

Långsiktig strålskyddsforskning

Ur KB:s samlingar

Digitaliserad år 2014



National Library
of Sweden

BETANKANDE AV
UTREDNINGEN OM STRÅLSKYDDSFORSKNING
STOCKHOLM 1994

SOU 1994:40

Långsiktig strålskyddsforskning

BETÄNKANDE AV
UTREDNINGEN OM STRÅLSKYDDSFORSKNING
STOCKHOLM 1994

SOU 1994:40

Ref KB Occ 500



Statens offentliga utredningar

1994:40

Miljö- och naturresursdepartementet

Långsiktig strålskyddsforskning

Betänkande av Utredningen om strålskyddsforskning
Stockholm 1994

SOU och Ds kan köpas från Fritzes kundtjänst. För remissutsändningar av SOU och Ds svarar Fritzes, Offentliga Publikationer, på uppdrag av Regeringskansliets förvaltningskontor

Beställningsadress: Fritzes kundtjänst
106 47 Stockholm
Fax: 08-20 50 21
Telefon: 08-690 90 90

Omslagsbilden

Två svenska forskare, O Östling och KJ Johanson, har utvecklat en metod för att studera strålskador i arvsmassan (DNA) hos individuella celler. Cellerna kan vara odlade i kultur eller tagna från blodprov eller vävnadsprover.

Bilden på omslaget visar DNA från några enskilda celler från en kultur som bestrålats med gammastrålning (10 Gy). Cellerna har preparerats och befriats från allt cellmaterial utom DNA. De har placerats på ett objektglas som lagts i ett elektroforeskäril och utsatts för en spänning på några tiotal volt under 20 minuter. Oskadat DNA hålls kvar medan DNA som fragmenterats av strålningen till en viss grad vandrar mot pluspolen, ju mindre fragment desto längre hinner de vandra. Efter färgning med en fluorescerande substans som binder till DNA har fotografering skett i ett fluorescensmikroskop. Mängden material i, och längden på "kometsvansen", används för att kvantifiera skadorna.

Omslagets "kometsbild" kommer från Institutionen för strålningsbiologi vid Stockholms universitet.

NORSTEDTS TRYCKERI AB
Stockholm 1994

ISBN 91-38-13608-2
ISSN 0375-250X

Till statsrådet och chefen för miljö- och naturresurs- departementet

Genom beslut den 22 april 1993 bemyndigade regeringen chefen för miljö- och naturresursdepartementet, statsrådet Olof Johansson, att tillkalla en särskild utredare med uppdrag att kartlägga forskningsverksamheten inom strålskyddsområdet i landet samt att utreda strukturella frågor rörande grundforskningen av betydelse för strålskyddsområdet.

Med stöd av detta bemyndigande förordnades den 4 maj 1993 professorn Sören Mattsson som särskild utredare.

Som experter förordnades från den 1 juli 1993 professorn Gunnar Ahnström, professorn Bert Allard, avdelningsdirektören Ingvar Andersson, departementssekreteraren Lars Brandin, docenten Ulf Bäverstam, departementssekreteraren Caroline Dickson, departementssekreteraren Kenneth Ennefors (t.o.m. den 28 september 1993), docenten Lars-Erik Holm, professorn Bertil Persson samt professorn Hans Ringertz. Från den 12 oktober 1993 förordnades som experter överläkaren Leif Aringer samt kanslirådet Roger Svensson.

Till sekreterare förordnades den 1 juni 1993 avdelningsdirektören Leif Moberg.

Utredningen är formellt ett uppdrag till den särskilde utredaren. Då arbetet genomförts i samverkan med experterna och sekreteraren och enighet föreligger om lämnade förslag lämnas redovisningen i vi-form.

Utredningen har antagit namnet Utredningen om strålskyddsforskning.

Utredningsarbetet är nu avslutat och vi överlämnar härmed vårt betänkande "Långsiktig strålskyddsforskning".

Malmö och Stockholm i mars 1994

Sören Mattsson

/Leif Moberg

Innehåll

<i>Sammanfattning</i>	9
-----------------------------	---

Direktiv, överväganden och förslag

1	<i>Utredningens direktiv och innebörden av begreppet strålskyddsforskning</i>	21
1.1	Om utredningens direktiv och betänkandets uppläggning	21
1.2	Vad är strålskyddsforskning?	23
1.2.1	Vårt förslag till definition av strålskyddsforskning	23
1.2.2	Några exempel	26
1.3	Kartläggning genom enkät och intervjuer.....	27
2	<i>Strålskyddsforskningen i framtiden</i>	29
2.1	Behovet av svensk strålskyddsforskning	30
2.2	Några avnämnares behov.....	31
2.3	Förslag till forskningsstrategi och prioriterade forskningsområden, särskilt inom den riktade grundforskningen.....	33
2.3.1	Utgångspunkter.....	33
2.3.2	Behovet av insatser för den riktat grundläggande strålskyddsforskningen.....	34
2.3.3	Några prioriterade forskningsområden	36
2.3.4	En jämförelse med andra länders forskningsplanering och prioriteringar	42
2.4	Betydelsen för svensk strålskyddsforskning av ett medlemskap i EU	44
2.5	Den framtida forskarrekruteringen.....	47
2.6	Kvalitetskrav och utvärdering	48
2.6.1	Kvalitet	48
2.6.2	Utvärderingar	49
2.7	Forskningsorganisationen	50

2.7.1	Strålningsbiologin i Sverige	50
2.7.2	Strålskyddsforskning vid SSI	52
3	<i>Ansvaret för strålskyddsforskningen</i>	55
3.1	Ansvaret för den tillämpade strålskyddsforskningen	55
3.2	Ansvaret för den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet	56
3.2.1	Nuvarande situation	56
3.2.2	Möjliga lösningar och överväganden	57
3.2.3	Förslag	60
3.2.4	Samordning med andra organ som finansierar strålskyddsforskning	63
3.3	Sammanfattande kommentarer	64
4	<i>Kostnader och finansiering</i>	67
4.1	Behov av förstärkning och långsiktighet i medels- tilldelningen	67
4.2	Avvägning mellan fakultetsanslag och externa anslag	69
4.3	Beräkning av förslagens kostnader - finansiering	71

Kartläggning

5	<i>Forskningsorganisationen</i>	75
5.1	Universitets- och högskoleinstitutioner	76
5.1.1	Institutioner med större andel strålskydds- forskning	76
5.1.2	Institutioner med mindre andel strålskydds- forskning	80
5.1.3	Personal m.m.	83
5.1.4	Forskarrekrytering	84
5.1.5	Finansiering	88
5.2	Forskningsinstitut, myndigheter m.m.	92
5.2.1	Forskningsinstitut och myndigheter med forskningsverksamhet	92
5.2.2	Personal och forskarrekrytering	94
5.2.3	Finansiering	95
5.2.4	Konsultföretag	96
5.3	Forskningsfinansierande organ	96
5.3.1	Forskningsråd	97

5.3.2	Sektorsorgan	99
5.3.3	Övriga finansiärer	103
5.4	Samarbetsformer	104
5.4.1	Nationellt samarbete	104
5.4.2	Internationellt samarbete	105
5.5	Diskussion och slutsatser	106
6	<i>Översikt över svensk strålskyddsforskning</i>	113
6.1	Inledning	113
6.2	Övergripande strålskyddsforskning	115
6.2.1	Dosimetri och mätteknik	116
6.2.2	Strålningsbiologi - grundläggande mekanismer ..	120
6.2.3	Epidemiologi	128
6.2.4	Risikforskning	133
6.3	Strålskyddsforskning inom medicinska områden	135
6.3.1	Diagnostik	136
6.3.2	Strålbehandling	142
6.3.3	Instrument och metodik	143
6.4	Strålskyddsforskning inom miljöområdet	145
6.4.1	Yttre miljö	146
6.4.2	Inre miljö	157
6.4.3	Kärnenergi	161
6.5	Slutsatser	167
6.5.1	Övergripande strålskyddsforskning	167
6.5.2	Strålskyddsforskning inom medicinska områden ..	170
6.5.3	Strålskyddsforskning inom miljöområdet	171

Bilagor

1	Direktiv	175
2	Enkäten m.m.	179
3	Begreppet strålskyddsforskning och tidigare utredningar .	193
4	Erfarenheter av svenskt samarbete med EU inom strålskyddsforskningens område	205
5	Historik över strålningsbiologin i Sverige	211
6	Litteratur	215
7	Ordlista och förkortningar	217

2.3.2	Övervakning	2.3
2.3.3	Övervakning	2.3
2.4	Samarbetsformer	2.4
2.4.1	Medvetenhet	2.4
2.4.2	Intentionella åtgärder	2.4
2.5	Utvärdering av åtgärder	2.5
3	Övervakning av åtgärder	3
3.1	Införande	3.1
3.2	Övergripande åtgärder	3.2
3.3	Övervakning av åtgärder	3.3
3.4	Övervakning av åtgärder	3.4
3.5	Övervakning av åtgärder	3.5
3.6	Övervakning av åtgärder	3.6
3.7	Övervakning av åtgärder	3.7
3.8	Övervakning av åtgärder	3.8
3.9	Övervakning av åtgärder	3.9
3.10	Övervakning av åtgärder	3.10
3.11	Övervakning av åtgärder	3.11
3.12	Övervakning av åtgärder	3.12
3.13	Övervakning av åtgärder	3.13
3.14	Övervakning av åtgärder	3.14
3.15	Övervakning av åtgärder	3.15
3.16	Övervakning av åtgärder	3.16
3.17	Övervakning av åtgärder	3.17
3.18	Övervakning av åtgärder	3.18
3.19	Övervakning av åtgärder	3.19
3.20	Övervakning av åtgärder	3.20
3.21	Övervakning av åtgärder	3.21
3.22	Övervakning av åtgärder	3.22
3.23	Övervakning av åtgärder	3.23
3.24	Övervakning av åtgärder	3.24
3.25	Övervakning av åtgärder	3.25
3.26	Övervakning av åtgärder	3.26
3.27	Övervakning av åtgärder	3.27
3.28	Övervakning av åtgärder	3.28
3.29	Övervakning av åtgärder	3.29
3.30	Övervakning av åtgärder	3.30
3.31	Övervakning av åtgärder	3.31
3.32	Övervakning av åtgärder	3.32
3.33	Övervakning av åtgärder	3.33
3.34	Övervakning av åtgärder	3.34
3.35	Övervakning av åtgärder	3.35
3.36	Övervakning av åtgärder	3.36
3.37	Övervakning av åtgärder	3.37
3.38	Övervakning av åtgärder	3.38
3.39	Övervakning av åtgärder	3.39
3.40	Övervakning av åtgärder	3.40
3.41	Övervakning av åtgärder	3.41
3.42	Övervakning av åtgärder	3.42
3.43	Övervakning av åtgärder	3.43
3.44	Övervakning av åtgärder	3.44
3.45	Övervakning av åtgärder	3.45
3.46	Övervakning av åtgärder	3.46
3.47	Övervakning av åtgärder	3.47
3.48	Övervakning av åtgärder	3.48
3.49	Övervakning av åtgärder	3.49
3.50	Övervakning av åtgärder	3.50
3.51	Övervakning av åtgärder	3.51
3.52	Övervakning av åtgärder	3.52
3.53	Övervakning av åtgärder	3.53
3.54	Övervakning av åtgärder	3.54
3.55	Övervakning av åtgärder	3.55
3.56	Övervakning av åtgärder	3.56
3.57	Övervakning av åtgärder	3.57
3.58	Övervakning av åtgärder	3.58
3.59	Övervakning av åtgärder	3.59
3.60	Övervakning av åtgärder	3.60
3.61	Övervakning av åtgärder	3.61
3.62	Övervakning av åtgärder	3.62
3.63	Övervakning av åtgärder	3.63
3.64	Övervakning av åtgärder	3.64
3.65	Övervakning av åtgärder	3.65
3.66	Övervakning av åtgärder	3.66
3.67	Övervakning av åtgärder	3.67
3.68	Övervakning av åtgärder	3.68
3.69	Övervakning av åtgärder	3.69
3.70	Övervakning av åtgärder	3.70
3.71	Övervakning av åtgärder	3.71
3.72	Övervakning av åtgärder	3.72
3.73	Övervakning av åtgärder	3.73
3.74	Övervakning av åtgärder	3.74
3.75	Övervakning av åtgärder	3.75
3.76	Övervakning av åtgärder	3.76
3.77	Övervakning av åtgärder	3.77
3.78	Övervakning av åtgärder	3.78
3.79	Övervakning av åtgärder	3.79
3.80	Övervakning av åtgärder	3.80
3.81	Övervakning av åtgärder	3.81
3.82	Övervakning av åtgärder	3.82
3.83	Övervakning av åtgärder	3.83
3.84	Övervakning av åtgärder	3.84
3.85	Övervakning av åtgärder	3.85
3.86	Övervakning av åtgärder	3.86
3.87	Övervakning av åtgärder	3.87
3.88	Övervakning av åtgärder	3.88
3.89	Övervakning av åtgärder	3.89
3.90	Övervakning av åtgärder	3.90
3.91	Övervakning av åtgärder	3.91
3.92	Övervakning av åtgärder	3.92
3.93	Övervakning av åtgärder	3.93
3.94	Övervakning av åtgärder	3.94
3.95	Övervakning av åtgärder	3.95
3.96	Övervakning av åtgärder	3.96
3.97	Övervakning av åtgärder	3.97
3.98	Övervakning av åtgärder	3.98
3.99	Övervakning av åtgärder	3.99
4	Övervakning av åtgärder	4
5	Övervakning av åtgärder	5
6	Övervakning av åtgärder	6
7	Övervakning av åtgärder	7

Bilagor

1	Övervakning av åtgärder	1
2	Övervakning av åtgärder	2
3	Övervakning av åtgärder	3
4	Övervakning av åtgärder	4
5	Övervakning av åtgärder	5
6	Övervakning av åtgärder	6
7	Övervakning av åtgärder	7

Sammanfattning

Bakgrund

Strålning förekommer överallt i vårt samhälle, i hemmet, i arbetet, på fritiden. För många av dessa situationer behövs ökad förståelse och kunskaper av det slag som bara kan erhållas genom forskningsinsatser. Några exempel från senare år är sambandet mellan UV-strålning från solen och hudcancer, effekterna av olyckan i Tjernobyl, förvaringen av det högaktiva avfallet och utbrända kärnbränslet från våra kärnkraftverk, misstänkta samband mellan faders exponering för joniserande strålning och leukemi hos deras barn, oväntat (men ej säkerställt) många och snabbt manifesterade fall av sköldkörtelcancer hos barn i Vitryssland och Ukraina efter Tjernobyl, samt misstänkta samband mellan exponering för elektromagnetiska fält från kraftledningar och canceruppkomst.

I Sverige beräknas ett par tusen fall av cancer per år förorsakas av strålning.

Det finns ett stort intresse för strålskyddsfrågor hos allmänheten. Strålning uppmärksammas ofta i massmedia och strålskyddsfrågor engagerar. Dessa frågor berör mycket påtagligt den enskildes vardag och liv antingen det gäller oro för röntgenundersökningar eller radon, rädsla för närbelägna kraftledningar eller radioaktivt nedfall från svåra kärnkraftolyckor. För att bibehålla medborgarnas förtroende behövs en egen oberoende forskningsverksamhet.

Det finns ett stort antal centrala och regionala myndigheter som i sin verksamhet behöver tillgång till resultat som tas fram genom forskning på strålskyddsområdet.

Under senare tid har framförts att forskningen på strålskyddsområdet har problem med samordning och ekonomi. Verksamheten är splittrad på många olika discipliner och den bedrivs ofta i små grupper. De problem som nämnts har framförallt gällt den mer grundläggande strålskyddsforskningen. Av dessa skäl tillsattes en ut-

redning med uppdrag att kartlägga forskningsverksamheten inom strålskyddsområdet i landet samt att utreda sådana strukturella frågor rörande grundforskningen som är av betydelse för strålskyddet.

Strålskyddsforskning

Strålskyddsforskning innefattar forskning och utveckling som kan vara av betydelse för skyddet av människa och miljö mot joniserande och icke-joniserande strålning. Till joniserande strålning räknas gammastrålning och röntgenstrålning samt olika typer av partikelstrålning och till icke-joniserande strålning räknas optisk strålning bl.a. UV-ljus, radiofrekvent strålning, lågfrekventa elektriska och magnetiska fält samt ultraljud.

Strålskyddsforskning finns inte som eget vetenskapligt ämne vid något svenskt universitet eller högskola. Strålskyddsforskningen har en bred tvärvetenskaplig bas och bedrivs inom och mellan discipliner som radiofysik (strålningsfysik), strålningsbiologi, radioekologi, kärnkemi, diagnostisk radiologi, onkologi, nuklearmedicin, limnologi, geovetenskap, molekylärbiologi och genetik. Detta innebär att det alltid kommer att finnas svårigheter att praktiskt avgränsa området strålskyddsforskning. Vi tar i betänkandet strålbehandling och radioaktivt avfall som exempel på gränsområden mellan vad vi betraktar som strålskyddsforskning och annan närliggande forskning.

Strålskyddsforskningen kan liksom all forskning schematiskt indelas i tillämpad forskning och grundforskning. Med tillämpad forskning menas att systematiskt och metodiskt söka efter ny kunskap och nya idéer med en bestämd strålskyddstillämpning i sikte. Grundforskningen innefattar både riktad grundforskning där forskningens inriktning är att lägga en grund som kan tänkas ge en tillämpning på strålskyddsområdet, och ren grundforskning som är forskning där ingen restriktion är lagd på forskningens inriktning.

Kartläggning av strålskyddsområdet

Utredningsuppdraget har bl.a. omfattat att kartlägga forskningsverksamheten inom strålskyddsområdet i landet samt att utreda frågor av

samordnings- och resursmässig karaktär rörande grundforskningens betydelse för strålskyddsområdet.

Vi har inhämtat uppgifter genom en skriftlig enkät till universitets- och högskoleinstitutioner samt myndigheter och forskningsinstitut som bedömts utföra någon form av forskning inom området. Vi har dessutom följt upp enkäten med besök vid ett antal av institutioner. Vi har också besökt flera forskningsråd och sektorsorgan samt stiftelserna för strategisk respektive miljöstrategisk forskning. Kartläggningen gäller främst förhållandena under budgetåret 1992/93 och avser i första hand universitet och högskolor.

Strålskyddsforskningens omfattning

Vår kartläggning visar att strålskyddsforskning pågår vid ett femtiotal institutioner över hela landet. Forskningens omfattning varierar mycket mellan institutionerna.

Nio institutioner vid universitet och högskolor är av särskild betydelse för strålskyddsforskningen. Vi har speciellt studerat dessa. De är geografiskt utspridda över landet: Umeå, Uppsala, Stockholm, Linköping, Göteborg, Lund och Malmö. Dessa institutioner har en lång tradition inom området och ämnesföreträdarna bedriver egen strålskyddsforskning samt deltar på olika sätt i praktiskt strålskyddsarbete. Det finns en fast forskningsbas på dessa institutioner men merparten av strålskyddsforskningen är beroende av externa anslag. En uppskattning visar att utan externa anslag skulle strålskyddsforskningen vid dessa institutioner minska med ca 80%.

Också vid många av de övriga ca 40 universitets- och högskoleinstitutionerna bedrivs forskning av väsentlig betydelse för strålskyddet. Några av dessa institutioner erhöll betydande externa anslag under 1992/93 och flertalet av institutionerna är helt beroende av externa anslag för att bedriva strålskyddsforskning.

Arbetsmiljöinstitutet (AMFO), Försvarets forskningsanstalt (FOA) och Statens strålskyddsinstitut (SSI) bedriver forskning som är viktig för strålskyddsområdet och är delvis oberoende av externa anslag. SSI har en särskild roll med ett uttalat uppdrag att bedriva tillämpad strålskyddsforskning.

Sammantaget erhöll strålskyddsforskningen under budgetåret 1992/93 externa medel till ett belopp av ca 40 mkr. Detta svarar mot

ca 150 olika forskningsprojekt. Statens strålskyddsinstitut, SSI, som är den störste enskilde finansiären på området ger stöd till knappt hälften av projekten, fördelade på ett trettiotal institutioner med ett totalt bidrag på ca 11 mkr. De sammanlagda anslagen från forskningsråden uppgick till endast ca 3 mkr.

Grundläggande strålskyddsforskning

Vi har särskilt undersökt situationen för den grundläggande strålskyddsforskningen och då i första hand kartlagt i vilken utsträckning som forskningsråden stöder den.

En jämförelse mellan strålskyddsforskning och annan forskning försvåras av att tillgänglig statistik (Statistiska centralbyrån, SCB) innehåller en rad osäkerheter. Detta medför att jämförelser bör göras med försiktighet. Även våra insamlade data är behäftade med osäkerheter. Med dessa reservationer visar vår jämförelse att forskningsrådets stöd till strålskyddsforskningen i relativa termer enbart är en tredjedel till hälften av vad som gäller i genomsnitt för annan jämförbar forskning inom medicinsk, naturvetenskaplig och teknisk fakultet. Den låga andelen forskningsrådsstöd motsvaras av en större andel sektorsstöd.

Våra beräkningar visar också att fakultetsanslaget för den strålskyddsforskning som utförs av gruppen med nio institutioner är ca 30% mindre än det genomsnittliga fakultetsbidraget för institutioner inom berörda fakulteter.

Vår slutsats är att stödet till den riktade grundforskningen är för litet på strålskyddsområdet.

Samarbetsformer

Strålskyddsforskningen bedrivs vid många institutioner men med relativt få forskare involverade vid flera av institutionerna. En koncentration till färre och slagkraftigare grupperingar har många fördelar. Ofta behövs en viss minsta storlek på en forskargrupp för att den skall vara effektiv och livskraftig. En större grupp kan hävda sig bättre i konkurrensen inom en institution och också lättare attrahera forskarstuderande samt, inte minst viktigt, få medel för sin forskning. Detta

talar för att man borde arbeta för en koncentration av resurserna. En sådan samordning skulle kunna vara att t.ex. samlokalisera institutioner för radiofysik och strålningsbiologi.

Det är idag relativt vanligt att mindre institutioner sammanföres till större enheter. Planerade eller redan genomförda sammanföringar av institutioner för t.ex. radiofysik, strålningsbiologi, onkologi, diagnostisk radiologi, klinisk fysiologi, medicinsk teknik till en storinstitution ökar förutsättningarna för strålskyddsforskning inom det medicinska området.

En koncentration, eller fokusering mot ett forskningsområde, kan emellertid också uppnås genom ett vidgat men lösare organisatoriskt samarbete mellan forskare från olika institutioner. Det finns flera exempel på detta inom strålskyddsforskningen, dels i form av lokala centrubildningar, dels i form av nationella nätverk. Dessa nätverk har ofta väl utbyggda internationella kontakter. Vad som framförallt talar för ett sådant samarbete är att de frågeställningar som studeras ofta är tvärvetenskapliga och att det vanligen inte är möjligt att samla all kompetens som behövs, från olika vetenskapliga discipliner, inom en och samma institution.

Vår slutsats är att strålskyddsforskningen även i framtiden kommer att vara starkt beroende av samarbete mellan specialister från olika ämnesområden. Etablerandet av lokala centrubildningar och nationella nätverk på strålskyddsforskningens område bör stimuleras liksom ämnesövergripande forskarutbildningskurser.

Forskarrekrytering

Vår genomgång av antalet forskarstuderande och antalet avlagda doktorexamina inom området visar att strålskyddsforskningen i stort är jämförbar med andra ämnesområden inom de tekniska, naturvetenskapliga och medicinska fakulteterna. Detta tycks också gälla för tillgången på doktorandtjänster. En större del av doktorandtjänsterna måste emellertid externfinansieras än i andra ämnen.

När det gäller rekryteringstjänster (högskolelektorstjänster, forskarassistenttjänster) efter avlagd doktorexamen är dessa klart underrepresenterade inom strålskyddsforskningen.

Pågående forskning

Utifrån kartläggningen ger vi en bred beskrivning av pågående strålskyddsforskning i Sverige. I ett avsnitt om övergripande och grundläggande forskning på strålskyddsområdet beskriver vi mätteknik och dosimetri, studier av grundläggande biologiska mekanismer för skada och reparation samt epidemiologiska studier. Samhällsvetenskaplig forskning med strålskyddsrelevans har också beskrivits i detta avsnitt.

Strålning utnyttjas inom sjukvården för såväl patientbunden diagnostik som för strålbehandling. Detta samt tillhörande instrument- och metodutveckling för strålningsmätning redogör vi för i ett avsnitt om strålskyddsforskning med medicinsk anknytning.

Strålning förekommer i vår yttre miljö dels till följd av mänskliga aktiviteter av olika slag, dels naturligt. Strålning förekommer också i vår inomhusmiljö. Forskning kring detta liksom ett antal projekt som är direkt relaterade till användningen av kärnenergi beskriver vi i avsnittet om strålskyddsforskning inom miljöområdet.

Vi har inom varje delområde där det varit aktuellt redovisat forskning som rör joniserande och icke-joniserande strålning var för sig. Detta motiveras av skillnader i grundläggande fysikaliska egenskaper samt skillnader i kunskapsläget. För den joniserande strålningen finns en relativt god förståelse för hur växelverkan sker mellan strålningen och levande materia och hur en skada kan uppkomma, medan motsvarande kunskap för närvarande (helt eller delvis) saknas för icke-joniserande strålning.

Förslag m.m.

Strålskyddsforskning är ett exempel på ett för samhället betydelsefullt område av gränsöverskridande forskning där naturvetenskap, medicin och teknik ingår till väsentliga delar. Sverige har under långa tider varit ett föregångsland inom det internationella strålskyddsarbetet. Här har såväl svenska forskare som en nationellt sammanhållen planering (SSI, och tidigare också Atomforskningsrådet) haft stor betydelse. Antalet aktiva strålskyddsforskare är emellertid förhållandevis lågt och forskargrupperna ofta små. De flesta återfinns på universitetens institutioner för radiofysik, strålningsbiologi, radioekologi och kärnkemi samt på SSI. Som flera andra mindre ämnesområden av

tvärvetenskaplig karaktär har strålskyddsforskningen haft svårigheter att få långsiktigt stöd från forskningsråden. Därför föreslår vi att:

1. Den framtida strålskyddsforskningen ges en bred inriktning omfattande både tillämpad och grundläggande forskning för att kunna svara upp till förändrade krav och olika avnämares behov.

Vår kunskap om strålningens effekter på människan är långt från fullständig. Detta gäller såväl joniserande som icke-joniserande strålning, och nya frågeställningar som kräver forskningsinsatser uppkommer ständigt.

Enligt vår bedömning behövs särskilda insatser för den riktade grundforskningen vilka motiveras av behovet av långsiktighet och kompetensuppbyggnad samt att speciella forskningsområden bör prioriteras. Behovet motiveras vidare av den ekonomiska situationen för den grundläggande strålskyddsforskningen. En fortsatt utarmning får på sikt negativa konsekvenser också för den tillämpade forskningen.

Vi föreslår att den riktade grundforskningen inriktas mot:

- att öka kunskapen om mekanismerna för såväl joniserande som icke-joniserande strålnings biologiska verkan
- att fortsätta att förbättra mätmetoder samt de kvantitativa uppskattningarna av de strålningsnivåer och de hälsorisker som kan uppkomma till följd av exponering för joniserande och icke-joniserande strålning
- att fortsätta utvecklingen av rutiner och metoder för att reducera människans exponering för oönskad joniserande och icke-joniserande strålning och därmed reducera negativa hälsoeffekter, och att finna de bästa metoderna för att förhindra att radioaktiva ämnen som kommit ut i miljön når människan
- att omfatta samhällsvetenskaplig forskning, särskilt riskforskning, av betydelse för strålskyddsområdet.

Vi ger i betänkandet förslag på ett mer detaljerat forskningsprogram som baseras på dessa allmänna riktlinjer.

2. Vi har belyst situationen för forskarrekruteringen på strålskyddsområdet. En tillfredställande rekrytering av nya forskare liksom möjligheter till vidare karriär efter avslutad examen är en viktig komponent

också i ljuset av vårt förslag om ett långsiktigt forskningsprogram. Vi har särskilt försökt att få en bild av försörjningssituationen för de doktorander som för närvarande är under utbildning. Vår slutsats är att antalet doktorandtjänster/utbildningsbidrag på strålskyddsforskningens område är i paritet med andra jämförbara ämnen.

Däremot är möjligheterna att bedriva strålskyddsforskning efter doktorsexamen små. Detta beror på att antalet högskolelektorats- och forskarassistenttjänster är färre inom strålskyddsforskningen än inom jämförbara ämnen.

Vi föreslår att medel snarast tillförs för inrättande av s.k. post-doc tjänster (högskolelektor, forskarassistent) på strålskyddsområdet. Detta är av utomordentlig betydelse för att uppnå långsiktighet i forskningsprogram och för en effektivare handledning och forskarutbildning.

3. Sverige har under åren 1990-1991 deltagit på programnivå i EU:s program för strålskyddsforskning. På grund av svårigheter att få avtalet förlängt för perioden 1992-1994 har Sverige därefter inte kunnat delta formellt. I praktiken har det vetenskapliga samarbetet ändå kunnat bedrivas som om vi varit associerade till programmet. Den stora skillnaden är att svenska grupper inte kunnat få ut sina medel från EU. Samarbetet har gett oss underlag för att diskutera betydelsen för strålskyddsforskningen vid ett svenskt medlemskap i EU. Våra slutsatser är

- att fördelarna främst gäller de ökade kontakterna med forskare inom EU-länderna, dvs. tillgången till EU:s nätverk
- att det behövs en stark nationell strålskyddsforskning för att aktivt kunna delta i EU:s forskningsprogram, för att klara de frågeställningar av nationell natur som inte täcks av EU, samt för att få och behålla forskningskontakter med länder utanför EU.

4. SSI har det samordnande ansvaret för den tillämpade strålskyddsforskningen i landet. Ett motsvarande ansvar finns inte för den riktat grundläggande strålskyddsforskningen. Detta har varit en bidragande orsak till den genom åren minskande finansieringen av sådan forskning. Vi har övervägt två olika huvudalternativ för att förbättra denna situation: att ett eller flera forskningsråd tar ett större ansvar, eller att

SSI:s ansvar utökas till att också omfatta den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet.

Vi föreslår att SSI får ett samordnande ansvar också för den riktade grundforskningen och att institutet får rätt att dela ut forskningsanslag.

För att skilja på SSI:s myndighetsansvar och institutets roll som forskningsfinansiär och för att garantera fri konkurrens om forskningsmedlen föreslår vi att SSI:s forskningsnämnd blir beslutande vid behandlingen av inkomna ansökningar om forskningsanslag. Vi föreslår också att forskarsamhället och SSI ges tillfälle att föreslå ledamöter i nämnden som liksom nu utses av regeringen. Forskarsamhället bör föreslå majoriteten av ledamöterna.

Vi föreslår inte någon ändring i SSI:s möjlighet att beställa forskningsprojekt utifrån sina behov som tillsynsmyndighet. I dessa fall är forskningsnämnden rådgivande till institutet.

Vi poängterar att regelbundna utvärderingar bör genomföras både för den grundläggande och den tillämpade strålskyddsforskningen.

5. När det gäller den framtida riktade grundforskningen på strålskyddsområdet innebär våra förslag ovan, dels att det läggs ett särskilt ansvar på SSI och dess forskningsnämnd, dels att ett antal forskningsfrågor bör prioriteras. För att genomföra forskningsdelen har vi utgått från att den nuvarande finansieringen av strålskyddsforskningen med många olika finansiärer i stort finns kvar de närmaste åren.

För att kunna genomföra det föreslagna programmet med en ökad andel riktad grundforskning har vi beräknat att det behövs ett årligt tillskott på 7,5 mkr. Dessa medel bör enligt vårt förslag i första hand användas till projektmedel och post-doc tjänster. De utökade resurserna bör administreras av SSI och fördelas av dess forskningsnämnd.

Förslagets betydelse

Vår bedömning är att förslagen kommer att bidra till

- att en kvalitativt god och internationellt konkurrenskraftig strålskyddsforskning bedrivs i landet
- att forskningen på strålskyddsområdet effektiviseras.
- en förstärkning av den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet, vilket är viktigt med kännedom om alla de strålningsfrågor

som är aktuella i dagens samhälle (radon, ny teknik inom sjukvård, solstrålning, kärnkraft, elektromagnetiska fält) och som kan komma att bli aktuella i en framtid

- en långsiktig kompetensutveckling

Vi presenterar vår överväganden och förslag i kapitlen 1 till 4. Kartläggningen av svensk strålskyddsforskning redovisas i kapitlen 5 och 6. Bakgrundsmaterial är samlat i bilagorna 1 till 6. En ordlista finns i bilaga 7.

Direktiv, överväganden och förslag

1 Utredningens direktiv och innebörden av begreppet strålskyddsforskning

Sammanfattning: Efter en kort genomgång av utredningsdirektiven definieras begreppet strålskyddsforskning.

Strålskyddsforskning innefattar forskning och utveckling som kan vara av betydelse för skyddet av människa och miljö mot joniserande och icke-joniserande strålning. Strålskyddsforskningen har en bred tvärvetenskaplig inriktning.

Vi diskuterar strålbehandling och radioaktivt avfall som exempel på gränsområden mellan vad vi betraktar som strålskyddsforskning och annan närliggande forskning.

Strålskyddsforskningen kan i sin tur schematiskt indelas i:

- *tillämpad forskning* som innebär att systematiskt och metodiskt söka efter ny kunskap och nya idéer med en bestämd strålskyddstillämpning i sikte, och *grundforskning* som innefattar dels
- *riktad grundforskning* där forskningens inriktning är att lägga en grund som kan tänkas ge en tillämpning på strålskyddsområdet, dels
- *ren grundforskning* som är forskning där ingen restriktion är lagd på forskningens inriktning.

Vi beskriver genomförandet av kartläggningen av svensk strålskyddsforskning.

1.1 Om utredningens direktiv och betänkandets uppläggning

Uppdraget har varit att kartlägga forskningsverksamheten inom strålskyddsområdet i landet samt att utreda strukturella frågor rörande

grundforskningen av betydelse för strålskyddsområdet. Med strukturella frågor menas här frågor om samordning och resurser. (Utredningens direktiv återges i sin helhet i *bilaga 1.*)

Vi har valt att genomföra kartläggningen av forskningsverksamheten inom strålskyddsområdet genom en skriftlig enkät till universitets- och högskoleinstitutioner samt myndigheter och forskningsinstitut som bedömts utföra någon form av forskning inom området. Vi har dessutom följt upp enkäten med besök vid ett antal av de institutioner som besvarat enkäten. Kartläggningen avser främst förhållandena under budgetåret 1992/93.

Vårt uppdrag omfattar att diskutera och tydliggöra distinktionen mellan tillämpad, riktad grundläggande och grundläggande strålskyddsforskning. I direktiven sägs att strålskyddsforskning är all forskning som syftar till ett bättre strålskydd. Riktad grundforskning är sådan grundläggande forskning som är av betydelse för den mer målriktade strålskyddsforskningen.

Vi skall också redovisa förslag till framtida riktlinjer för strålskyddsforskningen samt bedöma behovet av insatser för grundläggande forskning. Till detta hör att även belysa frågor som rör forskarrekryteringen. Underlag för denna redovisning erhöles från den genomförda enkäten och genom intervjuerna.

I uppdraget ingår att analysera vilka effekter ett medlemskap i Europeiska unionen (EU) skulle få för den svenska strålskyddsforskningen. Som grund för vår diskussion i denna fråga finns erfarenheter från hittillsvarande samarbete (1990-1993) med EU:s forskningsprogram på strålskyddsforskningens område.

Vi har också att beakta olika myndigheters behov. Till en del har detta kommit in som en naturlig del av utredningsarbetet i och med att några berörda myndigheter och departement varit representerade i utredningens expertgrupp.

Slutligen skall vi också beakta förslag och riktlinjer i propositionerna om treårig budgetfinansiering för forskning och forskarutbildning (Forskning för kunskap och framsteg, prop. 1992/93:170) samt om löntagarfondsmedel och forskning (Forskning i frontlinjen, prop. 1992/93:171). Detta gäller särskilt möjligheten att föra över en del av de fasta anslag till forskning som idag går till vissa institut och myndigheter till en annan finansieringsform som vidgar möjligheten till nationell konkurrens. Vi har diskuterat detta särskilt vad gäller Statens strålskyddsinstitut, SSI.

I detta betänkande presenterar vi först våra överväganden och förslag (kapitlen 1 till 4), och därefter resultaten av kartläggningen (kapitlen 5 och 6), vilka ligger till grund för våra förslag. Läsaren kan välja att läsa kapitlen om kartläggningen före kapitlen 1-4. Kapitlen kan också läsas fristående.

I förhoppningen att underlätta för läsaren har vi infört ett antal sammanfattande rutor. Några av de använda fackuttrycken finns förklarade i en särskild ordlista (*bilaga 7*).

1.2 Vad är strålskyddsforskning?

Strålskyddsforskning som gemensam beteckning för forskning som rör skyddet mot strålning blev i Sverige mer allmänt använd under 1960-talet. År 1963 inrättade Kungliga vetenskapsakademien en särskild Nationalkommitté för strålskyddsforskning.

Den 1 juli 1976 erhöll Statens strålskyddsinstitut formellt ansvaret för den *tillämpade* strålskyddsforskningen. Ansvaret omfattar både frågeställningar som rör kärnenergiområdet och frågeställningar inom övriga områden på strålskyddsområdet. De senare omfattar såväl *joniserande* strålning som *icke-joniserande* strålning.

1.2.1 Vårt förslag till definition av strålskyddsforskning

Det har varit en viktig uppgift för utredningen att tydliggöra begreppet strålskyddsforskning. Detta har varit av betydelse för att avgränsa uppdraget, för att klargöra vilken forskning och vilka institutioner (forskargrupper) som omfattas av utredningen, och för vår beskrivning och våra slutsatser rörande strålskyddsforskningen i Sverige. I *bilaga 3* finns en sammanfattande beskrivning av tidigare utredningar m.m. som diskuterat begreppet strålskyddsforskning och som i övrigt berört området strålskyddsforskning. I samma bilaga sammanfattas också några synpunkter vi erhållit genom enkäter och institutionsbesök. Vi ger här vårt förslag till definition av begreppet strålskyddsforskning samt beskriver distinktionen mellan tillämpad forskning, riktad grundforskning och grundforskning på strålskyddsområdet.

Vår uppfattning är att det bör finnas en *övergripande* definition av begreppet strålskyddsforskning. Alternativet att för olika ämnesområ-

den och discipliner precisera vad som är, respektive inte är, strålskyddsforskning bedömer vi som mindre lämpligt. Ett sådant förfarande kräver dessutom en översyn i takt med att strålskyddsforskningen utvecklas och förändras.

I allmänna termer menar vi att:

strålskyddsforskning innefattar forskning och utveckling som kan vara av betydelse för skyddet av människa och miljö mot joniserande och icke-joniserande strålning. Strålskyddsforskningen har en bred tvärvetenskaplig inriktning.

Denna definition avviker från direktivets definition som enligt vår bedömning närmast är en definition på tillämpad forskning inom strålskyddsområdet. Den tvärvetenskapliga inriktningen innebär att forskningens frågeställningar är sådana att flera vetenskapliga discipliner berörs, och att frågeställningarna ofta ligger i gränsområden mellan dessa discipliner. Strålskyddsforskning kräver ofta deltagande av kompetenser från flera ämnesområden såsom strålningsbiologi, radiofysik, radioekologi, limnologi, geovetenskap, kärnkemi, onkologi, nuklearmedicin, diagnostisk radiologi, molekylärbiologi och genetik.

Strålskyddsforskning kan, liksom all forskning och utveckling (FoU), i sin tur schematiskt definieras och indelas i tillämpad, riktad grundläggande och grundläggande forskning. Sådana definitioner bör i möjligaste utsträckning ansluta till de definitioner av FoU som tagits fram inom OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development; se *bilaga 3*), och som används exempelvis i Statistiska centralbyråns forskningsstatistik. Detta innebär att

tillämpad strålskyddsforskning är att systematiskt och metodiskt söka efter ny kunskap och nya idéer med en bestämd strålskyddstillsämpning i sikte.

Det huvudsakliga syftet med tillämpad strålskyddsforskning är att ge ett bättre strålskydd. Frågeställningarna hämtas normalt från det praktiska strålskyddsarbetet.

Även om strålskyddsforskningen har stora inslag av tillämpad forskning finns det betydande inslag av grundforskning inom strålskyddsområdet. Denna forskning kan vara av två slag: *ren grund-*

forskning (engelskans "pure basic research") och *riktad grundforskning* (engelskans "oriented basic research").

Riktad grundforskning: forskningens inriktning är att lägga en grund som kan tänkas ge en tillämpning på strålskyddsområdet.

Steget till ett förbättrat strålskydd är då längre än för den tillämpade forskningen och det är följaktligen också osäkrare om forskningen kommer att ge resultat som leder till ett bättre strålskydd. Denna forskning utförs vanligen av samma institutioner/forskare som utför den tillämpade forskningen.

Slutligen förekommer också ren grundforskning i betydelsen:

ren grundforskning är att systematiskt och metodiskt söka efter ny kunskap och nya idéer utan någon bestämd strålskyddstillämpning i sikte, dvs. ingen restriktion är lagd på forskningens inriktning.

