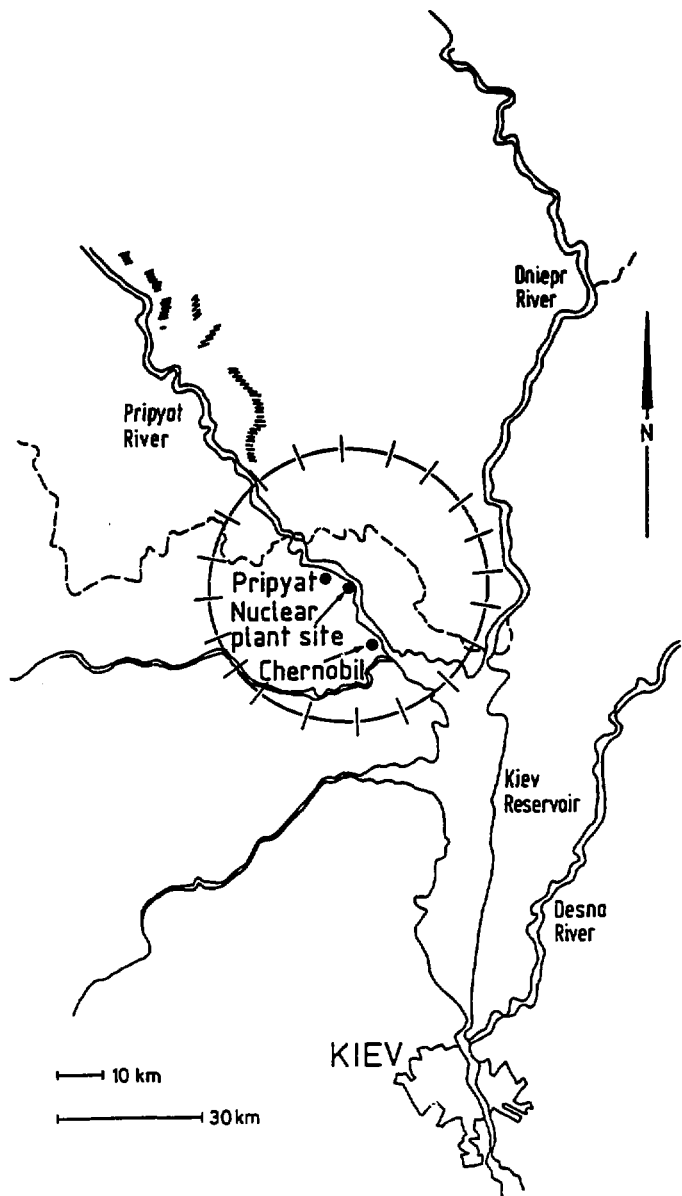


Fig. 2. Lokal-området rundt Tsjernobyl-anlegget.

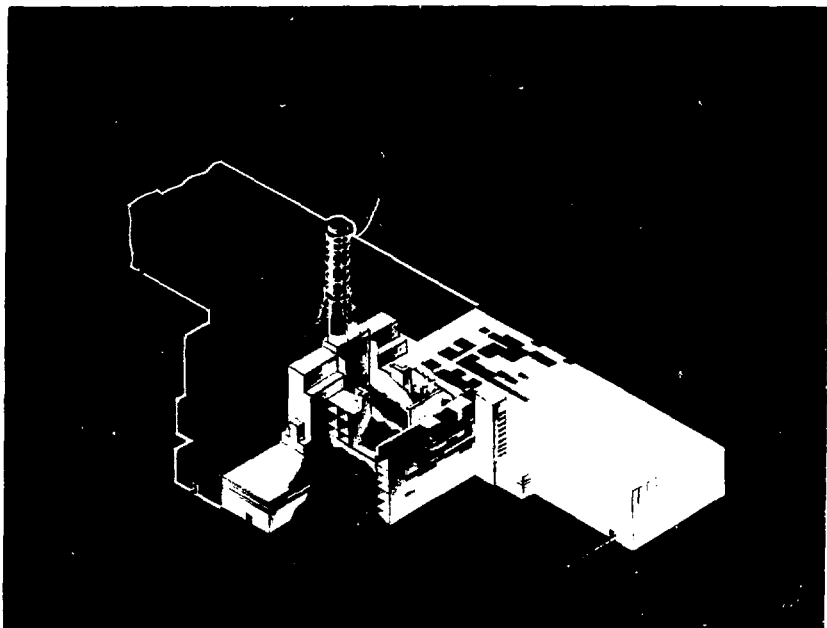


Fig. 3. Skjematisk ill. av anleggene 3 og 4 etter ulykken.