Detta är således den fria nyfikenhetsforskningen inom de institutioner som bedriver forskning av betydelse för strålskyddet. Men grundläggande forskning av mer generell betydelse för strålskyddet kan också bedrivas vid andra institutioner, exempelvis fysik, kemi, biologi. Vi har inte betraktat denna senare forskning som grundläggande strålskyddsforskning i vår utredning. Den är en gemensam bas för all naturvetenskaplig forskning.

Vi vill avslutningsvis betona att uppdelningen av forskningen enligt ovan *inte* får föras för långt och att den lätt blir artificiell. Det primära kan inte vara huruvida forskningen kan rubriceras som grundforskning eller tillämpad forskning. Forskningen är till sin natur dynamisk och gränser varierar i tiden. Det centrala är att forskningen är av god kvalitet, och att god forskning skall kunna finna utövare och finansiering oavsett hur den rubriceras. Samtidigt är det viktigt att framförallt den tillämpade strålskyddsforskningen skall vara relevant för samhället, och att mer grundläggande forskning behövs bl.a. som en bas för den tillämpade forskningen.

1.2.2 Några exempel

Vi exemplifierar begreppet strålskyddsforskning med ett par intressanta gränsområden. Det ena är strålbehandling vid tumörsjukdomar och det andra är radioaktivt avfall från kärnkraftverken.

Syftet med strålbehandling är att försöka bota en allvarlig tumörsjukdom eller att hindra smärtorna från en sådan. I den meningen bestäms behandlingens utformning av medicinska kriterier. Samtidigt är det viktigt att inte strålbehandlingen ger upphov till en ny akut (ryggmärgsskador, lever- eller njurinsufficiens, nekroser) eller framtida skada (främst cancer) på patienten. Vår bedömning är att forskning om själva behandlingsprocessen, optimeringen av strålbehandling, inte primärt kan anses vara strålskyddsforskning, medan forskning som rör samband mellan strålningseffekter på olika vävnad och absorberad dos, uppkomst av sena skador, och metoder att minska stråldosen till avlägsna organ däremot bör omfattas av strålskyddsforskningen.

När det gäller det radioaktiva avfallet har man tidigare främst diskuterat i vilken utsträckning som den forskning som rör utformning och konsekvenser av ett djupt bergförvar för högaktivt avfall skall anses vara strålskyddsforskning. Frånsett problemet med att vissa radionuklider i avfallet har en potentiell användning för kärnvapenproduktion är enda skälet till att isolera avfallet just strålskyddsproblemen. Man önskar skydda människa, djur och natur från skadlig verkan av joniserande strålning nu och i en framtid. Tillhörande forskning bör alltså i den meningen benämnas strålskyddsforskning. För radioaktivt avfall bedömer vi studier av biosfären, migration i den del av geosfären som gränsar till biosfären samt radionuklidkemi vara strålskyddsforskning, medan rena geologifrågor liksom förvarets utformning inte bör räknas dit. Närliggande områden som transmutation, separation, reaktordrift är intressanta från strålskyddssynpunkt och kan till en del ingå i begreppet strålskyddsforskning.

I den praktiska forskningsverksamheten kan inte några strikta avgränsningar göras. I själva verket kan det vara mycket klokt att samordna forskningsresurser inom t.ex. strålningsbiologi, onkologi och radiofysik för att bearbeta problem som rör strålskydd. På samma sätt kan det vara en stor fördel om det i en och samma forskargrupp ingår såväl strålskyddsforskare som geologer och kemister.

1.3 Kartläggning genom enkät och intervjuer

Institutioner som bedriver strålskyddsforskning

En viktig del av utredningsuppdraget har varit att *kartlägga* forskningsverksamheten inom strålskyddsområdet. Vi valde att i första hand beskriva situationen under budgetåret 1992/93 och utifrån forskarnas eget perspektiv. Inte oväntat visar det sig svårt att göra en tydlig avgränsning i tiden när det gäller beskrivningen av pågående forskning. Forskningsprojekten är ofta fleråriga. Svårigheten gäller också den finansiella situationen för vilken vi haft betydande problem att få in relevanta uppgifter. Delvis har vi fått förändra våra ursprungliga planer för ekonomisk redovisning till följd av dessa svårigheter. Så vitt vi kunnat finna finns inte någon officiell statistik på den detaljeringsnivå som vi eftersträvat. Särskilt finns det inte någon tillgänglig statistik under rubriken strålskyddsforskning. Våra insamlade data över den ekonomiska situationen är därför behäftade med osäkerheter.

Basmaterial för vår beskrivning i kapitlen 5-6 samlades in genom en enkät. Denna distribuerades till 96 institutioner (Tabell i *bilaga 2*) eller motsvarande, och vi erhöll svar från 77 av dessa. I 57 av svaren uppgav man att det bedrevs strålskyddsforskning i någon omfattning. De 57 svaren beskrev ca 150 olika forskningsprojekt av varierande storlek och betydelse för strålskyddsområdet. Även några konsultföretag m.m. som inte erhållit enkäten finns omnämnda i vår beskrivning. Frågeformulärets utformning framgår av *bilaga 2*.

För att komplettera materialet, och för att kunna diskutera olika frågor rörande strålskyddsforskning med de direkt berörda, besökte vi 19 institutioner.

Genom enkäten har vi nått de centrala institutionerna inom området. Däremot kan det finnas ytterligare institutioner som till någon del kan sägas utföra strålskyddsforskning och som inte omfattas av vår kartläggning. I några fall anger vi i texten att en viss institution får utgöra exempel för fler likartade institutioner med liknande forskningsverksamhet.

Forskningsfinansierande organ

För att kunna bedöma den ekonomiska situationen särskilt för den grundläggande, och riktat grundläggande strålskyddsforskningen har vi haft diskussioner med några av de viktigaste externa finansieringsorganen. Vi har besökt Naturvetenskapliga forskningsrådet (NFR), Medicinska forskningsrådet (MFR), Skogs- och jordbrukets forskningsråd (SJFR), Cancerfonden samt Arbetsmiljöfonden (AMFO). Vi har dessutom besökt Statens strålskyddsinstitutet (SSI) i dess egenskap av forskningsfinansierare för den tillämpade strålskyddsforskningen.

Vi har också haft diskussioner med företrädare för Stiftelsen för strategisk forskning och Stiftelsen för miljöstrategisk forskning.

2 Strålskyddsforskningen i framtiden

Sammanfattning: Den framtida strålskyddsforskningen behöver en bred inriktning och bas för att kunna svara upp till förändrade krav. Detta kräver både grundläggande och tillämpad forskning. Särskilda insatser för den riktade grundforskningen motiveras av behovet av långsiktighet och kompetensuppbyggnad samt av den ekonomiska situationen för denna forskning. Det finns speciella forskningsområden som bör prioriteras. Vi föreslår att forskningen på strålskyddsområdet, särskilt den riktade grundforskningen, inriktas mot:

- att öka kunskapen om mekanismerna för såväl joniserande som icke-joniserande strålningens biologiska verkan särskilt med hjälp av de nya tekniker som utvecklas inom molekylärbiologin
- att fortsätta att förbättra mätmetoder samt kvantitativa uppskattningar av de hälsorisker som kan uppkomma till följd av exponering för joniserande och icke-joniserande strålning
- att fortsätta utvecklingen av rutiner och metoder för att ge möjlighet att reducera människans exponering för oönskad joniserande och icke-joniserande strålning och därmed reducera hälsoeffekter, och att finna de bästa metoderna för att förhindra att radioaktiva ämnen som kommit ut i miljön når människan
- att omfatta samhällsvetenskaplig forskning, särskilt riskforskning, av betydelse för strålskyddsområdet

Rekryteringen av forskare är viktig och behovet av tjänster är särskilt stort för personer som avlagt doktorsexamen.

Utifrån erfarenheter av pågående samarbete mellan Sverige och EU på strålskyddsforskningens område konstaterar vi bl.a. att:

- fördelarna främst gäller de ökade kontakterna med forskare inom EU-länderna, dvs. tillgången till EU:s nätverk

forts sammanfattning

- det behövs en stark nationell strålskyddsforskning för att kunna ta del av EU:s forskningsprogram, för att klara frågeställningar av nationell natur, samt för att få och bibehålla kontakter med länder utanför EU.

Vi diskuterar kravet på kvalitet på forskningen och föreslår att utvärderingar genomförs i ökad utsträckning både för tillämpad och grundläggande strålskyddsforskning.

Vi motiverar varför den forskning som bedrivs inom SSI bör bibehållas.

2.1 Behovet av svensk strålskyddsforskning

Strålning förekommer överallt i vårt samhälle, i hemmet, i arbetet, på fritiden. För många av dessa situationer behövs ökad förståelse och kunskaper av det slag som bara kan erhållas genom forskningsinsatser. Några exempel från senare år som fortfarande utforskas är samband mellan UV-strålning från solen och hudcancer, effekterna av olyckan i Tjernobyl, förvaringen av det högaktiva avfallet och utbrända kärnbränslet från våra kärnkraftverk, misstänkta samband mellan faders exponering för joniserande strålning och leukemi hos deras barn, oväntat (men ej säkerställt) många och snabbt manifesterade fall av sköldkörtelcancer hos barn i Vitryssland och Ukraina efter Tjernobyl, misstänkta samband mellan elektromagnetiska fält från kraftledningar och canceruppkomst samt olika riskjämförelser.

Beräkningar av antalet fall av cancer i Sverige som årligen förorsakas av strålning har gjorts bl.a. av Cancerkommittén (SOU 1984:67) och av SSI. De flesta cancerfallen kan hänföras till exponering för radon i bostäder, UV-strålning från solen och till röntgenundersökningar inom sjukvården. Sammantaget beräknas ett par tusen fall av cancer per år förorsakas av strålning.

Det finns ett stort intresse för strålskyddsfrågor hos allmänheten. Strålning uppmärksammas ofta i massmedia och strålskyddsfrågor engagerar. Dessa frågor berör mycket påtagligt den enskildes vardag och

liv antingen det gäller oro för röntgenundersökningar eller radon, rädsla för närbelägna kraftledningar eller radioaktivt nedfall från Tjernobyl. För att bibehålla medborgarnas förtroende krävs en egen oberoende forskningsverksamhet. En aktiv svensk forskningsverksamhet är också en förutsättning för att vi ska kunna tillgodogöra oss resultat från forskargrupper i andra länder.

Sveriges röst väger av tradition mycket tungt i det internationella strålskyddsarbetet. Den viktiga position som Sverige har t.ex. i Internationella strålskyddskommittén (ICRP), FN:s vetenskapliga strålningskommitté (UNSCEAR) och övriga FN-organ som Internationella atomenergiorganet (IAEA) och Världshälsoorganisationen (WHO) samt i den nyligen etablerade Internationella strålskyddskommittén för icke-joniserande strålning (ICNIRP) är beroende av en inhemsk forskningsverksamhet.

Vi vill med ovanstående korta bakgrund betona att det finns ett klart behov av en framtida svensk forskning på strålskyddsområdet som också motiveras av aktuella samhällliga problemställningar. Ofta krävs underlag från forskning för ställningstagande i strålningsfrågor och för regelskrivning. Riskuppskattningar kan utgöra en del av ett beslutsunderlag. Ett felaktigt ställningstagande eller en felaktig riskuppskattning, baserade på ett ofullständigt beslutsunderlag, kan förutom risk för skador även medföra avsevärda kostnader för samhället.

2.2 Några avnämares behov

Forskningsresultaten kommer forskarsamhället till godo genom publicering i vetenskapliga tidskrifter, presentationer vid konferenser och symposier samt genom doktorsavhandlingar. Forskarna själva är de som först får ta del av resultaten. De tjänar också som granskare och kvalitetsbedömare.

Inom landet finns många olika avnämare av resultaten från forskning med anknytning till strålskyddsområdet. Några av dessa finansierar själva forskning på området. I tabell 2.1 sammanfattas några centrala myndigheters intresseområden vad gäller resultat från strålskyddsforskning.

I samtliga nordiska länder och i många andra länder finns en särskild myndighet som har att övervaka förekomst, användning m.m. av

strålning. I Sverige är det Statens strålskyddsinstitut (SSI) som har den uppgiften.

Tabell 2.1 Exempel på forskningsområden där centrala myndigheter har behov av resultat från strålskyddsforskning.

Centrala myndigheter	Forskningsområde/intresseområde
Arbetsmiljöinstitutet	el.magn. fält i arbetsmiljön
Arbetskyddsstyrelsen	joniserande och icke-joniserande strålning inkl. el.magn. fält och UV i arbetslivet
Boverket	radon och el.magn fält i byggnader
Elsäkerhetsverket	el.magn. fält bl.a. från kraftledningar
FOA, försvaret	radioekologi, luftspridning, deposition, strålningsbiologi
Folkhälsoinstitutet	UV-strålning från solen
Jordbruksverket	terrest radioekologi (beredskapsskäl)
Konsumentverket	riskvärdering vad gäller konsumentprodukter
Livsmedelsverket	radioaktiva ämnen i livsmedel (beredskapsskäl)
Luftfartsverket	transporter av radioaktivt gods
Räddningsverket	beredskap, särskilt kärnkraftsolyckor
Sjöfartsverket	transporter av radioaktivt gods
SNV	påverkan på natur inkl. människa av strålning
SKI	kärnavfall
SMHI	solstrålning (monitering), spridningsmodeller (beredskap)
Socialstyrelsen	exponering av befolkning av joniserande och icke-joniserande strålning
SSI	inom flera områdena både vad gäller joniserande och icke-joniserande strålning kärnkraftberedskap, användning av strålning inom sjukvården
Tullverket	införsel av radioaktivt material m.m.

Utifrån institutets tillsynsroll anser SSI att följande arbetsområden bör prioriteras under de närmaste åren (från SSI:s treårsplan 1992/93-1994/95): radon i bostäder, solstrålning, röntgenundersökningar av patienter, beredskap mot olyckor i svenska och utländska kärnkraftverk, bildskärmar (elektromagnetiska fält), starka radioaktiva strålkällor, kärnkraftens normaldrift samt kärnkraftens radioaktiva avfall.

Inom flertalet av dessa områden som är givna utifrån tillsynsbehovet och angivna utan inbördes prioritering, finns det också behov av forskningsinsatser. Detta gäller både tillämplig forskning till vilken många forskningsuppgifter inom kärnenergiområdet hör, och grundforskning som exempelvis mekanismerna bakom observerade effekter vid exponering av magnetiska fält.

Utöver de centrala myndigheter som tagits upp i tabellen är länsstyrelser och kommuner andra viktiga avnämare av resultat från strålskyddsforskning. Genom myndigheter på central och regional nivå kan resultaten spridas vidare och komma till användning. Forskningsresultaten tjänar som underlag för föreskrifter och för information.

Ett annat område där forskningsresultaten kommer till användning är inom sjukvården. Detta gäller såväl joniserande som icke-joniserande strålning både inom diagnostik (röntgen, datortomografi, "isotopundersökningar", ultraljud, magnetisk resonanstomografi) och strålbehandling.

Naturligtvis är allmänheten ytterst den stora avnämaren av forskningsresultaten.

2.3 Förslag till forskningstrategi och prioriterade forskningsområden särskilt inom den riktade grundforskningen

2.3.1 Utgångspunkter

Det ingår i vårt uppdrag att redovisa och bedöma innehåll i och omfattning av den strålskyddsforskning som för närvarande bedrivs i Sverige. Den utförliga beskrivningen av denna forskning i kapitel 6 visar att strålskyddsforskning bedrivs inom många helt olika ämnesområden som exempelvis radiofysik, strålningsbiologi, kärnkemi, onkologi, nuklearmedicin, diagnostisk radiologi, molekylärbiologi och ge-

netik. Strålskyddsforskningen skär genom de traditionella vetenskapliga disciplinerna och spänner över många samhällsområden.

Vi har vidare att särskilt granska situationen för den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet. I enkätsvaren fick vi in en del synpunkter på viktiga och intressanta forskningsområden inför framtiden. Vid de besök som vi genomfört vid ett antal institutioner har vi genomgående efterfrågat förslag till forskningsområden som bör prioriteras.

Vi anser att följande *allmänna* utgångspunkter bör ligga till grund för den framtida strålskyddsforskningen:

1. Kvaliteten på forskningen skall vara god.
2. Det bör vara en rimlig avvägning mellan den tillämpade och den riktat grundläggande forskningen.
3. Forskningen skall bidra till kompetensuppbyggande och kompetensbevarande.
4. Kvalitet och relevans skall regelbundet utvärderas.
5. Långsiktigheten i forskningen på strategiska områden bör tryggas.
6. Det bör ske en ökad samordning mellan olika aktörer (såväl forskare som finansierare).

I detta kapitel, och i kapitlen 3 och 4, föreslår vi en rad åtgärder som är relaterade till dessa utgångspunkter.

2.3.2 Behovet av insatser för den riktat grundläggande strålskyddsforskningen

Det faktum att det praktiska strålskyddsarbetet omfattar så många helt olika områden med skilda förutsättningar, frågeställningar och krav på kunskap talar för att man bör bevara en bred forskningsverksamhet som innefattar ett flertal områden. Vi menar att bredden behövs för att kunna svara upp mot aktuella frågeställningar och för att tillgodose olika avnämares behov. Men det är också viktigt med en mer grundläggande och långsiktig forskning så att också morgondagens ännu okända problem inom strålskyddsområdet kommer att kunna hanteras. Forskningen bör dessutom vara av den omfattningen att vi kan ta till vara erfarenheter och resultat från strålskyddsforskning i utlandet och

deltaga aktivt i internationellt samarbete. Vi menar vidare att det finns anledning att satsa extra på några väl avgränsade områden där Sverige har möjlighet att hävda sig internationellt och föra utvecklingen framåt eller där det är betydelsefullt att deltaga av inomvetenskapliga skäl.

Det är väsentligt att det finns en balans mellan den tillämpade strålskyddsforskningen och den (riktat) grundläggande och kunskapsuppbyggande forskningen. Balanspunktens läge kan variera i tiden.

Det statliga stödet till grundforskning vid universitet och högskolor kanaliseras i första hand via forskningsråd och fakultetsanslag. Före 1977 hade Atomforskningsrådet (AFR) ett mer samlat ansvar för strålskyddsforskning med naturvetenskaplig inriktning. Efter 1977 har andelen grundforskning på strålskyddsområdet minskat vilket ytterligare bidragit till minskad forskning bl.a. inom strålningsbiologin. Sektorsfinansierad forskning kan rymma såväl rena grundforskningsproblem som problem av mer tillämpad karaktär. Dock har sektorsorganen av tradition tyngdpunkten på mer tillämpad och åtgärdsinriktad forskning medan forskningsråden till övervägande del stöder grundläggande forskning utan någon tillämpning i sikte.

Den ekonomiska redovisningen i kapitel 5 visar att den forskningsrådsstödda forskningen på strålskyddsområdet är lägre än för jämförbara institutioner. Den uppgick budgetåret 1992/93 till endast ca 7% av det totala externa forskningsstödet för de institutioner som ingått i kartläggningen (och till 22% om man endast summerar bidragen från forskningsråd och sektorsorgan). Under budgetåret 1991/92 var (enligt preliminära uppgifter från SCB) motsvarande genomsnitt för de medicinska, naturvetenskapliga och tekniska fakulteterna 28%, 48% respektive 16% (59%, 55%, 19% om endast forskningsråd och sektorsorgan räknas). Även om de statistiska uppgifterna är *osäkra* tyder vårt material, kompletterat med information från forskare och råd, på att andelen grundläggande forskning inom strålskyddsområdet är mindre än vad som är fallet för annan jämförbar forskning. Balanspunkten mellan (riktad) grundläggande och tillämpad forskning är för långt förskjuten åt den tillämpade forskningen. En utarmning av den grundläggande strålskyddsforskningen får på sikt negativa konsekvenser också för den tillämpade forskningen på området. Dessutom är stödet till den mer grundläggande forskningen betydelsefull för *långsiktigheten* i forskningen. Särskilt gäller detta om den ställs i kontrast till den kortsiktiga uppdragsforskningen. Det är

dessutom viktigt att det finns visst utrymme även för vad som ofta brukar kallas "nyfikenhetsforskning".

Vi föreslår att man förstärker den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet.

Behovet av en bred forskningsbas på strålskyddsområdet (med både grundläggande och tillämpad inriktning) och en samtidig satsning på forskning av mer grundläggande karaktär gör det nödvändigt att tillföra nya resurser (se kap. 4). Vårt förslag till hur ansvaret för strålskyddsforskningen bör utformas i framtiden presenteras i kapitel 3.

2.3.3 Några prioriterade forskningsområden

Vi ger i det följande några förslag till områden som vi anser lämpliga att prioritera och inom vilka det föreligger ett tydligt behov också av mer grundläggande forskning. Våra förslag baseras dels på diskussioner vi fört med ämnesföreträdare, dels på bedömningar från kartläggningen över svensk strålskyddsforskning i kapitel 6.

Det ligger i sakens natur att en prioriteringslista ständigt behöver förnyas. Det har inte varit vår avsikt att rangordna de föreslagna forskningsområdena. Snarare skall de ses som exempel på områden som kan utgöra ramar för framtida forskningsansökningar (kap. 3) och där kvalitet och relevans får avgöra exakt vilken forskning som skall bedrivas.

Den framtida strålskyddsforskningen bör enligt vår mening inriktas mot:

- att öka kunskapen om mekanismerna för såväl joniserande som icke-joniserande strålningens biologiska verkan särskilt med hjälp av de nya tekniker som utvecklas inom molekylärbiologin
- att fortsätta att förbättra mätteknik samt kvantitativa uppskattningarna av de hälsorisker som kan uppkomma till följd av exponering för joniserande och icke-joniserande strålning
- att fortsätta utvecklingen av rutiner och metoder för att ge möjligheter att reducera människans exponering för oönskad joniserande och icke-joniserande strålning och därmed reducera hälsoeffekter,

- och att finna de bästa metoderna för att förhindra att radioaktiva ämnen som kommit ut i miljön når människan.
- att omfatta samhällsvetenskaplig forskning, särskilt riskforskning, av betydelse för strålskyddsområdet.

Det är också viktigt att förmedla ny strålskyddskunskap till forskare inom andra områden, berörda myndigheter, sjukvården, miljö- och hälsoskyddsförvaltningar och allmänheten.

○ För att nå dessa mål behövs en blandning av grundläggande och tillämpad forskning. Detta garanterar att gränsvärden för exponering och skyddsrutiner på strålskyddsområdet är i nivå med det vetenskapliga kunnandet och samhällets behov.

○ Grundläggande forskning behövs för att förbättra förståelsen och för att kvantifiera av sambandet mellan exponering och hälsorisker. Sådan forskning kräver en planering över lång tid och den är multidisciplinär till sin natur. Vi ger i det följande exempel på sådan forskning inom strålskyddsområdet.

Joniserande strålning

Bestämning av exponeringsnivåer

För att kunna bedöma risker i samband med strålningsexponering är det av central betydelse att kunna bestämma stråldosen (absorberad dos, ekvivalent dos, effektiv dos) på ett så väldefinierat sätt som möjligt. Här behövs en fortsatt utveckling av instrument och mätteknik. SSI:s roll som riksmätplats spelar i detta sammanhang en viktig roll. Verksamheten är också av stor betydelse för att kunna ange rätt stråldos i samband med strålbehandling av tumörsjukdomar.

○ Det behövs ytterligare forskning för att vid extern bestrålning kunna relatera parametrar som beskriver strålfält till absorberad dos och effektiv dos, som i sin tur kan relateras till långsiktiga effekter och risker. Man måste ta hänsyn till ålder och kön, längd och vikt. Vid tillämpningar inom röntgendiagnostik bör man försöka utnyttja de möjligheter som finns att ta hänsyn till variationer i organstorlek och placering som eventuella datortomografi-bilder ger. Metoder för att ta hänsyn till förändringar i aktiv benmärg med åldern bör inkluderas.

Neutroner förekommer i samband med kärnkraft (drift och avfall), vid accelerators, vid flygresor m.m. Det föreligger fortfarande särskilda svårigheter att noggrant bestämma stråldosbidraget från neutroner. Det behövs därför också en instrumentutveckling eftersom dagens instrument är alltför okänsliga vid de neutronenergierna och neutrondosrater som är aktuella i strålskyddssammanhang.

När det gäller dosimetri för radioaktiva ämnen i kroppen tar beräkningsmetoderna ännu inte hänsyn till fysiologiska skillnader mellan individer. Vi är bara i början när det gäller att ta hänsyn till skillnader i metabolism och lokal dosfördelning i kroppen, såväl makroskopiskt som mikroskopiskt. Ett exempel på det senare är radionuklider som genom sitt sönderfall utsänder α -strålning eller lågenergetiska elektroner (Auger-elektroner) och lokaliseras så att sönderfallet sker nära DNA. Information om aktivitetens fördelning såväl makroskopiskt som mikroskopiskt är särskilt viktigt när det gäller dosuppskattningar till embryo/foster efter moderns intag av radioaktiva ämnen. När det gäller de rena betastrålarna C-14 och H-3 saknas fortfarande biokinetiska data i stor utsträckning.

Ett annat viktigt område rör utvecklandet av metodik för att i samband med katastrofer i efterhand bestämma vilken stråldos någon har erhållit. Metoder för biologisk dosimetri finns till viss del tillgängliga men svensk kompetens bör byggas upp.

Kvantifiering av hälsoeffekter efter bestrålning

Vår kunskap om människans strålningsbiologi är långt från fullständig och nya frågeställningar kommer fortfarande upp och måste studeras. Framstegen inom molekylärbiologi och biokemi har gett oss helt nya möjligheter att öka våra kunskaper om strålnings effekter på DNA, celler, vävnader och organ såväl när det gäller akuta effekter av höga stråldoser som när det gäller cancerinduktion till följd av låga stråldoser. En viktig forskningslinje är att försöka studera genetiskt betingade skillnader i strålkänslighet mellan individer. Bättre förståelse av de bakomliggande orsakerna kan få stor betydelse för planeringen av arbete med strålning. Möjligheten att välja personer med låg individuell strålkänslighet till utsatta arbeten kan också få samhälls- och juridiska konsekvenser. Resultaten kan få stor betydelse när det gäller att individualisera strålbehandling vid tumörsjukdomar.

Idag finns små möjligheter att ange vad som förorsakat en cancer hos en enskild individ. En viktig forskningsuppgift är att söka metoder för att om möjligt urskilja de cancerfall som specifikt orsakats av strålning för att därigenom få säkrare riskuppskattningar. Som förberedelse bör man redan nu börja samla in och arkivera histologiskt material som i framtiden kan användas för genetiska och molekylärbiologiska undersökningar exempelvis i samband med stora epidemiologiska studier. Sådan forskning hänger nära samman med forskning runt canceruppkomst i vidare mening och med metoder för att bota denna sjukdom.

Andra viktiga forskningsområden gäller strålningseffekter på embryo/foster, synergistiska effekter av strålning och kemikalier (bl.a. cytostatika) samt frågor rörande strålskyddande ämnen. En intressant forskningsuppgift är att studera i vilken utsträckning kunskaper om naturligt producerade fria radikaler i cellerna och de skyddssystem som utvecklats mot dem kan utnyttjas för att förstå effekten av de radiolysprodukter som produceras av strålning.

Sverige har genom sina unika register en förutsättning för epidemiologiska studier av strålningseffekter som få andra länder. Vi har också en avancerad mätteknik. Eftersom röntgendiagnostiken ger det största genomsnittliga artificiella bidraget till individdosen är det motiverat att genomföra olika insatser med epidemiologisk metodik, särskilt vad avser exponering av barn. För genomförandet av sådana undersökningar är tillgången till nationella register över exponeringsdata m.m. betydelsefulla och bör komma till stånd i första hand för undersökningar på barn.

Sambandet mellan exponering för radon i bostäder och andra cancersjukdomar än lungcancer har diskuterats under senare år och lämpar sig väl för svensk forskning.

Strålskyddslagen säger att också djur och växter ska skyddas mot skadliga effekter av strålning. Forskning rörande effekter på miljön vid olika strålningsnivåer bör därför uppmärksammas.

Optimering, risker m.m.

Till detta område hör hur man skall optimera i komplicerade situationer. Exempel på sådana situationer är diagnostisk användning av röntgenstrålning och radioaktiva ämnen i sjukvården samt insatserna efter

en stor radiologisk olycka. I det förra fallet måste optimeringen även inkludera bildkvalitet eller snarare diagnostisk information. Ett bekymmer är att vi fortfarande inte i detalj förstår hur den diagnostiska bilden formas och att vi saknar bra parametrar för att karakterisera bildkvalitet. För att kunna bedriva meningsfullt optimeringsarbete behövs mer grundläggande forskning beträffande informationsinnehåll i olika typer av diagnostiska bilder. Här ger modern bildanalys och datateknik nya möjligheter. Frågeställningarna gäller såväl röntgen- som nuklearmedicinområdena. I det senare fallet bör studierna av optimal dosering vid nuklearmedicinska undersökningar fortsätta.

Osäkerheten i dagens riskbedömningar motiverar ytterligare forskningssatsningar exempelvis för överförande av riskuppskattningar mellan befolkningar, överförande av djurdata för riskuppskattning hos människa samt förhållandet mellan exponering och dess utsträckning i tiden.

Det är angeläget att det bedrivs samhällsvetenskaplig forskning exempelvis kring riskupplevelser, förmedling av kunskap om risker med strålning samt massmedias roll. I detta sammanhang behövs också jämförelse med andra risker i samhället. Ett särskilt FoU-program behövs tas fram för den samhällsvetenskapliga strålskyddsforskningen. Eftersom det finns flera paralleller med annan forskning bör programmet tas fram i samverkan mellan olika intressenter.

Icke-joniserande strålning

En liknande uppdelning av forskningsbehoven som för joniserande strålning kan göras när det gäller icke-joniserande strålning.

Under senare år är det framför allt hälsoeffekterna av UV-strålning och lågfrekventa elektromagnetiska fält som uppmärksammas. Intresset för risker med olika typer av icke-joniserande strålning kan förväntas öka.

Många av de effekter av lågfrekventa elektromagnetiska fält som observerats är kontroversiella eftersom flertalet observationer inte kunnat upprepas i andra laboratorier. Ju större noggrannhet med vilken ett experiment utföres desto större blir möjligheten av ett säkert resultat. Långtidsstrategin bör vara att koncentrera sig på ett fåtal frågeställningar, renodla experimenten och öka antalet faktorer som hålls under kontroll.

Bestämning av exponeringsnivåer

Forskningen kompliceras av att det saknas kunskap om samband mellan biologisk effekt och fysikaliska parametrar för icke-joniserande strålning. Det saknas ett "dosmått". Forskning som för fram till ett biologiskt relevant mått på dos för magnetfält, mikrovågor, laser, ultraljud är angelägen.

Kvantifiering av hälsoeffekter efter bestrålning - UV-strålning

Det behövs en målinriktad forskning kring UV-exponering och UV-ljusets biologiska effekter. UV-strålning räknas som en väsentlig faktor för uppkomsten av malignt melanom och andra former av hudcancer. Incidensen av malignt melanom fördubblas nu vart tolfte år och tendensen är likartad för andra hudcancerformer. Detta beror troligtvis på ändrade solvanor. Misstanken om en framtida uttunning av ozonhalten i stratosfären, vilket skulle öka UV-strålningen vid jordytan, understryker ytterligare frågans vikt.

Forskningen bör också omfatta studier av effekter av UV-strålning på växter och djur.

Kvantifiering av hälsoeffekter efter bestrålning - elektromagnetiska fält

Det finns inte någon vetenskapligt accepterad biologisk förklaring till de effekter (leukemi, hjärntumörer) som rapporterats kunna ha ett samband med exponering för svaga lågfrekventa elektromagnetiska fält. Ur såväl strålskydds- som forskningssynpunkt är det mycket otillfredsställande att inte förstå mekanismerna för växelverkan mellan fälten och vävnad, även om resultaten av olika epidemiologiska studier inte ger anledning att tro att hälsoriskerna på något vis skulle kunna vara jämförbara med riskerna från exempelvis radon och solstrålning. Nödvändig forskning innefattar mätningar av externa fält och deras relation till dosimetriska storheter. De elektriska och magnetiska fälten kvantifieras i termer av elektrisk och magnetisk fältstyrka. De hittillsvarande "dosimetriska" storheterna är inducerad elektrisk fältstyrka, ström, strömtäthet, specifik energiabsorptionshas-

tighet och temperaturstegring. Det är viktigt att den i Sverige påbörjade satsningen på detta område kan fortsätta. En sådan satsning kräver ett nära samarbete mellan forskare från olika discipliner. Sådana samarbeten finns idag men behöver utvecklas och fördjupas. Forskningen bör innefatta en ökad satsning på molekylärbiologiska metoder för att kartlägga verkansmekanismer.

Framgångsrika resultat av en satsning på denna forskning vore i förlängningen av värde för flera samhällssektorer - både för den inre och yttre miljön, både för arbetsmiljö och hemmiljö. En förståelse av mekanismerna bakom observerade effekter skulle också medföra att kostnaderna för eventuella åtgärder skulle kunna optimeras.

När det gäller fortsatta epidemiologiska studier har Sverige även inom detta område bra förutsättningar på grund av goda register. För forskningsändamål är det ytterst viktigt att dessa register förblir tillgängliga och kan utnyttjas för fortsatta studier.

Det är också viktigt att etablera ett nationellt register vad gäller magnetröntgen och ultraljudundersökningar i sjukvården på samma sätt som de nuklearmedicinska undersökningarna registreras och på samma sätt som vi föreslår för röntgenundersökningar på barn. Registret bör innehålla information av betydelse för framtida riskstudier.

2.3.4 En jämförelse med andra länders forskningsplanering och prioriteringar

Internationellt pågår ett omfattande forskningsarbete kring strålskyddsfrågor. Den samlade kumskapen när det gäller joniserande strålning finns dokumenterad i en UNSCEAR-rapport från 1993, BEIR-rapporter från 1988 och 1990 samt ICRP:s Publikation 60 från 1991.

I USA har man nyligen inventerat behovet av forskningsinsatser inom området joniserande strålning ("Research Needs for Radiation Protection", NCRP Report 17). Liknande genomgångar har gjorts i Storbritannien ("Corporate Plan 1993/94 to 1997/98", Report NRPB-M406) och Tyskland ("Zur Situation der Strahlenforschung in der Bundesrepublik Deutschland", Denkschrift der Strahlenschutzkommission). Rapporterna från Storbritannien och Tyskland behandlar även icke-joniserande strålning. Även om dessa rapporter inte är lika

detaljerade som den från USA är de prioriteringar som görs likartade när det gäller joniserande strålning.

I Norge pågår för närvarande ett utredningsarbete om framtida satsningar på strålskyddsområdet.

Det finns många likheter mellan vad som föreslås i dessa dokument och våra förslag i kapitel 2.3.3.

Som motiv för den framtida strålskyddsforskningen anger man inte oväntat dels grundforskningsintresset dels behovet av att förbättra basen för rekommendationer och regler inom på strålskyddsområdet.

När det gäller joniserande strålning identifierar man i USA-rapporten fyra stora forskningsfält inom vilka det behövs ökad kunskap:

1. Strålningsbiologi, särskilt studier av faktorer som påverkar individens strålkänslighet
2. Stråldosbestämningar inklusive modeller och exponeringsanalys
3. Riskbestämningar
4. Metoder att förebygga exponering samt analys av värdet av olika åtgärder när utsläpp eller exponering redan skett.

I rapporten från USA anges fem centrala frågor för strålskyddsforskningen:

- Hur stor är den totala risken efter exponering med låga stråldoser (under 100 mSv)? Hur ser dos-effekt kurvan ut för cancerinduktion, genetiska effekter och utvecklingsrubbingar? Hur långt ner i stråldos står sig det linjära sambandet? Vad betyder dosraten, jonisationstätheten, ålder vid exponeringen och individuell känslighet för risken?
- Hur kan fördelningen i rum och tid av absorberad dos definieras bättre för att få högre noggrannhet och reproducerbarhet i dosangivelsen i dos-effekt samband både på makroskopisk och mikroskopisk nivå?
- I vilken utsträckning ger nya framsteg inom molekylär genetik och strukturell biokemi möjlighet till att öka vetandet om strålnings-effekter och därigenom kasta nytt ljus över det händelsefölopp som så småningom leder till cancer och andra typer av skador? Kan detta också ge kunskap om dos-effekt samband som inte kan erhållas från studier på djur eller från epidemiologiska studier på människor?

- Hur ska man kunna reducera exponeringen eller risken för exponering och när exponering har skett, vilka åtgärder skall vidtas för att göra skadan så liten som möjligt? Vad skall vi göra med strålning i kombination med kemikalier eller andra gifter i omgivningen?
- Vad kan göras för att förbättra allmänhetens förståelse och att garantera rationella och kunskapsbaserade ställningstaganden när det gäller strålskyddspolicy?

I den brittiska rapporten betonas förändringar i inriktning på forskningen mot fortsatt ökade satsningar på molekylärbiologiska metoder för att studera strålningseffekter och satsningar på att identifiera känsliga celler i fostret.

När det gäller icke-joniserande strålning lyfter man både från brittisk och tysk sida fram:

- verkansmekanismer - elektromagnetiska fält, särskilt 50 Hz fält, verkningsätt på celler; teratogen verkan av statiska magnetfält; undersökning av verkansmekanismer för högfrekventa elektromagnetiska fält
- användning av icke-joniserande strålning i sjukvården - den tyska rapporten tar upp riskerna med pulsat ultraljud; hälsorisker med MR-undersökningar; risker med användning av bestämda högfrekvenspulssekvenser
- analys av epidemiologiska data från dödsfall i cancer och cancerincidens för uppskattning av den genom icke-joniserande strålning orsakade cancerrisken och då särskilt melanomincidensen till följd av UV-bestrålning av huden.

2.4 Betydelsen för svensk strålskyddsforskning av ett medlemskap i EU

Den Europeiska Unionen, EU, har sedan 1960-talet inom ramen för EURATOM-avtalet ett särskilt program för strålskyddsforskning inom området joniserande strålning. Programmet har hittills löpt i femårsperioder och målsättningen är att samordna europeisk strålskyddsforskning, att främja kunnande och utbildning inom området (t.ex. genom att anordna konferenser och kurser), samt att bidra till kunskapsöverföring mellan de ingående länderna.

Under pågående period (det tredje ramprogrammet) ingår strålskyddsforskningen som ett av två delområden inom programmet "Nuclear Fission Safety". Sverige ansökte inför perioden 1990 - 1994 om att få delta i programmet som associerad medlem, och beviljades detta. På grund av interna ekonomiska förhållanden inom EU kunde kontrakt tecknas endast för perioden 1990 - 1991. Sverige ansökte 1991 om att på samma sätt få delta under den resterande perioden fram till och med 1994. Denna ansökan har ännu inte (februari 1994) lett till ett nytt avtal. Trots att Sverige inte formellt deltagit efter 1991 har i praktiken det vetenskapliga samarbetet kunnat bedrivas nära nog som om vi vore associerade till programmet även under dessa år. Den stora skillnaden rör finansieringssituationen - några pengar har ännu i februari 1994 inte kunnat överföras till de svenska grupperna.

I *bilaga 4* redogör vi för EU:s forskningsprogram på strålskyddsområdet. Vi beskriver positiva och negativa erfarenheter av det samarbete som under en tvåårsperiod ägt rum med EU på programnivå, och som fortfarande pågår i mer informella former. Denna redovisning ligger till grund för följande slutsatser:

Fördelarna har legat på det innehållsmässiga i forskningsprogrammet och på att en rad nya kontakter skapats mellan svenska forskare och forskare i ett antal EU-länder. Det allmänna intrycket är att svensk strålskyddsforskning har stått sig mycket väl i konkurrens med motsvarande forskning EU-länderna.

De negativa erfarenheterna ligger till stor del på det administrativa planet, bl.a. finns ännu inte (februari 1994) ett undertecknat avtal för perioden 1992-1994. Det finns en stelbenthet i sättet att se på forskningssamarbetet, att kräva samarbete mellan forskargrupper för att få forskningsstöd och att delvis styra samarbetspartners. Detta har inte varit enbart lyckat och kan verka hämmande på framförallt forskarens möjlighet att fritt välja problemställningar.

Det finns (februari 1994) en osäkerhet beträffande hur nästa ramprogram på strålskyddsforskningens område kommer att se ut. Enligt vår bedömning är det viktigt att de strålskyddsmässiga frågeställningarna är vägledande för forskningsprogrammets utformning, och att programmet är allsidigt och täcker viktiga strålskyddsfrågor. Det finns klara tecken som tyder på att programmet går i riktning mot alltmer tillämpad forskning. Man bör också komma ihåg att strålskyddsforskningsprogrammet sorterar under EURATOM-avtalet och inte ingår i EU:s ordinarie forskningsprogram och inte heller i EES-avtalet.

En annan punkt som vi vill framhålla är att frågeställningar av mer nationell karaktär inte ryms inom EU:s gemensamma program. Det är därför viktigt att bibehålla även ett nationellt forskningsprogram med såväl mer grundläggande som tillämpade inslag. Detta är särskilt viktigt om signalerna från EU är riktiga att strålskyddsforskningen inom EU alltmer utvecklas mot renodlad sektorsforskning rörande gemensamma Europa-frågor. Det faktum att EU:s program kan förändras relativt snabbt innebär att vi bedömer att en långsiktig nationell forskningspolitik inte kan baseras på EU:s forskningsprogram. De nationella medlen får därför inte urholkas. Nationell FoU och nationellt forsknings-samarbete behövs för att kunna delta i EU:s FoU-program och för att utveckla forskningskontakter med länder utanför EU.

Enligt vad vi inhämtat utgör bidragen från EU till de projekt som ingår i programmet på strålskyddsforskningens område bara 12-15% av dessa projekts totala kostnad. Resterande medel betalas alltså direkt av nationella medel. Dessutom bedrivs inom EU-länderna strålskyddsforskning som inte alls finansieras från EU. En siffra som förmodligen stämmer relativt väl också för strålskyddsforskningen är att kostnaden för hela det gemensamma forskningsprogrammet inom EU utgör ca 4% av den sammanlagda kostnaden för all forskning i EU-länderna. EU-forskningen höjer den allmänna europeiska kompetensen inom strålskydds- och strålskyddsforskningsområdet, men inte nödvändigtvis kvaliteten på elitforskningen inom området. EU-forskningen ersätter i länder med god forskning endast marginellt nationella forskningsinsatser.

Ett medlemskap i EU skulle kunna leda till att Sverige lämnar vissa forskningsområden och i stället får ett ökat ansvar för andra områden. Ett aktivt deltagande i EU-programmet ger möjlighet att påverka innehållet och att påverka beslut. Man kan också förutse en ökad rörlighet för svenska forskare.

Sammanfattningsvis bedömer vi att ett medlemskap i EU är värdefullt för svensk strålskyddsforskning framför allt genom de nätverk som svenska forskare får tillgång till. EU-finansierad forskning kan emellertid endast fylla en mindre del av forskningsbehovet och lämnar ingen garanti för att långsiktig grundläggande forskning kan bedrivas. Det behövs därför en långsiktig väl fungerande nationell forskning på strålskyddsområdet. Detta är också

en förutsättning för att vi skall få möjlighet att delta aktivt i EU:s forskningsprogram.

2.5 Den framtida forskarrekyteringen

Forskarutbildning är en central uppgift för universitet och högskolor. I regeringens proposition "Forskning för kunskap och framsteg" (prop. 1992/93:170) anges att ambitionen är att fördubbla examinationen av doktorer fram till år 2000. Ambitionen grundas på det faktum att andelen disputerade forskare är för få vid universiteten, att ett stort antal professorer m.fl. pensioneras under de närmaste tio åren, att det finns för få doktorer i industrin och att skolan behöver fler vetenskapligt skolade lärare. En effektiviserad forskarutbildning och en ökning av andelen kvinnor behövs också. I propositionen anges en rad sätt på vilka forskarrekyteringen bör kunna stärkas.

Inom området strålskyddsforskning (kap. 5) är fördelningen mellan kvinnor och män på doktorandnivå mer jämn än genomsnittet (45% resp 35%) för jämförbara institutioner. Det är också viktigt att fler kvinnor erhåller slutexamen än vad som för närvarande är fallet. Där ligger strålskyddsforskningen sämre till än jämförbara ämnen.

Enligt vår bedömning (kap. 5) är antalet doktorandtjänster (utbildningsbidrag) på strålskyddsforskningens område i paritet med andra jämförbara ämnen. En relativt stor andel av tjänsterna finansieras med externa medel, väsentligen sektorsmedel, och det vore en fördel med en ökning av de fakultetsfinansierade tjänsterna. En finansiering av doktoranderna på andra sätt än genom doktorandtjänster ökar studietiderna och risken för att studierna avbryts. Samtidigt innebär en ändring från utbildningsbidrag till doktorandtjänster att färre studerande kan försörjas. Regeringens föreslagna satsning på fler doktorandtjänster bör också komma strålskyddsforskningen till godo.

När det gäller externt forskarstöd i form av doktorandtjänster är det viktigt att undersöka möjligheterna för samfinansiering av doktorandtjänster, exempelvis mellan statliga finansörer och industri.

Vid de relativt små institutioner som bedriver strålskyddsforskning och vid institutioner där strålskyddsforskningen bara är en marginell del av den totala forskningen är karriärmöjligheterna efter doktorsexamen särskilt små. Vår kartläggning (kap. 5) tyder på att antalet hög-

skolelektorer och forskarassistenter är klart underrepresenterat inom strålskyddsforskningen.

För att uppnå långsiktighet i forskningsprogram och för en effektivare handledning och forskarutbildning av doktorander föreslår vi att medel snarast tillförs för inrättande av s.k. post-doc tjänster (högskolelektorat, forskarassistent) på strålskyddsområdet.

Vi har inte närmare undersökt i vilken utsträckning som nyexaminerade doktorer idag tillbringar en tid vid andra institutioner, exempelvis utomlands. Inte heller har vi undersökt hur ofta utländska gästforskare vistas vid svenska institutioner som bedriver strålskyddsforskning. Dessa typer av utbyte är emellertid betydelsefulla och vi anser att det i framtiden bör avsättas medel specifikt för denna typ av utbytestjänster.

Inom strålskyddsforskningens område finns flera exempel på att forskarkurser ordnas gemensamt inom och mellan universitet och också inom Norden (kap. 5). Vi tror att det finns flera fördelar med att i ökad omfattning ordna sådana kurser både inom samma universitet och mellan universiteten. Den tvärvetenskapliga karaktären hos strålskyddsforskningen motiverar också forskarkurser över ämnesgränserna.

2.6 Kvalitetskrav och utvärdering

2.6.1 Kvalitet

Kravet på kvalitet i forskningen är viktigt. Det är viktigt för resultatens tillförlitlighet och trovärdighet. Svårigheter uppkommer dock när man försöker mäta kvaliteten. Dessa svårigheter har nyligen belysts i dokumentet Kvalitet och dynamik (SOU 1993:102) och i forskningspropositionen (1992/93:170). Enligt den senare är kvalitetskravet för forskning överordnat kvantitetskravet.

2.6.2 Utvärderingar

Av de enkätsvar som inkommit i vår utredning framgår att utvärderingar av den genomförda forskningen är relativt ovanliga. Endast i ett fåtal svar anger man att det förekommit någon form av formell utvärdering. Samtidigt pekar man på den bedömning och värdering som genomförs både vid ansökan om forskningsbidrag och vid publicering av artiklar i tidskrifter med s.k. referee-system som en form av utvärdering. Dessa senare värderingar är viktiga kvalitetsmoment i forskningsprocessen. Men de omfattar enbart delar av forskningen i en grupp eller vid en institution. Det är också viktigt att genomföra övergripande utvärderingar som täcker hela verksamheten, inklusive grundutbildningen och som sätter in forskningen i ett vidare perspektiv.

Som ett kvalitetshöjande moment i strålskyddsforskningen och som ett led i att uppfylla de forskningspolitiska ambitionerna bör man snarast

- införa områdesvisa systematiska utvärderingar, och
- utvärdera dels kvalitet, dels användning (nytta, betydelse) av forskningsresultaten

Vidare bedömer vi det som viktigt

- att det i utvärderingen deltar personer (svenska och utländska) med kompetens och egen erfarenhet inom området strålskyddsforskning.

De forskningsfinansierande organen har ett ansvar för att utvärderingar kommer till stånd, men det bör vila ett särskilt ansvar på SSI att strålskyddsforskningen, såväl den tillämpade som mer grundläggande, utvärderas.

Som framhålls i forskningspropositionen så behövs metodutveckling framförallt för att finna lämpliga former för utvärdering av forskningsresultatens användning.

2.7 Forskningsorganisationen

En stor del av strålskyddsforskningen bedrivs vid universitet och högskolor. Men sådan forskning bedrivs också vid några myndigheter och forskningsinstitut samt av ett antal konsultföretag.

Att forskningen vid högskolan är nödvändig har utförligt motiverats bl.a. i forskningspropositionen (1992/93:170). En aktiv grundforskning är också en förutsättning för den tillämpade forskningen. Det är särskilt viktigt att man inom strålskyddsområdet, som berör och påverkar många människor och som har stora samhällseliga konsekvenser, har tillgång till en grupp av *oberoende* experter, som granskar och vid behov kritiserar myndigheternas råd, förordningar och rekommendationer. Därför behövs en bred och aktiv forskningsverksamhet på strålskyddsområdet inom högskolan. I kapitel 2.7.1 beskriver vi särskilt situationen för forskningen inom strålningsbiologi som under senare år minskat i omfattning.

I utredningsdirektiven sägs att vi skall beakta vad som sägs i forskningspropositionen (1992/93:170) om möjligheten att föra över en del av de fasta anslag till forskning som går till vissa institut och myndigheter till en annan finansieringsform som vidgar möjligheten till nationell konkurrens. Detta gäller således i vårt fall de myndigheter m.fl. som ingår i grupp 3 (kap. 5). Vi begränsar vår diskussion (kap. 5.7.2) till SSI som är den myndighet som har i uppdrag att forska inom strålskyddsområdet. Även om de övriga myndigheterna bedriver strålskyddsforskning så motiveras deras forskning framförallt utifrån skäl som ligger utanför vårt uppdrag.

Konsultföretagens fortsatta FoU är beroende av hur väl de lyckas producera resultat som uppfyller beställarens önskemål, och detta är inte något som vi har närmare gått in på. Eftersom vi särskilt har studerat den mer grundläggande strålskyddsforskningen har vi koncentrerat vårt arbete till universitet- och högskolor.

2.7.1 Strålningsbiologin i Sverige

Ämnet strålningsbiologi är idag företrätt vid Stockholms universitet. Tidigare fanns vid Karolinska institutet en professur i medicinsk strålningsbiologi samt en personlig professur i tumörbiologi med forskningsverksamhet inom strålningsbiologi. I Uppsala har

institutionen för strålningsvetenskap en stark strålningsbiologisk profil. Under en period fanns också vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala en institution för experimentell patologi och riskforskning som hade en inriktning mot strålningsbiologiska frågeställningar. Idag är såväl denna institution som de två institutionerna vid Karolinska institutet nedlagda och personalen skingrad.

För närvarande finns institutionen för strålningsbiologi vid Stockholms universitet och strålningsvetenskap i Uppsala (för en utförligare historisk beskrivning se *bilaga 5*). Professuren i Stockholm har nyligen omprövats och utannonseras nu i ämnet molekylär genomforskning. Något ansvar för strålningsbiologi finns inte i ämnesbeskrivningen. I annonsen för tjänsten påpekas endast att innehavaren också kommer att ha ansvaret för undervisningen i strålningsbiologi. Möjligheten för institutionen att långsiktigt ägna sig åt strålningsbiologi kommer att vara avhängigt den nya ämnesföreträdarens intresse för ämnet.

I Uppsala föreslås professuren flyttas från naturvetenskaplig till medicinsk fakultet och man får räkna med att forskningsverksamheten får en starkare inriktning mot strålbehandlingens strålningsbiologi än tidigare. Genom denna ändring i fakultetstillhörighet garanteras troligen en långsiktighet i verksamheten.

Ur strålskyddsforskningssynpunkt är det synnerligen angeläget att grundläggande strålningsbiologisk forskning bedrivs vid något universitet utöver Uppsala i den mån denna finns kvar där. Det finns flera sätt att göra detta. Ett sätt är att ge stöd till mellantjänster i anslutning till den nuvarande strålningsbiologiska institutionen i Stockholm. På detta sätt skulle man garantera en närhet till den allmänna molekylärbiologiska forskningen vid institutionen.

Det andra alternativet är att ge motsvarande stöd till medicinsk strålningsbiologi vid institutionen för medicinsk strålningsfysik vid Karolinska institutet. Denna institution organiserar redan idag en del av den personal som blivit över i samband med nedläggningen av de tidigare institutionerna vid KI. På så sätt skulle strålningsbiologin även i Stockholm knytas närmare strålbehandlingens problemställningar och en större garanti för långsiktighet i verksamheten uppnås. Ett ansvar för grundläggande strålningsbiologisk forskning av betydelse för strålskyddsverksamheten bör också skrivas in i tjänstebeskrivningen.

Ett tredje alternativ är att åstadkomma ett liknande arrangemang i anslutning till någon av de övriga institutionerna för medicinsk radiofysik i landet.

Den goda examinationen av doktorer inom strålningsbiologin innebär att det finns ett flertal kandidater till mellantjänster inom ämnet.

2.7.2 Strålskyddsforskning vid SSI

SSI behöver för sin verksamhet, tillsyn och information, forskningsresultat från ett antal forskningsområden. Dessa resultat kan man få dels från egen forskning, dels från forskning som man beställer från forskarvärlden i övrigt (s.k. utlagd forskning). När det gäller den egna forskningen så är det i vissa fall frågan om forskning av ett slag som inte alltid premieras inom högskolan. I dessa fall kan det ofta vara svårt att även mot betalning få universitetsforskare att genomföra den efterfrågade forskningen. Alternativet blir då att institutet får vända sig till ett rent kommersiellt konsultföretag. Dessa genomför då uppdraget men mot en hög kostnad och inte nödvändigtvis med önskvärd kvalitet. Det är t.ex. vanligt att resultaten bara publiceras som internrapporter, och således inte utsätts för den granskning som sker i samband med publicering i en vetenskaplig tidskrift. Vanligen är dessa rapporter också skrivna på svenska vilket begränsar läsekretsen. För vissa frågeställningar finns dock enbart konsultföretag att tillgå.

Vissa forskningsområden av vikt för strålskyddet kan också förlora i aktualitet inom universiteten. Ett aktuellt exempel på detta, som belysts i föregående avsnitt, är utvecklingen inom strålningsbiologin. Det är i dessa fall då inte i första hand frågan om att akademiska forskare inte vill befatta sig med av SSI efterfrågad forskning, utan i stället så att universiteten inte är beredda att ställa nödvändiga basresurser till förfogande.

Vissa forskningsinsatser kräver mycket långsiktig uppföljning. I sådana fall kan det vara svårt att förlita sig på universitet och högskolor, vars forskning i stor utsträckning baseras på de intressen som finns hos de berörda forskarna.

Inom ramen för SSI:s interna forskning genomförs också kartläggnings- och utredningsuppdrag. Dessa aktiviteter är stundtals av sådant slag att en parallell forskningsverksamhet ger ett effektivt kvalitetstill-

skott. I vissa fall är det nödvändigt att också denna verksamhet är vetenskapligt baserad.

SSI utreder ofta frågor av kvalificerad vetenskaplig natur. Det är då av stort värde att ha forskningskompetent personal med aktuella kunskaper inom räckhåll.

SSI har i inriktningen av den egna forskningen valt att satsa på några av de områden där universitet och högskolor inte kunnat svara upp till institutets krav. Hänsyn har då också tagits till i vilken utsträckning den bedrivna forskningen kunnat vara till gagn också för den kartläggningsverksamhet som institutet bedriver.

SSIs roll som nationellt organ för strålningsmätning ställer höga krav som lättare nås med tillgång på kompetenta och aktiva forskare.

Slutligen är den kontinuitet i strålskyddsforskningen som kan bedrivas vid SSI av stor betydelse för strålskyddsområdet som helhet, vilket vi berör i kapitel 5.

Institutets forskningspersonal har enligt gällande praxis inte möjlighet att konkurrera om de medel som SSI har för utlagd forskning. Om man skulle föra en del av de fasta forskningsresurserna från SSI till en annan finansieringsform som vidgar möjligheten till nationell konkurrens så måste man av samma konkurrensskäl ge möjlighet för SSI:s forskare att också få del av SSI:s medel för utlagd forskning. Penningströmmarna kommer då delvis att ta ut varandra.

Ett annat skäl för att öka konkurrensen är att detta bedöms vara kvalitetsutvecklande för forskningen. Enligt vår uppfattning kan kvalitetskravet uppnås genom att samma krav ställs på SSIs egna forskning som på övrig forskning (se kapitel 2.6.1).

Enligt forskningspropositionen ligger andelen konkurrensutsatta forskningsmedel på mellan 45 och 60% för alla fakulteter utom den humanistiska. För strålskyddsområdet (grupp 1 och grupp 2 där vi har data) är denna siffra ca 50% .

Sammanfattningsvis anser vi att det inte finns anledning att ändra förhållandena för den forskning som bedrivs inom SSI. Denna forskning är viktig både för att institutet skall kunna genomföra sina övriga uppgifter inom strålskyddsområdet på ett optimalt sätt och för strålskyddsforskningen i sin helhet i landet.

3 Ansvaret för strålskyddsforskningen

Sammanfattning: Vi föreslår att SSI:s samordnande ansvar för den tillämpade forskningen på strålskyddsområdet utökas till att också omfatta den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet. Förändringar av SSI:s forskningsnämnd föreslås för att tydligt skilja på institutets roll som forskningsfinansierare och som myndighet. Förslaget innebär vidare att SSI får möjlighet att fördela anslag.

Förslaget förväntas bidra till

- att en kvalitativt god och internationellt konkurrenskraftig strålskyddsforskning bedrivs i landet
- att forskningen på strålskyddsområdet effektiviseras
- en förstärkning av den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet, vilket är viktigt med kännedom om alla de strålningsfrågor som är aktuella i dagens samhälle (radon, ny teknik inom sjukvård, solstrålning, kärnkraft, elektromagnetiska fält m.m.) och som kan komma att bli aktuella i framtiden
- en långsiktig kompetensutveckling
- att forskningen på strålskyddsområdet konkurrensutsätts genom ansökningsförfarande

3.1 Ansvaret för den tillämpade strålskyddsforskningen

Statens strålskyddsinstitut har enligt sin instruktion det samordnande ansvaret för den *tillämpade* strålskyddsforskningen i landet. För detta erhåller man särskilda medel utöver myndighetsanslaget. Medlen är avsedda att bekosta forskning som bedrivs utanför SSI. Enligt praxis kan medel *inte* ges till den forskning som bedrivs inom SSI.

Beslut om stöd till forskningsprojekt tas formellt av institutets generaldirektör. Till sin hjälp i bedömningen av projektförslag har generaldirektören en rådgivande forskningsnämnd. Nämnden som består av tio ledamöter, till övervägande del ämnesföreträdare från olika universitets- och högskoleinstitutioner, utses av regeringen för en tid av tre år.

Formellt finns det inte möjlighet att söka forskningsmedel från SSI. Vanligen sker dock beställningen av forskningsprojekt i nära samarbete mellan berörd forskare och SSI, och SSI tar också mot projektförslag. I praktiken är dessa förslag i det närmaste att betrakta som ansökningar. Beslut om nya projekt kan tas under hela året. Ett mindre antal projekt är av grundläggande natur.

Bland annat för att identifiera nya forskningsprojekt och nya forskargrupper genomförde SSI under 1993 och 1994 på försök en ansökningsomgång för de områden som inte rörde kärnenergin.

Även andra organ finansierar vad som också kan rubriceras som *tillämpad* strålskyddsforskning enligt den definition som används i denna utredning (och också i enlighet med tidigare praxis/definition). Dessa organ använder emellertid normalt *inte* beteckningen strålskyddsforskning för denna forskning. Arbetsmiljöfonden (AMFO) har ett särskilt projektområde för strålning inom vilket man idag finansierar forskning som rör icke-joniserande strålning. Statens kärnkraftinspektion (SKI) bekostar forskning inom kärnavfallsområdet som i vissa delar kan rubriceras som strålskyddsforskning. Byggnadsstyrelsen (BFR) finansierar radonforskning som bl.a. rör byggnadstekniska åtgärder. Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK) har bidragit till finansieringen av epidemiologiska studier av magnetiska fält från kraftledningar. Mindre delar av den forskning som Statens naturvårdsverk (SNV) finansierar kan också hänföras till strålskyddsforskning.

3.2 Ansvaret för den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet

3.2.1 Nuvarande situation

För den *riktade grundforskningen* på strålskyddsområdet finns inte något särskilt ansvar angivet. Olika kunskapsområden har sina egna

forskningsråd (NFR, MFR, SJFR, TFR). De organ som omnämns i kapitel 3.1 om den tillämpade forskningen finansierar dessutom i viss utsträckning grundforskning inom området.

Beskrivningen av den pågående strålskyddsforskningen i landet (kap. 6) visar tydligt den tvärvetenskapliga naturen på denna forskning. Detta avser både bredden i frågeställningar och deltagandet av vitt skilda kompetenser inom många enskilda projekt. En konsekvens av detta är att det inte finns något enskilt forskningsråd som utgör en naturlig hemvist för denna forskning. Detta leder inte sällan till att forskningsansökningar "hamnar mellan stolarna". Detta sker trots att det finns ett gemensamt samordningsorgan mellan forskningsråden vilket diskuterar ansökningar som berör flera råd. Dessutom, som framförts i kapitel 5, så är även den mer grundläggande strålskyddsforskningen ofta alltför tillämpad för att uppfylla rådets krav på grundforskning. Det finansiella stödet från råden till grundläggande strålskyddsforskning är följaktligen också litet. En jämförelse med den generella situationen för naturvetenskapliga institutioner visar att strålskyddsforskningen har en betydligt mindre andel radsfinansierad forskning (kapitlen 2 och 5).

Vi har i kontakter med berörda forskare, i enkät och vid intervjuer, samt i samtal med representanter för forskningsråden (NFR, MFR, SJFR) samt med Cancerfonden, AMFO och SSI diskuterat den nuvarande situationen för den grundläggande strålskyddsforskningen. I huvudsak finns en samstämmighet i den bild som givits ovan. I princip anser dock forskningsråden och Cancerfonden att strålskyddsforskning i olika omfattning, beroende på respektive projektförslags tyngdpunkt och kvalitet, kan erhålla finansiering.

3.2.2 Möjliga lösningar och överväganden

Enligt vår uppfattning, som grundas på den genomförda kartläggningen, är det viktigt att åstadkomma en förbättring för den mer grundläggande svenska strålskyddsforskningen som fungerar på sikt. De detaljerade skälen till detta redovisar vi främst i kapitel 2 men också i kapitlen 5 och 6. Några av de viktigare skälen för behovet av en förändring är kortfattat:

- för litet stöd ges f.n. till den riktade grundforskningen vilket på sikt också urholkar den tillämpade forskningen
- en mycket splittrad finansiering
- ingen samordning av de totala resurserna
- svårigheten att få stöd från forskningsråden för tvärvetenskaplig forskning
- strålningsbiologins minskade resurser.

En förbättring av situationen för strålskyddsforskningen bör omfatta både att ange ett klart ansvar för denna forskning och att tillföra nya pengar. De ekonomiska frågorna behandlas i kapitel 4. När det gäller ansvaret för strålskyddsforskningen, inkluderande grundforskningen, har vi diskuterat två huvudalternativ:

1. att inte ändra nuvarande ansvarsfördelning, men att betona forskningsrådets övergripande ansvar också för strålskyddsforskningen, och eventuellt också ange *ett* forskningsråd som särskilt ansvarigt för den mer grundläggande strålskyddsforskningen
2. att utöka SSI:s ansvar från att omfatta enbart tillämpad till att också omfatta den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet.

Att det inte nödvändigtvis enbart behöver vara ett forskningsråd som svarar för bedömning och finansiering av den grundläggande forskningen anges tydligt i forskningspropositionen (1992/93:170) där det särskilt påpekas att även sektorsorgan kan finansiera grundforskning.

Båda alternativen kan inrymmas i den generella strukturen för det svenska finansieringssystemet för forskning.

Enligt forskningspropositionen (prop 1993:170) kan den inomvetenskapligt genererade forskningen innefatta såväl grundforskning som tillämpad forskning. Det sägs vidare att det ligger ett särskilt ansvar på forskningsråden att ge stöd till gränsöverskridande (tvärvetenskaplig) forskning. Detta gäller både samverkan mellan discipliner inom ett råds ansvarsområde och samverkan över rådsgränserna. En möjlighet, som redan utnyttjas av NFR, är att för en viss period skapa särskilda insatsområden. Detta är positivt av flera skäl men en nackdel med denna konstruktion är att den är tidsbegränsad. Vi efterlyser ett mer långsiktigt stöd till den grundläggande strålskyddsforskningen. I bedömningen av forskningsansökningar kan det också vara svårt att få

gehör för den strålskyddsmässiga aspekt som trots allt måste finnas i den riktade grundforskningen.

Med nuvarande indelning och ansvar för forskningsråden och med tanke på den tvärvetenskapliga karaktären hos en stor del av strålskyddsforskningen bedömer vi det som orealistiskt att ange *ett* specifikt råd som ska ha särskilt ansvar för denna forskning. Det är också svårt att se hur detta skulle utformas i praktiken.

Från vår diskussion i kapitel 2 om den framtida strålskyddsforskningen och utifrån de problem som framförts från forskarna (kap. 5) och vilka i stort bekräftats av de finansierande organen bedömer vi alternativ 1 som mindre lämpligt om man vill förbättra förhållandena för strålskyddsforskningen snabbt och långsiktigt.

Enligt vår bedömning är det alternativ 2 som dels skulle leda till en förbättrad situation för strålskyddsforskningen, dels medföra att denna förbättring sker inom en rimlig tid. Vi menar att samhällets önskemål om att forskning bedrivs på ett rationellt sätt och med hög kvalitet förutsätter ett samordnande organ. Detta gäller särskilt för tvärvetenskapliga områden av det slag som strålskyddsforskningen utgör. Där emot kan det naturligtvis finnas flera olika finansiärer. I själva verket förutsätter vårt förslag, såväl från organisatorisk som ekonomisk synvinkel, att det även fortsättningsvis finns flera finansiärer. Detta är i linje med vad som sägs i senaste forskningsproposition (1992/93:170) där det talas om att pluralism vad gäller finansieringskällor och bedömningsgrunder är av särskilt värde.

I vår bedömning har vi vidare vägt in att den *riktat grundläggande* strålskyddsforskningen behandlar frågeställningar som är relevanta för strålskyddet, även om det ofta blir aktuellt på längre sikt. Det är väsentligt att resultaten kommer till praktisk användning, och detta sker framför allt via den ansvariga myndigheten på strålskyddsområdet.

Om man skall välja ett ansvarigt och samordnande organ för strålskyddsforskningen utanför forskningsråden så är det vår uppfattning att SSI är det enda möjliga alternativet. Inom SSI finns den samlade överblicken över strålskyddsområdet och strålskyddsforskningen i landet.

NFR har tidigare föreslagit att SSI skall svara för stödet till den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet. Detta skedde i ett remissvar (till miljödepartementet 14 juni 1991) avseende SSI:s rapport "Prioriterade verksamheter". NFRs förslag motiveras bl.a. av att det i den forskningspolitiska diskussionen betonats vikten av att

sektorsorganen i ökande utsträckning använde sina forskningsmedel för långsiktig kompetensuppbyggnad i högskolan. NFR skulle även fortsättningsvis svara för grundforskningen inom aktuella naturvetenskapliga ämnen. Vid våra kontakter med NFR har man bekräftat sitt tidigare förslag.

Ett ökat ansvar för SSI när det gäller den riktat grundläggande strålskyddsforskningen ställer nya krav på SSI. Det är viktigt att forskarsamhället har tilltro till de värderingar och bedömningar som SSI kommer att göra i prioriteringen av föreslagna forskningsprojekt. Av den anledningen blir det nödvändigt med några organisatoriska förändringar.

Slutligen, många av de problem som vi identifierat för strålskyddsforskningen och som belysts i detta betänkande har uppmärksammats tidigare bl.a. av Radiobiologiutredningen (DsU 1981:6). De förslag att avhjälpa problemen som tidigare presenterats (*bilaga 3*) har bara genomförts till mindre delar. Därför kvarstår de grundläggande problemen. Vi menar att det är nödvändigt att något görs *nu* för att förbättra situationen. Vårt förslag syftar till att snabbt uppnå denna förbättring.

3.2.3 Förslag

Vårt förslag rörande ansvaret på strålskyddsforskningens område utgår från ovanstående överväganden. Det ska ses mot bakgrund av att de frågeställningar som behandlas inom strålskyddsforskningen enligt vår bedömning inte på ett naturligt sätt kan inordnas i ett befintligt forskningsråd, samt att vi bedömer det som betydelsefullt att det även framledes finns en internationellt konkurrenskraftig svensk strålskyddsforskning. Förslaget bygger på målsättningen att ta tillvara en fungerande organisation inom Statens strålskyddsinstitutet och att det ska ge tilltro hos forskarna. Verksamhetens omfattning motiverar inte att bygga upp en ny fristående organisation. Vi redovisar förslaget i fem punkter:

1. Strålskyddsinstitutets nuvarande ansvar för samordningen av den tillämpade strålskyddsforskningen utökas till att också omfatta den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet.

Ett viktigt skäl till att knyta ett ansvar för den riktat grundläggande strålskyddsforskningen till SSI är vår bedömning att det inom SSI finns den bästa överblicken över strålskyddsområdet i landet, och att SSI har ett uttalat sektorsansvar. Vid institutet finns också det forskningsadministrativa stöd som behövs. Förslaget utgör inte en unik lösning när det gäller forskningsansvar. Statens naturvårdsverk (SNV) har möjlighet att stödja grundforskning av relevans för miljöområdet, Arbetsmiljöfonden (AMFO) kan stödja grundforskning av vikt för arbetsmiljöområdet, särskilt när sådan forskning inte finansieras av andra. Sveriges geologiska undersökning (SGU) har en motsvarande uppgift för riktad grundläggande geologisk forskning.

Ett argument mot att lägga ett grundforskningsansvar på SSI, och som tidigare framförts, är att SSI också har myndighetsansvar. Vi föreslår därför vissa förändringar av formerna för SSI:s forskningsfinansiering i syfte att tydligt skilja på uppgifterna som myndighet och som forskningsfinansierar (punkterna 2 och 3).

2. SSI:s forskningsnämnd, tio ledamöter, utses av regeringen på förslag av forskarsamhället och SSI.

Till skillnad från dagens förhållande ges också forskarna möjlighet att föreslå ledamöter i SSI:s forskningsnämnd. Ledamöterna bör som nu utses för en period på tre år. Till skillnad från nuvarande förhållande föreslår vi en begränsning av förordnandetiden till två sammanhängande perioder. Ett bekymmer i detta sammanhang är att antalet forskare i landet inom området är relativt begränsat. Det bör därför finnas möjlighet att också förordna forskare från övriga Nordiska länder. En tjänsteman vid SSI bör även fortsättningsvis fungera som forskningsnämndens sekreterare.

SSI:s forskningsnämnd består idag nästan enbart av aktiva forskare. För att vinna tilltro i forskarsamhället är det viktigt att nämndledamöter också utses på förslag av forskarna själva eller av organ som forskarna bidragit till att utse. Denna procedur får inte vara för omständlig och kostsam med tanke på de begränsade medel som kommer att finnas tillgängliga för forskningsstöd. En möjlighet är därför att låta Nationalkommittén för strålskyddsforskning, som är knuten till Vetenskapsakademien (KVA), föreslå ett antal av nämndens ledamöter. En annan möjlighet är att ge forskningsråden (NFR, MFR och

SJFR) denna möjlighet. Vårt förslag är att forskarsamhället föreslår sex av nämndens ledamöter och SSI fyra.

Vi har också diskuterat om det i nämnden bör finnas representanter för andra myndigheter. Detta skulle kunna bidra till en förbättrad samordning på forskningsområdet. Samtidigt skulle det ge möjlighet att beakta andra myndigheters behov av resultat från strålskyddsforskningen. Vi har kommit fram till att med ett begränsat antal nämndledamöter så bör man prioritera forskardeltagandet. Samordning m.m. får lösas i annan ordning, i första hand via SSI:s forskningssekreterariat (se nedan).

Det faktum att strålskyddsforskningen täcker så många olika discipliner ställer krav på att nämnden har en bred och allsidig sammansättning. Även med en bred nämndsammansättning kan det finnas anledning att inrätta särskilda prioriteringskommittéer för att kunna bedöma en viss grupp av ansökningar. Vi har övervägt om det bör finnas permanenta sådana grupper. Så är exempelvis fallet vid flera forskningsråd och vid SNV. Vår bedömning är att detta skulle involvera för många personer i relation till tillgängliga medel. Vi anser att det är bättre om en prioriteringskommitté tillsätts *ad hoc* när behov uppkommer. Lämpligen utses en nämndledamot till ordförande i kommittén. Sekreterare till kommittén hämtas lämpligen från SSI.

3. Forskningsnämnden är beslutande när inkomna ansökningar behandlas. Ordföranden har utslagsröst.

Idag är forskningsnämnden rådgivande när det gäller de medel som finns för att beställa forskning från forskarsamhället. Besluten fattas av SSI. Forskningsnämnden har under senare år sammanträtt fyra gånger per år, två gånger under hösten och två gånger under våren. Vi föreslår att det ges tillfälle att en gång per år *ansöka* om forskningsmedel (förslagsvis samma ansökningstidpunkt som för forskningsråden). Vårt förslag innebär att forskningsnämnden *beslutar* om fördelningen av medel när inkomna ansökningar behandlas. För övriga projektärenden föreslår vi inte någon förändring jämfört med gällande förhållanden, dvs. forskningsnämnden är rådgivande och beslut fattas av SSI.

4. SSI:s generaldirektör är ordförande i forskningsnämnden. Som ersättare fungerar SSI:s forskningschef.

Vi har vägt för- och nackdelar med att å ena sidan ha SSI:s generaldirektör som ordförande för forskningsnämnden, vilket är fallet idag, och å andra sidan ha en ordförande som inte kommer från SSI. Det faktum att vi föreslår att forskningsnämndens majoritet utses på förslag av forskarsamhället ger nämnden ett oberoende från SSI. Av denna anledning finner vi inte anledning att förändra nuvarande förhållande vad gäller nämndens ordförande.

Det råder idag en viss osäkerhet om vem som är ersättare till ordförande. Vi föreslår att SSI:s forskningschef blir ersättare.

5. SSI får rätt att dela ut forskningsanslag.

Idag har institutet inte rätt att dela ut forskningsanslag och forskningen finansieras genom ett beställningsförfarande. Vårt förslag sammanhänger med att forskarsamhället bereds tillfälle att *ansöka* om forskningsmedel (punkt 3). Ansökningstillfället skall annonseras och inkomna ansökningar skall granskas med avseende på vetenskaplig kvalitet. Strålskyddsaspekterna vägs in i bedömningen bl.a. genom att forskningsnämnden och SSI i samråd har möjlighet att i förväg ange prioriterade områden. Det skall också finnas utrymme för ansökningar utanför de områden som för tillfället är prioriterade.

Förslaget innebär att forskningsmedlen fördelas på samma sätt och efter samma principer som vid forskningsråden och Cancer-fonden, dvs. enskilda forskare (eller grupper) ansöker om medel och ansökningarna bedöms i konkurrens med varandra.

3.2.4 Samordning med andra organ som finansierar strålskyddsforskning

Från samhällets sida är det väsentligt att forskningen bedrivs på ett rationellt sätt. Onödigt dubbelarbete bör undvikas också på forskningens område, även om det är betydligt besvärligare att göra sådana avvägningar för forskningen än för många andra områden i samhället. Att olika forskargrupper bearbetar samma problemställning kan också ofta vara till forskningens fördel. Det är emellertid av värde att känna till

att likartade problem bearbetas av flera grupper. Ibland kan det också finnas anledning att påverka ett sådant förhållande. Det finns vidare tillfällen då samma ansökan om forskningsmedel sänds in till flera finansierande organ. Det är då väsentligt med samordning för att undvika dubbel finansiering eller för att förhindra att ansökan "hamnar mellan stolarna".

Med ett befintligt finansieringsmönster av det slag som redovisats i kapitel 5, och med en relativt liten andel rådsfinansierad forskning, är en samordning särskilt aktuell mellan berörda sektorsorgan.

Med tanke på den tvärvetenskapliga karaktären på strålskyddsforskningen bedömer vi det inte meningsfullt att skapa någon grupp som kan hantera hela området. Vi tror snarare att det handlar om samordning mellan sådana finansierande organ som kan tänkas stödja likartad forskning. Tidpunkten för en sådan samordning förläggs naturligt i anslutning till den gemensamma tidpunkten för ansökan.

På kärnenergiområdet sker för närvarande en samordning mellan SKI och SSI.

Idag förekommer kontakter mycket sällan mellan SSI och forskningsråden i frågor som gäller ansökningar. Vi förutser ett ökande men inte något stort behov av samordning mellan SSI och forskningsråden.

Vår bedömning är att en samordning med andra finansiärer kan administreras genom SSI:s forskningssekretariat. Samordning kan innebära att formulera mål och FoU-program, att utvärdera och förmedla resultat samt att samordna stöd.

3.3 Sammanfattande kommentarer

Vårt förslag om ansvaret för strålskyddsforskningen är i linje med de tankar som framförs i forskningspropositionen (1992/93:170) om att en uppdelning där exempelvis forskningsråden finansierar enbart grundforskning och där sektorsorganen ger stöd åt enbart tillämpad forskning är felaktig. En mer ändamålsenlig uppdelning av forskning är i stället inomvetenskapligt genererad forskning å ena sidan och forskning motiverad av en sektors intressen å andra sidan. Båda dessa forskningsslag kan innehålla såväl grundforskning som tillämpad forskning.

Det system som vi föreslagit innebär att SSI också kommer att svara för stödet till den riktat grundläggande strålskyddsforskningen, utöver en fortsatt finansiering av tillämpad strålskyddsforskning. Det gemensamma kravet är i båda fallen att det skall vara forskning med god kvalitet.

Vår bedömning, efter diskussioner med SSI, är att SSI även i fortsättningen kommer att ha ett stort behov av att mer löpande kunna utnyttja forskning som ett medel dels för att lösa frågeställningar som uppkommer i det dagliga tillsynsarbetet på strålskyddsområdet, dels för forskning som inte passar in i eller kan vänta på den föreslagna årliga fördelningen. Denna forskning är vanligen tillämpad eller mycket tillämpad. Kriterierna för bedömning och stöd till denna forskning kan vara delvis andra än de kriterier som ligger till grund för bedömning av ansökningarna. Strålskyddsrelevansen vägs in i stor utsträckning.

Det är därför viktigt att en väsentlig del av de forskningsmedel som SSI förfogar över idag också framöver kan användas för myndighetens direkta behov av forskningsinsatser, dvs. för uppdragsforskning. Men en del av dessa medel bör, tillsammans med de nya medel som vi föreslår i kapitel 4, vara tillgängliga för fördelning vid ansökningstillfället. Vi har inte gjort någon bedömning av hur stor denna del bör vara och den kan också variera i tiden. Beslut om medlens storlek bör tas från år av SSI i samråd med forskningsnämnden.

Vi anser att det är en väsentlig fördel att det är samma forskningsnämnd som fattar beslut vid ansökningstillfället som är rådgivande till SSI vid bedömning av övriga forskningsärenden. Det är också värdefullt att ha samma ordförande vid nämndens olika möten. Sammantaget garanterar detta en kontinuitet och harmonisering i bedömningarna av strålskyddsforskningen både från vetenskaplig och strålskyddsmässig synpunkt. Det är också en fördel att kunna utnyttja en redan existerande forskningsadministration.

Vår bedömning är att förslaget att ge SSI samordnat ansvar för strålskyddsforskningen, i kombination med andra åtgärder exempelvis regelbundna utvärderingar (kap 2), kan förväntas bidra till

- att en kvalitativt god och internationellt konkurrenskraftig strålskyddsforskning bedrivs i landet
- att forskningen på strålskyddsområdet effektiviseras

- en förstärkning av den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet, vilket är viktigt med kännedom om alla de strålningsfrågor som är aktuella i dagens samhälle (radon, ny teknik inom sjukvård, solstrålning, kärnkraft, elektromagnetiska fält) och som kan komma att bli aktuella i framtiden
- en långsiktig kompetensutveckling
- att forskningen på strålskyddsområdet konkurrensutsätts genom ett ansökningsförfarande.

4 Kostnader och finansiering

Sammanfattning: Vi har beräknat kostnaden för våra förslag om stöd till forskningsprojekt och tjänster inom den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet till 7,5 mkr årligen. Tjänsterna avser i första hand mellantjänster som högskolelektor och forskarasistent.

Då vårt förslag är att SSI får ansvar också för den riktade grundforskningen bör medlen tillföras SSI, varefter fördelningen sker på grundval av inkomna ansökningar och beslutas av SSI:s forskningsnämnd.

För att finansiera den föreslagna kostnaden har vi identifierat två möjligheter:

- omfördelningar inom miljö- och naturresursdepartementet
- finansiering genom avgifter.

Vi har också diskuterat strålskyddsforskningens möjligheter att få del av medel från de strategiska stiftelserna.

I avvaktan på nästa forskningsproposition synes en omfördelning av medel inom miljö- och naturresursdepartementet vara den för närvarande mest framkomliga vägen.

4.1 Behov av förstärkning och långsiktighet i medelstildelningen

Vår översikt av svensk strålskyddsforskning (kapitlen 5 och 6) har visat att denna forskning bedrivs i mycket varierande omfattning vid ett femtiotal institutioner och att den ofta bekostas av externa finansiärer. Vid många institutioner bedrivs strålskyddsforskningen dessutom utan några fakultetsanslag och forskningen kan utföras enbart under förutsättning att den kan erhålla medel utifrån. Detta betyder att denna

forskning är mycket känslig även för tillfälliga nedskärningar i de externa bidragen. Det är olyckligt om en allt för stor del av forskningen är beroende av externa anslag. Om detta sedan kombineras med att anslagen är kortsiktiga, ofta mindre än ett år, med åtföljande osäkerhet om fortsatta medel så är risken stor att berörda forskare förr eller senare övergår till annan verksamhet. Detta kan få till följd att forskningsområdet utarmas och på sikt avvecklas.