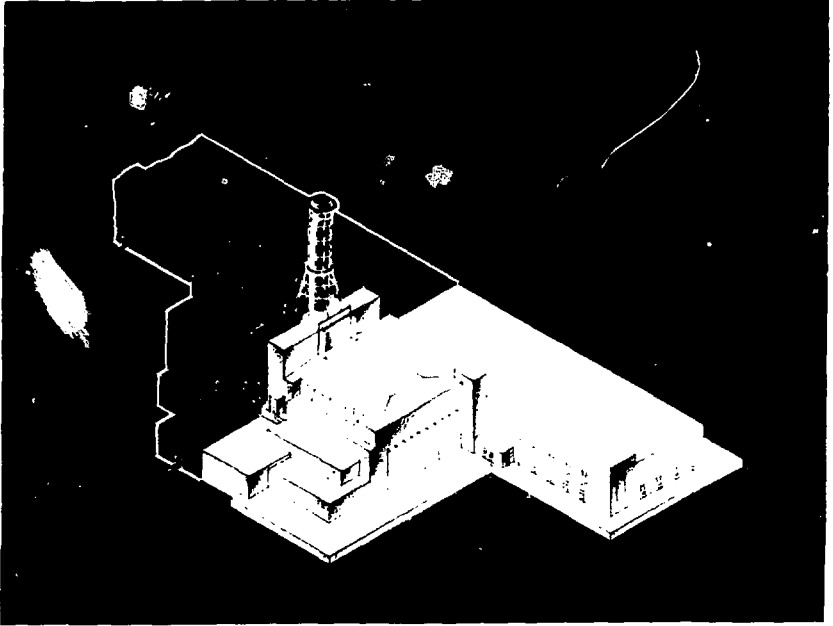


Fig. 4. Skjematisk ill. av Tsjernobyl 4 etter tildekking.

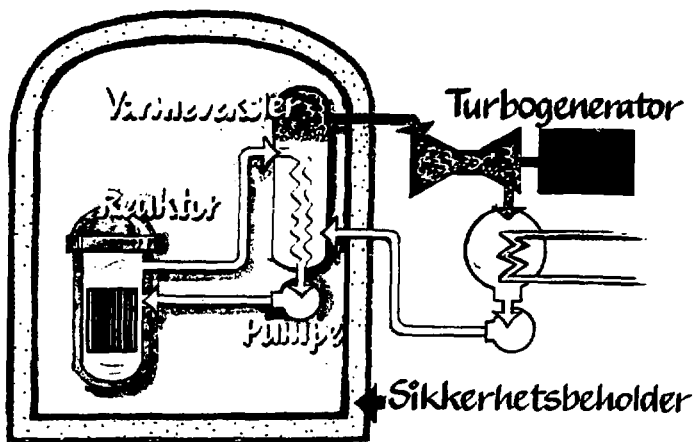
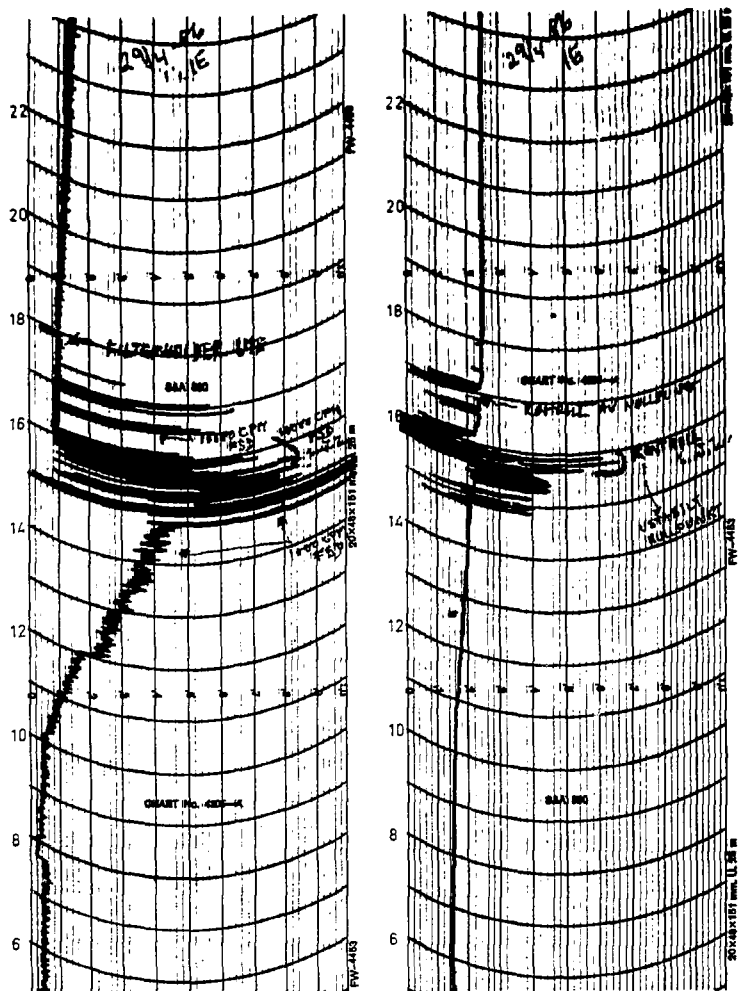


Fig. 5. Kjernekræftverk av vestlig type  
( PWR - system ).





**Fig. 6. Registrering av økt radioaktivitet ved IFE mandag 28. april 1968.**

- Diagrammet til venstre viser radioaktivitet i luft avsatt på glassfiberfilter. Den sterkeste økningen registreres fra kl. 10.00 og utover formiddagen.
- Diagrammet til høyre viser gammastråling fra omgivelsene ( luft, bakke ).

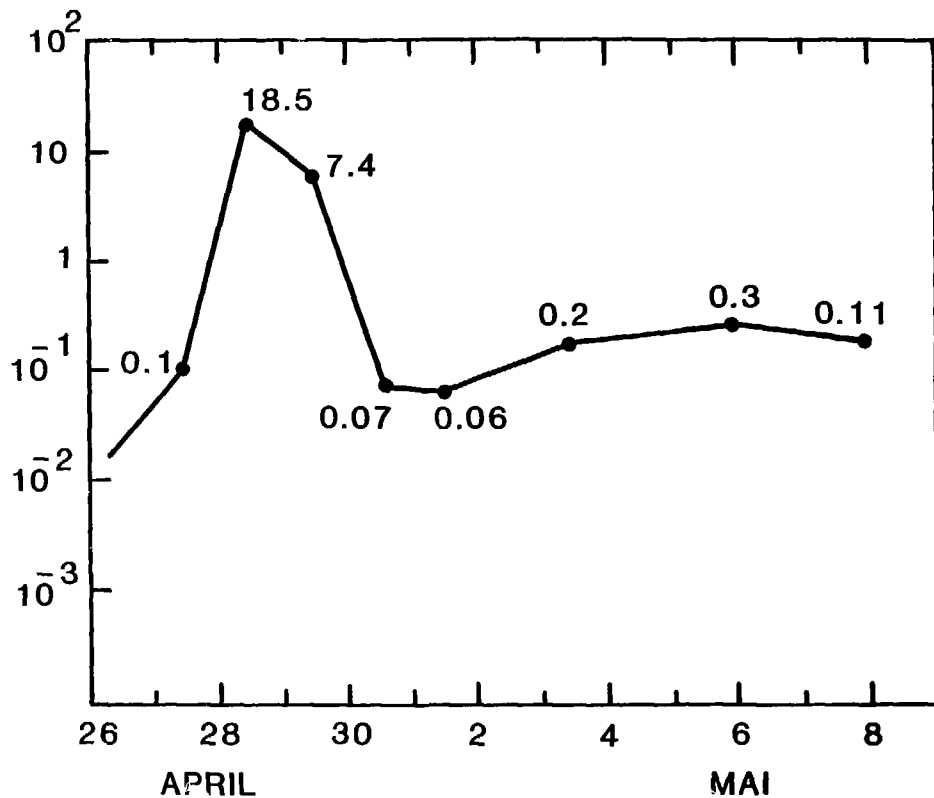


Fig. 7. Jod-131 i luft , Kjeller ( IFE ) ( Bq/m<sup>3</sup> )