Det finns en kärna av universitetsinstitutioner (grupp 1 i kapitel 5), som bedriver forskning av betydelse för strålskyddsområdet och som har en institutionsbas att stå på. Dessa institutioner täcker flera av de viktiga forskningsområdena, men långt från alla. Exempelvis är forskning som rör den icke-joniserande strålningen dåligt företrädd. Även dessa institutioner har betydande behov av extern finansiering för sin strålskyddsforskning. Vi har inhämtat kompletterande uppgifter från dessa institutioner om konsekvensen för strålskyddsforskningen av att alla externa bidrag skulle upphöra. Svaren visar att för detta hypotetiska fall skulle strålskyddsforskningen i grupp 1 i medeltal minska med ca 80% (mellan 25% och 100% för de enskilda institutionerna). Vår bedömning är att minskningen för institutionerna i grupp 2 i motsvarande situation skulle bli ännu större.

Idag är det framförallt den *tillämpade* forskningen på strålskyddsområdet som har en viss långsiktighet i medelsförsörjningen genom uppdrag från SSI och några andra organ bl.a. AMFO som bekostar forskning av betydelse för strålskyddet. SSI är det enda organ som har skyldighet att bedriva strålskyddsforskning.

Andelen grundforskning har stadigt minskat sedan slutet av 1970-talet. Från början hörde detta samman med nedläggningen av Atomforskningsrådet (AFR) och på senare tid har trenden förstärkts genom att ett antal professurer i strålningsbiologi ersatts med tjänster i andra ämnen (*bilaga 5*). En ny professur har också tillkommit, i radiofysik i Lund från den 1 juli 1993, genom extern finansiering av sjukvårdshuvudmannen.

En jämförelse med annan forskning inom samma fakulteter visar att strålskyddsforskningen har ett mindre stöd från forskningsråden vilka är de organ som traditionellt ger stöd till grundforskning (kapitlen 2 och 5). Samtidigt som det skett en minskning av medlen till grundforskning har den tillämpade strålskyddsforskningen aktiverats och samordnats i och med att SSI fick ansvar för denna forskning 1976.

För att kunna bedriva forskning med bra kvalitet behövs en långsiktighet i finansieringen som ger möjlighet till kompetensuppbyggnad. Den mest tillämplade och resultatriktade forskningen kan klara sig med kortsiktiga forskningsuppdrag under en tid. På sikt blir dock även den lidande av att inte ha stöd i en basverksamhet som även omfattar utbildning på grund- och forskarnivå, samt mer långsiktigt syftande forskning.

Vi har i kapitel 2 föreslagit ett antal områden inom den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet som enligt vår mening bör prioriteras under de närmaste åren. Vi bedömer att kostnaderna för detta endast till en mindre del kan inrymmas inom ramarna för existerande finansierare. Då förutsätter vi också att en viss del av SSI:s nuvarande medel för tillämplad strålskyddsforskning kan omfördelas och användas inom det föreslagna programmet. En förutsättning är också att övriga stora finansierare av forskning av betydelse för strålskyddsområdet inte ändrar inriktning på sin forskning bort från strålskyddsområdet. Med dessa förutsättningar uppfyllda behövs enligt vår uppfattning fortfarande ett tillskott av medel för att klara den föreslagna forskningssatsningen.

För att genomföra det föreslagna programmet inom riktad grundforskning på strålskyddsområdet behövs en mer långsiktig finansiering av denna forskning i förening med en aktiv grund- och forskarutbildning inom de ämnesområden som är basala för strålskyddsforskningen. Det krävs också ett tillskott av medel.

4.2 Avvägning mellan fakultetsanslag och externa anslag

Ökade statliga resurser för ett ämnesområde inom universitet- och högskolor kan läggas antingen som fakultetsanslag eller kanaliseras via forskningsråd eller sektorsorgan. Fakultetsmedlen utnyttjas till en stor del för att finansiera tjänster. De har till syfte att bl.a. bygga upp den infrastruktur som är av betydelse för kontinuitet och kunskapssökande. Fakultetsmedlen fördelas och prioriteras inom högskolan. Detta innebär bl.a. att professorer tillsätts på universitetsnivå och att det inte görs någon behovsprövning ur nationell synpunkt, vilket kan ha den effekten att ett universitetsämne försvinner trots att detta kanske inte är

önskvärt sett i ett vidare perspektiv. En sådan utveckling har skett för strålningsbiologin i Sverige (se kap. 2.7.1 och *bilaga 5*). För de två sista professurerna gäller att tjänsten i Stockholm nyligen omvandlats till molekylär genomforskning och att tjänsten i Uppsala är under omprövning.

Det visade sig vara förenat med betydande svårigheter att få relevanta uppgifter om fakultetsanslagen för de universitets- och högskoleinstitutioner som lämnat svar på vår enkät. Enligt en schablonuppskattning (kap. 5) för institutionerna i grupp 1, baserad på antalet heltidsekvivalenta fakultetsfinansierade tjänster på strålskyddsområdet, uppgår de sammanlagda fakultetsanslagen som kan hänföras direkt till strålskyddsforskning till ca 7,5 mkr per år. Detta skall jämföras med de externa bidrag som direkt kan hänföras till strålskyddsforskning och vilka enligt vår uppskattning uppgår till 16 mkr för samma grupp. En jämförelse med den genomsnittliga situationen för institutioner vid medicinska, naturvetenskapliga och tekniska fakulteter tyder på att andelen fakultetsanslag är mindre för institutionerna (grupp 1) med strålskyddsforskning (47%) än för de övriga institutionerna (91%).

För de institutioner som i vår kartläggning finns i grupp 2 (kap. 5) är det svårt att även med kända uppgifter om de totala fakultetsanslagen avgöra hur stora andelar av dessa som kan sägas vara direkt relaterade till strålskyddsforskning och vi har inte gjort något försök att uppskatta dessa anslag.

Enligt vår mening vore det bästa alternativet om de tjänster med forskningsverksamhet inom strålskyddsområdet vi föreslår kunde bekostas av fakultetsmedel via statsbudgeten. Detta skulle också öka andelen fakultetsmedel till strålskyddsforskningen och bidra till långsiktigheten. I och med att universiteten lokalt fattar beslut om nya tjänster och tjänsternas ämnestillhörighet finner vi dock att denna möjlighet är mindre realistisk att få genomförd. Det skulle kräva en öronmärkning av de medel som universiteten erhåller.

Vi menar att det är viktigt att strålskyddsforskningen ses ur hela landets perspektiv. Det betyder att ökade resurser bör fördelas av nationella organ. Vi har föreslagit (kap. 3) att utöka SSI:s ansvar till att också omfatta den riktade grundforskningen på strålskyddsområdet.

Vi föreslår att utökade resurser på strålskyddsforskningens område administreras via SSI och fördelas av dess forskningsnämnd i fri konkurrens mellan sökande efter annonsering.

4.3 Beräkning av förslagets kostnader - finansiering

Kostnader för vårt förslag

De förslag vi redovisat för stöd till riktat grundläggande strålskyddsforskning bör enligt vår bedömning satsas på projektmedel och tjänster. Vi beräknar kostnaden till 7,5 mkr per år att fördelas enligt följande:

forskningsanslag, projekt	4 mkr
5 forskarass, högskolektor - tjänster	2
medel för utbytestjänster	1,5

Som framförts ovan baseras vår bedömning av resursbehovet på förutsättningen att SSI:s nuvarande forskningsbudget bibehålles och delvis kan utnyttjas för stöd till mer grundläggande forskning, och att övriga finansiärer finns kvar i ungefär oförändrad omfattning.

Vi föreslår att projektmedlen fördelas efter ansökan och vetenskaplig bedömning och att en del av medlen fördelas inom i förväg prioriterade områden. Anslagen bör vara fleråriga. Tjänsterna utlyses med ämnesbeskrivningar inom de prioriterade områdena. Utbytestjänsterna används för att stimulera nyexaminerade doktorer att vistas vid andra institutioner inom eller utom landet, och för att bekosta vistelsen i Sverige av framstående gästforskare från andra länder.

Finansiering

Vi har identifierat några olika sätt att finansiera de föreslagna insatserna. Dessa är för den närmaste tidsperioden:

1. Genom omfördelningar inom miljö- och naturresursdepartementets budget.
2. Genom att tillämpa avgiftsfinansiering som innebär att en verksamhet som orsakar negativa konsekvenser också bör bekosta den FoU som behövs för att minska eller undanröja dessa konsekvenser. Detta utnyttjas redan inom flera områden. Det vore i första hand rimligt att tillföra denna typ av medel till den tillämpade forskningen. På så sätt skulle medel som idag användes för tillämpad forsk-

ning bli tillgängliga för grundläggande forskning inom strålskyddsområdet.

3. De nya strategiska stiftelserna. Våra diskussioner med företrädare för stiftelserna tyder på att det inte finns någon möjlighet att i samlad form överföra medel till strålskyddsforskning. Däremot är det möjligt för enskilda forskare eller forskargrupper att delta i ansökningar till stiftelserna.
4. Samverkan mellan universitet och industri, exempelvis delade kostnader för vissa FoU-program och tjänster.

Svårigheten med alternativ 2 är att identifiera och tydligt avgränsa den grupp som skall avgiftsbeläggas och att oönskade effekter kan uppstå vid ändringar av avgiftsunderlaget. Alternativen 3 och 4 är viktiga i forskningens totala finansieringsbild men inte en möjlighet för att utöka resurserna för nationell fördelning av forskningsmedel. Samverkan med mellan industri och universitet har hittills varit liten på strålskyddsforskningens område.

Vår bedömning är att alternativet 1 är mest framkomligt på kort sikt i avvaktan på att frågan om finansieringen av strålskyddsforskningen kan lösas i nästa forskningsproposition våren 1997. Alternativet 1 ser vi alltså som en temporär lösning i avvaktan på en mer långsiktig lösning.

Kartläggning

5 Forskningsorganisationen

Sammanfattning: De institutioner som idag bedriver strålskyddsforskning har delats in i tre grupper. Vid nio universitetsinstitutioner i Sverige utgör strålskyddsforskningen en väsentlig del av forskningsverksamheten (grupp 1). Vi har särskilt beskrivit situationen för dessa institutioner vad avser personal, forskarrekytering och ekonomi. Övriga universitets- och högskoleinstitutioner, vilka också svarar för en betydande del av den totala strålskyddsforskningen, är beskrivna i grupp 2. Grupp 3 utgöres av fem forskningsinstitut och myndigheter med forskningsuppgifter.

Vi redogör kort för de forskningsråd (FRN, MFR, NFR, SJFR, TFR), sektorsorgan (AMFO, BFR, NUTEK, SKI, SSI) samt Cancerfonden och SKB som i varierande omfattning finansierar strålskyddsforskning.

Följande strecksatser sammanfattar några slutsatser:

- strålskyddsforskning bedrivs i Sverige vid ett 50-tal institutioner
- nio universitetsinstitutioner är centrala för området, många flera är viktiga
- SSI är det enda nationella organ vilket enligt sina direktiv skall bedriva strålskyddsforskning; SSI har också en forskningsfinansierande uppgift
- de sammanlagda externa forskningsbidragen uppgick budgetåret 1992/93 till ca 40 mkr, varav forskningsråden bidrog med 7%, sektorsorganen med 40%; de sammanlagda statliga bidragen (inkl. EU) var ca 60% av de totala externa medlen
- den största enskilda finansiären av strålskyddsforskning var SSI med 25% av de totala anslagen
- de externa medlen är för flera institutioner en förutsättning för att kunna bedriva strålskyddsforskning
- forskarrekytering och avlagda examina står i proportion till övriga satsningar på området
- det råder brist på s.k. post-doc tjänster.

I detta kapitel beskriver vi situationen för strålskyddsforskningen med hjälp av information från berörda forskare och institutioner. Sammanställningen baseras på den enkät om strålskyddsforskning som beskrivits tidigare (se kap. 1.3 och *bilaga 2*). När det gäller ekonomiska frågor kompletteras enkätsvaren med uppgifter från de viktigaste forskningsfinansierande organen. Vi har valt att strukturera materialet i tre huvudgrupper. Universitets- och högskoleinstitutioner, vilka utgör flertalet av de svarande, har delats in i två grupper. Till grupp 1 hör de institutioner vars forskningsverksamhet till väsentlig del är strålskyddsforskning. Övriga institutioner har samlats i grupp 2. I denna grupp bedrivs en stor del av den totala strålskyddsforskningen i landet. Grupp 1 och 2 redovisas i kapitel 5.1.

I grupp 3 har vi redovisat uppgifter rörande forskningsinstitut och forskningsutförande myndigheter. Denna grupp beskrivs i kapitel 5.2.

5.1 Universitets- och högskoleinstitutioner

5.1.1 Institutioner med större andel strålskyddsforskning

De institutioner som till väsentlig del bedriver strålskyddsforskning framgår av tabell 5.1. I gruppen ingår institutionen för kärnkemi i Göteborg, institutionen för radioekologi i Uppsala, landets fem institutioner för radiofysik (radiofysik i Stockholm har nyligen bytt namn till medicinsk strålningsfysik) samt institutionen för strålningsbiologi i Stockholm.

Strålskyddsforskning är ett viktigt forskningsområde för dessa institutioner och de har i flera fall en lång tradition inom strålskyddsområdet. Ett annat gemensamt drag är att forskning bedrivs inom flera av strålskyddets delområden. Detta framgår i korthet av tabellens kolumn om respektive institutions huvudsakliga forskningsinriktning. Mer utförligt redovisas pågående forskning i kapitel 6.

Tabell 5.1 Institutioner med större andel strålskyddsforskning ordnade från norr till söder. (Numreringen används i kapitel 6)

Nr	Institution/avd/enhet mm (högskola)	Forskningens huvudsakliga inriktning
1	radiofysik, Umeå (UmU)	dosimetri (strålbehandling, nuklearmedicin), omgivningsradiologi
2	radioekologi, Uppsala (SLU)	radioekologi (jordbruk, skog), strålningsbiologi (joniserande och icke-joniserande)
3	medicinsk strålningsfysik, Stockholm (KI)	optimering av strålbehandling, medicinsk radiologi, strålningsbiologi, epidemiologi
4	strålningsbiologi, Stockholm (SU)	strålningsbiologi, riskjämförelse strålningskemikalier
5	radiofysik, Linköping (LiU)	dosimetri (röntgendiagnostik), optimering av röntgendiagnostik (inkl tandröntgen)
6	kärnkemi, Göteborg (CTH)	radionuklidkemi (särskilt transuraner), högaktivt avfall, reaktorkemi
7	radiofysik, Göteborg (GU)	medicinsk radiologi, dosimetri (strålbehandling), omgivningsradiologi
8	radiofysik, Lund (LU)	omgivningsradiologi (särskilt transuraner, radon, Östersjön, mätteknik), medicinsk radiologi (nuklearmedicin), elektromagnetiska fält
9	radiofysik, Malmö (LU)	medicinsk radiologi (patient- och personalstråldoser), omgivningsradiologi (särskilt doser till befolkning, mätteknik)

CTH - Chalmers tekniska högskola, GU - Göteborgs universitet, KI - Karolinska institutet, LiU - Linköpings universitet, LU - Lunds universitet, SLU - Sveriges lantbruksuniversitet, UmU - Umeå universitet

Institutionerna för radiofysik

Ämnesområdet radiofysik omfattar såväl den joniserande som den icke-joniserande strålningen. Centrala områden i ämnet är strålningens växelverkan med materia, dosimetri, mätteknik och strålskydd. Ur den

ursprungliga radiofysiska institutionen i Stockholm, som grundades 1941, har SSI utvecklats (1965). Institutionerna i Lund och Göteborg tillkom 1947 respektive 1954, Umeå 1961, Linköping 1970 och Malmö 1988. Fortfarande saknas en motsvarande institution i Uppsala. Gemensamt för radiofysikinstitutionerna, som normalt är knutna till såväl de medicinska som naturvetenskapliga fakulteterna, är att de alla är placerade på ett sjukhus. Deras kontakt med klinisk verksamhet ger stadga åt verksamheten även om institutionerna är små. Särskild vikt läggs vid utvecklingen av metodik för strålningsdiagnostik (röntgen, nuklearmedicin, magnetröntgen etc.) samt strålbehandling och därtill hörande dosimetri och mätteknik. Trots vissa skillnader i forskningsinriktning har majoriteten av institutionerna aktiva forskningsprojekt inom strålskyddsområdet (dosimetri, omgivningsradiologi, radon, elektromagnetiska fält, UV-ljus, patientstråldoser och optimering av undersökningar inom vid röntgen och nuklearmedicin m.m.). De radiofysiska institutionerna ger också regelbundet kurser på grund- och forskarutbildningsnivå som är av hög relevans för strålskyddsområdet.

Strålningsbiologiska institutionen

Inom strålningsbiologin studeras joniserande och icke-joniserande strålnings effekter på olika biologiska nivåer: arvsmassa, celler, vävnader, organ, organismer och populationer. Forskningen syftar bl.a. till att ge kunskap om de förändringar som sker i det bestrålade materialet och frågeställningar hämtas från medicin och naturvetenskap. Strålningsbiologiska institutionen vid Stockholms universitet inrättades 1962. Forskningen har under senare år omfattat dels framtagande av metoder för att bestämma och jämföra risker från strålning och cancerframkallande kemikalier, dels studier av skador på DNA-nivå och hur dessa skador repareras. Beslut har nyligen (februari 1994) tagits att omvandla professuren i strålningsbiologi vid Stockholms universitet till molekylär genomforskning.

En mer utförlig redovisning av strålningsbiologin i Sverige ur ett historiskt perspektiv finns i *bilaga 5*.

Institutionen för radioekologi

Inom radioekologin behandlas radioaktiva ämnens spridning och omfördelning i naturen samt deras upptag i växter, djur och människa samt den strålningspåverkan de åstadkommer. Den radioekologiska forskningen har sitt ursprung i studier av det radioaktiva nedfallet efter de atmosfäriska kärnvapenproven. I Uppsala anlades i slutet av 1950-talet en särskild fältstation för långtidsförsök rörande jordbruksekosystemet, av vilka några fortfarande pågår. Verksamheten växte under 1960-talet. Landets enda institutionen för radioekologi inrättades vid dåvarande Lantbrukshögskolan år 1966. Verksamheten fram till Tjernobylylockan var framförallt inriktad mot jordbruksekosystemet. Efter 1986 har forskningen inom institutionen breddats till att även omfatta skogens radioekologi. Efter 1983 har också viss strålningsbiologisk forskning bedrivits vid institutionen. Denna omfattar numera både joniserande strålning och magnetfält.

Institutionen för kärnkemi

Kärnkemin omfattar allmänt de områden där atomkärnans egenskaper (massa, sönderfallssätt, utsänd strålning etc.) nyttjas i kemiska problemställningar, t.ex. strålningens inverkan på materia, de radioaktiva grundämnenas kemi, isotopieffekter och isotopseparation, eller där kemiska metoder är av betydelse för beskrivning och tolkning av atomkärnans egenskaper. Kärnkemin är starkt förankrad i både ämnena kärnfysik och kemi. Den spelar en central roll inom kärnkraftteknologin (t.ex. kärnbränslecykeln: bränsleframställning, upparbetning, avfallsfrågor) och har tillämpningar inom vitt skilda vetenskapsområden såsom geologi, biologi/ekologi, medicin etc. Institutionen i Göteborg har haft en inriktning mot kärnbränslecykelns kemi (speciellt transurannernas kemi) och mot studier av kortlivade radioisotoper, men har för närvarande en huvudinriktning mot kärnavfallsfrågor och radionuklidkemi i natursystem.

Det finns också en institution för kärnkemi vid Tekniska högskolan (KTH) i Stockholm.

5.1.2 Institutioner med mindre andel strålskyddsforskning

Under denna rubrik har vi samlat övriga universitets- och högskoleinstitutioner som besvarat enkäten och som bedriver forskning av betydelse för strålskyddsområdet. Flera av de medicinska institutionerna samordnar liksom radiofysikinstitutionerna sin verksamhet med motsvarande kliniska avdelning (den kliniska forskningen vid sjukhusavdelningar bokföres i tillämpliga fall under universitetsinstitutionen).

Tabell 5.2 Institutioner med mindre andel strålskyddsforskning. Institutionerna är ordnade efter forskningens huvudinriktning. (Numreringen används i kap. 6)

Nr	Institution/avd/enhet mm (högskola)	Forskningens huvudsakliga inriktning
10	experimentell onkologi, Stockholm (KI)	strålningsbiologi
11	CNT/Novum, Stockholm (KI)	strålningsbiologi, UV
12	strålningsvetenskap, Uppsala (UU)	strålningsbiologi (spec. hög-LET)
13	ekologi och miljövard, Uppsala (SLU)	radioekologi (skog)
14	kärnfysik, Lund (LU, LTH)	radioekologi, radon
15	fysiologisk botanik, Lund (LU)	UV-strålning, effekt på växter och djur
16	geovetenskap, Uppsala (UU)	radioekologi (insjöar, modeller)
17	husdjurens utfodring och vård, Alnarp (SLU)	radioekologi (husdjur)
18	klinisk kemi, Uppsala (SLU)	radioekologi (terrest)
19	limnologi, Uppsala (UU)	radioekologi (insjöar)
20	meteorologi, Stockholm (SU)	atmosfäriska spridningsmodeller
21	naturgeografi, Umeå (UmU)	radioekologi (insjöar)
22	skoglig zooekologi, Umeå (SLU)	radioekologi (skoglig)
23	växtbiologi, Uppsala (UU)	radioekologi (betesväxter för ren)
24	diagnostisk radiologi, Stockholm (KI)	epidemiologi (röntgen)
25	miljömedicin (IMM), Stockholm (KI)	epidemiologi (el magn fält, radon), inhalation av partiklar
26	onkologi, Göteborg (GU)	epidemiologi (hemangiom)
27	onkologi, Stockholm (KI)	epidemiologi (jod, hemangiom, katarakt) strålningsbiologi (individuell känslighet, UV)
28	onkologi, Umeå (UmU)	epidemiologi (radon, röntgen)
29	dermatologi, Stockholm (KI)	UV, bildskärmar
30	mikrovågsteknik, Göteborg (CTH)	elektromagn fält (biol effekter, åtgärder)
31	tillämpad cell- och molekylärbiologi, Umeå (UmU)	elektromagn fält (grundläggande mekanismer)
32	diagnostisk radiologi, Huddinge (KI)	röntgendiagnostik (stråldoser)
33	diagnostisk radiologi, Malmö (LU)	röntgendiagnostik (barnstråldoser)

fortsättning tabell 5.2

34	klinisk radiologi, Uppsala (SLU)	röntgendiagnostik o ultraljud på djur
35	odont röntgendiagnostik, Malmö (LU)	tandrontgen
36	onkologi, Malmö (LU)	jodbehandling-stråldoser
37	röntgenavd, Göteborg (Barnklinikerna, Östra sjukhuset)	röntgendiagnostik (barnstråldoser)
38	sjukhusfysik, Uppsala (Akademiska sjukhuset)	röntgendiagnostik
39	sjukhusfysik, Växjö (Lasarettet)	röntgendiagnostik (stråldoser)
40	Centrum för riskforskning, Stockholm (Handelshögskolan)	risk (särskilt riskuppfattning)
41	Centrum för vetenskapsstudier, Göteborg (GU)	samhällsvetenskap/radioaktivt avfall
42	allmän och marin mikrobiologi, Göteborg (GU)	radioaktivt avfall, mikrobiella processer
43	tema vatten i natur och samhälle, Linköping (LiU)	radioaktivt avfall, radionuklidkemi
44	arbetsmiljöteknik, Lund (LU, LTH)	radon
45	yrkes- och miljömedicin, Lund (LU)	radon
46	yrkes- och miljömedicinska kliniken, Örebro (Regionsjukhuset)	radon (vatten)

IMM - Institutet för miljömedicin, UU - Uppsala universitet

I tabell 5.2 har institutionerna indelats i grupper efter *huvudsaklig* forskningsinriktning 1992/93 enligt enkätsvaren. (I några fall har vi fått flera svar från samma institution. Då har svaren samordnats i en grupp.)

Vi bedömer att det finns ytterligare några institutioner utöver de i tabell 5.2 angivna där likartad eller närbesläktad forskning bedrivs och som inte fångats upp i vår kartläggning. Detta kan särskilt gälla institutioner inom det medicinska området och inom fysikområdet.

Det finns i tabellen exempel på forskningsfält som vi bara exemplifierat med en enda institution. Detta gäller exempelvis UV-strålningens påverkan på växter m.m. och institutionen för fysiologisk botanik i Lund. Orsaken till att vi inte gjort en fullständig kartläggning av den typ av forskning som bedrivs där är att den bara marginellt kan räknas som strålskyddsforskning, och att den därför i första hand bör hänföras till allmän miljöforskning. Också beträffande kärnavfalls- och kärnenergiområdet kunde kartläggningen ha gjorts mer omfattande. En stor del av detta områdes FoU finansieras av det industriägda företaget Svensk kärnbränslehantering (SKB). SKB:s FoU-program genomgår en omfattande granskning vart tredje år, då också denna forsknings omfattning och inriktning utvärderas. Vi tror emellertid att det faktum

att kartläggningen inte är heltäckande på nämnda områden inte påverkar de slutsatser beträffande strålskyddsforskningen som vi drar i detta betänkande.

Omfattningen av strålskyddsforskningen varierar kraftigt mellan och inom institutionerna i grupp 2. Flera av institutionerna bedriver för strålskyddsområdet viktig forskningsverksamhet. Exempel på detta är de epidemiologiska studier av strålningsrisker som bedrivs vid Institutet för miljömedicin (KI) och vid institutionen för onkologi (KI) vid Radiumhemmet. Andra exempel är forskningen rörande elektromagnetiska fält som genomförs vid institutionen för mikrovågsteknik (CTH) i Göteborg och vid institutionen för tillämpad cell- och molekylärbioologi (UmU) i Umeå. Några av institutionerna har tillgång till unik utrustning och kompetens, exempelvis institutionen för strålningsvetenskap i Uppsala med nära tillgång till partikelaccelerator för produktion av väldefinierad tätjoniserande strålning.

De forskare som nu är etablerade vid Centrum för riskforskning vid Handelshögskolan i Stockholm har under det senaste årtiondet genomfört ett flertal studier som syftar till att kartlägga människors uppfattning om skilda risker i samhället och då också riskuppfattning vad gäller exempelvis radon, kärnkraft och solstrålning.

Några av institutionerna i grupp 2 har lång tradition inom strålskyddsområdet. Dit hör institutionen för klinisk kemi vid SLU i Uppsala som tidigare haft en viktig roll inom området (närmast tillhört grupp 1), men där verksamheten på strålskyddsområdet idag är mycket liten. Dit hör också institutionen för experimentell onkologi (tidigare institutionen för medicinsk radiobiologi) vid KI. Andra institutioner saknar denna tradition. Inom radioekologiområdet har efter Tjernobylolyckan 1986 tillkommit grupper från institutioner som tidigare inte bedrivit radioekologisk forskning. Institutionen för naturgeografi i Umeå, institutionen för skoglig zooekologi i Umeå och institutionen för geovetenskap i Uppsala är sådana institutioner. Institutionen för kärnfysik i Lund har i ökande utsträckning engagerat sig i strålskydds-inriktade projekt.

Basen för strålskyddsforskning saknas i stor utsträckning för institutionerna i grupp 2. Ofta är forskningen avhängig en enda forskares personliga intresse. Utan externa medel skulle strålskyddsforskningen snart minska i omfattning. Samtidigt är det intressant att notera att det finns ett ganska väl utbyggt samarbete mellan forskargrupper vid olika institutioner i Sverige (och med utländska forskare). Även om grup-

perna är små är de således inte några isolerade öar i forskarvärlden. Några av institutionerna är också beroende av ett samarbete på materialsidan då de saknar egen utrustning för strålningsmätning. Något om detta för forskningens resultat viktiga samarbete redogör vi för i kapitel 5.4.

I grupp 2 ingår några institutioner som bedriver strålningsbiologisk forskning. I kapitel 2.7.1 ger vi en särskild redogörelse för strålningsbiologins utveckling i Sverige. Oron för strålningsbiologins framtid är en orsak till denna utrednings tillkomst.

5.1.3 Personal m.m.

Institutioner med större andel strålskyddsforskning

Forskningen vid en institution är beroende av flera faktorer. Antalet fast anställda forskare är en sådan faktor av betydelse för långsiktigheten i forskningen. I praktiken utförs en stor andel av forskningen av projektanställd eller på annat sätt tidsbegränsat anställd personal. Forskarstuderande på doktorandtjänster eller med annan tidsbegränsad finansiering är ett viktigt exempel på det senare.

Vid samtliga institutioner i grupp 1 finns en professur (efter 1 juli 1993 finns två professorer vid institutionen för radiofysik i Lund). Dessutom finns sammanlagt ca 19 tjänster som universitetslektor/forskarassistent fördelade med mellan en och tre tjänster per institution med undantag för institutionerna för radiofysik i Malmö och Umeå som saknar sådana tjänster. I anslutning till de radiofysiska institutionerna finns också ett antal disputerade personer som är anställda som sjukhusfysiker vid respektive sjukhus. Totalt rör detta sig om ett tjugotal personer utöver de som anges ovan. Denna personal, som bara marginellt bedriver strålskyddsforskning, är en viktig basresurs för frågeställningar och forskningsprojekt som är relaterade i första hand till strålskyddsforskning inom sjuk- och hälsovård. Till detta kommer doktorandtjänsterna vilka behandlas närmare i kapitel 5.1.4. Antalet anställda med tekniskt/administrativa uppgifter varierar mellan noll och fem vid institutionerna i denna grupp.

Institutionerna har en omfattande utrustning till sitt förfogande för forskningsarbete. Radiofysikinstitutionerna har dessutom tillgång till sjukvårdshuvudmannens tunga utrustning (strålkällor, detektorer

m.m.). Hur det hittills fruktbara samarbetet skall kunna lösas inom den nya köp- och säljorganisationen inom sjukvården är dock ännu oklart.

Våra diskussioner med företrädare för dessa institutioner har bekräftat att begränsningarna i första hand ligger på personalsidan och inte på utrustningssidan. Det är också erfarenhetsmässigt enklare att erhålla extra medel för utrustning än för personal. Anslag för tung utrustning utgör dock generellt ett undantag.

Institutioner med mindre andel strålskyddsforskning

Det är betydligt svårare att få en enhetlig och rättvisande bild av de personalresurser som kan relateras till strålskyddsforskning vid institutionerna i grupp 2. Variationen mellan de sinsemellan mycket olika institutionerna är också stor. Från insända projektbeskrivningar framgår hur många personer som under budgetåret 1992/93 deltog i strålskyddsforskning. Vid några institutioner finns alla kategorier av forskare representerade (professor, disputerad forskare, doktorander) i denna forskning medan det vid andra är uteslutande doktorander. Från enkätsvaren framgår att ett tjugotal professorer och ett fyrtiotal lektorer/forskare till någon del bedriver strålskyddsforskning, men dessa siffror är *osäkra*. Förhållandena skiljer mellan de olika institutionerna och uppgifterna skall reduceras i proportion till hur stor del av dessa personers forskning som kan anses vara relaterad till strålskyddsforskning. Vi har dock inte någon enkel metod för detta. Vi uppskattar grovt att viktningsfaktorn i snitt torde ligga runt 1/5 eller troligen mindre.

5.1.4 Forskarrekrytering

Forskarstuderande

Betydelsen för Sverige av att rekrytera forskare och att examinera doktorer framhålls bl.a. i forskningspropositionen (1992/93:170) "Forskning för kunskap och framsteg". Totalt för samtliga fakulteter i Sverige har antalet nyantagna doktorander under senare år varit om-

kring 2400 per år, medan det för närvarande examineras ca 1100 doktorer per år, dvs. i genomsnitt disputerar 50% av doktoranderna.

I tabell 5.3 har vi för grupp 1 institutionsvis sammanställt uppgifter om forskarstuderande inom strålskyddsområdet och dessutom sammanfattat inkomna uppgifter från grupp 2. I tabellen anges hur många doktorander som totalt fanns vid institutionerna under budgetåret 1992/93 och hur många av dessa som enligt vår bedömning bedriver strålskyddsforskning. Denna bedömning baseras på de avhandlingsteman som angivits i enkätsvaren.

Tabell 5.3 Totala antalet forskarstuderande, antalet av dessa som bedriver strålskyddsforskning och motsvarande omräknat till heltidspersoner, samt antalet heltids doktorandtjänster för strålskyddsforskning uppdelat på fakultets- respektive externfinansiering.

Nr	Institution/avd/enhet	Antal forskarstuderande			Tjänster	
		totalt	varav strålskydd	varav heltidpers	fak	ext
1	radiofysik, Umeå	3	1	1	0	0
2	radioekologi, Uppsala	5	5	5	2	2
3	med strålningsfysik, Stockholm	18	8	5	0,7	1,5
4	strålningsbiologi, Stockholm	6	4	3	1,5	1
5	radiofysik, Linköping	4	3	1	0,7	1
6	kärnkemi, Göteborg	5	5	5	-	5
7	radiofysik, Göteborg	14	8	4	2,1	2,3
8	radiofysik, Lund	13	10	8	1,4	3,3
9	radiofysik, Malmö *	10	7	5	1	2
Totalt för inst 1-9		78	51	37	9	16
Totalt för inst 10-46		(43)	28	**	**	**

* verksamheten startade 1988

**uppgifter saknas

() se kommentar i texten

I kolumn fem har vi räknat om uppgifterna i kolumn fyra till antalet heltidspersoner som bedriver strålskyddsforskning med hänsyn till respektive doktorands aktivitetsgrad. I kolumnerna sex och sju anges hur många av institutionernas doktorandtjänster (utbildningsbidrag), uttryckta i heltider, som kan föras till strålskyddsforskning uppdelat i finansiering via fakultetsmedel och externa medel. Tjänstekolumnerna bygger på respektive institutions bedömning av hur stor del av det

totala antalet tjänster (25 fakultetsfinansierade och 40 externfinansierade) som ägnas åt strålskyddsforskning.

Uppgifterna i tabellen avser budgetåret 1992/93. För detta år finns inte någon motsvarande statistik för landets universitets- och högskolor att jämföra med. Preliminära uppgifter finns för 1991 (SCB; Statistiska Meddelanden). I dessa anges bl.a. summan av doktorandtjänster och utbildningsbidrag för olika vetenskapsområden och totalt för landet. Dock råder en viss osäkerhet om uppgifterna omfattar enbart fakultetsfinansierade tjänster, eller om de också innefattar en del externfinansierade tjänster (uppgifter om finansieringsorgan ingår enligt uppgift inte i SCB:s frågeformulär). En jämförelse med statliga medel för doktorandtjänster tyder på att SCB:s uppgifter väsentligen avser fakultetsfinansierade tjänster. Tillgängliga uppgifter över antalet forskarstuderande 1991 (Statistisk årsbok 1994) visar då att 25-30% av de (aktiva) studerande har doktorandtjänster på fakultetsmedel. Enligt tabell 5.3 är motsvarande siffra för strålskyddsforskande doktorander 25%. Som framgått är emellertid de statistiska uppgifterna, och våra inhämtade uppgifter, *osäkra* och angivna siffror bör användas med stor försiktighet.

Det är viktigt att notera att för grupp 1 anger kolumn tre det totala antalet doktorander, dvs. respektive institutions forskarutbildningsvolym 1992/93, medan kolumnen fyra visar hur många av de forskarstuderande som enligt vår bedömning bedriver strålskyddsforskning. För grupp 2 anger uppgifterna i kolumn tre bara en del av institutionernas forskarutbildningsvolym och kolumnen fyra hur många av dessa som enligt vår bedömning till någon del bedriver strålskyddsforskning.

Av det totala antalet forskarstuderande i grupp 1 är alla (utom fem) antagna under den senaste tioårsperioden, 80% är antagna under de senaste sex åren.

Bland doktoranderna utgör kvinnorna ca 45% vilket är över genomsnittet (ca 35%) för institutioner inom de aktuella fakulteterna. Där emot är andelen kvinnor betydligt lägre bland de som slutfört sin examen. Nu måste man komma ihåg att dessa två siffror inte är direkt jämförbara, eftersom de inte mäter samma tidsperiod. Vi har inte undersökt hur andelen kvinnor bland doktoranderna förändrats i tiden.

För grupperna 1 och 2 tillsammans gäller att det examineras ungefär en doktor per två forskarstuderande. I genomsnitt antages i grupp 1

en forskarstuderande per institution och år, och det examineras en per vartannat år.

Forskarutbildningskurser

Forskarutbildningskurser med strålskyddsrelevans ges i första hand vid institutionerna i grupp 1. Sju av nio institutioner ger regelbundet kurser på doktorandnivå varav några kurser är obligatoriska för utbildningen. Vid de sju institutionerna har sammantaget ett 30-tal kurser (2-11 poäng) getts under den senaste treårsperioden. Ett flertal kurser ges i samverkan mellan flera institutioner. Ett sådant samarbete är särskilt vanligt mellan radiofysikinstitutionerna. Det finns också exempel på kurser som getts i samarbete med andra nordiska länder (radioekologi) och med Norge (radiofysik: grundläggande strålningsfysik och dosimetri).

Forskarkurser (1-10 poäng) av betydelse för strålskyddet ges vid sju institutioner i grupp 2. Även här finns i några fall en samverkan mellan institutioner.

Forskarutbildningskurser är av central betydelse för forskningsverksamheten inom strålskyddsområdet. En tillfredsställande rekrytering av forskarstuderande förutsätter också en bra grundutbildning eller aktiv medverkan av ämnesrepresentanter inom grundutbildningsprogrammet.

Sådan medverkan förutsättes även inom ramen för olika specialistkurser, t.ex. vid de kurser (SK-kurser) som utgör grunden för läkarnas specialistutbildning. Här finns, och särskilt inom röntgenområdet, ett behov av utbildning i strålskyddsfrågor. Sådana kurser skulle också aktivt kunna stimulera t.ex. röntgenologer till forskningsverksamhet inom strålskyddsområdet.

Post-doc tjänster

Möjligheten att få kontinuitet i verksamheten och att bedriva en effektiv forskarhandledning och forskarutbildning är i hög grad beroende av antalet post-doc tjänster (forskarassistent, högskolelektor). Vid institutionerna i grupp 1 finns, enligt institutionernas egna uppskattningar, totalt endast två högskolelektorer och fyra forskarassistenter (räknat i

heltidspersoner) som ägnar sig åt strålskyddsforskning (av 11 respektive 7). Medan antalet doktorandtjänster på strålskyddsforskningens område är i paritet med vad som gäller för andra ämnen är antalet post-doc tjänster klart underrepresenterat i förhållande till jämförbara ämnen (SCB:s Statistiska meddelanden).

5.1.5 Finansiering

Följande beskrivning av finansieringen av strålskyddsforskningen bygger på de uppgifter som inkommit i enkätsvaren. Vi har övergripande jämfört uppgifterna med motsvarande uppgifter från några av de finansierande organen. Avvikelser mellan dessa två uppgiftskällor kan i första hand förklaras av de avgränsningar vi gjort för strålskyddsforskning. Men det finns också svårigheter att avgränsa hur anslag skall redovisas på olika budgetår. Uppgifterna avser främst att spegla förhållandena under budgetåret 1992/93. Detta år behöver inte vara representativt för en längre tidsperiod, det kan ha varit ett bra eller dåligt år. Flera ämnesföreträdare har framhållit att budgetåret 1992/93 var ett bra år. Våra diskussioner med företrädare för ett antal institutioner styrker emellertid de mer övergripande slutsatser som vi drar till följd av underlaget från budgetåret 1992/93. Vi har koncentrerat redovisningen till den externa finansieringen av forskningen. För grupp 1 har vi dessutom schablonmässigt uppskattat fakultetsanslaget baserat på antalet fasta tjänster (kap 5.5).

Vi har vidare valt att inte detaljredovisa varje enskild institution utan i stället se till helheten. Kommentarer rörande skillnader mellan institutioner förekommer dock i texten. Genom att se till helheten minskar vi sannolikt också de felaktigheter som kan förekomma i enskilda uppgifter; dessa bör rimligen inbegripa felaktigheter åt båda håll.

Det är viktigt att komma ihåg att det bara är forskningsbidragen från SSI som formellt rubriceras som strålskyddsforskning. Enligt vår enkät är denna andel av de totala medlen för strålskyddsforskning 25% (exklusive de medel som överförs till och fördelas via EU). Övriga forskningsmedel har andra rubriceringar, men den forskning som stöds och som beskrivs i kapitel 6 kan också inrymmas under definitionen på strålskyddsforskning. **Det är emellertid vår bedömning att det angivna totalbeloppet, som är en direkt summering av uppgif-**

terna i enkätsvaren, är en överskattning av de medel som går till strålskyddsforskning. Denna bedömning baseras på att de angivna beloppen i flera fall inbegriper också forskning som inte är strålskyddsforskning. I några fall har detta påtalats i enkätsvaren. Gränsdragningen mellan vad som är strålskyddsforskning och inte är särskilt svår för de bidrag som rör den medicinanknutna forskningen, men gråzoner finns på alla områden. Vi har bedömt det som omöjligt att i varje enskilt projekt försöka avgöra strålskyddsforskningens andel. Men vi har gjort en översiktlig genomgång.