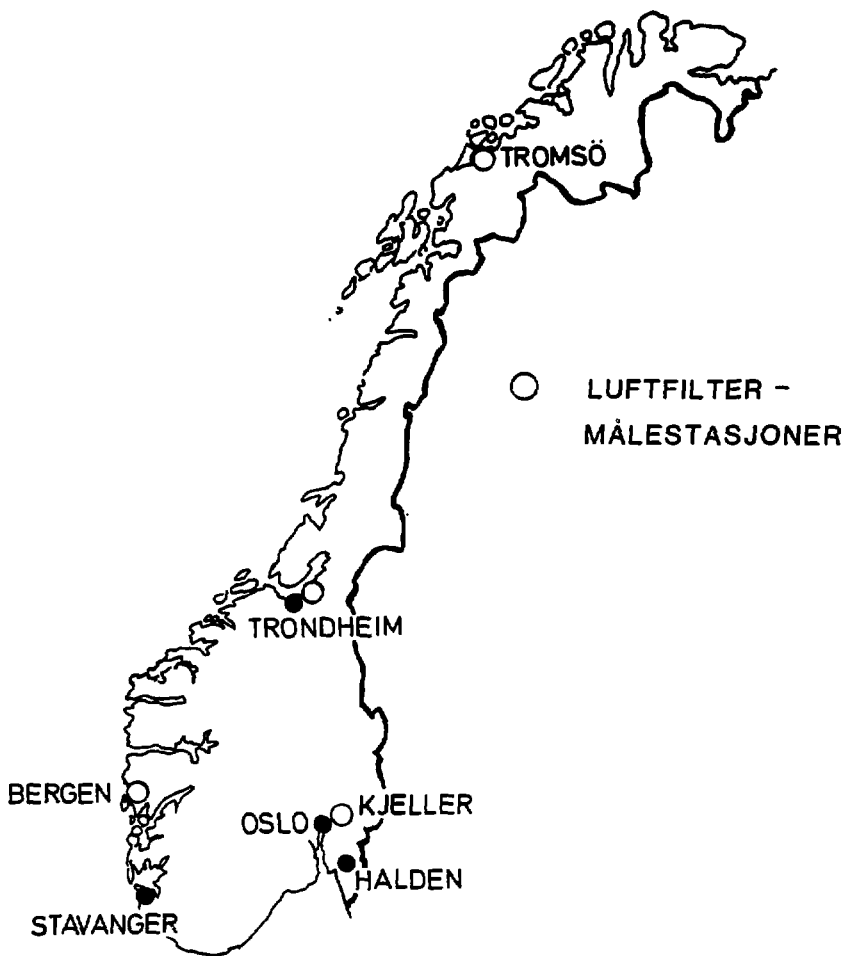


Fig. 8. Lokalisering av målestasjoner.