Vi uppskattar att det totala beloppet (46 mkr) enligt enkätsvaren är överskattat med 5-8 mkr.

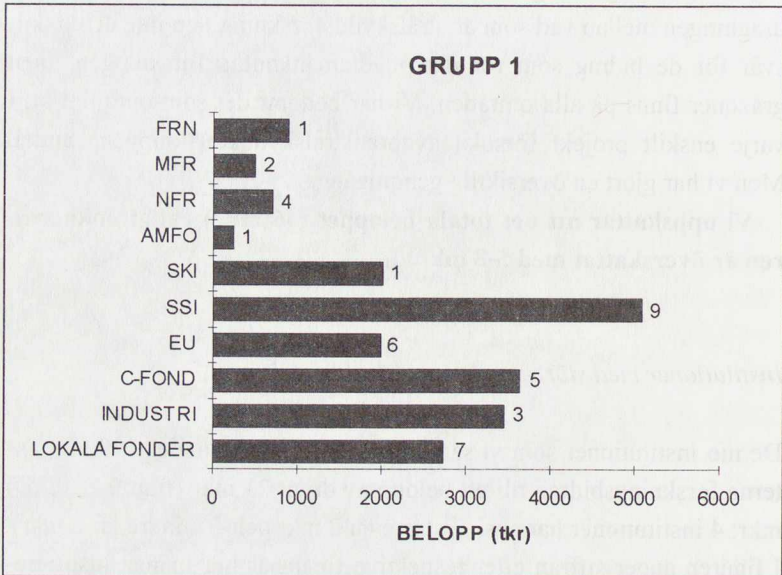
Institutioner med större andel strålskyddsforskning

De nio institutioner som vi samlat i grupp 1 erhöll under 1992/93 externa forskningsbidrag till ett belopp av drygt 21 mkr (från 0,2 till 5,4 mkr; 4 institutioner har anslag större än 2 mkr och 5 mindre än 2 mkr). I figuren anger siffran efter respektive finansiär hur många institutioner som respektive anslag är fördelat på. (I följande figurer för grupperna 1, 2 och 3 anges på y-axeln finansiärerna i ordningen forskningsråd, sektorsorgan, EU, och övriga organ. De senare är uppdelade i Cancerfonden, industri, lokala fonder och utland. Varje grupp är inbördes ordnad i bokstavsordning.)

Av de sammanlagda anslagen för grupp 1 bidrog forskningsråden med 10% (och av de statliga anslagsmedlen med 22%), varav nästan hälften var ett engångsanslag från FRN för investering i ny apparatur vid institutionen för radiofysik i Lund. Anslagen från Cancerfonden är fördelat på fem institutioner av vilka tre erhåller drygt 90% varav merparten till medicinsk strålningsfysik i Stockholm.

Sektorsorganen svarar för 35% av de externa anslagen varav SSI svarar för 2/3. Det andra stora sektorsorganet är SKI. Medan SSI:s anslag är fördelat på samtliga institutioner så går SKI:s bidrag till en enda institution (institutionen för kärnkemi, Göteborg). Bidraget från EU, fördelat på 6 institutioner, var ca 10% av totalbeloppet. Det dominerande industribidraget (90%) är uppdrag från SKB till institutionen för kärnkemi. Under samlingsnamnet "lokala fonder" ryms flera finansiärer vars respektive andel inte specificerats i enkätsvaren samt exempelvis Barncancerfonden, Cancerföreningen i

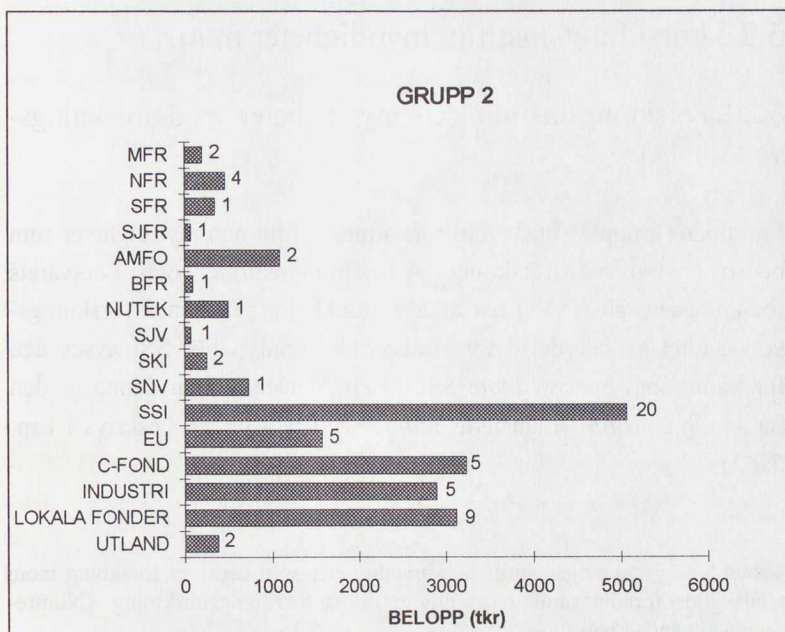
Stockholm och Gustav V jubileumsfond. Av anslagen från lokala fonder får medicinsk strålningsfysik knappt 60%.



Figur 1 Externa finansierare av institutioner med större andel strålskyddsforskning. Siffrorna till höger om staplarna anger hur många institutioner som erhåller stöd.

Institutioner med mindre andel strålskyddsforskning

Denna grupp omfattar 37 institutioner med en sammanlagd extern forskningsfinansiering på drygt 20 mkr. Gruppen har således ungefär samma volym i pengar som grupp 1. Storleken på de externa anslagen varierar kraftigt mellan de olika institutionerna. I några fall finns inte några uppgifter om externa medel, i andra fall så är det fråga om miljonbelopp (från 0,03 till 2,2 mkr; 6 institutioner har anslag större än 1 mkr, 10 institutioner mindre än 0,3 mkr; 11 institutioner uppger att de inte har några externa anslag för strålskyddsforskning).



Figur 2 Externa finansiärer av institutioner med mindre andel strålskyddsforskning. Siffrorna till höger om staplarna anger hur många institutioner som erhåller stöd.

Forskningsrådets andel av anslagen till denna grupp är 5%. Högsta enskilda anslag från råden är 350 tkr. Sektorsorganens andel av den totala finansieringen är 39% varav SSIs andel är ca 2/3.

Medlen från EU kommer från flera olika EU-program: strålskyddsforskning (kopplat till SSI), hjälpprogram till f.d. Sovjetunionen (direkt från EU) samt Environment-programmet (kopplat till SNV). I rubriken Utland ingår bidrag från Nordiskt kontaktorgan för kärnsäkerhetsforskning (NKS) och National Cancer Institute (NCI) i USA.

Cancerfondens anslag är väsentligen fördelade på tre institutioner: experimentell onkologi i Stockholm, strålningsvetenskap i Uppsala och institutet för miljömedicin i Stockholm (sammanlagt ca 94% av totala anslaget).

5.2 Forskningsinstitut, myndigheter m.m.

5.2.1 Forskningsinstitut och myndigheter med forskningsverksamhet

I gruppen (grupp 3) ingår fem forskningsinstitut och myndigheter som bedriver strålskyddsforskning. Arbetsmiljöinstitutet och Försvarets forskningsanstalt (FOA) har både i Stockholm och Umeå forskningsverksamhet av betydelse för strålskyddsområdet. För SSI avses den forskning som bedrivs *inom* SSI. (Helt fristående från denna är den forskning som SSI finansierar *utanför* SSI och vilken beskrivs i kap. 5.3.2).

Tabell 5.4 Forskningsinstitut och myndigheter som bedriver forskning inom strålskyddsområdet samt deras huvudsakliga forskningsinriktning. (Numreringen används i kap 6)

Nr	Myndighet/forskningsinstitut	Forskningens huvudsakliga inriktning
47	Arbetsmiljöinstitutet, Stockholm och Umeå	el magn fält (epidemiologi, mekanism, åtgärder)
48	Försvarets forskningsanstalt (FOA), Stockholm och Umeå	radioekologi, strålningsbiologi
49	Statens strålskyddsinstitut (SSI), Stockholm	radon, radioekologi, strålningsbiologi, dosimetri, icke-joniserande strålning
50	Statens geotekniska institut (SGI), Linköping	radon
51	Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), Norrköping	meteorologiska spridningsmodeller, UV-strålning

Statens strålskyddsinstitut (SSI)

SSI är central förvaltningsmyndighet för frågor om skydd av människa, djur och miljö mot skadlig verkan av joniserande och icke-joniserande strålning. Institutet utövar tillsyn genom föreskrifter och inspektioner, samt ger råd, upplysningar och information i strålskyddsfrågor. SSIs målsättning är att kunskap om strålningens egenskaper och användning blir så utbredd att frågor om strålning kan avgöras på grundval av god avvägning mellan risk och nytta, att respekt finns för strålningens risker och att onödiga strålningsrisker inte uppkommer.

SSI skall enligt sin instruktion bedriva målinriktad forskning på strålskyddsområdet. Omfattningen av denna framgår i korthet av tabell 5.4.

Försvarets forskningsanstalt (FOA)

FOA är en fristående myndighet under försvarsdepartementet. I FOA:s myndighetsansvar ingår att ge totalförsvarets myndigheter underlag för hänsynstagande till A-, B- och C-stridsmedel.

Inom ramen för denna huvuduppgift bedriver FOA flera typer av forskning med anknytning till strålskydd. Det yttersta syftet med denna forskning är att vidmakthålla och utveckla en expertkompetens inom totalförsvaret vad gäller strålriskbedömningar och strålskyddsåtgärder i krig eller krigsliknande situationer, speciellt om kärnvapen kommer till användning.

En del av den forskning som bedrivs är inte omedelbart kopplad till det akuta nedfalls/högdos-komplexet. Detta sammanhänger dels med att vissa civila totalförsvarsmyndigheter har ett intresse av långtidsverkningar, dels med att nedfallet efter Tjernobylyolyckan erbjuder möjligheter till allmänt intressanta forskningsuppgifter inom det senare området.

Andra problem som behandlas av FOA och som bara indirekt har beröring med strålskydd gäller bl.a. metoder att upptäcka och identifiera förehavanden med radioaktiva ämnen och föremål som står i strid med nationell lag och internationella avtal. I dessa sammanhang kan FOA även i fred få operativa uppgifter.

Arbetsmiljöinstitutet (AI)

Institutets uppgift är att bedriva och främja forskning, utbildning och dokumentation inom arbetsmiljöområdet samt sprida information i syfte att förbättra arbetsmiljön. Forskningsverksamhet finns i Solna och i Umeå. Under budgetåret 1992/93 fanns 20 forskningsenheter varav fyra i Umeå. Forskningen med strålskyddsanknytning bedrivs både med externa medel och basmedel från AI. Denna forskning rör frågeställningar inom området icke-joniserande strålning och särskilt effekter i samband med exponering för elektromagnetiska fält.

Sveriges hydrologiska och meteorologiska institut (SMHI)

SMHI är expertmyndighet inom meteorologi, hydrologi och oceanografi. Till uppgifterna hör allmän prognostjänst, varningstjänst, katastrofberedskap, forskning och utveckling samt miljöövervakning. I dessa uppgifter ingår att vara en del av den svenska beredskapen mot kärnenergiolyckor och att på uppdrag följa förändringar i UV-strålningen. Till de prioriterade forskningsuppgifterna hör modellutveckling, mätdata-bearbetning (inklusive solstrålning och ozon) samt klimatforskning. SMHI:s forskningsverksamhet är både intern- och externfinansierad.

Statens geotekniska institut (SGI)

SGI har ett sektorsövergripande geotekniskt ansvar och skall verka för en samhällsriktig användning av mark i samband med planering och byggande, baserat på hushållning med naturresurser och beaktande av miljö- och säkerhetsaspekter. Den del av verksamheten som har anknytning till strålskyddsområdet är mycket begränsad och gäller radon i olika typer av mark.

5.2.2 Personal och forskarrekrutering

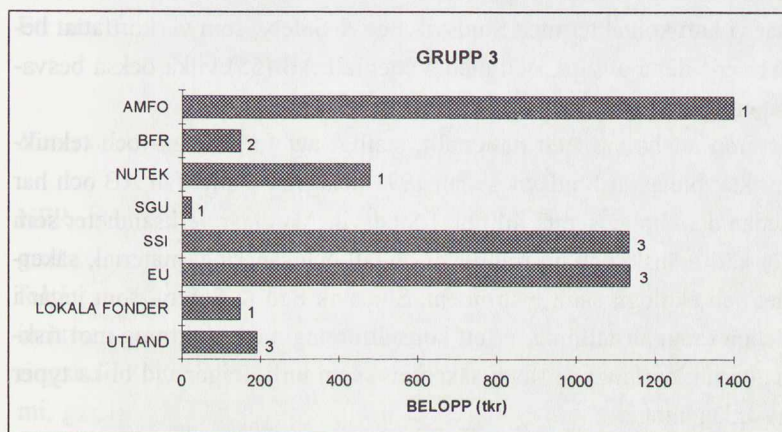
Vid SSI finns ca 15 disputerade forskare som i varierande omfattning deltar i forskningen inom institutet. Omräknat i heltidspersoner är det ca 5 personer. Vid såväl FOA som AI är det ca 5 disputerade forskare som i till någon del bedriver strålskyddsforskning.

Universitet och högskolor har ansvaret för utbildning och examination av forskarstuderande. Tidigare i detta kapitel har vi redogjort för hur forskarutbildningen ser ut för strålskyddsforskningen. Några av doktoranderna genomför sina forskningsarbeten vid institutioner och myndigheter som AI, FOA och SSI.

Myndigheter och forskningsinstitut av det slag som finns i denna grupp är viktiga som blivande arbetsplatser för de examinerade doktorerna. Detta gäller både i deras egenskap av forskare och som kvalificerade handläggare.

5.2.3 Finansiering

De institutioner som ingår i denna grupp finansierar sin forskningsverksamhet genom både direkta anslag från staten och genom externa bidrag. För de forskningsprojekt som beskrivits i enkäten gäller dock att de för SMHI:s och SGI:s del finansieras uteslutande med externa anslag, även om man inom dessa myndigheter också har tillgång till olika basdata som tas fram inom den del av verksamheten som finansieras av statliga bidrag och via andra forskningsuppdrag. Utan extern finansiering bedöms de forskningsprojekt (SMHI, SGI) som beskrivs i detta betänkande inte kunna genomföras. De övriga tre myndigheterna i denna grupp har basresurser till sitt förfogande för den beskrivna forskningen.



Figur 3 Externa finansierare av institut och myndigheter som bedriver strålskyddsforskning. Siffrorna till höger om staplarna anger hur många institutioner som erhåller stöd.

Den externa finansieringen för denna grupp uppgår till 4,6 mkr. Inte någon av dessa institutioner får medel från forskningsråden. Sektorsorganen bidrar med knappt 70% av totala externa anslagen varav SSI svarar för ca 1/3.

I denna grupp fördelas SSI-medlen på tre institutioner (ej AI och SSI). Anslagen från AMFO och NUTEK (Elsäkerhetsverket) går i sin

helhet till Arbetsmiljöinstitutet. Anslagen från EU uppgår till ca 25% och fördelas på SSI, FOA och SMHI, med störst andel (70%) på SSI.

Basanslagen för dessa institutioners forskning på strålskyddsområdet uppgår till knappt 11 mkr fördelade på AI, FOA och SSI.

5.2.4 Konsultföretag

Förutom de institutioner och myndigheter som beskrivits i detta kapitel så bedrivs viss verksamhet av intresse för denna utredning också vid några affärsdrivande myndigheter och konsultföretag. Förutom utvecklingsuppdrag och kvalificerade utredningar så bedrivs också forskning. Inte sällan arbetar dessa konsultföretag inom kärnenergiområdet. Till dessa företag hör ABB Atom (52), Kemakta Konsult AB (53) samt Studsvik Eco & Safety (54) som är en enhet inom Studsvikskoncernen. Vi har inte studerat dessa företag närmare. Dock har vi haft kontakter med Studsvik Eco & Safety, som vi kortfattat beskriver i detta avsnitt, och med Vattenfall AB (55) vilka också besvarat enkäten.

Från att ha varit ett nationellt, statligt ägt forsknings- och teknikinriktat bolag, är Studsvik sedan 1991 helägt av Vattenfall AB och har sedan dess bolagiserats fullt ut. I Studsvik AB ingår verksamheter som rör kärnbränsle och bestrålningar, avfall och sanering, material, säkerhet och ekologi, samt instrument. Studsvik Eco & Safety, som ingår i denna sammanställning, är ett konsultföretag med inriktning mot riskhantering omfattande såväl säkerhets- som miljöfrågor vid olika typer av anläggningar.

För forskning på strålskyddsområdet användes under budgetåret 1992/93 2,5 mkr, finansierat av SKB, SSI och EU. Studsvik AB erhåller dessutom forskningsmedel från NFR inom ramen för det nationella fusionsenergiprogrammet. Fusionsforskning har vi inte räknat som strålskyddsforskning.

5.3 Forskningsfinansierande organ

Vi beskriver här mycket kortfattat forskningsfinansiärer som bekostar forskning av intresse för strålskyddsområdet under budgetåret 1992/93. Vi har besökt och diskuterat situationen för strålskydds-

forskningen med representanter för NFR, MFR, SJFR, SSI och Cancerfonden. Vi har dessutom inhämtat skriftlig information från FRN, TFR, NUTEK och BFR.

5.3.1 Forskningsråd

Forskningsråden består av tio ledamöter (SJFR av 11 ledamöter, FRN:s styrelse av 16 ledamöter) samt ordförande. Ordförande och tre av ledamöterna utses av regeringen, övriga ledamöter utses av forskarsamhället. Till råden hör kansli och sekretariat. FRN, NFR, MFR och TFR sorterar under Utbildningsdepartementet och SJFR under Jordbruksdepartementet.

Forskningsråden har en samarbetsnämnd som behandlar inkomna ansökningar som rör flera råd. I denna ingår också Arbetsmiljöfonden samt Cancerfonden som i sitt praktiska arbete liknar ett forskningsråd. Ett samarbete finns också med några av de större sektorsorganen.

Naturvetenskapliga forskningsrådet (NFR)

NFR har till uppgift att främja och stödja den naturvetenskapliga grundforskningen i Sverige. Detta sker bl a genom att man beviljar forskningsbidrag, utvärderar forskning, prioriterar forskningsområden, inrättar forskartjänster och informerar. NFR har särskilda prioriteringskommittéer (programutskott) för områdena fysik/matematik, kemi, geovetenskaper, biologi, energi och publicering. NFR har en särskild budgetram för tvärvetenskap. För budgetåret 1992/93 uppgick NFR:s statsanslag för naturvetenskaplig forskning till ca 464 mkr. Anslaget för energirelaterad grundforskning uppgick till ca 31 mkr. NFR stödde under budgetåret 1992/93 ca 300 tjänster varav ca 90 doktorandtjänster och ett hundratal forskarassistenttjänster.

NFR ansvarar för svenskt deltagande i tre av EU:s forskningsprogram.

Medicinska forskningsrådet (MFR)

MFR har till uppgift att främja och stödja forskning inom det medicinska området, inklusive de farmaceutiska, odontologiska och veterinärmedicinska områdena. Huvuduppgiften är att ge stöd till forskning av mer grundläggande och långsiktig karaktär. MFR har i ökande omfattning initierat och stimulerat forskning inom områden där samhället har särskilda behov. Huvuddelen av resurserna går till finansiering av forskningsprojekt samt till forskartjänster vid universitet och universitetssjukhus. MFR finansierar närmare 200 tjänster varav ett fyrtiotal doktorandtjänster och 100 forskarasistenttjänster. Elva prioriteringskommittéer utgör basen i rådets gransknings- och prioriteringssystem. Varje kommitté företräder en medicinsk inriktning. Budgetåret 1992/93 uppgick MFR:s anslag till 341 mkr.

MFR är ansvarigt för svenskt deltagande i EU:s biomedicinska forskningsprogram (BIOMED I).

Skogs- och jordbrukets forskningsråd (SJFR)

SJFR, som under senare år fått en tydligare karaktär av grundforskningsråd än tidigare, har till uppgift att undersöka behovet av forskning som gagnar de areella näringarna och angränsande områden samt främja och stödja sådan forskning. De forskningsansökningar som kommer till rådet bedöms av ämnesutskott (mer grundläggande forskning) och programorgan (tillämpad forskning). De fem ämnesutskotten är organismbiologi; cell- och molekylärbiologi; ekologi och miljövard; kemi, fytokemi och biokemi; samt ekonomi, sociologi och informationslära. Programområdena omfattar skogsbruk; jordbruk inkl. trädgårdsnäring och djurhållning; fiskforskning; livsmedelsforskning; samt renforskning. För budgetåret 1992/93 disponerade SJFR 165 mkr. Ett stort antal doktorandtjänster finansieras inom ramen för projektmedel.

SJFR är svenskt kontaktorgan för EU-programmet AAIR (Agricultural and Agroindustrial Research, including Fisheries).

Övriga forskningsråd

Forskningsrådsnämnden, FRN, har till uppgift att ta initiativ till och stödja forskning som är viktig för samhället, att fördela medel till dyrbar vetenskaplig utrustning, och att främja informationen om forskning och forskningens roll i samhället. Ett antal forskningsråd, bl.a. MFR, NFR, SJFR, SFR och TFR, är representerade i FRN:s styrelse. Dessutom finns representanter från riksdag, landsting, kommuner och arbetsmarknadens parter. FRN skiljer sig från forskningsråden genom att vara mer problemorienterad än disciplinorienterad, och genom att vara mer initiativtagande. Under budgetåret 1992/93 hade FRN ca 90 mkr att fördela till forskningsstöd m.m. samt en kostnadsram på 218 mkr för dyrbar utrustning.

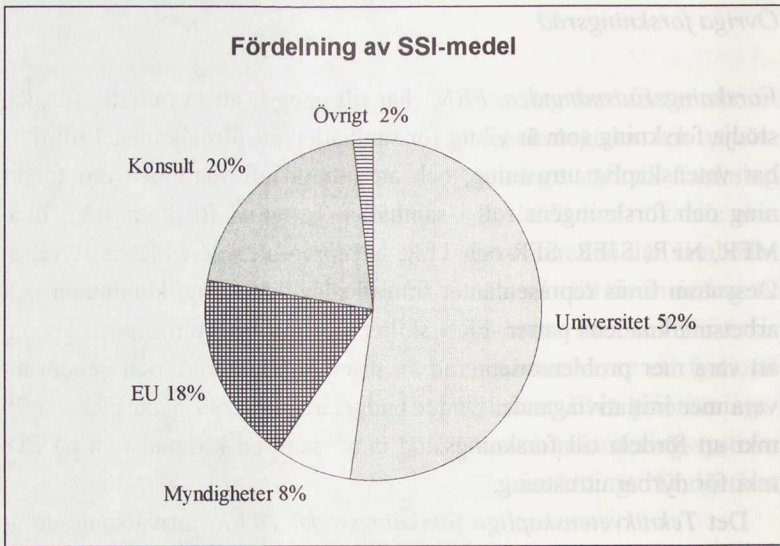
Det *Teknikvetenskapliga forskningsrådets, TFR*, ansvarsområde är den inomvetenskapligt motiverade och industrirelevanta tekniska grundforskningen. TFR delar in forskningen i fyra teknikområden: teknisk fysik/elektroteknik, kemiteknik/bioteknik, informationsteknik och teknisk mekanik/materialteknik. Under budgetåret 1992/93 uppgick budgeten till 185 mkr. TFR finansierade 105 doktorandtjänster. Enligt vår enkät har inte något projekt erhållit stöd från TFR.

Det *Socialvetenskapliga forskningsrådet, SFR*, som finns under Socialdepartementet, ger stöd till grundforskning och tillämpad forskning inom socialvetenskap, socialpolitik och folkhälsovetenskap. Under budgetåret 1992/93 uppgick budgeten till 79 mkr. I vår kartläggning har de givit stöd till en doktorandtjänst inom folkhälsovetenskap (epidemiologi).

5.3.2 Sektorsorgan

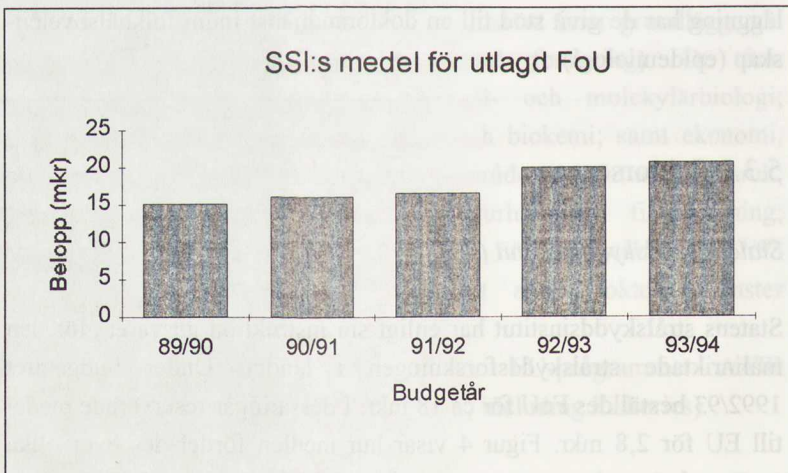
Statens strålskyddsinstitut (SSI)

Statens strålskyddsinstitut har enligt sin instruktion ansvaret för den målinriktade strålskyddsforskningen i landet. Under budgetåret 1992/93 beställdes FoU för ca 18 mkr. I dessa ingår reserverade medel till EU för 2,8 mkr. Figur 4 visar hur medlen fördelades över olika mottagarkategorier.



Figur 4 Fördelning av SSI:s medel för utlagd forskning över olika kategorier av mottagare för budgetåret 1992/93.

SSI:s övergripande samordningsansvar för strålskyddsforskning innebär i första hand stöd till den tillämpade forskningen. Beställarfunktionen utnyttjas till en del också för att bygga upp grundläggande kunskap/kompetens för långsiktiga behov. SSI är det enda finansieringsorganet med ett uttalat ansvar för strålskyddsforskning.



Figur 5 Medel för den tillämpade strålskyddsforskning som finansierats av SSI under de senaste fem åren (ej prisomräknad).

I figur 5 visas hur SSI:s anslag för den utlagda forskningen utvecklats under den senaste femårsperioden. Ökningen på 3 mkr från och med budgetåret 1992/93 avser extra medel för doktorandtjänster inom beredskapen mot kärnkraftolyckor (se *bilaga 3*).

Arbetsmiljöfonden (AMFO)

Arbetsmiljöfondens verksamhet syftar till att förbättra villkoren i arbetslivet. Resurser satsas på fyra områden: forskning, utveckling, lokalt utvecklingsarbete och kunskapsspridning. Arbetsmiljöfonden är den dominerande finansiären av arbetslivsforskning och har också som statlig myndighet ett ansvar för att sådan forskning bedrivs. Fonden finansierar tillämpad forskning och vid behov också grundforskning. I bedömningen av forskningsprojekt har fonden för vissa områden hjälp av vetenskapliga kommittéer. Förutom den vetenskapliga kvaliteten bedöms också forskningens relevans för arbetslivet. AMFO:s anslag kommer dels från arbetsgivaravgifter, dels från avkastning från fondmedel. Under budgetåret 1992/93 fanns 220 mkr för forskningsstöd varav mer än 7 mkr användes för forskning som rör icke-joniserande strålning (elektromagnetiska fält).

Övriga sektorsorgan

Bygghälsorådet (BFR) ger stöd till forskning, utveckling, experimentbyggande och kunskapsspridning inom den byggda miljön. BFR sorterar under Näringsdepartementet. Under budgetåret 1992/93 uppgick forskningsmedlen till 240 mkr. Samfinansiering med branschföretag tillför ytterligare 130 mkr. Till de prioriterade områdena hör klimat och miljö i bebyggelsen.

Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK) är central förvaltningsmyndighet för frågor om näringslivets tillväxt och förnyelse, regional utveckling samt för omställningen av energisystemet. NUTEK svarar bl.a. för insatser för att främja teknisk forskning och industriellt utvecklingsarbete. FoU-stöd ges genom anslag för teknisk forskning och utveckling, informationsteknologi, energiforskning samt bioenergiforskning. En central uppgift är att föra samman olika intressenter inom FoU-systemet för att genomföra FoU i samverkan och utbyta er-

farenheter. Tvärvetenskapligt och tvärtekniskt samarbete främjas. Det totala forskningsanslaget uppgick budgetåret 1992/93 till 938 mkr plus 207 mkr för svenska projekt och programavgifter i EU:s ramprogram för FoU. Forskningsbidragen till strålskyddsforskning, dvs. studier av risker i samband med elektromagnetiska fält, utgör en bråkdel av NUTEK:s FoU-anslag. Från januari 1993 övertog den nyinrättade *Elsäkerhetsverket* NUTEKs uppdrag att regelbundet rapportera kunskapsläget rörande eventuella hälsoeffekter av lågfrekventa elektriska och magnetiska fält till regeringen. Genom medel från energiforskningsprogrammet bidrar *Elsäkerhetsverket* till finansieringen av forskningen om elektromagnetiska fält.

Statens naturvårdsverk (SNV) har ett samlande och pådrivande ansvar i miljövårdsarbetet. SNV arbetar med bl.a. miljöskydd, naturvård, rekreations- och friluftsförhållanden, forskning, information och utbildning. SNV har ett särskilt ansvar för miljöforskningen i landet och skall föreslå inriktning och omfattning på denna forskning. Verket har en central roll vad gäller kunskapsuppbyggnaden inom miljövårdsområdet. Forskningsnämnden beslutar om inkomna forskningsansökningar efter det att en vetenskaplig kommitté gjort en vetenskaplig och behovsmässig granskning. Det finns för närvarande nio kommittéer. Kommittéerna kan också initiera forskning. En stor del av forskningen drivs också inom tidsbegränsade och programstyrda områden, exempelvis "Förändrat klimat och UV-B strålning". Under budgetåret 1992/93 uppgick SNV:s forskningsanslag till ca 153 mkr. SNV är svenskt kontaktorgan och finansierar av det svenska deltagandet i EU:s miljöforskningsprogram Environment.

Enligt vår kartläggning finansierar SNV forskning rörande UV-strålning. Men det finns flera andra paralleller mellan SNV-stödd forskning och strålskyddsforskning bl.a. vad gäller ekologi-radioekologi, epidemiologi, riskbedömning och hälsofrågor.

Statens kärnkraftinspektion (SKI)

SKI är tillsynsmyndighet för kärnkraftens säkerhet i Sverige. SKI:s tillsyn består i att ge föreskrifter och villkor för driften av anläggningarna och att inspektera. SKI:s forskningsprogram syftar till att ge kunskapsunderlag för inspektions- och utredningsverksamheten. Programmet skall också allmänt bidra till svenskt kärnsäkerhetsarbete

samt vidmakthålla kompetens och forskarkapacitet på området. SKI beställer forskningsinsatser inom olika forskningsområden bl.a. mänskiska-maskin, material, kärnbränsle, systemanalys/svåra haverier, och kärnavfall. Under budgetåret 1992/93 uppgick forskningsanslaget till 65 mkr.

5.3.3 Övriga finansiärer

Cancerfonden är en ideell organisation med uppgift att verka för att förebygga och bekämpa cancersjukdomar i Sverige. Detta sker huvudsakligen genom att främja, organisera och samordna cancerforskning samt genom att främja utvecklingen av nya metoder för undersökning, behandling och omvårdnad vid cancer. Under 1992 disponerade Cancerfondens forskningsnämnd 185 mkr för stöd till forskning. Forskningsnämndens beslut förbereds i särskilda prioriteringskommittéer. Det finns sju sådana kommittéer varav två är inriktade på epidemiologi och radioterapi/radiologi. Merparten av medlen (76% år 1992) går till projektanslag. 11% går till forskartjänster och stipendier, totalt knappt hundra varav 22 doktorandtjänster.

Svensk kärnbränslehantering AB (SKB) har de svenska kärnenergiproducenternas uppdrag att bl.a. genomföra den forskning och utveckling som är nödvändig för att slutligt omhänderta radioaktivt avfall i Sverige. En väsentlig del av detta arbete är att studera hur anläggningar för slutförvaring kan utformas och att bedöma den framtida radiologiska risk som en sådana anläggningar kan innebära vid normaldrift och vid eventuella missöden. SKB bedriver sin forskningsverksamhet genom uppdrag till universitet, högskolor, konsulter och industrin. Totalt engageras drygt 200 konsulter med expertkompetens i verksamheten. SKB har bilatera avtal med motsvarande organisationer i sju andra länder samt med EURATOM (EU). Dessutom sker informella informationsutbyten med några andra länder. Den totala forskningsvolymen under 1992 var ca 90 mkr. (Till detta kommer kostnader för arbeten i samband med Äspö-laboratoriet på ca 90 mkr.)

5.4 Samarbetsformer

Forskningen inom strålskyddsområdet karakteriseras av ett omfattande samarbete av det slag som är vanligt inom forskarvärlden. Detta gäller såväl med grupper inom Sverige som med utländska grupper. En del av samarbetet med utlandet sker inom EU:s ram. Det finns också ett antal nationella föreningar och sällskap inom området vilka har till uppgift att främja samarbete och kunskapsutbyte.

5.4.1 Nationellt samarbete

Svaren på vår enkät visar på ett omfattande nätverk mellan forskare i Sverige. Inte sällan äger samarbetet rum mellan forskare med helt olika kompetensområden och discipliner. Tydliga exempel på detta är de samarbeten som utvecklats i Umeå och Göteborg inom området elektromagnetiska fält. I båda fallen ingår fysiker, medicinare och biologer. Ett annat sådant exempel är den nationella radonepidemiologiska studien som haft deltagande från IMM, SSI, Onkologiskt centrum i Umeå, Avd för Yrkesmedicin i Linköping m.fl.

Samarbetet mellan de radiofysiska institutionerna och olika medicinska institutioner (onkologi, diagnostisk radiologi, klinisk fysiologi, yrkes- och miljömedicin m.fl.) är ett annat exempel.

Nationalkommittén för strålskyddsforskning inrättades 1963. Kommittén är ett vetenskapligt organ, som skall stimulera samarbete, svara för kontinuitet och tillgodose en allsidig diskussion när det gäller forskning och undervisning inom strålskyddsområdet. Kommittén som består av ett drygt tjugotal ledamöter, representerar ett mycket brett kunnande inom strålskyddsforskningens olika områden, såväl när det gäller joniserande som icke-joniserande strålning. Vetenskapsakademien är huvudman för kommittén.

Det finns ett antal ytterligare vetenskapliga sammanslutningar av betydelse för strålskyddsområdet. Bland dessa bör särskilt nämnas Svensk förening för radiobiologi och Svensk förening för radiofysik (tillika Läkaresällskapets sektion för Medicinsk radiofysik).

5.4.2 Internationellt samarbete

Norden

Det finns en lång tradition av nordiskt samarbete inom strålskyddsforskningen. Detta stimuleras bl.a. genom de vetenskapliga möten som vart fjärde år anordnas i regi av *Nordiska sällskapet för strålskydd*, senast i Kristiansand i Norge 1993. Ett särskilt nordiskt program finns också sedan många år på kärnenergiområdet genom *Nordiska kommittén för kärnsäkerhetsfrågor* (NKS).

Det nordiska samarbetet har varit mest aktivt inom radioekologi/omgivningsradiologi-området. Det grundlades under kärnva-
penprovperioden, fick ny aktualitet efter Tjernobyl och omfattar nu också gemensamma forskningsinsatser i före detta Sovjetunionen samt i Arktis. Under senare år har det arrangerats gemensamma nordiska forskarutbildningskurser i några av strålskyddets centrala ämnesområden.

Finland har av tradition en stark strålskyddsforskning, särskilt inom radiokemi och radioekologi. Även när det gäller medicinskt strålskydd finns flera aktiva grupper. Det finns sedan gammalt ett väl fungerande samarbete mellan finska och svenska strålskyddsforskare såväl direkt mellan grupper som inom ramen för ett organiserat nordiskt samarbete.

Norsk strålskyddsforskning befinner sig under uppbyggnad och expansion. Det norsk-svenska samarbetet omfattar såväl kärnkemi som radioekologi och gemensamma forskarutbildningskurser.

Danmark har genom forskningsanläggningen Risö en mycket stark ställning inom jordbruksradioekologi och marin radioekologi. Det finns en lång tradition av samarbete med svenska forskargrupper. Det finns förutsättningar för att detta skall kunna fortsätta och att samarbetet skall kunna utvidgas till att också omfatta medicinskt strålskydd.

Också Island deltar aktivt inom ramen för det Nordiska samarbetet.

Övriga länder

Flertalet av de svarande har angivit kontakter med forskargrupper utomlands. Utöver kontakter inom Norden och inom EU-programmens

ram finns ett omfattande kontaktnät till andra laboratorier främst inom Europa och USA.

Samarbetet med EU-länder beskrivs närmare i *bilaga 4*.

Internationella organisationer

Verksamheten på strålskyddsforskningens område kännetecknas av ett omfattande internationellt samarbete. Två internationella organisationer har särskilt stor betydelse för strålskyddsarbetet och ger de vetenskapliga grunderna för skyddsnormerna. Den ena är FN:s vetenskapliga strålningskommitté (UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), den andra är den Internationella strålskyddskommittén (ICRP-International Commission on Radiological Protection). Såväl UNSCEAR som ICRP samlar och tolkar information om strålningens biologiska verkningar, men det är framförallt ICRP som dessutom ger ut rekommendationer om strålskyddsåtgärder. ICRP:s rekommendationer ligger till grund för mer detaljerade och formella anvisningar från olika specialorgan inom FN såsom Internationella atomenergiorganet (IAEA), Världshälsoorganisationen (WHO), FAO (Food and Agriculture Organisation) och Internationella arbetsorganisationen (ILO) och för nationella regler. Andra organ med vetenskapligt-tekniskt intresse inom strålskyddsområdet och med nära samarbete med ICRP är Internationella kommissionen för strålningsenheter och strålmätningar (ICRU) och IRPA (International Radiation Protection Association). Ur en kommitté inom IRPA har det nyligen bildats ett fristående organ ägnat skyddet mot icke-joniserande strålning (ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection).

5.5 Diskussion och slutsatser

Organisation

Vår kartläggning har visat att strålskyddsforskning i varierande omfattning pågår vid ett femtiotal institutioner över hela landet. Då räknar vi in såväl egentlig strålskyddsforskning som sådan forskning som är av betydelse för strålskyddet men som väsentligen motiveras

av andra skäl. Enligt enkätsvaren erhöll denna forskning under budgetåret 1992/93 externa medel till ett belopp av ca 46 mkr. Detta är dock enligt vår bedömning en överskattning med 5-8 mkr på grund av svårigheter att avgöra hur stor del av vissa av de rapporterade projekten som är strålskyddsforskning. Verksamheten fördelade sig enligt enkäten på ca 150 olika forskningsprojekt. Några av dessa projekt är relativt små, medan andra är mycket stora och av nationell karaktär. Knappt hälften av projekten (fördelade på 32 institutioner av 50; och 25% av pengarna eller 11 Mkr) får medel under rubriceringen strålskyddsforskning (inkluderar inte de EU-medel som kanaliseras via SSI).

Nio institutioner vid universitet och högskolor är av särskild betydelse för strålskyddsforskningen. De är geografiskt utspridda över landet: Umeå (1 institution), Uppsala (1), Stockholm (2), Linköping (1), Göteborg (2), Lund (1) och Malmö (1). Dessa institutioner har en tradition inom området och ämnesföreträdarna bedriver egen strålskyddsforskning samt deltar på olika sätt i praktiskt strålskyddsarbete. En betydande del av dessa institutioners forskningsverksamhet kan rubriceras som strålskyddsforskning. Det finns en fast forskarbas på dessa institutioner men merparten av strålskyddsforskningen är beroende av externa anslag vilka under budgetåret 1992/93 uppgick till 21 mkr.

Av övriga universitets- och högskoleinstitutioner, grupp 2, är det flera vars forskning är av väsentlig betydelse för strålskyddet. Några erhöll betydande externa anslag. De externa bidragen uppgår budgetåret 1992/93 till ca 20 mkr. Många av dessa institutioner är helt beroende av externa anslag för att bedriva strålskyddsforskning. Detta gör denna forskning särskilt sårbar.

Bland forskningsinstitut och myndigheter med egen forskningsverksamhet har SSI en särskild roll med ett uttalat uppdrag att bedriva tillämpad strålskyddsforskning. Arbetsmiljöinstitutet och FOA bedriver forskning som är viktig för strålskyddsområdet och som delvis är beroende av externa anslag.

Det faktum att strålskyddsforskning bedrivs vid så många institutioner men med så få forskare involverade vid flera av dessa leder till frågor. En sådan fråga är om en koncentration av forskningsinsatserna till större grupper vore att föredra? En koncentration till färre och slagkraftigare grupperingar har många fördelar. Ofta behövs en viss minsta storlek på en forskargrupp för att den skall vara livskraftig. En

större grupp kan hävda sig bättre i konkurrensen inom en institution och också lättare attrahera forskarstuderande och, inte minst viktigt, få medel för sin forskning. Detta talar för att man borde arbeta mot en koncentration av resurserna. En sådan samordning skulle kunna vara att t.ex. samlokalisera institutioner för radiofysik och strålningsbiologi.

Det är idag relativt vanligt att mindre institutioner sammanförs till större enheter. Det är viktigt att detta inte bara bli en organisatorisk förändring utan att det också leder till en bättre forskarmiljö. En sammanföring av institutionerna för t.ex. radiofysik, strålningsbiologi (där det finns), onkologi, diagnostisk radiologi, klinisk fysiologi med teknik till en storinstitution skulle öka förutsättningarna för strålskyddsforskning inom det medicinska området.

En koncentration, eller fokusering mot en forskningsuppgift, kan emellertid också uppnås genom ett vidgat men lösare organisatoriskt samarbete mellan forskare från olika institutioner. Det finns flera exempel på detta på strålskyddsforskningens område dels i form av lokala centrumbildningar, dels i form av nationella nätverk, som också har internationella kontakter. I detta fall kan de enskilda forskarna ofta ha en ganska svag bas vid sin institution. Det som talar för ett sådant samarbete är bl.a. det faktum att de frågeställningar som studeras ofta är tvärvetenskapliga och att det vanligen inte är möjligt att samla all kompetens, svarande mot olika vetenskapliga discipliner, inom samma institution. För att vara konkurrenskraftig i forskarvärlden (och om pengarna) är det nödvändigt att ett samarbete etableras mellan specialister vid olika institutioner. Samtidigt måste det finnas möjlighet också för "ensamvargar" att erhålla stöd. Forskningen får inte rutats in alltför kraftigt i organisatoriska modeller.

Vår slutsats är att strålskyddsforskningen även i framtiden kommer att vara starkt beroende av samarbete mellan specialister från olika ämnesområden. Etablerandet av lokala centrumbildningar och nationella nätverk på strålskyddsforskningens område bör stimuleras.

När det gäller det tvärvetenskapliga arbetet har forskningsinstitut och myndigheter som SSI en fördel. Inom dessa har det visat sig möjligt att samla forskare som tillsammans ger en bredd i kompetens. Detta är

viktigt inom ett sådant relativt litet forskningsområde som strålskyddsforskningen.

När det gäller tillströmning av forskarstuderande och avlagda doktorsexamina så är vår slutsats att rekryteringen till strålskyddsforskningen i stort är jämförbar med motsvarande förhållanden vid andra ämnesområden inom de tekniska, naturvetenskapliga och medicinska områdena. Tillgången på s.k. post-doc tjänster är däremot lägre än för andra ämnesområden.

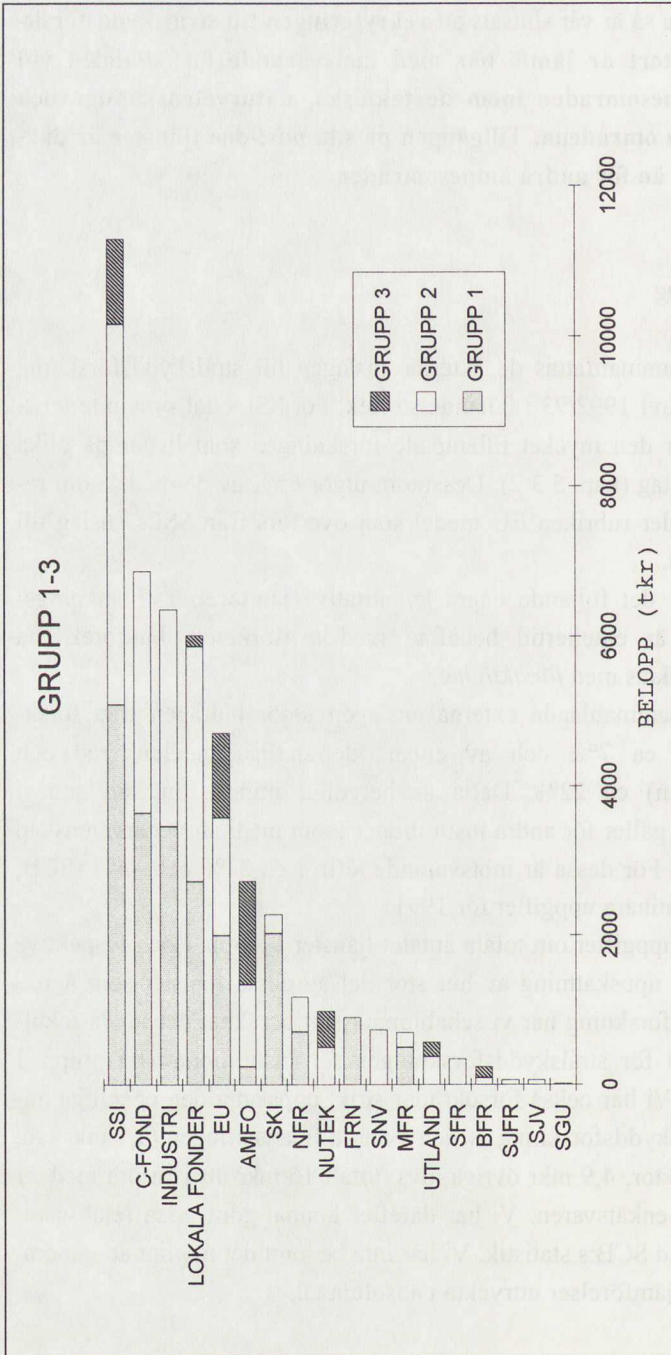
Finansiering

I figur 6 sammanfattas de externa anslagen till strålskyddsforskning för budgetåret 1992/93 i fallande storlek. För SSI:s del syns inte kostnaderna för den mycket tillämpade forskningen som ligger på olika konsultföretag (kap. 5.3.2). Dessutom utgör 65% av de medel som redovisas under rubriken EU medel som överförs från SSI:s anslag till EU/Bryssel.

Vi gör i det följande några kvantitativa jämförelser. Forskningsstatistiken är emellertid behäftad med *osäkerheter*. Jämförelserna måste betraktas med *försiktighet*.

Av de sammanlagda externa anslagen utgör bidragen från forskningsråden ca 7%, och av enbart de statliga medlen (råd och sektorsorgan) ca 22%. Detta är betydligt mindre än vad som i genomsnitt gäller för andra institutioner inom medicin, naturvetenskap och teknik. För dessa är motsvarande siffror ca 31% och 44% (SCB; avser preliminära uppgifter för 1991).

Utifrån uppgifter om totala antalet tjänster i grupp 1 och respektive institutions uppskattning av hur stor del av dessa tjänster som ägnas strålskyddsforskning har vi schablonmässigt beräknat det totala fakultetsanslaget för strålskyddsforskningen för institutionerna i grupp 1 (7,5 mkr). Vi har också försökt mer strikt uppskatta den egentliga andelen strålskyddsforskning av den externa finansieringen (1,7 mkr råd, 9,4 mkr sektor, 4,9 mkr övriga, dvs. totalt 16 mkr att jämföra med 21 mkr enligt enkätsvaren. Vi har därefter kunnat göra vissa relativjämförelser med SCB:s statistik. Vi har inte bedömt det möjligt att genomföra några jämförelser uttryckta i absoluta tal.



Figur 6 Externa anslag till strålskyddsforskning under budgetåret 1992/93. Grupperna 1 till 3 refererar till anslagsmottagare i figurerna 1 till 3.

Med reservation för begränsningarna i beräkningen visar våra jämförelser att forskningsrådsstödet till strålskyddsforskningen i relativa termer enbart är en tredjedel till hälften av vad som gäller i snitt för annan jämförbar forskning. Den låga andelen forskningsrådsstöd kompenseras av en större andel sektorsstöd.

För annan jämförbar forskning är fakultetsandelen ca 40% större än för strålskyddsforskningen.

Vid våra diskussioner med ämnesföreträdare har det genomgående framförts synpunkten att det är svårt att erhålla medel från forskningsråden. Det kan finnas flera orsaker till detta förhållande. En sådan orsak, vilken inte skall underskattas, är att det inte i något av råden finns representation av forskare som kan sägas ha strålskyddsforskning som sitt huvudsakliga forskningsområde. Det finns med andra ord inte någon som naturligt "värnar" om denna forskning. Detta är ett argument som förts fram från forskarhåll men som också nämnts och väsentligen konfirmerats av råden. Detta är en del av den nuvarande rådsstrukturen och gäller naturligtvis många mindre ämnesområden. Det är också av intresse att konstantera att Cancerfonden, som inom sina prioriteringsgrupper och forskningsnämnd har flera forskare som är aktiva inom strålskyddsforskningen eller inom närliggande områden, ger ett relativt stort stöd till forskning som är av värde också för strålskyddet.

En annan orsak till de små rådsanslagen är att strålskyddsforskning är tvärvetenskaplig och alltså inte naturligt kan inordnas i något av råden eller deras prioriteringsgrupper. Denna forskning "hamnar lätt mellan stolarna" även om det finns en samordning mellan råden. (Våra förslag för att stödja den riktat grundläggande strålskyddsforskningen presenteras i kapitlen 3 och 4.) Upprepade avslag på ansökningar gör också forskarna mindre benägna att sända in nya ansökningar.

Ytterligare en anledning till svårigheten att få rådsmedel kan vara att forskningen inte i tillräcklig grad uppfyller de kvalitetskrav som råden ställer. Detta kan vara en förklaring till de mer tvärvetenskapliga projektförslagen inte får medel. Dessa måste för att få medel kunna konkurrera med de rent inomvetenskapliga projekten. Det har inte ingått i vårt uppdrag att utvärdera strålskyddsforskningen från kvalitets-synpunkt. Det är därför svårt att göra en mer allmängiltig bedömning om så är fallet.

Strålskyddsforskning är ett exempel på ett för samhället betydelsefullt område av gränsöverskridande forskning där naturvetenskap,

medicin och teknik ingår i väsentliga delar. Sverige har under långa tider varit föregångsland inom det internationella strålskyddsarbetet. Här har såväl svenska forskare som en nationellt sammanhållen planeering (SSI) haft stor betydelse. Antalet aktiva strålskyddsforskare är emellertid förhållandevis litet och forskargrupperna ofta små. De flesta återfinnes på universitetens institutioner för radiofysik, strålningsbiologi, radioekologi och kärnkemi samt på SSI. Som många andra mindre ämnesområden av tvärvetenskaplig karaktär har strålskyddsforskningen haft svårigheter att få långsiktigt stöd från forskningsråden. En ökad samverkan mellan forskare från olika områden skulle på sikt ge ökade möjligheter att få ett sådant långsiktigt stöd. Denna samverkan behöver inte begränsas till strålskyddsområdet. Kreativa miljöer i strålskyddsnärliggande ämnesområden är av stor betydelse.

6 Översikt över svensk strålskyddsforskning

6.1 Inledning

Strålskyddsforskningen är tvärvetenskaplig. Den spänner över många olika vetenskapliga discipliner. Det finns olika sätt att beskriva och dela in denna forskning. Vi har valt att först (kap. 6.2) redogöra för sådan strålskyddsforskning som kan betraktas som mer övergripande och grundläggande för hela området. Dit har vi räknat frågeställningar rörande mätteknik och exponering (dosimetri), studier av grundläggande biologiska mekanismer för skada och reparation samt epidemiologiska studier. Samhällsvetenskaplig forskning med strålskyddsrelevans har också beskrivits under denna rubrik.

I kapitel 6.3 beskrivs sedan strålskyddsforskning med medicinsk anknytning. Strålning utnyttjas såväl inom patientbunden diagnostik som inom strålbehandling av tumörsjukdomar. I detta avsnitt beskrivs också instrument och metodutveckling av intresse för strålningsanvändningen inom sjukvården.

Strålning förekommer i vår yttre miljö dels till följd av mänskliga aktiviteter av olika slag, dels naturligt så länge jorden existerat. Strålning förekommer också i vår inomhusmiljö. I kapitel 6.4 redogör vi för pågående forskning på dessa områden. I samma avsnitt beskriver vi också ett antal projekt som är direkt relaterade till användningen av kärnenergi.

I kapitel 6.5 redovisar vi ett antal slutsatser om den pågående strålskyddsforskningen i Sverige.

Beskrivningen av pågående forskning baseras i huvudsak på information som vi erhållit genom den enkät som distribuerats till ett stort antal forskningsinstitutioner (se kap. 1.3 och *bilaga 2*). Huvudsyftet är att redovisa forskning som bedrevs under budgetåret 1992/93 även om det är omöjligt att göra en sådan strikt avgränsning. Det är naturligt att

i översiktlig form också peka på utvecklingen de senaste åren. De beskrivningar av pågående projekt som lämnats i enkätsvaren är ofta tekniska till sin natur och ofta skrivna för sakkunniga inom strålskyddsområdet. I vår översikt har vi försökt att beskriva forskningen i mer allmänna drag. Vi redogör inte heller i detalj för verksamheten vid varje enskild institution. Detta beskrivningssätt innebär att vi tappar något i precision, men vinner samtidigt förhoppningsvis i läsbarhet. Inom parentes anger vi institutioner som bearbetar den beskrivna frågeställningen med hjälp av ett referensnummer (förklaras i kap. 5: tabellerna 5.1-5.3 och avsnitt 5.2.4 och dessutom i tabellen i *bilaga 2*). Varje huvudavsnitt inleds med en sammanfattning. I *bilaga 7* förklaras några av de fackuttryck som används i detta kapitel.

Vi har inom varje delområde där det varit aktuellt redovisat forskning som rör joniserande och icke-joniserande strålning var för sig. Detta motiveras av att dessa typer av strålning har helt olika verkansmekanismer. För den joniserande strålningen finns en relativt god förståelse för hur växelverkan sker med levande materia och hur en skada kan uppkomma, medan motsvarande kunskap för närvarande (helt eller delvis) saknas för icke-joniserande strålning.

6.2 Övergripande strålskyddsforskning

Sammanfattning: I detta avsnitt beskrivs sådan forskning som är övergripande och grundläggande för hela strålskyddsområdet. Hit räknar vi mätteknik inklusive dosimetri, grundläggande strålningsbiologiska studier av strålskada och reparation samt epi-demiologiska studier.

När det gäller joniserande strålning finns en väl utvecklad och känslig mätteknik för de flesta typer av strålning. En central uppgift är att mäta eller beräkna absorberad dos - "stråldos". Detta arbete är av betydelse både för strålskyddsområdet och när det gäller noggrannheten vid strålbildning av tumörsjukdomar. Pågående forskning syftar bl.a. till att öka noggrannheten vid bestämning av absorberad dos och effektiv dos i en rad olika situationer då personer utsätts för extern bestrålning eller strålning från radioaktiva ämnen i kroppen.

Utveckling och förbättring av mätningar av icke-joniserande strålning som UV, laser, ultraljud, elektromagnetiska fält m.m. är blygsam och begränsas av att man för flera av dessa strålslag saknar enkla och meningsfulla "dosmått" till vilka graden av biologisk skada kan relateras.

Inom strålningsbiologin pågår ett antal projekt om strålningseffekter på arvsmassan, celler, vävnader och individer. DNA är den viktigaste måltavlan för joniserande strålning. Olika skydds- och reparationsmekanismer för DNA studeras. Med hjälp av molekylärbiologisk teknik försöker man också utröna orsakerna till varierande känslighet för strålning mellan individer, liksom hur genmutationer och arvs-massans instabilitet kan ge upphov till cancer. I flera projekt jämföres effekterna av joniserande strålning med de som erhålles med andra mutagena agens. Sambandet mellan stråldos och effekt studeras vid olika dosrater såväl i cellkulturer som i djurförsök.

Flera projekt behandlar UV-ljus som till sina effekter på arvs-massan liknar joniserande strålning. När det gäller andra typer av icke-joniserande strålning som epidemiologiska studier antyder kan ge en viss överraskning för cancer (barnleukemi nära kraftledningar, tumörer vid yrkesexponering etc.) försöker man att kartlägga de hittills okända mekanismer som skulle kunna förklara de epidemiologiska iakttagelserna.

forts. sammanfattning

Man studerar också frekvens av kromosomskador, missbildningar och cancerinduktion i djurförsök.

När det gäller epidemiologiska studier kan förutom de ovan nämnda nationella studierna kring cancerförekomst bland personer som bott nära kraftledningar respektive utsatts för magnetfält i sin arbetsmiljö nämnas en studie kring hälsoeffekter av UV-strålning.

Inom området joniserande strålning genomförs mycket uppmärksammade epidemiologiska undersökningar av sambandet mellan cancer och tidigare radonexponering och tidigare exponering för strålning i samband med strålbehandling samt röntgen- eller nuklearmedicinsk diagnostik inom sjukvården.

Den samhällsvetenskapliga forskningen med inriktning på strålskyddsfrågor är av relativt ungt datum och behandlar riskproblematiken i ett vidare perspektiv, riskupplevelser, riskjämförelser och riskkommunikation.

6.2.1 Dosimetri och mätteknik

Joniserande strålning

Mätningar av absorberad dos, dosimetrar

Strålskyddsområdet är beroende av noggranna och lättillgängliga mätmöjligheter för alla de typer av strålning som förekommer (röntgen, α , β , γ , elektroner, neutroner, protoner, etc). Vad som är speciellt för strålskyddsområdet är behovet av att mäta storheten absorberad dos i vävnad (absorberad strålningsenergi per massenhet; enhet 1 gray (Gy) = 1 joule per kg).

Forskningsverksamheten syftar bl.a. till att ta fram metoder för att öka noggrannheten vid mätning av absorberad dos, i första hand i vatten, som ur strålningssynpunkt är likt mänsklig mjukvävnad.

En idealisk dosimeter (dosmätare) bör vara så liten att den inte stör det strålfält som skall mätas. Den ska ha hög reproducerbarhet i sitt mätresultat, vara absolutmätande (i Gy) och enkel att använda. Ingen detektor uppfyller samtliga dessa krav. En luftfylld jonkammare är den

detektortyp som hittills utnyttjats mest. Luftjonkammaren kalibreras oftast genom att placeras fritt i luft i ett strålfält vid ett normalielaboratorium, exempelvis en riksmätplats (i Sverige: SSI:s dosimetrielaboratorium). Vad man vill mäta är emellertid absorberad dos i vatten, ofta vid en annan strålkvalitet. För detta behövs en rad omvandlings- och korrektionsfaktorer, som under årens lopp framtagits med allt större noggrannhet men där förbättringar fortfarande behövs. Exempelvis görs detta för höga fotonenergier och för mätningar i de delar av strålfälten som ligger utanför centralaxeln (1).

Metoder för att direkt vid kalibreringen relatera jonkammarsignalen till absorberad dos i vatten har börjat utredas (3, 49).

Nackdelen med en luftjonkammare är dess storlek (låg densitet kräver stor volym för tillräcklig känslighet), vilket gör att mätpunkten ibland kan vara svår att bestämma samt att den stör strålfältet. En annan komplikation är att de material som användes i jonkammaren inte är vävnadsekvivalenta. Det är därför intressant att man nu vidarutvecklar och provar en jonkammare innehållande en vävnadsläk vätska med en känslig volym av någon mm^3 , och som medger god mätprecision vid dosmätning i vävnad ned till dosrater på några mGy/h (1).

Andra dosimetrar, som användes i det praktiska mätarbetet (TL-dosimetrar, dioder, GM-rör etc.) kalibreras i sin tur mot en jonkammare, som kalibrerats på ett normalielaboratorium. Internationella normaler och möjligheter till jämförande mätningar mellan olika länder och laboratorier är en förutsättning för att forskningsresultat skall ha ett värde för hela forskarsamhället och för att internationella rekommendationer skall kunna tillämpas världen över.

För mätning av dosfördelningar i tre dimensioner och för kontroll av de dosplaneringssystem som användes vid strålbehandling används normalt en skannande detektor (diod) i en vattenfantom. Ett alternativ till detta finns i en nyutvecklad dosimetergel, som efter bestrålning medger utläsning av dosfördelningen med MR-kamera. (9).

Dosimetri vid strålbehandling

Vid extern strålbehandling används strålfält från en elektronacceleratorer (foton- eller elektronfält) eller starka kobolt-60 strålkällor (fotonfält) vilka ofta från olika håll riktas in mot tumören. Den dosi-

metriska osäkerheten vid extern strålterapi är fortfarande i storleksordningen procent vilket kan ha betydelse för behandlingseffekten och för graden av biverkningar. Detta belyses inte minst i en jämförande studie som gjorts i regi av den europeiska radioterapisammanslutningen (EORTC) och Internationella atomenergiorganet (IAEA), och som har haft aktivt svenskt deltagande (1, 7)

I dag rekommenderas IAEA:s dosimetriprotokoll för bestämning av absorberad dos vid extern strålterapi. Det är av vikt att veta hur beslutet påverkar den dosimetriska osäkerheten i landet. Förhållandena vid användning av oregelbundet formade fält med avskärmningar behöver särskilt utredas.

Vid s.k. brachyterapi ("brachy" betyder nära) förs förslutna radioaktiva preparat in i kroppens hålrum nära tumören (intrakavitär terapi) eller in i tumören (interstitiell terapi). De strålkällor som används är små och stråldosen avtar mycket kraftigt med avståndet från dem. För mätning av absorberad dos innebär detta att olika delar av detektorn bestrålas olika kraftigt vilket gör att den egentliga mätpunkten här är särskilt svår att bestämma.

Det är framförallt iridium-192 strålkällor som används inom intrakavitär och interstitiell brachy-strålterapi. Den absorberade dosfördelningen kring strålkällor för brachyterapi beräknas vanligen utgående från källans styrka. För närvarande finns inga enhetliga metoder för att bestämma vare sig aktivitet eller dosrat (luftkermarat) för kliniska Ir-192 strålkällor. Syftet med pågående forskningsprojekt är att ta fram metoder (7) med acceptabel osäkerhet samt rekommendera hur man ska mäta på sjukhusen för att uppnå spårbarhet till internationella normaler.

Dosimetri i röntgenområdet

Genom att låta gasfyllda jonkammrar arbeta vid tillräckligt låga tryck bör det bli möjligt att med en jonkammare kalibrerad vid en väsentligt högre fotonenergi och med vissa beräknade korrekationer bestämma dosen vid den lägre röntgenenergin (49). Man kan då se hur väl den etablerade tekniken stämmer.

Instrument och metodik för mätning av patientstråldoser inom röntgendiagnostik redovisas i kapitel 6.3.3.

Persondosimetri

Ett annat forskningsområde gäller dosimetri i samband med övervakning av personal i strålningsarbete. Som grund för riskvärdering i arbete med strålning ligger värdet på den effektiva dosen. Eftersom denna inte är mätbar vill man i praktiskt strålskyddsarbete införa en rad andra storheter och relatera dem till effektiv dos enligt någon enkel beräkningsmodell. En sådan storhet är den s.k. miljödosekvivalenten, vilket är den ekvivalenta dosen i samma strålfält på 10 mm djup i en sfär av vävnadsekvivalent material (300 mm diameter). Om denna storhet mäts kommer den effektiva dosen mycket sällan att underskattas.

Som ett led i detta arbete bestäms miljödosekvivalenten för ett flertal hårt filtrerade röntgenspektra och Cs-137 gammastrålning för olika infallsriktningar. Särskilt studeras vad som händer om kalibreringen utförs på en kub i stället för på den ovan nämnda sfären (5).

Arbete pågår för att utveckla en enkel "miljodosimeter" bestående av en mindre sfär av vävnadsekvivalent material med diameter 20 mm. Centralt i denna sitter TL-dosimetrar. Denna miljodosimeter är tänkt att användas för övervakning av dosnivåer i lägen där persondosimeter inte är nödvändig; utanför strålskyddsbarriärer, för uppskattning av gammastrålning, i radonhus etc. (5).

Mikrodosimetri och mätinstrument baserade på mikrodosimetriska principer, neutrondosimetri

När det gäller mikrodosimetriska frågeställningar och möjligheten att förstå hur den absorberade strålningsenergin fördelar sig på cellnivå arbetar svenska forskare (49) med grundläggande experimentell mätteknik och dess applikationer, och med teoretiska beräkningar. Den experimentella teknik som utvecklats utnyttjar mätningar av ström eller laddningsuppsamling i en proportionalräknare. Projektet är intressant i det avseendet att tekniken baserar sig på registrering av energideponeringar och dess variationer i gaspolymer som materialmässigt motsvarar storleken av en cell. I nästa steg sammankopplas de uppmätta mikrodosimetriska fluktuationerna i energideponeringar med direkt observerade biologiska effekter (3, 10, 49). Forskningen be-

drivs parallellt både för låga doser, av intresse i strålskyddssammanhang, och för höga doser vilket är relevant för strålbehandling och dess optimering.

Ett bärbart instruments användbarhet för mätningar i olika neutronstrålfält testas i arbetsmiljön vid kärnkraftsreaktorer (49, 55). Vidare har det använts för att registrera dosbidragen från kosmisk strålning till kabinpersonalen ombord på flygplan och kring strålbehandlingsacceleratorer som utnyttjar högenergetiska fotonstrålfält (49).

Andra mätmetoder

Inom detta område faller en rad olika strålskyddsinstrument som GM-rör, gamma- och röntgenspektrometrar vilka utnyttjar NaI(Tl)- och halvledardetektorer, fotografisk film, spårfilm m.m.

Transmissionsjonkamrar för användning inom röntgendiagnostik behandlas särskilt i kapitel 6.3 och utrustningar för gamma-spektrometri i kapitel 6.4.1.

Icke-joniserande strålning

Den dosimetriska forskningen har som mål att öka tillförlitligheten vid mätning av elektromagnetiska fält, mikrovågor, UV-ljus, laserljus, ultraljud m.m. Under denna rubrik redovisas endast ett pågående projekt. Det behandlar utveckling av teknik och metoder för mätning och beskrivning av elektriska och magnetiska fält (49).

6.2.2 Strålningsbiologi - grundläggande mekanismer

Joniserande strålning

Det finns en växande insikt om att man genom en ökad förståelse för de mekanismer på cell- och molekyl-nivå som ligger bakom sent uppkomna effekter av joniserande strålning skall kunna få en bättre grund för riskuppskattningar inom strålskyddsområdet än vad vi har idag.

Under senare år har man kunnat belysa sambanden mellan genmutationer, genomets instabilitet och cancer.

Försämrad reparationsförmåga ökar risken för cancer

Ett viktigt hjälpmedel när det gäller att klarlägga de molekylära mekanismerna är förekomsten av cellinjer som skiljer sig från normaltypen i fråga om strålkänslighet. En sjukdom som orsakas av en ärftlig skada, Ataxia telangiectasia (AT), leder till att bäraren av denna skada i homocytgot form (båda arvsanlagen skadade) är ungefär dubbelt så känslig för joniserande strålning som normalt. Skadan finns också i dold form där bara det ena av arvsanlagen är skadat (heterocytgoter). Detta förefaller emellertid också öka risken för att drabbas av cancer. Vad man har upptäckt är att AT-celler inte har den normala cellens skydd mot strålskador, dvs. att stanna upp och reparera skadorna innan celldelningen fullföljs. Ett praktiskt problem (27) är att AT-patienter som skall behandlas för cancer är olika strålkänsliga. Cellmaterial från både homo- och heterocytgoter studeras och man har klarlagt att ca 40% av de mest känsliga patienterna har defekter i cellcykelregleringen. Ett större material insamlas nu för att se om den enskilda patientens strålkänslighet kan förutsägas genom en test på cellmaterial från patienten.

Kromosomskador och mutationer

Joniserande strålning skiljer sig på ett antal punkter från de flesta andra mutagena agens. De kromosomförändringar som orsakas av joniserande strålning omfattar hela kromosomen, s.k. kromosomaberrationer, medan UV eller alkylerande kemikalier endast omfattar halva kromosomen, s.k. kromatidaberrationer. Av betydelse för strålningens skadeverkningar är också att det kan ske en samverkan med andra agens som ökar strålskadan. Röntgenstrålningens verkan vad gäller kromosomaberrationer fördubblas t.ex. om den kombineras med en mängd UV-strålning, som ensamt inte ger några kromosomaberrationer. Även agens som varken ger mutationer eller aberrationer i sig självt, men som hämmar DNA-syntes och DNA-reparation, kan samverka med ökade skador som resultat (4).

Pågående studier (11) rör mekanismer för uppkomst av vitala kromosomförändringar i lymfocyter, både stabila och sådana som är i obalans och ger upphov till nya typer av kromosomförändringar. Avsikten med studierna är att undersöka om dessa stabila aberrationer utgör ett bättre mått på strålningsinducerad genetisk skada än de instabila som snabbt sorteras bort i en korttidskultur.

UV-strålning och kemikalier ger övervägande s.k. punktmutationer, förändringar som påverkar enstaka baspar i DNA, medan joniserande strålning leder till förluster av DNA-bitar på tusentals baspar, s.k. deletioner. Strålningsinducerade mutationer i humana lymfocyter karakteriseras med molekylärbiologisk teknik (11, 49). Avsikten är bland annat att karakterisera brottpunkterna i deletioner vad gäller DNA-sekvens. Detta ger viktiga upplysningar om hur deletionerna uppkommer.

Celltransformation

För celler i kultur som växer på en yta i odlingskärlet avstannar celledelningarna när celltätheten blir så stor att cellerna når kontakt med varandra. Bestrålning eller behandling med carcinogena kemikalier leder till att enstaka celler förlorar egenskapen till kontaktinhibering och växer ohämmat. Celler från sådana kolonier som injiceras i djur ger tumörer. Detta modellsystem användes för att belysa de olika steg som leder fram till tumöruppkomst (4)

DNA-skador

DNA är den viktigaste måltavlan för joniserande strålning. DNA i cellen skyddas framförallt av DNA-bundna proteiner, histonerna, och till skyddet bidrar organisationen av DNA-histonkomplexet, kronatinet. Detta gör ett passivt skydd mot bl.a. radiolysprodukter från vaten, särskilt OH-radikaler. Modifieras kromatinstrukturen så att den blir mindre kompakt så ökar de primära DNA-skadorna (4). Sådan uppluckring i kromatinstrukturen sker troligen normalt i geneiskt aktiva regioner. Cellkärnan innehåller också icke DNA-bundna skyddsämnen, s.k. SH-föreningar, som dels kan ta hand om OH-radikaler men också på kemisk väg reparera angripna DNA-enheter.

Mängden SH-föreningar i cellen kan modifieras genom tillförelse av olika agens. Betydelsen av detta för tumörbehandling studeras (3). Ytterligare skydd mot radikalangrepp finns i form av enzymssystem som tar hand om och neutraliserar vissa typer av syreradikaler (48).

Cellen har också ett kraftfullt skydd i form av olika enzymatiska system för att återställa skadat DNA i funktionsdugligt skick. Den allvarligaste skada som arvsmassan kan drabbas av är ett dubbelsträngsbrott i DNA-molekylen. Denna skada har hög felreparationsfrekvens jämfört med skador som bara drabbar den ena DNA-strängen (4).

Genetisk instabilitet

Helt nyligen har man funnit indikationer på att tätjoniserande strålning skulle kunna inducera s.k. kromosomal instabilitet. Detta innebär att celler som ur kromosomsynpunkt ser helt normala ut kan ge upphov till kromosomaberrationer i senare cellgenerationer (åtminstone tycks detta gälla för odlade benmärgsceller). Celler med stabila aberrationer sorteras vanligtvis bort medan denna typ av defekt skulle kunna passera de filter som normalt tar bort t.ex. defekta spermier. Fenomenet analyseras (4, 12) i olika cellpopulationer genom att utnyttja *in situ* hybridisering med kromosomspecifika fluorescens DNA-prober och på så sätt undersöka vilka typer av kromatidutbyten som sker. Avsikten är att sedan undersöka om instabiliteten gäller hela genomet eller bara vissa specifika kromosomer.

Dos-respons samband och dosratens betydelse

Ett experimentellt program (49) är inriktat på jämförande studier av låga respektive höga dosrater med genotoxiska effekter som slutpunkt. Programmet avser att belysa betydelsen av cellernas reparationsförmåga, cellernas förmåga att inducera en ökad reparationskapacitet, samt även belysa genetiskt betingade variationer i förmågan att reparera strålningsinducerade DNA-skador.

Dos-responssamband vid låga eller mycket låga doser och dosrater av låg-LET-strålning studeras med avseende på avvikelser från den linearitet som tillämpas vid riskuppskattning i praktiskt strålskyddsarbete (4).

Hög-LET strålning

Biologiska effekter av hög-LET strålning analyseras vid väl definierade LET värden i området 100-250 keV/ μ m (12, 4). Resultaten är av stort intresse för bl.a. förståelsen av biologiska effekter av alfa-strålning från radonsönderfallet. Celler placeras i väl bestämda positioner i ett mycket smalt LET-intervall (t.ex. 200 \pm 20 keV/ μ m) vilket inte är möjligt vid användandet av hög-LET strålning från en radioaktiv strålkälla. Särskilt analyseras om olika typer av joner med samma LET ger olika biologiska effekter. Möjliga skillnader i DNA:s primära fragmenteringsmönster kan tänkas ge skillnader i DNA reparation och skillnader i cellöverlevnad.

Även vid användning av sådana beta- eller gamma-strålare, som vid sitt sönderfall utsänder ett stort antal lågenergetiska elektroner, åstadkoms en mycket kraftig energideponering i närområdet av sönderfallet (hög-LET). Detta innebär bl.a. att radiotoxiciteten är mycket beroende på var sönderfallet sker i förhållande till DNA. Om exempelvis I-125 är inbyggt i DNA induceras typiska hög-LET skador i DNA som befinner sig upp till 4 nm från sönderfallet medan skadorna på längre avstånd (100 nm) blir av låg-LET typ (2). Ur strålskyddssynpunkt är det allvarligt att just jodisotoper har en transportväg till den kritiska biomolekylen i cellerna och man måste räkna med att det mesta av jodisotoper som tas upp förr eller senare kommer att befinna sig i närområdet av DNA.

Strålskador på hjärnan

Hjärnans utveckling är komplicerad och störningskänslig. Tidig exponering för strålning kan ge bestående skador på vissa nervceller och resultera i mer eller mindre allvarliga skador. Studier pågår i syfte att belysa hur joniserande strålning och elektromagnetiska fält påverkar nervsystemet och dess utveckling, vilka celler som skadas och vilka regleringsmekanismer som styr de olika processerna (2). Ett speciellt intresse har ägnats en grupp nervtillväxtfaktorer som produceras i olika nervceller och påverkar deras funktion. Frågeställningen är i vilken grad dessa tillväxtfaktorer påverkar hjärnans utveckling efter bestrålning och om de eventuellt kan ha några skyddsfunktioner i samband med strålning.

Jämförelse mellan strålrisker och kemiska risker

Möjligheten prövas att uttrycka mängder av genotoxiska kemikalier med ekvivalent dos som storhet, varvid ekvivalenta stråldoser bestäms i *in vitro*-test för mutation. Känsliga metoder för mätning av "doser" i människor och djur har utvecklats (4). Systemet kan användas för uppskattning av cancerrisker och för jämförelser mellan strålrisker och kemiska risker.

En studie av de kombinerade effekterna av strålning och cancerogena kemikalier pågår också (4). Mutationer i en väldefinierad gen, HPRT, studeras hos humana celler *in vitro* vid exposition av gammastrålning och cancerogena epoxider (i första rad etylenoxid, propylenoxid samt glycidyletrar). Låga doser av strålning och kemikalier kommer att användas i olika kombinationer t.ex. förbehandling med låg stråldos med följande behandling av epoxid. Studier kan ge kunskap om mekanismer inblandade i mutationinduktion samt ge möjlighet till ökad förståelse av hur bättre strålskydd kan utformas.

Celltransformerande effekter av låga doser av joniserande strålning på däggdjursceller i odling kan förutsäga den humana cancerrisken vid exponering för strålning. Celltransformerade effekten av cancerogena epoxider kommer också att studeras på celler från musfoster. Celltransformerande effekten av etylenoxid har första gången påvisats i laboratorium (4).

Icke-joniserande strålning

Solstrålning och UV-ljus

Epidemiologiska studier har visat att solstrålning kan ge såväl malignt melanom som andra typer av hudcancer. Detta i kombination med misstanken om en pågående utarmning av ozonhalten i stratosfären, vilken på sikt skulle kunna öka mängden UV-ljus vid jordytan har aktualiserat behovet av mätningar av UV-ljus och dess variationer (se kap. 6.4.1) samt forskning rörande biologiska effekter av UV-ljus.

Hur UV-strålning utlöser cancer är inte klarlagt. Man misstänker att det kan ske på olika sätt. Mutationer kan aktivera en s.k. onkogen. En förändring i genen gör att produktionen av tillväxtfaktorer ökar så att

cellerna börjar dela sig okontrollerat. Man vet att patienter med ärftligt betingat malignt melanom har denna typ av mutagen förändring. Man letar nu efter samma typ av mutationer i de celler, dysplastiska nevi, som antas vara förstadier till malignt melanom. En annan möjlighet är att en s.k. tumör-supressorgen, som normalt håller de gener i schack som har med celldelningen att göra, slås ut av strålningen.

När det gäller att i detalj studera de uppkomna DNA-skadorna och försöka förstå vilka typer av skador som är viktiga för tumörutvecklingen tar man fram märkningsteknik med möjlighet att mäta specifika genetiska förändringar kopplade till utslagning av tumör-supressorgener och studerar detta vid olika UV-exponering. Man utvecklar också en metod för att påvisa UV-specifika mutationer i den s.k. p53-genen och använder denna metod för att studera tumörmaterial, hudcellodlingar och prover från patienter som exponerats för UV-ljus. Olika grupper koncentrerar sig på olika frågeställningar som malignt melanom (27), UV-inducerade mutationer i HPRT-genen (11), gener ansvariga för ärftlig basalcels-cancer (11) och UV-inducerade DNA-skador (11).

UV-ljus användes också sedan länge för att behandla hudsjukdomen psoriasis. Utvecklingen har här gått mot en mer renodad UVA-bestrålning. Orsaken till detta är utvecklingen av lysrör som avger huvudsakligen UVA-strålning samt allt effektivare solskyddsmedel som absorberar det kortvågiga ultravioletta ljuset (UVB). Den av UVA-strålningen framkallade pigmenteringen, som uppstår först sedan huden exponerats för höga UVA doser, kvarstår mycket lång tid. Betydelsen av denna pigmentering studeras (29).

Elektromagnetiska fält

Misstankar om att lågfrekventa elektriska och magnetiska fält kan ha skadlig inverkan på vår hälsa har resulterat i ett växande antal forskningsprojekt inom området både i Sverige och utomlands. Det som främst oroar sig för är att fälten kan ge fosterskador eller ge upplöv till cancer. Vidare har ett antal individer visat symptom, vanligen betecknat som elöverkänslighet, som man velat tillskriva exponering för elektromagnetiska fält. Besvären brukar debutera under arbete ned datorer där bildskärmen varit den enhet som genererat de lågfrekventa

fälten. Flera försök (s.k. dubbelblindtest) att påvisa ett samband har hittills gett negativa resultat.

En epidemiologisk undersökning inom landet visar i överensstämmelse med utländska undersökningar en viss överrisk för barnleukemi för boende nära kraftledningar (25). Även en undersökning som gäller yrkesexponerade personer visar en överrisk (47). Ett övergripande problem är att det idag saknas förståelse för vilka mekanismer som kan ge upphov till dessa effekter.

Pågående forskning gäller:

1) Interaktionsmekanismer mellan elektriska och magnetiska fält och biologisk vävnad. Ett flertal olika hypoteser har presenterats internationellt för att förklara hur dessa fält kan påverka biologiska system, men ingen hypotes har hittills kunnat vetenskapligt accepteras. Flera grupper studerar olika former av påverkan på flödet av kalcium i celler och genom cellmembranen (47, 31, 30, 8). Vissa intressanta resultat har presenterats.

2) Förekomst av kromosomskador. I en studie (47) har man funnit en förhöjd kromosomskadefrekvens när amnionceller utsätts för magnetfält liknande dem vid bildskärmar. Ett försök (30) att upprepa dessa studier visade på en motsatt verkan.

3) Missfall och missbildningar. Djurexperimentella studier (2) visar statistiskt signifikant ökat antal döda embryon hos gravida möss som utsatts för ett elektromagnetiskt fält. Dessa effekter uteblir om honorna inte kommer i kontakt med magnetfälten förrän implantationen av ägget skett.

4) Cancerinduktion. I epidemiologiska studier under 1980- och 1990-talen väcktes misstanken om att exponering för elektromagnetiska fält kunde öka tumörincidensen. Man trodde framförallt att det var fråga om en tumörframkallande effekt. Detta föranledde användandet av en hjärntumörmodell för att undersöka om exponering för EM-fält påverkar tumörtillväxten (8).