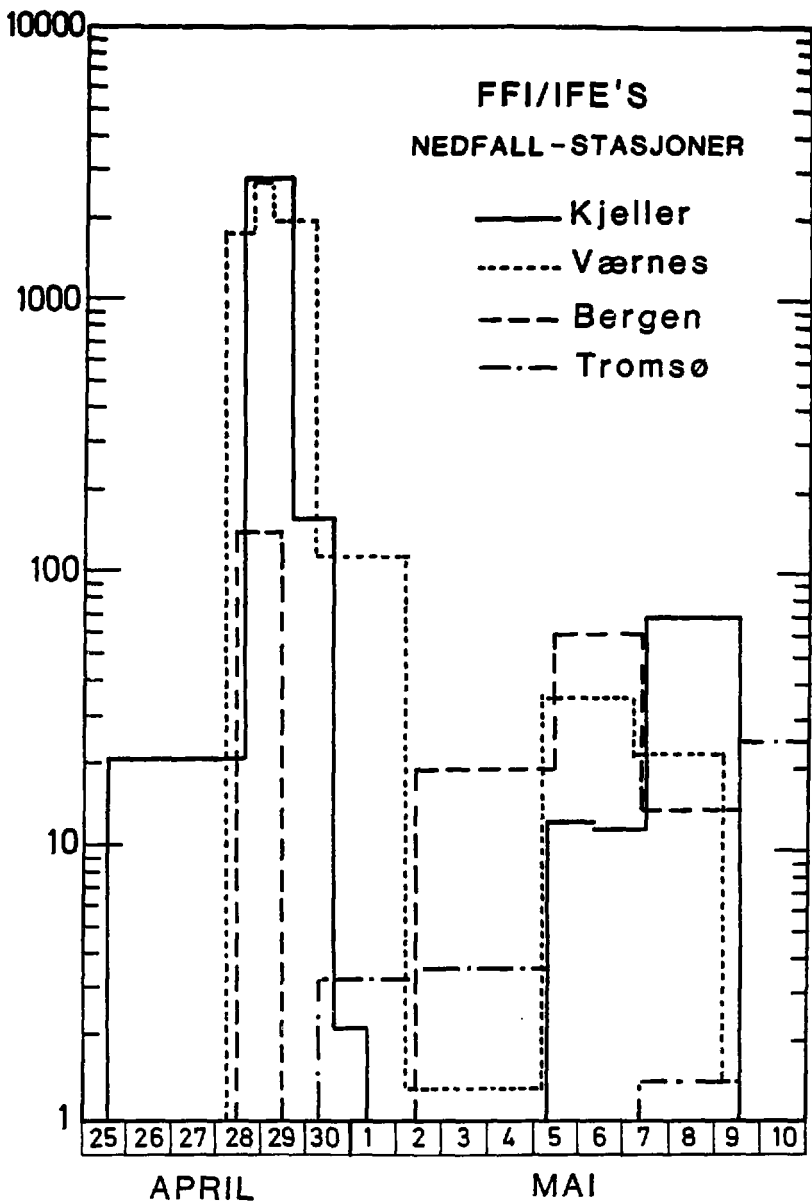


Fig. 9. Cs-137 i luft ( mBq/m<sup>3</sup> )

**I**nstitutt for energiteknikk (IFE) ble grunnlagt i 1948 under navnet Institutt for atomenergi. I 1953 ble instituttet etablert som en uavhengig stiftelse. Hovedsetet ligger på Kjeller. Virksomheten i Halden er konsentrert om det internasjonale OECD Halden Reactor Project.

I 1980 ble instituttets navn endret til Institutt for energiteknikk. I dag er IFE med sine vel 700 ansatte et av de største teknologiske forskningsinstitutter i Norge.

## AKTIVITETSOMRADER

- PETROLEUMSTEKNOLOGI
- KJERNKRAFT
- PROSESSTEKNOLOGI
- ENERGISYSTEMER I NOK
- ISOTOPTEKNOLOGI
- MATERIEKTEKNOLOGI
- GRUNNFORSKNING I FYSIKK

## FAGLIGE SPESIALITETER

- NUKLEÆREBRANNSTOFFTEKNOLOGI
- PROSESSKONTROL
- INDUSTRIELL MATEMATIKK
- RESERVOIRMODELLERING
- PETROLEUMGEOLOGI
- FLERFASETRANSPORT
- GASTEKNOLOGI
- OLJEFORROSIJON
- UINSERTET SLEISEMETODER
- RADIOFARMIK
- BESTRÅLINGSTEKNIKK
- STRÅLINGSTEKNIKK
- INSTRUMENTER
- FYSIKKISK-KJEMISKE ANALYSER
- FASTSTOFFFYSIKK



**Institutt for  
energiteknikk**

Postboks 40, 2007 Kjeller  
Tlf. (02) 71 25 60  
Telefax (02) 71 55 53  
Teleks 74 573 energ n

Postboks 173, 1751 Halden  
Tlf. (031) 83 100  
Telefax (031) 83 103  
Teleks 76 335 energ n

**I**nstitute for energy technology (IFE) was founded in 1948 under the name of Institutt for atomenergi. In 1953 the Institute was established as an independent foundation. The main center is located at Kjeller. The activity in Halden is concentrated on the international OECD Halden Reactor Project.

In 1980 the name was changed to Institute for energy technology.

At present, IFE, with more than 700 employees, is one of the major technological research institutes in Norway.

## MAIN ACTIVITIES

- PETROLEUM TECHNOLOGY
- NUCLEAR POWER
- PROCESS TECHNOLOGY
- ENERGY SYSTEMS AND  
- CONSERVATION
- ISOTOPE TECHNOLOGY
- MATERIALS TECHNOLOGY
- BASIC RESEARCH IN PHYSICS

## SPECIAL ACTIVITIES

- NUCLEAR FUEL TECHNOLOGY
- PROCESS CONTROL
- INDUSTRIAL MATHEMATICS
- RESERVOIR MODELLING
- PETROLEUM GEOLOGY
- MULTI-PHASE FLOW
- GAS TECHNOLOGY
- OIL CORROSION
- UNINERTED WELDING TECHNIQUES
- RADIOACTIVE PHARMACEUTICALS
- IRRADIATION TECHNIQUES
- RADIATION INSTRUMENTS
- PHYSICAL - CHEMICAL ANALYSES
- SOLID STATE PHYSICS



**Institute for  
energy technology**

Box 40, N-2007 Kjeller, Norway  
Teleph. +47 2 71 25 60  
Telefax +47 2 71 55 53  
Telex: 74 573 energ n

Box 173, N-1751 Halden Norway  
Teleph +47 31 83 100  
Telefax: +47 31 83 103  
Telex. 76 335 energ n