Uppkomst av lymfom i möss har studerats (2) genom att först ge en fraktionerad röntgendos och sedan som tumörframkallare använda ett elektromagnetiskt fält. Resultaten visar en trend till ökad tumöruppkomst i den grupp som erhållit behandling med röntgen kombinerat med magnetfält jämfört med den grupp som endast behandlats med röntgen. Däremot visade den grupp som endast behandlats med magnetfält statistiskt signifikant ökad kroppsvikt och minskad livslängd jämfört med den obehandlade kontrollgruppen.

En annan studie (47) avser att belysa eventuella tumörframkallande egenskaper hos magnetiska fält hos mus och råtta.

5) Risker med medicinsk MR m.m. Exponering av befolkningen för radiofrekventa elektromagnetiska fält har ökat drastiskt under de senaste årtiondet i och med den snabba utvecklingen av MR och personburna radiotelefoner. Vid en studie i Lund (8) har man konstaterat ett ökat läckage av albumin genom blod-hjärn-barriären på råttor efter exponering för olika fältkomponenter (i en MR-kamera). Detta föranledde vidare studier av effekten av exponering på blodhjärnbarriären dels med kontinuerliga mikrovågor, dels med modulerade mikrovågor vid de frekvenser som användes i de digitala telekommunikationssystemen.

6.2.3 Epidemiologi

I Sverige, liksom i andra Nordiska länder, är förutsättningarna mycket goda för epidemiologiska studier. Detta beror på förekomsten av relativt heltäckande nationella register samt en förhållandevis homogen och stabil befolkning. Den övergripande målsättningen med epidemiologisk forskning är att påvisa faktorer som påverkar sjukdomsuppkomst samt att ge kvantitativa mått på dessa samband. En sådan faktor kan exempelvis vara exponering för strålning, men det försvårar tolkningen av resultaten att det finns många faktorer som kan ge samma sjukdomar. För den epidemiologiska forskningen behövs uppgifter såväl om exponering som utfallet av exponeringen. Ibland kan aktuella register innehålla båda dessa uppgifter, men ofta måste exponeringsdata tas fram på ett sätt, information om sjukdomar och dödsfall på ett annat. I den epidemiologiska forskning som beskrivs nedan finns båda dessa fall representerade.

Ofta krävs mycket långa uppföljningstider efter exponering av en grupp människor för att få med alla resulterande sjukdomsfall. Ett välkänt sådant exempel är uppföljningen av antalet cancerfall orsakade av bombningarna av Hiroshima och Nagasaki. Denna uppföljning pågår och fortfarande efter snart 50 år tillkommer nya fall. Denna studie är en viktig del i bestämningen av riskfaktorerer förenade med exponering av joniserande strålning.

Joniserande strålning

Studier baserade på medicinsk bestrålning

I Sverige finns ett par exempel på epidemiologiska studier som pågått länge och för vilka uppföljningen fortgår. De bygger på exponeringar som skett i diagnostiskt syfte eller vid strålbehandling och där existerande register innehåller material för vidare bearbetning.

Tidigare strålbehandlades många barn i Sverige på grund av födelsemärken (hemangiom, eldsmärken). I Göteborg (26, 7) initierades tidigt en studie av cancerförekomst, tillväxtrubbningar och linsgrumling i en grupp vuxna som i barnaåren strålbehandlats för födelsemärken. Som bas utnyttjas noggranna journalanteckningar för patienter från den väst-svenska sjukvårdsregionen. En liknande studie har genomförts i Stockholm. Under perioden 1920-1959 behandlades ca 14 500 barn vid Radium-hemmet i Stockholm. De var under 18 månader vid första behandlingstillfället och huvuddelen behandlades med radiumapplikatorer. Cancerförekomsten i denna grupp har jämförts med förväntad incidens hos en kontrollgrupp. För cancer i sköldkörteln erhöles en statistiskt signifikant ökning. I övrigt förelåg ingen statistiskt signifikant ökad förekomst av cancer i den bestrålade gruppen. Fortsatt statistisk analys av olika variablers betydelse för cancerrisken i den bestrålade gruppen pågår liksom utvärdering av olika projektnsmodeller för skattning av eventuell överrisk för cancerinduktion under resterande livstid (3, 27). Ett samarbete har etablerats mellan studierna i Göteborg och Stockholm. Stockholmsmaterialet utnyttjas också för att bestämma risken för linsgrumling bland de bestrålade hemangiompatienterna (27).

I en annan epidemiologisk studie som pågått sedan mitten av 1970-talet undersöks cancerriskerna bland patienter som erhållit diagnostiska eller terapeutiska stråldoser av radioaktivt jod. Studien har bl.a. observerat att risken för sköldkörtelcancer inte är signifikant ökad efter exponering för låga aktiviteter av radioaktiv jodid (I-131). Den studerade patientgruppen innehåller ca 46 000 exponerade individer, varav det stora flertalet exponerades i vuxen ålder. Studien är hittills den enda i sitt slag av denna storlek och har betydelse för riskbedömning av exponering av I-131 jodid. (27 m.fl.)

Vid vissa behandlingsformer utsätts även anhöriga och arbetskamrater för bestrålning. En mindre omfattande studie av doser

till anhöriga till patienter som fått behandling med radioaktiv jod i det närmaste avslutad (7).

En kartläggning pågår av den cancerinducerande effekten av joniserande strålning hos en grupp kvinnor som under 1930- och 1940-talen fick strålbehandling för en godartad bröstsjukdom (fibroadenomas). Studien syftar framförallt till att belysa betydelsen av ålder vid exponeringstillfället, latenstid, dos-respons samband och cancerinducerande effekt av låga doser (0-1 Gy). Studien kommer att vara betydelsefull vid utvärdering av för- och nackdelar av (mass)hälsoundersökningar med mammografi (3).

De svenska materialen av röntgenbehandlade åkommor i rörelseapparaten är unika när det gäller tillgången till god expositionsdocumentation och möjligheten till avsökning i datoriserade register. I en retrospektiv kohortstudie undersöks eventuella carcinogena effekter (i första hand leukemi, malignt lymfom och myelom) hos personer som 1950-64 erhöll röntgenbehandling mot godartade åkommor i rörelseapparaten (arthros, spondylos, periartit och liknande). Undersökningen omfattar sjukhusen i Umeå, Gävle och Skellefteå. Den totala gruppen består av ca 30 000 personer. Data (beträffande antal behandlingsserier, lokalisationer, tidpunkter för behandlingar, fältyta, fältlängd samt dos) har insamlats genom befintliga journalarkiv. Med hjälp av uppgifter beträffande cancerdiagnoser och dödsorsaker kan relativa risker för olika tumörtyper beräknas. Studiens betydelse ligger i möjligheten att få ökade kunskaper om cancerogena effekter av lokal bestrålning för medelhöga stråldoser (28).

I ett par andra epidemiologiska studier kartläggs dels röntgenundersökningar som utförts i Stockholms län med särskild hänsyn tagen till stråldosbelastning i olika åldersgrupper och effekter av införande av ny teknik, dels effekter på barn till kvinnor som röntgades under graviditet på 70-talet och på barn till män som röntgenundersökts före konception (24)

Radonepidemiologi

De hittills beskrivna epidemiologiska studierna baseras på exponeringar som ägt rum på patienter som bestrålats inom sjukvården. Följande två studier rör exponering för radon, i det ena fallet radon i bostäder (hemmiljö) och i det andra fallet radon i gruvor (arbetsmiljö).

Sambandet mellan radon i bostäder och lungcancer har undersökt i den hittills största studien i världen. Studien omfattade 1 360 lungcancerfall och 2 847 kontrollpersoner. För att erhålla expositionsdata genomfördes radonmätningar i nära 9 000 bostäder som bebotts av de undersökta individerna. Genom undersökningen har ett unikt material insamlats som möjliggör säkrare riskuppskattning och belysning av effektmodifierande faktorer. En kraftig samverkan sågs mellan radon och rökning på risken för lungcancer, och effekten av de båda faktorerna föreföll snarast multipliceras. Riskuppskattningen i övrigt överensstämde väl med tidigare data från gruvarbetare. Det beräknas att ca 15% av lungcancerfallen i landet kan hänföras till radon. Detta motsvarar ca 400 fall per år. Detta är sannolikt en underskattning. En fortsatt utvärdering av materialet från denna nationella studie pågår. I framtiden planeras bl.a. molekylärepidemiologiska studier (25 m.fl.).

En annan radonepidemiologisk studie syftar till att ge kvantitativa uppskattningar av risken för lungcancer vid exponering för radon i samband med underjordsarbete i gruva. Datainsamlingen i första etappen är avslutad och analys av resultaten pågår. Denna första del består av en fall-kontrollstudie omfattande lungcancerfall och kontroller. För dessa individer har detaljerade, longitudinella expositionsdata kartlagts. Bedömning av individuell radonexponering har skett genom kartläggning av arbetsplatsens geografiska läge i gruva, rådande omgivningsmiljö och arbetstider kopplat till tillgängliga mätdata samt nya kontrollmätningar utförda på gamla gruvområden. Planering och genomförande av etapp 2 pågår och omfattar heltäckande kohortanalyser för samtliga gruvområden i Kiruna och Malmberget (28).

Tjernobył

Efter reaktorolyckan i Tjernobył deltog över 600 000 sovjetiska arbetare, huvudsakligen värnpliktiga i fertil ålder, i uppröjningen. Nu undersöks möjligheten att genom epidemiologiska studier av barn till dessa uppröjningsarbetare avgöra om det förekommer en nedärvd förhöjd cancerrisk hos barnen som kan associeras med fädernas stråldos. Projektet, som ännu har karaktären av förstudie, omfattar dels en analys av register över uppröjningsarbetarna samt möjligheterna att koppla data för barnen till dessa register, dels validering, vidareutveckling och optimering av metoder för retrospektiv dosimetri

(bestämning av translokationer med kromosomfärgningsmetoden; fria radikaler i tandemalj). De bästa förutsättningarna för en studie föreligger förmodligen i Ukraina (ca 200 000 uppröjningsarbetare). Förberedande studier görs i de tre baltiska staterna (20 000 personer, med god registrering) (4).

Icke-joniserande strålning

Elektromagnetiska fält

Den första rapporten om att elektromagnetiska fält kan påverka människan kom under 1960-talet. Sedan dess har det presenterats ett stort antal forskningsrapporter. Resultaten är ofta motsägelsefulla och svårtolkade. Som framgår av redogörelsen i kapitel 6.2.2 finns idag inte någon accepterad vetenskaplig förklaring till ett samband mellan exponering för elektromagnetiska fält och hälsoeffekt. Ett flertal epidemiologiska undersökningar har genomförts i världen. Flera av dessa indikerar en riskökning för vissa leukemiformer och för hjärntumörer vid exponering för magnetfält. I detta avsnitt beskrivs några olika svenska epidemiologiska studier.

I en nationell fall-kontrollstudie undersöks cancerförekomsten bland personer i bostäder med exponering för magnetfält från kraftledningar. Undersökningen baseras på samtliga bosatta inom 300 meter från landets 220 och 400 kV ledningar under perioden 1960-1985. Populationen omfattar ca 500 000 individer. Omfattande arbete läggs ner på metoder för exponeringsbestämning. Hittills har leukemi och cancer i nervsystemet hos barn och vuxna studerats. Man fann en fördubblad risk för barnleukemi vid exponering över 0,2 μT (mikrotesla). Antalet barnleukemier i Sverige nära kraftledningar är enbart ca två per år. Möjligen kan ett av dessa bero på magnetfältet. Nästa steg är en studie av bröstcancer. Omfattande arbete med skilda exponeringsmodeller återstår (25 m fl).

En likartad studie har genomförts för exponering av magnetfält i arbetsmiljön (47) och en eventuellt ökad risk för cancer. Undersökningen bygger på 250 fall av leukemi och 261 fall av hjärntumörer. Kontrollgruppen var på drygt 1 100 personer. För leukemi (kronisk lymatisk leukemi) fann man att för dem som utsattes för ett dagsmedelvärde över 0,29 μT var risken tre gånger högre än för dem som

exponerats för låga nivåer (mindre än 0,16 μ T). Också för hjärntumörer observerades en riskökning för framförallt de yngsta i undersökningen.

I andra epidemiologiska studier undersöks eventuella samband med andra hälsoeffekter än cancer. Resultaten i dessa är genomgående sådana att några säkra slutsatser om hälsoeffekter till följd av exponering inte kan dras. Dessa studier rör olika former av hudbesvär i samband med arbete vid bildskärm (47 m.fl.) och faktorer som s.k. elöverkänsliga reagerar på (30 m.fl.). I den senare studien, ett s.k. dubbelblindförsök, testades hypotesen att elektriska och magnetiska fält skulle orsaka symptomen utan att reproducerbara resultat kunde uppnås.

Elöverkänslighet, orsak och behandling, studeras i ett treårigt projekt som omfattar en epidemiologisk fall-kontrollstudie, provokationsstudier samt en kontrollerad läkemedelsstudie (47).

UV-strålning

Även hälsoeffekter av UV-strålning är föremål för epidemiologiska studier. I en stor fall-kontroll studie studerades solvanor m.m. bland patienter med malignt melanom och friska kontroller. En stor solvane och solarie studie pågår bland skolungdomar i Stockholm. (29).

6.2.4 Riskforskning

Den samhällsvetenskapliga forskningen med huvudsaklig inriktning på strålskyddsfrågor har mycket liten omfattning. Merparten av forskningen har behandlat frågor som rör riskproblematik. Det finns en sedan länge väl utvecklad riskfilosofi inom strålskyddet baserad bl.a. på omfattande internationellt arbete. Denna mer matematiskt inriktade riskfilosofi har på senare år kompletterats med risker i bemärkelsen upplevd risk, riskkommunikation och riskbedömning. Ett ökat samarbete över disciplingränserna har kommit till stånd.

Flera forskningsprojekt har behandlat upplevd risk i samband med exponering av strålning i olika situationer (40). I ett av dessa projekt undersöktes genom en enkät till ett urval av den svenska befolkningen

bl.a. förekomst av riskfylld solning, skälen till att sola och hur man upplever solningsrisken jämfört med andra risker.

I ett projekt inom EU:s ram och i samarbete med Ryssland analyseras den ryska allmänhetens reaktioner, främst sociala och psykologiska effekter, på olika åtgärder som vidtogs av myndigheterna till följd av Tjernobylyolyckan (40).

Det pågår forskning som syftar till att analysera det ekonomiska värdet av att reducera en viss risk. I strålskyddssammanhang har särskilt frågan om villigheten att betala för att uppnå en lägre radonhalt i bostaden undersökts.

Frågan om hur det radioaktiva avfallet från de svenska kärnkraftverken skall tas om hand har också gett upphov till samhällsvetenskaplig forskning. Bland annat studeras hur konsensus uppnås och beslut fattas inom forskning och teknik respektive politik. Ett antal fallstudier utförs, bl.a. analyseras hur granskningsproceduren och beslutsfattandet gick till vid behandling av tillståndsärendet för SFR (slutförvaret för låg- och medelaktivt radioaktivt avfall utanför Forsmark) (41).

6.3 Strålskyddsforskning inom medicinska områden

Sammanfattning: I detta avsnitt beskrivs de forskningsinsatser som görs i Sverige för att öka kunskaperna om stråldoser och risker för patienter och personal vid undersökningar och behandlingar med olika typer av strålning. Den tyngsta forskningsinsatsen gäller studier och kartläggning av patientstråldoserna i samband med röntgendiagnostik och nuklearmedicin ("isotopdiagnostik") och möjligheterna att begränsa dessa patientstråldoser. Arbetet med att effektivisera användningen av strålningen är ett centralt tema, dvs. att få fram diagnostiskt relevant information med så lite strålning som möjligt. Några grupper bedriver experimentellt arbete, dvs. mäter patientstråldoser samt bedömer bildkvalitet med olika typer av subjektiva test eller med hjälp av mätbara kvalitetsparametrar. I detta arbete är utvecklingen av lämpliga patientliknande testobjekt, s.k. fantom, av väsentlig betydelse. Andra grupper har specialiserat sig på beräkningar av stråldoser och bildkvalitetsparametrar med s.k. Monte Carlo teknik.

Det finns en betydande återstående potential för dosminskning inom röntgendiagnostiken. Detta är ett samhällsområde där en strålskyddsinsats ger en jämförelsevis stor utdelning.

Ett grundläggande problem i all röntgendiagnostik och nuklearmedicin är att man saknar full förståelse för sambandet mellan patientdos och bildkvalitet. Detta är ett centralt område som kräver stora framtida forskningsinsatser. Modern teknik ställer nya krav på strålskyddsforskning. Ny digital röntgenutrustning kan t.ex. ge mycket högre patientstråldoser än den utrustning som hittills använts.

Den strålskyddsinriktade forskningen kring metoder som utnyttjar icke-joniserande strålning för patientbunden diagnostik, t.ex. magnetisk resonanstomografi (MR) och ultraljud har hittills varit mycket begränsad. En grupp bearbetar problem kring MR-undersökningars påverkan på blod-hjärnbarriären och eventuell påverkan på tumörtillväxt. Ingen strålskyddsinriktad forskning sker när det gäller ultraljudområdet.

forts sammanfattning

Forskning med anknytning till strålbehandling gäller i första hand extern behandling med högenergetisk röntgen- och elektronstrålning. Här studeras framförallt stråldoser till organ (i patienten), vilka ligger långt bort från själva behandlingsvolymen. Iakttagelser beträffande akuta och sena effekter på normalvävnad i samband med strålbehandling är en viktig källa till ny information om strålningseffekter, individuell skillnad i känslighet för strålning etc.

6.3.1 Diagnostik

*Joniserande strålning**Röntgendiagnostik*

Den strålning vi får som patienter i samband med röntgenundersökningar på sjukhus är den dominerande artificiella strålningskomponenten i vårt samhälle. Forskningen har stor bredd - från experimentell kartläggning av patientstråldoser till forskning om av de komplicerade samband som råder mellan informationsinnehållet i röntgenbilden och den stråldos som patienten får. Man arbetar också med att ta fram enkla och representativa testobjekt, som kan användas i det dagliga arbetet med att optimera röntgendiagnostiken så att patienten inte får högre stråldos än nödvändigt.

För att uppskatta patientstråldoserna utnyttjar man i dag ofta mätningar med en tunn jonkammare placerad i strålfältet mellan röntgenrör och patient, omedelbart framför röntgenröret. Den mängd strålning som passerar genom en sådan detektor kan utnyttjas för att beräkna den i patientens kropp absorberade strålningsenergin. Genom att dividera med patientens vikt får man den i medeltal i patienten absorberade dosen.

Ett annat sätt att mäta patientdoser är att punktvis fästa små dosimetrar (TL-dosimetrar) på patientens hud. Om man sedan gör en modell av patienten (ett s.k. fantom) och röntgar modellen på samma sätt som patienten kan relationen till stråldosen inuti "patienten"

bestämmas. På detta sätt kan såväl organdoser som så kallad effektiv dos och medeldos i hela kroppen beräknas.

De två ovan nämnda mätteknikerna används ofta samtidigt. Ett något enklare sätt att uppskatta patientstråldosen är att för typiska inställningar göra mätningar fritt i luft med en vanlig cylindrisk jonkammare och sedan relatera värdet till en uppmätt eller beräknad dosfördelning i ett kroppsliknande fantom.

Mätbara parametrar för bildkvalitet som känslighet, brus och geometrisk upplösning i bilden korrelerar sällan entydigt till det informationsinnehåll som bilden har för den vane röntgenologen. Bildkvaliteten bedöms därför ofta så att ett antal röntgenbilder rangordnas efter bildkvalitet av en erfaren röntgenolog, eller så att flera bedömare får i uppgift att identifiera ett antal för undersökningstypen karakteristiska strukturer i bilderna av ett fantom som avbildas med olika utrustningar och med olika inställningar. Experimentell verksamhet med syfte att optimera teknik, bildinformation och stråldos till patienten vid radiologiska undersökningar bedrivs på flera ställen i landet (3, 5, 7, 9, 39, 49). Verksamheten kan indelas i några olika delområden:

1) Patientstråldoser och bildkvalitet vid lungröntgen. Fysikaliska och tekniska faktorer för ett urval av landets vanliga lungröntgenstativ kartlägges och korreleras till bildkvalitet i syfte att finna teknikfaktorer som ger god bildkvalitet vid låg patientdos. Korrelation mellan bildkvalitet och studerade teknikfaktorer är genomgående låg. Det visar sig att lungbilder med hög bildkvalitet skulle kunna produceras till stråldoser som är mindre än hälften av medelvärdet för alla lungstativ i Sverige (49). I ett annat projekt studeras bildkvalitet och stråldoser för ett digitalt system för lungröntgen baserat på stor bildförstärkare. Bildkvalitet före och efter bildbehandling utvärderas med analys av bilder av ett patientliknande fantom på vilket konstgjorda teststrukturer, simulerande aktuella patologiska och anatomiska förändringar, har applicerats. Metoden kan generaliseras till flertalet vanligt förekommande röntgenundersökningar (7).

2) Experimentellt inriktade studier för optimering av mammografi. Detta bedöms som särskilt angeläget eftersom många av undersökningarna göres på friska individer utan misstanke om sjukdom (screening av bröstcancer). Forskning pågår om hur konstgjorda bröstmodeller ska se ut för att bäst efterlikna verkligheten, dvs. hur stor variationen i brösttjocklek och täthet är och vilket medelvärde som kan användas för bl.a. uppskattningar av kollektivdos och

motsvarande risk. I samband med hälsokontrollundersökningar i Göteborg och Västerås registreras därför samtliga data för exponeringarna (kV, mAs, projektion etc.) samt bröstets tjocklek i komprimerat tillstånd. I efterhand bestäms filmsvärtningen och bröstets täthet. Beräkning göres av medelabsorberad dos för varje enskilt bröst och medelvärde för patientgrupp (7, 49).

Nya tekniker för framställning av mammografibilder har presenterats under det senaste året. Med nya anodmaterial i röntgenrören försöker man erhålla sådana energifördelningar hos den utsända strålningen att små tumörer med låg kontrast avbildas bättre i täta bröst. Med hjälp av en speciell statistisk analys (s.k. ROC-analys) utvärderas synbarheten hos små tumörer och mikroförkalkningar i en konstgjord modell av bröstet för ett antal kombinationer av teknikfaktorer. Särskilt korreleras resultaten till utseendet av röntgenspektra uppmätta med s.k. compton-spektrometri (7).

3) Datortomografiska undersökningar och övrig digital teknik. Ett forskningsområde gäller nya typer av datortomografer (CT), samt all annan modern digital röntgenutrustning, t.ex. för kärlröntgen och behandlingar av kärl, som kan ge mycket höga patient- och personalstråldoser. På flera platser pågår ett kontinuerligt arbete i syfte att reducera dessa stråldoser (9, 24, 32) samt att utarbeta förslag till strålskydd som minskar desamma.

De nya kontinuerligt roterande spiraldatortomograferna som producerar bilder medan patienten kontinuerligt förskjuts förbi strålplanet är betydligt effektivare än de gamla datortomograferna och detta påskyndar undersökningarna. Själva utnyttjandet av apparaturen skiljer sig emellertid betydligt från den konventionella datortomografin och det är angeläget att kunna jämföra stråldosen vid olika undersökningstyper för den konventionella datortomografin och spiral-CT (32).

4) Barnröntgenundersökningar. Barn utgör en högriskgrupp när det gäller negativa effekter av joniserande strålning, varför det är speciellt angeläget att minimera stråldoserna vid radiologiska undersökningar av barn. Insatserna har tidigare bl.a. koncentrerats på ryggröntgen, lungröntgen, urinvägsröntgen och höftundersökningar (7, 9, 33, 37). Man utvecklar också program för att enkelt kunna uppskatta organdoser och därmed effektiv dos från enstaka mätningar på huden, och jämför detta med resultaten från tunna jonkammare alternativt inställda apparatparametrar.

I ett annat projekt tar man fram en metodbok för röntgenundersökning av barn i olika åldrar (37). Alla vanligen förekommande röntgenundersökningar av barn granskas kritiskt och optimeras med avseende på antal bilder, projektioner, fältstorlek och medelabsorberad dos.

Flera andra frågeställningar av betydelse för barnröntgen studeras. Hur dosförhållandena ändras när man går över från kontrastvätska till luft för att rätta till stopp i mag-tarmkanalen studeras (5) liksom frågan om stråldoser och risker i samband med att man tar vävnadsprover från tunntarmen under röntgen-genomlysning för att verifiera diagnosen glutenintolerans (5). Möjligheten till generell dosreduktion genom användning av nya typer av röntgenfilm-förstärkningsskärmar studeras också.

5) Tandröntgen. Val av optimala undersökningsparametrar studeras vid övergång till ny teknik i form av s.k. högfrekvens-generatorer och snabbare filmer/skärmar (5) bl a med hjälp av en nyutvecklade flexibel kroppsmodell som innehåller hårdvävnadsdetaljer i form av (kortikalt) ben, dentin och emalj. Man försöker också att utnyttja digital bildbehandlingsteknik så att lägre stråldos skall kunna behövas än tidigare (3, 7, 9, 35). Man studerar också möjligheter att individualisera röntgen-undersökningen samt att dokumentera betydelsen av den radiologiska diagnosen för behandlingsresultatet (35).

6) Teoretiska beräkningar. Vid teoretiska beräkningar är man tvingad till kraftiga förenklingar av verkligheten. Patienten beskrivs oftast som en fyrkantig vattenfylld låda. De mått på bildkvalitet, som används är i allmänhet begränsade (kontrast och kvantbrus). Dosvärdet anges ofta som medelabsorberad dos i hela kroppen. Trots detta har de teoretiska beräkningarna ett mycket stort värde och i takt med att man kan utnyttja mer patientliknande modeller blir beräkningarna allt bättre. Med hjälp av en sådan teoretisk modell studeras (5) grundläggande samband mellan medelabsorberad dos till patienten och bildkvalitet vid olika val av rörspänning, filter, raster, luftgap och receptor.

Man har också visat att effekten av ett kontrastmedel (kontrasten, signal-till-brus kvoten) förstärks om det bildregistrerande mediet är av samma grundämne som kontrastmedlet. Med hjälp av beräkningar kan inverkan av kontrastmedlets sammansättning på bildkvalitet och stråldos analyseras utifrån samspelet med röntgenspektrum, filter, kontrastmedel och bildregistrerande enhet (5).

7) Personalstråldoserna vid röntgenundersökningar av djur. Den personal som måste vara närvarande i undersökningsrummet för att hålla fast stora djur när dessa röntgas utsättes för strålning. Med hänsyn till detta undersöker man om det är möjligt att ersätta en rad röntgenundersökningar av djurens bukorganen med exempelvis ultraljuddiagnostik (34).

Nuklearmedicinska undersökningar

Stråldosen till patienten vid en nuklearmedicinsk undersökning är ungefär lika stor som vid en röntgenundersökning. Eftersom det görs mycket färre nuklearmedicinska undersökningar ger dessa när det gäller den sammanlagda stråldosen till befolkningen endast några procent av bidraget från röntgenundersökningarna. Förutom av det radioaktiva ämnets sönderfallsegenskaper är stråldoserna till patienterna starkt beroende av hur det kemiska preparat som det radioaktiva ämnet ingår i tas upp, fördelas och omsättes i kroppen. Dessa data är oftast dåligt kända och kräver en rad tidskrävande mätningar på enskilda patienter eller frivilliga försökspersoner, ofta lång tid efter undersökningen. Detta kan göras genom upprepade mätningar med gamma-kameror och helkroppsräknare på patienter eller frivilliga försökspersoner kompletterade med mätningar på urin- och blodprover. Arbetet (1, 7, 9) har koncentrerats på nya substanser och på substanser för vilka existerande data är osäkra. Speciellt studeras förhållandena när det gäller undersökningar av barn i olika åldrar. Dessutom avses att från omsättningsdata beräkna hur dosering av aktivitet för barn av olika åldrar bör göras för att en enhetlig bildkvalitet skall erhållas. Man avser vidare att optimera de parametrar som bestämmer bildkvaliteten som kollimator, energi-fönster och bildbehandlingsmetodik (7).

Betydelsen av den ojämna aktivitetsfördelningen i olika organ och vävnader samt av lågennergielektronernas möjligheter att ge DNA-skador för radionuklider som kan fördela sig inuti celler studeras i djur-experiment (8). Lokala stråldoser från radionuklider som administrerats i små vävnadsvolymer studeras också (8, 32).

De långlivade rena β -strålarna C-14 och H-3 har länge utgjort ett problem ur dosimetrisk synpunkt. Med hjälp av ny teknik, acceleratorbaserad masspektrometri, har det blivit möjligt att bestämma även de små fraktioner som finns kvar i kroppen efter en undersökning (9,

14). Teknikens känslighet är sådan att 50 gånger lägre aktivitet kan mätas än med traditionell teknik.

Genom att studera sambandet mellan tillförd aktivitet till patienten och den diagnostiska säkerheten vid nuklearmedicinska gammakameraundersökningar kan en generell över- eller underdosering av aktivitet för en viss undersökningstyp undvikas. Studien har nyligen påbörjats för två vanliga undersökningstyper: skelettscintigrafi och njurfunktionsundersökningar. Metoden som används bygger på användning av patientstudier där olika aktivitetsmängder simuleras genom att vid bildtagningen dela upp totala registreringstiden i delbilder och genom att förlänga den normala registreringstiden (7).

Betydelsen av nya detektor-konstruktioner

Ett nytt cylindriskt gammakamerasystem, som är under utveckling (3 m.fl.) beräknas ge 10-12 ggr högre effektivitet vid skiktundersökningar (SPECT) av hjärnan än en konventionell gammakamera. Den högre effektiviteten hos de nya gammakamerakonstruktionerna kan utnyttjas på flera sätt - förbättrad rumsupplösning eller minskad tillförd aktivitet (främst till barn).

Icke-joniserande strålning

Inom detta område har insatserna hittills varit mycket begränsade. En forskargrupp bearbetar problem kring MR-undersökningars påverkan på blod-hjärnbarriären och eventuell inverkan på tumör-tillväxt (8).

När det gäller det kraftigt expanderande ultraljudområdet förekommer ingen strålskyddsinriktad forskningsverksamhet om man undantar program för förbättrad kvalitetskontroll av utrustningar och bättre karakterisering av strålfälten.

6.3.2 Strålbehandling

Joniserande strålning, patienten

Detta är en verksamhet där den joniserande strålningens möjlighet att döda celler och vävnader är själva behandlingsmetoden. Att ge så hög absorberad dos att hela tumören dör och att samtidigt så mycket som möjligt begränsa biverkningarna i närliggande organ är målet för själva behandlingsplaneringen och därför en verksamhet som normalt inte räknas som strålskyddsforskning. Å andra sidan ger erfarenheterna från strålbehandlingsområdet unik information för bedömning av strålningseffekter på olika typer av vävnad - på kort och på lång sikt. Det är ju också ett strålskyddsintresse att hålla stråldoserna till andra delar av kroppen än tumören så låga som möjligt.

Under den senaste femårsperioden har man utvecklat en metod som gör det möjligt att generera en önskad dosfördelning i en patient samtidigt som minimal biverkan erhålles i omgivande normalvävnad (3). Detta resultat uppnås genom att en smal elektron- eller fotonstråle sveps på ett optimalt sätt över tumörområdet i kombination med s.k. dynamisk flerbladskollimering. Med kännedom om tumörens och normalvävnadernas strålkänslighet (3, 26) beräknas den behandlingsföreskrift som ger maximal sannolikhet för tumörkontroll utan komplikationer.

Stråldoser till avlägsna organ i patienter som får strålbehandling utreds (strålning till andra bröstet, ev foster etc) (9).

Som tidigare nämnts finns i dag ett förnyat intresse för s.k. brachyterapi (brachy=nära) som komplement till den externa strålbehandlingen som utnyttjar strålfält från acceleratörer. Vid brachyterapi föres en strålkälla i läge intill tumören eller in i tumören. I dag utnyttjas framförallt Ir-192. En förutsättning för att kunna bestämma den absorberade dosen är att energifördelningen av de fotoner som lämnat applikatorn är känd. Mättekniskt är detta svårt men lösbart med en s.k. compton spektrometer, som emellertid måste anpassas till de höga fotonenergierna som är aktuella i Ir-192. (Spektrometern konstruerades ursprungligen för röntgenenergierna <math><300\text{ keV}</math>) (5).

Med hjälp av en retrospektiv patientgenomgång granskas de metoder som användes vid behandling av godartade sköldkörtelsjukdomar med radioaktiv I-131 jodid. Ett mål är att behandla godartade sköldkörtelsjukdomar med ett minimum av stråldos till patientens

övriga organ och vävnader, personal, patientens anhöriga och övriga personer i samhället (36).

Joniserande strålning, personalen

Personalens bestrålning från inducerad aktivitet vid acceleratorer och från strålning som transmitteras genom behandlingsrummets väggar utreds (9). Vid användning av högre fotonenergier (50 MV bromsstrålning) för strålbehandling kommer antalet producerade (foto-)neutroner att öka jämfört med lägre energier. Dessa kan också utgöra ett icke önskat inslag i behandlingen. Mätningarna sker runt en accelerator och spårfilmsmätningarna kompletteras med aktiveringsanalyser och teoretiska beräkningar (1, 49).

6.3.3 Instrument och metodik

För bestämning av patientstråldoser vid röntgendiagnostik har en teknik med tunna transmissionsjonkammare placerade omedelbart framför röntgenrören utvecklats. Såväl kalibreringen av dessa instrument som valet av konversionsfaktor för att omvandla jonkamarutslaget till absorberad energi i patienten behöver granskas kritiskt. En svårighet ligger i att rätt bestämma kvaliteten på infallande strålning. Med hjälp av en compton-spektrometer kan energispektrum i varje enskilt fall bestämmas och konversionsfaktorn beräknas utifrån kända samband för monoenergetiska fotoner. Resultaten kan sedan jämföras med dem som erhålls praktiskt utifrån mätningar av halvvärdesskikt eller andra enkla metoder att uppskatta strålkvalitet (5).

Det praktiska strålskyddsarbetet vid röntgendiagnostik är beroende av tillgång till pålitliga mätinstrument för att genomföra olika typer av kontrollprogram. En PC-baserad mätstation för registrering av rörspänning, rörström samt utslag från ovan nämnda transmissionsjonkammare har utvecklats. Detta medger att olika undersökningstyper kan studeras med avseende på dosbelastningen till patienten, samt att kriterier för att reducera dosen kan ställas upp och avvägas i förhållande till den diagnostiska kvaliteten (38).

När det gäller radioaktiva spårämnen utvecklas metoder för bestämning av absorberad dos och dosfördelning i organ och vävnader

på makroskopisk och cellulär nivå, det senare speciellt när det gäller studier av lågenergielektroners biofysikaliska effekter (2, 8). Detta kräver bl.a. upprepade kvantitativa bestämningar av aktivitetskoncentrationen i patienter/försökspersoner, organ och vävnadsprover. För detta utnyttjas gammakamera, SPECT samt autoradiografi (3, 8, 9).

6.4 Strålskyddsforskning inom miljöområdet

Sammanfattning: Forskningen omfattar både den yttre och den inre miljön, både joniserande och icke-joniserande strålning. Mest omfattande är den radioekologiska forskningen dvs. forskning rörande radioaktiva ämnens spridning i naturen, deras upptag i växter, djur och människa samt den strålningspåverkan de åstadkommer. Denna forskning har ökat i omfattning efter olyckan i Tjernobyl och en väsentlig del av forskningen gäller uppföljning av olyckans effekter i Sverige. En del studier genomförs också i före detta Sovjetunionen. Forskningen har medfört en betydligt ökad kunskap om ekologiska faktorerers betydelse för tillgängligheten av radioaktivt cesium i våra skogar och insjöar. Forskningen har framförallt bedrivits i fält och varit experimentellt inriktad, men teoretiska studier och datormodellering har ökat under senare tid. Forskningen har vidare gett viktiga resultat när det gäller de resulterande stråldoserna till människan. Genom svenskt deltagande i EU:s forskningsprogram på jordbruksområdet erhålls kunskap om bl.a. olika motåtgärders effektivitet. Forskargrupper finns på flera platser i Sverige.

Forskningen om icke-joniserande strålning i den yttre miljön har framförallt gällt UV-strålningen från solen och sambandet med hudcancer.

Forskningen kring radon har länge dominerat när det gäller den inre miljön. Radons sönderfallsprodukter ger den i genomsnitt högsta årliga stråldosen till boende i Sverige. Resultaten från senare års forskning har bidragit till nya och lägre gränsvärden för radon i bostäder.

Strålskyddsforskningen med anknytning till kärnenergi rör såväl det radioaktiva avfallet och normaldriften som olyckor.

På senare år har intresset för förekomsten av elektriska och magnetiska fält i arbetsmiljön också medfört forskningsinsatser. Det är fortfarande svårt att relatera symptom av olika slag till förekomst av dessa fält.

6.4.1 Yttre miljö

Naturligt förekommande icke-joniserande strålning

Under senare år har de skadliga effekterna av UV-strålningen från solen rönt en allt större uppmärksamhet. Från strålskyddssynpunkt är orsakerna till detta främst två, varav den ena hör samman med de direkta skadorna på människa och den andra rör en mer långsiktig påverkan på vår natur och våra livsförutsättningar.

Idag anses det säkert att det finns ett samband mellan uppkomsten av hudcancer och exponering för UV-strålning. Detta gäller både den elakartade formen malignt melanom och den mer godartade formen basalcancers. Malignt melanom är den cancerform som ökar mest i Sverige, för närvarande med en incidensökning på ca 6% per år. Många av dessa fall anses bero på solens UV-strålning och exponering i samband med solbadande. Ökningen av UV-exponeringen får tillskrivas ändrade levnadsvanor. Vissa grupper av människor är särskilt utsatta. Det finns också ett samband mellan hög UV-B-exponering och vissa ögonsjukdomar (starr, snöblindhet). UV-strålningens effekter har aktualiserats också i samband med observationen att ett uttunnat ozonskikt leder till en ökad UV-strålning. Detta kan på sikt ge effekter på människa och på andra organismer exempelvis i form av olika effekter på grödor, skog, växtplankton och andra ekosystem. Någon generell ökning av UV-strålningen har dock ännu inte uppmätts på norra halvklotet.

För att få en bild av den biologiskt aktiva ultravioletta solstrålningens variation i tiden pågår sedan ett antal år en kartläggning av UV-strålningen i Sverige (51). Strålningen mäts kontinuerligt på fem platser i landet. I arbetet ingår att jämföra resultaten med motsvarande mätningar i övriga nordiska länder och att utveckla bättre och standardiserade kalibreringsmetoder. Utveckling av teknik och metoder för mätning och beskrivning av emission av och exponering från UV-strålning, speciellt UV-strålning från solen bedrivs också i andra projekt (49).

Det finns en ökande oro för UV-ljusets påverkan på vårt immunsystem. Ökad exponering för UV-ljus skulle kunna negativt öka risken för virusinfektioner och svamp i huden.

Forskning har påbörjats för att studera effekter på naturen av en ökad UV-B strålning. I ett sådant projekt (inom ramen för SNV:s

forskningsprogram om "Förändrat klimat och UV-B-strålning") studeras inverkan av UV-B strålning på planktonalgers tillväxt, fotosyntes och rörlighet, inverkan på högre växter på molekyl, cell-, organ- och helväxtnivå samt inverkan på den svenska fjällfloran. Arbetet sker både i fält och i laboratoriet (15).

Av människan producerad joniserande strålning

Vid sidan om naturlig strålning bl.a. från naturligt förekommande radioaktiva ämnen har människan själv - särskilt under det senaste halvsekle - producerat nya radioaktiva ämnen. De atmosfäriska kärnvapenproven under 1950-talet och 1960-talets första hälft, utsläpp från kärnkraftreaktorer i normaldrift samt utsläpp från uppberedningsanläggningar för utbränt kärnbränsle men även frigörelse av radium i samband med uranutvinning är de spridningskällor för radioaktiva ämnen som traditionellt har studerats. Dessa studier av radioaktiva ämnens spridning och omfördelning i naturen samt upptag i växter och djur ingår tillsammans med studier av strålningseffekter i området *radioekologi*. Ibland används också termen *omgivningsradiologi* i analogi med begreppet medicinsk radiologi.

Efter 1986 har studierna i vår världsdelen, och i Sverige, koncentrerats till utsläppet från den havererade kärnkraftreaktorn i Tjernobyl. På senare tid har också möjligheter öppnats för studier av den kontaminering med radioaktiva ämnen som en rad olyckshändelser i tidigare sovjetiska anläggningar för kärnvapenproduktion gett upphov till i Uralområdet och i Norra ishavet. I det följande beskrivs den pågående radioekologiska forskningen uppdelat i tre huvudområden: jordbruk, skog samt sjö och hav. I särskilda avsnitt redogörs dessutom för forskning som syftar till att studera stråldoser till människan, mätmetodik och meteorologiska spridningsmodeller.

Jordbrukets radioekologi

Studiet av radioaktiva ämnens uppträdande i kulturlandskapet har efter 1986 geografiskt koncentrerats till de områden i Sverige som fick mest nedfall till följd av olyckan i Tjernobyl, och då praktiskt taget uteslutande till de radioaktiva cesiumisotoperna Cs-134 och Cs-137

(2). Antalet fältförsök har successivt minskat i omfattning. Samtidigt har kontrollerade försök påbörjats bl.a. i syfte att kunna studera andra radionuklider än cesium.

Frågeställningar som bearbetas rör hur upptaget av radioaktivt cesium förändras i tiden, varierar i olika grödor, på skilda jordar och beror på olika former av motåtgärder. Till motåtgärder räknas också naturliga åtgärder inom jordbruket som kaliumgödsling och växelbruk. Dessa frågeställningar studeras på ett antal gårdar i de norrlandslän som fick mest nedfall. Överföringen av cesium till komjölk studeras fortfarande både på enskilda gårdar (2) och genom mätningar på den färdiga mejerimjölken (49). En sammanställning av resultat om överföringen av radioaktivt cesium till komjölk i de nordiska länderna under perioden 1988-92 görs i nordiskt samarbete (17). Parallellt med pågående fältförsök så bedrivs också forskning i vilken radioaktiva ämnen tillsätts under kontrollerade former (2). I dessa har man möjlighet att studera effekten av ett radioaktivt nedfall under andra årstider än vad som gällde för nedfallet efter Tjernobyl samt för andra jordar. I sådana försök studeras också radioaktivt strontium (^{90}Sr). I jämförelse med nedfallet efter de atmosfäriska kärnvapenprovet så var tillskottet i Sverige av strontium från Tjernobylolyckan mycket litet.

Pågående studier (17 m.fl.) efter Tjernobyl bekräftar att tamdjur (får, getter och lamm) som går på naturbeten får i sig mycket större mängder cesium vid ett radioaktivt nedfall än djur som betar på odlad jord.

Den forskning som tidigare bedrevs med inriktning på överföringen av radioaktiva ämnen från animalieproducerande djur, via mjölk och kött, till människan är numera av mycket liten omfattning (18). Detta innebär att forskningen i Sverige av de biokemiska och ekologiska processer som styr upptag och fördelning av de radioaktiva ämnena i dessa djur liksom studier av möjligheten att påverka djurens upptag och aktivitetsinnehåll i stort upphört.

Genom samarbetet med EU:s strålskyddsforskningsprogram har Sverige (49) beretts möjlighet att delta i det stora uppföljningsprogram på jordbrukssidan som finansieras av EU. Uppdraget från EU har innefattat att koordinera EU:s insatser när det gäller att återställa radioaktivt nedsmutsade områden i Ukraina, Vitryssland och Ryska rådsrepubliken. Projektet är ett kombinerat forsknings- och lästudsprojekt som bl.a. innebär en forskningsinsats om ekologiska kringstrontium och möjliga motåtgärder i jordbrukslandskapet. Projektet

startade 1992 och beräknas vara avslutat 1995. För närvarande ingår nio institut från EU-länderna och fyra från de tre republikerna i före detta Sovjetunionen. För att täcka hela jordbruksradiologin har var och en av de deltagande instituten ansvar för ett specifikt forskningsområde (modellering; migration i mark; heta partiklar; resuspension; motåtgärder; skillnader mellan olika radionuklider som aktinider, gammastrålare, strontium; samt markens förmåga att mobilisera och remobilisera radionuklider). En viktig del i detta samarbete är att gemensamt publicera material från de undersökningar om Tjernobylolyckans effekter som genomförs.

Skogens radioekologi

Den radioekologiska forskning som bedrevs i Sverige under 1960- och 1970-talen omfattade endast i mindre omfattning skogens radioekologi. Ett undantag gällde renen och dess betesväxter, ett område som vi här räknar in i skogens radioekologi. Ett annat var studier av bioindikatorer som skogsmossa och ormbunkar. Efter Tjernobylolyckan, och till följd av de jämförelsevis höga aktivitetskoncentrationer som konstaterats i skogen, har ett relativt omfattande forskningsarbete påbörjats (forskargrupper i Umeå, Uppsala, Stockholm, Göteborg, Lund, Malmö). Forskningen karakteriseras av samarbete mellan forskare med traditionell radioekologisk bakgrund och forskare från andra universitetsämnen. Omfattande fältstudier är förlagda till Västerbotten där också skogsforskningsstationen i Svartberget nära Vindeln utnyttjas (22, 48) och till Gävleborg (2,49). I skogshögskolans försöksstation i Svartberget kan andra parallellt pågående projekt generera ekologiska och hydrologiska data av stor vikt för den radioekologiska forskning. Området norr om Gävle utnyttjas också för studier av långsiktiga förändringar av strontiumkoncentrationen (49 m.fl.).

I forskningen utnyttjas såväl det radioaktiva nedfallet från atmosfäriska kärnvapenprov och olyckan i Tjernobyl som direkta fältförsök baserade på tillförsel av Cs-134 på provytor i skilda ekosystem i skogen (22, 48). Ett övergripande syfte är att öka de ekologiska kunskaperna om processer som har eller väntas ha stor betydelse för exponering av människan i olika tidsperspektiv, samt att på basis av detta beskriva denna exponering. I skogsekosystemet, som kännetecknas av

en effektiv kvarhållning vad gäller näringsämnen och radionuklider, spelar växtätarna en stor roll. Växtätarna utgör bara en bråkdel av biomassan i en skog men har en oproportionerligt stor effekt på regleringen av elementflöden och inte minst transporten av radionuklider till människan. Till faktorer som är viktiga för denna transport hör växtätarens betesmönster, sambandet mellan växtplatsen och upptaget av radioaktivt cesium, och i vilken utsträckning olika skogsmiljöer skiljer sig åt med avseende på omsättningen av radioaktivt cesium.

Svampens eventuella betydelse för den långsamma minskningen av cesiumkoncentrationerna i rådjur och älg studeras (2).

Svenska forskare (18) deltar inom EU:s ram i ett skogsprojekt i Ukraina. Undersökningen äger rum i det evakuerade området runt Tjernobylyreaktorn. Särskilt studerats överföringen av radioaktiva ämnen till rådjur och vildsvin. Hittills har enbart radioaktivt cesium mätts men avsikten är att också följa radioaktivt strontium.

Beräkningar av stråldoser via födointag tyder på att transporten av radioaktivt cesium från skogsekosystemet till människan är mycket viktig. Av denna anledning studeras också olika motåtgärder som skulle kunna reducera denna transport. Speciellt undersöks möjligheten att utnyttja s.k. slickstenar preparerade med berlinerblått för att reducera koncentrationen av radioaktivt cesium i rådjur och älg (2). Dessutom beräknas den externa stråldosen till människor som vistas i skogsmark (2, 49).

Baserat på de resultat som erhållits under de första fem åren efter Tjernobylyolyckan utvecklas modeller för beskrivning av de dynamiska omlagringsprocesserna i subarktiska skogsekosystem (22, 48).

Gideåområdet, i närheten av Örnköldsvik, har studerats för att orsaken sedan tidigare i samband med undersökningar rörande förvaring av utbränt kärnbränsle och högaktivt avfall (se också kap. 6.4.3) är väl karakteriserat med avseende på bl.a. geologi och grundvattenhydrologi (6). Speciell vikt läggs vid att studera radionuklidernas transport i mark.

En annan forskningsfråga som aktualiserats efter Tjernobylyolyckan är hur olika delar av skogsindustrin liksom utnyttjande av biobränslen påverkas av ett radioaktivt nedfall. Flödet av radionuklider i storskalig skogsindustri studeras (8) särskilt vad avser omsättningen av dessa i massfabriker och bioenergianläggningar. Koncentrationsprocesser, avfallsproblematik och utnyttjande av avfall samt radiologiska kons-

kvenser i samband därmed är föremål för mätningar, beräkningar och modellering. Bestämning av radioaktiviteten i halm, energiskog, flis och torv pågår (14) liksom en bestämning av koncentrationsfaktorn vid olika förbränningsprocesser samt inverkan på omgivningen.

En av de mest aktuella energigrödorna är *Salix* (energiskog). I en pågående studie (13, 2, 49) bestäms upptaget av Cs-134 och Cs-137 i *Salix* som odlas på kontaminerad åkermark och upptaget relateras till markens egenskaper (bl.a. pH och K-innehåll). Avsikten är också att studera fördelning och fastläggning av cesium i olika delar av växterna före och efter avverkning av skotten samt att beräkna de radiologiska konsekvenserna av hantering och energiproduktion av kontaminerad *Salix*.

Den strålskyddsinriktade renforskningen har minskat i omfattning sedan åren efter Tjernobylylyckan och begränsas nu till en långsiktig uppföljning av koncentrationen av radiocesium i ett antal renbetesväxter, såväl marklavar som fanerogamer. Försöken bedrivs på ett tiotal fasta provytor (23). Det stora datamaterialet över cesiumkoncentration i renkött har utnyttjats för att uppskatta den ekologiska halveringstiden för radioaktivt cesium i ren. Resultaten tyder på att denna halveringstid är något kortare än under 60-talet.

Limnisk och marin radioekologi

Radioekologisk forskning som rörde våra insjöar bedrevs i begränsad omfattning under 1960- och 1970-talen efter nedfallet från kärnvapenproven. Resultaten visade att rovfiskar, som gädda, i näringsfattiga sjöar hade en kraftig anrikning av radioaktivt cesium. Vid tiden för Tjernobylylyckan hade denna forskning helt upphört. Den akvatiska radioekologin var då inriktad på Östersjön och Västerhavet. Forskningen syftade främst till att skapa en kunskapsbas för bedömning av konsekvenser av kommande förvaring av radioaktivt avfall. Den långväga spridningen av radioaktiva utsläpp från främst uppdrifts- och reaktorutsläppen i Sellafield studerades, liksom de lokala utsläppen från svenska kärnkraftverk. Nedfallet efter kärnvapenproven i atmosfären utnyttjades också i forskningen.

Efter Tjernobylylyckan stod det snart klart att det i vissa insjöar kunde förekomma höga koncentrationer av radioaktivt cesium i fisk. Uppföljande forskning har också visat att det i många fall är fråga om

en mycket långsam nedgång, i sämsta fall en effektiv halveringstid på ett tiotal år. I andra sjöar däremot har nedgången varit mycket snabb. Några faktorer som påverkar tidsförloppet är sjöns näringsstatus, vattendjup och vattenomsättningstid. Återföring av radioaktiva ämnen från bottensedimenten och tillförsel genom avrinning från omgivande mark har diskuterats som bidragande orsaker till den långsamma nedgången som observerats i många sjöar.

Flera långtidsstudier har genomförts efter 1986. Ett stort datamaterial har insamlats. Datormodeller har utvecklats och testats mot uppmätta data. Studierna har omfattat olika sjötyper, både låglands- och högländssjöar samt olika fiskarter. En inte obetydlig del av arbetet har skett i internationell samverkan. Det är också av intresse att jämföra utvecklingen för Cs-137 från Tjernobyl med Cs-137 från kärnvapensprängningarna för 25-35 år sedan. Här finns stora likheter.

Till de frågor som studerats hör fördelningen av tillfört Cs-137 i sjöecosystem samt betydelsen av bioproduktion och ekosystemtyp för denna fördelningen, tidsförloppet för Cs-137 högre upp i näringskedjan (fisk), samt tidsutvecklingen avseende vertikal och horisontell fördelning av Cs-137 i sediment (19). Bearbetning av datamaterialet har gett en relativt god bild av hur Cs-137 har omsatts och fördelats i de studerade sjöarna.

Vissa dataserier används för att testa spridningsmodeller för omsättningen av Cs-137 i sjöecosystem särskilt genom deltagande i internationella modellvalideringsstudier, BIOMOVS och VAMP (16, 5^t).

Från miljöområdet är det väl känt att det kan vara mycket svårt att återställa naturen till förhållanden som rådde före det att den förorenades. Försök har dock gjorts på ett flertal områden. Efter Tjernobyl har försök gjorts att genom yttre åtgärder minska koncentrationen av radioaktivt cesium i fisk (16 m.fl.). Erfarenheterna är nedslående, och endast mycket marginella, om några, effekter kunde observeras. En uppföljning av projektet kalkning-kviksil/cesium pågår innefattande en utvärdering av långtidseffekter av inäta åtgärder på vattenkemiska förhållanden och på koncentrationen av cesium i fisk (21 m.fl.).

Som nämnts ovan finns det flera tänkbara förklaringar till att koncentrationerna av cesium sjunker så långsamt i vissa sjöar. En sådan förklaring kan vara resuspension av sedimenterat material från sjöbotten. Av denna anledning undersöks ett antal sjöar med olika djup ned

avseende på cesiuminnehåll i fisk, sediment och sedimenterande material i sedimentfällor (19, 21).

En annan möjlig orsak till den långsamma nedgången av radioaktivt cesium i fisk är att det sker en långsam påspädning av cesium i sjöecosystemet genom avrinning från omkringliggande markområden. Marktypens inverkan på transporten av Cs-137 från mark och dess roll för den tidsmässiga koncentrationsutvecklingen i sjöar undersöks experimentellt (21, 48).

Direkt efter olyckan 1986 genomfördes ett flertal forskningsprojekt i Östersjön och Västerhavet. Forskningsinsatserna har sedan minskat i omfattning och idag förekommer de endast liten omfattning. En del undersökningar har kontinuerligt pågått under längre tid också före Tjernobylyckan. Ett exempel är studiet av bioindikatorer, dvs. organismer som kan förväntas reagera tydligt och entydigt på radioaktiva föroreningar. I en sådan studie har variationer i radionuklidinnehållet i brunalger från en provyta på västkusten följts sedan slutet av 60-talet genom kvartalsvisa insamlingar och analyser exempelvis av Cs-134/137, aktiveringsprodukter, Tc-99, Pu-239/240 (9).

Det sker en fortsatt kontaminering av Östersjön genom att radioaktiva ämnen tillförs via de floder som mynnar i Östersjön. Pågående forskning handlar om kvarhållning och omfördelning av Cs-137 från Tjernobyl i Öreälvens vattensystem (21).

Även om forskningsinsatserna de senaste åren varit koncentrerade till radioaktivt cesium, och i första hand till våra insjöar, så pågår också studier av ett urval andra radionuklider, exempelvis plutonium och radium, från olika källor och i olika marina miljöer (8). Särskilt undersöks radionuklidbalans och omsättning av radionuklider i Östersjön, speciellt i den kustnära zonen, liksom flödet och balansen av radionuklider i polarhaven (Arktis och Antarktis).

De tätbebyggda samhällenas radioekologi

Traditionellt har studier av radioaktivt nedfall bedrivits på öppna fält och i andra så ostörda miljöer som möjligt. Med hänsyn till önskemålet att bestämma stråldoserna till befolkningen är det viktigt att även studera de miljöer där majoriteten av befolkningen vistas. De tätbebyggda samhällena kännetecknas av hårda ytor, asfalt, tegel och betong. Man får räkna med en initial avrinning av deponerad aktivitet

med regn och därefter en effektiv kvarhållning av kvarvarande aktivitet.

Avrinningen från några olika städer och samhällen har under årens lopp studerats genom att analysera innehållet av radioaktiva ämnen i rötslam och i utgående vatten från avloppsreningsverken i Malmö och Lund. Studierna fortsätter nu också i Gävle (14). Avsikten är att testa möjligheten att så här långt efter nedfallet utnyttja uppmätta data för att kunna bestämma Cs-137 innehållet i Gävleborna och därmed dosbidraget från intern strålning.

Den på marken deponerade aktiviteten bidrar till (den dominerande) externstrålningen. Hur fort markaktiviteten försvinner på olika typer av underlag har experimentellt studerats i Gävle (48, 49, 54). Det är stora variationer mellan olika underlag.

Befolkningens stråldos påverkas i hög grad av husens förmåga att skärma av den strålning som kommer från mark, tak, väggar etc. Ett trähus reducerar stråldosen från ett Cs-137 dominerat nedfall till hälften medan ett sten/tegelhus ger en reduktion till en fjärdedel (48).

Stråldoser

Människan kan exponeras för strålning på flera sätt. De två mest betydelsefulla efter Tjernobylyckan har varit bestrålning från radioaktiva ämnen på marken (externbestrålning) och bestrålning via mat och dryck som innehåller radioaktiva ämnen (internbestrålning). Två andra exponeringsvägar av mindre betydelse efter Tjernobyl är extern bestrålning från ett radioaktivt moln och inandning av radioaktiva ämnen som förekommer i luften.

Flera grupper i Sverige har på olika sätt sökt uppskatta de stråldoser som uppkommit efter Tjernobyl. Bidraget från externstrålningen dominerar. Detta bidrag beräknas utifrån omfattande mätningar (markprover, mätning *in situ*, mätning från flygplan).

Undersökningar rörande stråldoser från intag av radioaktiva ämnen har pågått i Sverige i många år. De har baserats i första hand på mätningar av helkroppsinnehållet av cesium i olika kontrollgrupper (49, 9). För att noggrant kunna kartlägga tidsvariationer krävs studier över långa tidsperioder. Det finns fortfarande mycket att lära genom att fortsätta studier som påbörjades under kärnvapenprovperioden dler

efter Tjernobylyhaveriet. Sådana studier ger också en basnivå vilken är värdefull att känna vid eventuella nya olyckor.

Efter Tjernobylyolyckan har mätprogrammet utökats och ett stort antal personer har mätts i en s.k. helkroppsmätare (1, 7, 9, 49). Mätningarna har omfattat både olika kontrollgrupper, särskilt utvalda grupper och statistiska urval av den svenska befolkningen. Möjligheten att utnyttja den enklare, och billigare metoden att mäta koncentrationen av radioaktiva ämnen i urin som ett mått på helkroppsinnehållet har studerats ingående.

Med en mobil helkroppsutrustning studeras kroppsinnehållet av cesium hos samer och ett representativt urval av övrig befolkning i Dorotea-, Vilhelmina, Arvidsjaur- och Karesuando-områdena (1, 48).

Inom ramen för ett nordiskt-ryskt samarbete bidrar svenska forskare (7, 9) med oberoende mätningar av externstråldosbidraget till befolkningen i Brjanskområdet i södra Ryssland. Det görs också systematiska studier av relationen mellan deposition och organdoser respektive effektiv dos till individer av olika åldrar. Personernas internkontaminering uppskattas genom mätningar på urinprover. Ett syfte med studien är att undersöka hur strålningen avtar med tiden och att fastställa effekten av olika saneringsåtgärder.

Vid allvarliga olyckor med utsläpp av radioaktiva ämnen kan det vara väsentligt att kunna utföra personmätningar för bestämning av extern och intern kontaminering på ett stort antal personer. Tillgången till speciella helkroppsmätare är mycket begränsad (fem stycken i landet exklusive de som finns på kärnkraftverken) vilket gör att det är viktigt att undersöka andra möjligheter till personmätning med annan mer vanligt förekommande utrustning. Ett sådant instrument, som förekommer på flertalet sjukhus, är gammakameran. En kartläggning av mäteffektivitet och detektionsgränser för olika nuklider pågår (7).

En annan metod att uppskatta cesiumkoncentrationen och som undersöks i Sverige efter Tjernobylyolyckan är mätning av koncentrationen cesium i vävnadsprover. Metodstudier och jämförande mätningar av helkroppsinnehåll med helkroppsmätare har utförts (1).

Slutligen bör nämnas en studie med helt annat syfte, men med möjlig användning vid en olycka, nämligen en undersökning rörande omsättningen av radionuklider hos dialyspatienter. Syftet är att undersöka dels om dialyspatienter utgör en kritisk grupp, dels om dialys är en metod för dekontaminering efter större intag av radiologiskt viktiga radionuklider såsom Cs-137, Sr-90, Ra-226, Po-210 och Pu-239 (8).

Inom det internationella modellvalideringsprojektet VAMP (IAEA) ingår ett scenarie om dosbestämning efter Tjernobyl (54).

Mätmetodik

Utveckling av metodik för mätning av radioaktiva ämnen pågår kontinuerligt. Nya instrument och datorer/datorprogram öppnar nya möjligheter. Ofta kommer resultaten av detta forsknings- och utvecklingsarbete till användning inom radioekologin, även då detta inte varit det primära syftet. En del av den bedrivna forskningen har initierats utifrån beredskapsbehovet för kärnenergiolyckor och utifrån totalförsvarets behov.

Ett flertal forskningsprojekt pågår i syfte att utveckla och förbättra tillförlitligheten av mätning av strålning (alfa, beta, gamma) i vår omgivning både direkt och via provtagning och senare mätning i laboratoriet.

Av speciellt mätmetodologiskt intresse är sådana radioaktiva ämnen som väsentligen sänder ut annan strålning än gamma-strålning och därför kräver mer provberedning och ibland är mer komplicerade att mäta. Dit hör transurana element, rena betastrålare och s.k. elektroninfångare t.ex. Tc-99, Ni-63, Ni-59, Fe-55 (8) samt utveckling av metoder för radiokemisk separation samt α -spektrometrisk analys av U, Th, Am, Cm och Po (8, 54).

Utveckling av enkla och tillförlitliga metoder för att bestämma halten av C-14 och H-3 i olika prover och för mängden C-14 som släpps ut genom kärnkraftverkens skorstenar är andra exempel på metodutveckling (7, 14), liksom möjligheten att förbättra och förenkla mätningar av radioaktiva jod- och cesiumisotoper i mjölk (9) i en beredskapsituation.

Ett mobilt gammamätsystem med automatisk positionering är under utveckling (49). Med detta system kan en radioaktiv beläggning relativt snabbt karteras från marken. Systemet är också tänkt att kunna användas i flygplan.

En rad undersökningar av mätmetodologiskt intresse har kunnat genomföras i områden i de områden av det forna Sovjetunionen som kontaminerades vid olyckan i Tjernobyl. Gammalspektrometriska mätningar i fält och jordprover från högkontaminerade områden i Ryssland och Ukraina utnyttjas för att validera "fältgammametoder"

och för att experimentellt verifiera Monte Carlo beräkningar av strålfält genererade av i marken djupfördelat cesium-134/137. I samarbete med forskare från Ukraina, Ryssland och Vitryssland studeras resuspension från högbelagda ytor i dessa länder och i Sverige. Förutom att erhålla grundläggande kunskaper är syftet att studera riskerna för förnyad kontaminering av dekontaminerade ytor med resuspenderat material (48).

Meteorologiska spridningsmodeller

Tjernobyloylyckan har krävt forskningsinsatser också när det gäller utveckling av meteorologiska spridningsmodeller, både för längre avstånd och för närområdet. Med hjälp av uppmätta meteorologiska värden och koncentrationen av radioaktiva ämnen har modelljämförelser kunnat göras i efterhand (20, 51).

En realtids spridningsmodell på Europaskala utvecklas inom ramen för ett EU-projekt. Arbetet har också innefattat framtagandet av ett spridningsberäknings- och dosberäkningssystem för realtids haveriberedskap vid kärnkraftolyckor. Modellen kan utnyttjas både för prognoser och för analys i efterhand (51)

Efter Tjernobyloylyckan har också globala tredimensionella modeller ursprungligen avsedda för att studera spridning och omvandling av svavel- och kväveföroreningar i atmosfären, utnyttjats för att studera spridningen av radionuklider (20).

Ett program har utvecklats (49) för enkla och snabba spridnings- och dosberäkningar i samband med en kärnkraftolycka. Programmet har blivit en viktig del i den nationella beredskapen mot kärnenergiolyckor.

6.4.2 Inre miljö

Bostäder - joniserande strålning

I genomsnitt ger strålningen från radon det största enskilda stråldosbidraget till boende i Sverige. Variationerna mellan individer/bostäder är emellertid mycket stora. Lungcancer är den främsta hälsorisen i

samband med radon. Radon i bostäder är prioriterat område från strålskyddssynpunkt av SSI och andra berörda myndigheter.

Forskning rörande radonet har en lång tradition i Sverige, och den svenska forskningen ligger väl framme i ett internationellt perspektiv. Statens strålskyddsinstitut har haft en viktig roll både genom att ta fram nödvändigt underlag genom forskningsinsatser och genom att verka för att åtgärder vidtas för att minska radonhalten i bostäder. Pågående radonforskning rör flera områden: riskbedömning, expositionsproblematik, verkansmekanismer, aerosoler, radons förekomst och spridning i mark och hus samt teoretiska modeller.

I mars 1993 avrapporterades den hittills största epidemiologiska studien av sambandet mellan radon i bostäder och lungcancer (25 m.fl.). Studien som närmare beskrivs under avsnittet om epidemiologi (kap. 6.2.3) visade att ca 400 cancerfall per år orsakas av radon. Osäkerhetsintervallet angavs till 300-800 fall. Särskilt tydligt var samverkans effekterna mellan tobaksrökning och radon. Studien har också visat på nya frågeställningar för fortsatta forskningsinsatser. Parallellt med den nationella studien pågår några mindre epidemiologiska studier. I en av dessa studeras radonexponering i bostäder och förekomst av multipelt myelom (45). I en annan görs en översiktlig bedömning av epidemiologiska data från regionala cancerregister (46).

Ett särskilt problem i samband med epidemiologiska studier är att söka bestämma vilka nivåer av radon som de undersökta individerna varit utsatta för (expositionen). Att det rör sig om mycket långa tidrymder, totalt år, försvårar en sådan bestämning, och forskning pågår för att på olika sätt retrospektivt söka uppskatta radonexponering med hjälp av långlivade sönderfallsprodukter liksom att studera radonets variation med tiden i bostäder (49). En idé som nu utforskas närmare (8) bygger på att mäta koncentrationen av bly-210, en av radonets sönderfallsprodukter, i glas som förekommer exempelvis i speglar, fönster och fotografiramar.

En annan faktor som är viktig vid riskbestämning är att förstå mekanismerna för en skadas uppkomst. Hur uppträder radon och dess sönderfallsprodukter i lungan och andningsvägarna, och vilken betydelse har de aerosoler som sönderfallsprodukterna binds till? Forskningen på detta område omfattar direkta mätningar (25, 49) av olösliga partiklars långtidsfixering i människans lunga och radonets upptag i människans luftvägar. Pågående forskning omfattar också metod-

utveckling för att utröna om det är möjligt att använda spårfilm för att kartlägga hur sönderfallsprodukterna deponeras och lagras i lungorna efter inandning (7).

Radonets sönderfallsprodukter är vid bildandet mycket reaktiva och binder lätt till partiklar/aerosoler i rumsluften. Flera studier av mekanismer som påverkar radonkoncentrationen och dess variation inomhus pågår (14, 44, 49). I ett särskilt radonrum (8, 44) studeras sönderfallsprodukternas samverkan med bostadsaerosolen. Grundläggande fenomen såsom vidhäftning till aerosolen, deponering på rummets ytor, ventilationens betydelse etc. studeras. En ökad förståelse av hur radonet och dess sönderfallsprodukter uppför sig i inomhusmiljö väntas leda till en förbättrad uppskattning av exponeringen av invånarna i s.k. radonhus.

Även om radon i byggnadsmaterial var det som först uppmärksammades så är radon från marken den viktigaste källan till radon i bostäder. En omfattande kartläggning av radonhalten i mark har ägt rum i syfte att förhindra höga radonkoncentrationer inomhus vid nybyggnation samt för att åtgärda befintlig bebyggelse. Vanligen har sådan kartläggning skett i kommunregi. I några fall har sådana kartläggningar varit en del av ett forskningsprojekt. Ett sådant exempel är en kartläggning av radonriskområden i Skåne med hänsyn till markradon. Även möjligheter till åtgärder har då undersökts (14, 44). Ett annat mer övergripande projekt (50) syftar till att befintliga instruktioner för riskklassificering av markradon ska förbättras genom att bygga upp kontrollstationer för markradonmätningar. Tanken är att markradonhalten skall registreras i olika typer av jord tillsammans med radonpåverkande parametrar liksom också radonhaltens samvariation med vattenmättnadsgraden.

Höga radonkoncentrationer i hushållsvatten, särskilt från djupborrade brunnar, kan också leda till höga koncentrationer i rumsluften (46).

Radon (Rn-222) är en radioaktiv ädelgas som bildas i en sönderfallskedja som börjar med uran (U-238). I en annan sönderfallskedja som börjar med torium (Th-232) bildas en radioaktiv ädelgas (Rn-220) som kallas toron. Toron och dess sönderfallsprodukter har liknade skadeverkningar som radon. Forskning rörande toronet och dess sönderfallsprodukter pågår (49), och innefattar också karakterisering av luftburna sönderfallsprodukter.

Radonforskningen har haft tyngdpunkten förlagd till experimentella studier. Under senare år har dock teoretiska modellberäkningar, i första hand av radonets förekomst och spridning i olika typer av hus, ökat i omfattning (49).

En annan fråga som uppmärksammas från forskningssynpunkt under senare tid är varaktigheten av de åtgärder som vidtagits för att sänka radonhalten i bostäder.

Arbetsmiljö - icke joniserande strålning

Forskning om strålning i arbetsmiljön har tidigare framförallt avsett joniserande strålning. Detta har gällt arbetsmiljöer i vilka strålning produceras och används som exempelvis sjukhus (kap. 6.3) och kärnkraftverk (kap. 6.4.3). Men det har också gällt arbeten där förekomsten av naturlig strålning har varit hög. Det mest studerade fallet är kanske radon i gruvor (se också under epidemiologi kap. 6.2.3).

På senare tid har särskild uppmärksamhet riktats mot förekomsten av lågfrekventa elektriska och magnetiska fält i arbetsmiljön. Intresset har rört olika arbetsmiljöer och olika hälsoeffekter.

En tidig observation gällde ett eventuellt samband mellan faktorer i samband med bildskärmsarbete och hälsoaspekter. I en longitudinell studie (47) undersöks muskelsjukdomar, s.k. överkänslighetsbesvär (bestående av dels hudsymptom och dels allmänsymptom som huvudvärk, yrsel, trötthet, svettningar och hjärtklappning), ögon- och muskelbesvär. De centrala faktorerna vid bildskärmsarbete är ergonomiska och organisatoriska, men i vissa undersökningar ingår även att studera eventuella samband med lågfrekventa elektriska och magnetiska fält - detta gäller för hudproblem (både självrapporterade och diagnostiserade) samt patologiska ögonförändringar (främst linsgrumlingar). Analysarbetet inom studien pågår.

Elektriska och magnetiska fält i kontorsarbetsmiljö har kartlagts i flera undersökningar. I de fall förhöjda fält påträffats har olika metoder prövats för att reducera dem. Studierna har visat att avsevärda reduktioner av fält ofta kan uppnås med relativt enkla medel. Detta har lett till att arbetet nu övergått i en tillämpningsfas där de vunna erfarenheterna bl.a. prövas i praktiska fältförsök på några statliga mynlig-

heter (30). En särskild teknik för att reducera magnetiska fält från bildskärmar har tagits fram.

En annan källa till magnetfält som uppmärksammats och som kan påverka såväl arbetsmiljö som hemmiljö är de inbyggda nätstationerna. Möjligheterna att minska magnetfälten från inbyggda nätstationer har studerats både teoretiskt, genom utveckling av datorprogram, och praktiskt (30). En reduktion med en faktor 5-10 visat sig möjlig att uppnå.

En tioårig prospektiv hälsoundersökning av ställverks- och linjearbetare i svensk kraftindustri som nu pågått i sex år. I det pågående projektet studeras allmänna hälsoeffekter samt fertilitets- och reproduktionsstörningar (47).

6.4.3 Kärnenergi

Inom kärnenergiområdet har en omfattande forskningsverksamhet ägt rum under de senaste årtiondena. En stor del av denna forskning motiveras av andra skäl än de strålskyddsmässiga. Det gäller exempelvis den forskning som rör den tekniska säkerheten hos befintliga kärntekniska anläggningar och som finansieras bl.a. av Statens kärnkraftinspektion och kraftverksägarna. Det gäller också en stor del av den forskning som behandlar det radioaktiva avfallet, särskilt de delar som avser den tekniska utformningen av ett avfallsförvar. Ansvaret för genomförandet av ett förvar för det radioaktiva avfallet åvilar reaktorägarna, som genom sitt gemensamma företag SKB finansierar en betydande del av forskningen. Myndigheterna SKI och SSI genomför forskning som är relevant för deras egen tillsyn. Personalstrålskydd, monitorering av utsläpp vid normaldrift och vid haverier, filtrering av radioaktiva ämnen, och bl.a. den forskning om det radioaktiva avfallet som rör biosfären är exempel på forskningsområden inom strålskyddsområdet. Utveckling av teknik för dekontaminering av radioaktiva delar från kärnkraftverk, hantering och kompaktering av avfall och studier av bestrålat kärnbränsles upplösning i vatten är andra exempel.

Normaldrift

Primärkylkretsen i kärnkraftverken innehåller olika radionuklider som antingen frigjorts från bränslet eller bildats genom aktivering av korrosionsprodukter som ansamlats på bränsleelementen. Speciellt viktiga är sådana flyktiga radioaktiva föreningarna som genom sina kemiska egenskaper lätt tas upp av levande organismer eller bidrar till svårhanterlig kontaminering. Pågående forskning syftar till att bestämma i vilken kemisk form dessa radionuklider föreligger i reaktorvattnet. Målsättningen med dessa undersökningar är att kunna styra den kemiska formen för de mest dominerande radionukliderna och därigenom minska doserna till personalen på kärnkraftverken. Dessutom ger undersökningen information som är av stor vikt för att kunna förutsäga vilka kemiska former som kan förekomma vid haverisituationer. Projektet bedrivs med en stor andel experimentellt arbete. En automatisk utrustning för kontinuerlig bestämning av jodföreningar i reaktorvatten har utvecklats och testas för närvarande på två svenska kärnkraftverk (6).

Svenska kokvattenreaktorer (BWR) har traditionellt uppvisat kollektivdoser till personalen som legat avsevärt under de som erhållits i utländska anläggningar. Under senare år har förbättringar skett i de utländska anläggningarna medan stråldoserna varit i stort sett konstanta i de svenska fram till 1991 för att sedan öka kraftigt under 1992. I en pågående studie kartläggs orsakerna till de ökande kollektivdoserna i Sverige och den förväntade utvecklingen framöver uppskattas under förutsättningen att inga korrigerande åtgärder vidtages. Samtidigt görs en inventering och värdering av olika möjliga dosreducerande åtgärder (52).

Vid beräkning av stråldoser över mycket långa tidrymder så kommer normaldriftens utsläpp av långlivat radioaktivt kol (C-14) ett ge ett betydande bidrag. Dessa teoretiska beräkningar vilar på enstaka mätningar av utsläppet av kol beroende på de metodologiska svårigheter som föreligger när det gäller att mer kontinuerligt mäta detta utsläpp. Forskning på senare tid har emellertid öppnat nya möjligheter för mätning av aktivitetskoncentrationen av C-14 i och kring kärnkraftverk (14, 55).

Radioaktivt avfall

I SKB:s arbete med slutförvaring av det högaktiva avfallet och utbränt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken ingår ett projektområde "spridning av radionuklider i biosfären" vilket omfattar studier av naturliga flöden av radionuklider i biosfären för att validera biosfärsmodeller, medverkan i internationella modelljämförelser för spridning av radionuklider i biosfären (BIOMOVS II, VAMP), alternativa transportberäkningar för radionuklider i jordar samt litteraturgenomgång av effekter av radionuklidutsläpp på djur och växter (53, 54).

I den forskning som SKB finansierar ingår också projekt som rör gränsområdet mellan biosfären och geosfären, och som enligt vår definition omfattas av begreppet strålskyddsforskning (kap. 1).

Följande är några exempel på forskning om radioaktivt avfall som också är av strålskyddsintresse. Avnittet är inte avsett att vara en fullständig beskrivning av området.

Slutförvaring av utbränt kärnbränsle planeras att ske i kristallint berg på ett djup av ca 500 m. Bränslet kommer att vara omgärdat av en kapsel som placeras i bentonitlera som bl.a. skall förhindra vatten-transport till kapseln. I forskningen (6) studeras de kemiska egenskaper som inverkar på transporten av radionuklider genom det geologiska systemet bestående av kristallint berg och bentonitlera. Detta omfattar också studier av radionuklidreaktioner i cementmiljö (43). Utifrån dessa resultat kan man sedan göra en bedömning av det geologiska systemets egenskaper som en skyddande barriär i slutförvaret. Dessutom studeras hur förekomsten av kolloider, organiska ämnen och bakterier i grundvattnet kan påverka sorptionsegenskaperna för radionukliderna (6, 43). Arbetet bedrivs med en stor andel experimentella undersökningar. Mer grundläggande forskning pågår också för att öka förståelsen av de kemiska egenskapernas inverkan på radionukliderna i den miljö man kan förvänta sig vid en slutförvarsplats. Till dessa undersökningar hör bestämning av kemiska jämviktskonstanter samt undersökning av sorptionsmekanismer. Hit hör också karakterisering av kolloider och organiska ämnen i grundvatten och deras interaktion med radionuklider (43).

Förutom radioaktivt avfall i form av utbränt kärnbränsle bildas en mängd andra avfallsformer, i form av driftavfall och senare rivningsavfall från kärnteknik- och forskningsanläggningar. Detta avfall

planeras också att slutförvaras i ett bergförvar på ca 500 m djup. Avfallsets sammansättning både vad gäller innehållet av radionuklider och andra metaller som beryllium, kadmium och bly samt dess kemiska form skiljer sig avsevärt från utbränt kärnbränsle. Det är därför nödvändigt att studera vilka kemiska egenskaper som kan påverka frigörelse av radionuklider från denna typ av förvar (6). En av de viktigaste skillnaderna i denna typ av slutförvar är att man avser att använda stora mängder betong som kapslingsmaterial. Detta kommer framförallt att påverka pH i grundvattnet.

Förutom de geologiska barriärerna och inkapslingen av bränslet så kommer bränslets löslighetsegenskaper att påverka hur mycket och med vilken hastighet radionukliderna kan frigöras från ett bergslutförvar. Pågående forskning (6) syftar till att studera upplösning/frigörelse av radionuklider från utbränt kärnbränsle kopplat till studier av diffusion av radionukliderna i bentonitlera. I arbetet ingår också att utveckla och anpassa analysmetoder för de långlivade radionuklider som finns i det utbrända kärnbränslet.

Ett bergslutförvar för radioaktivt avfall kommer i långtidsperspektivet att påverkas av de kemiska betingelser som råder i grundvattnet. Grundvattnets sammansättning beror i sin tur på de geologiska förhållandena. Eftersom ett stort antal kemiska reaktioner kommer att påverka både den kemiska sammansättningen av vattnet och mineralogin så används kemiska datorkoder för att genomföra beräkningarna (6). Genom beräkningar på tänkta scenarier för ett slutförvar hoppas man kunna identifiera och beskriva kemiska parametrar av betydelse för säkerhetsanalysen.

Transport av radionuklider från ett slutförvar av radioaktivt avfall genom berget till markytan kommer främst att ske med vatten. Den snabbaste transporten anses kunna ske i sprickor i berget. För att undersöka hur transport av vatten sker i berget har ett flertal olika icke sorberande spårämnen utprovats (6). Dessa spårämnen har sedan använts *in situ* för att studera vattentransport i sprickigt berg. Också svagt sorberande spårämnen omfattas av studien och målsättningen är att kunna använda dessa spårämnen för att kunna studera både transport och sorption i *in situ* försök.

Separation och transmutation innebär att man separerar ut de långlivade radionukliderna från högaktivt avfall och sedan omvandlar dessa radionuklider till mer kortlivade eller stabila ämnen genom kärnreaktioner. Målsättningen med separation och transmutation är att

minska den radiologiska farligheten av radioaktivt avfall i långtidsperspektiv. I och med att USA och Japan presenterade sina program på området under 1990 så har det internationella intresset för dessa frågor ökat. Målsättningen är att i samarbete med forskargrupper från USA och Japan studera separationsprocesser avsedda att användas i samband med transmutation (6). Forskningen som är i ett inledningsskede kommer att bedrivas dels med experimentella undersökningar av tänkbara separationssystem, dels genom modellering av separationssystem. Den samlade kunskapen för både separationseffektivitet och transmutationseffektivitet kommer sedan att kunna användas för att bedöma realismen av separations- och transmutationsprocesser.

Flera forskningsrön visar att bakterier förekommer utbredd nere i jordskorpan - den underjordiska biosfären. I konsekvens med vad man vet om bakterier på jordytan bör de underjordiska bakterierna spela en viktig roll för många geokemiska förlopp. Pågående forskning (42) syftar bl.a. till att kartlägga hur bakterier samverkar med dessa förlopp samt vad som händer med dem vid konstruktion av ett slutförvar.

Parallellt med den forskning som beskrivits ovan pågår också modellstudier av transporten av radionuklider i övergången mellan geosfär och biosfär, och studier av naturliga analoger till sådana radionuklider vilka är intressanta i slutförvarssammanhang (54), samt studier av naturliga analoger i Oklo, Gabon, och Cigar Lake, Kanada (43).

Olyckor

Flera av de forskningsinsatser som relateras under tidigare avsnitt har samband med risken för olyckor i kärntekniska anläggningar. Detta gäller särskilt forskning inom radioekologins område - radioekologin som forskningsgren tillkom som en följd av det radioaktiva nedfallet från kärnvapenexplosioner, utsläpp från normaldrift av kärnkraftverk, och inte minst risken för olyckor i dessa anläggningar. Radioekologins relativt sett stora volym inom strålskyddsforskningen måste bedömas mot denna bakgrund.

Forskning bedrivs för att ge underlag dels för insatser innan ett olycksutsläpp drabbar befolkningen (system för tidig varning), dels för insatser efter ett nedfall (metoder för sanering av olika slag). Forsk-

ning inom det senare området bedrivs för närvarande (49) delvis i områden nära Tjernobyl och i samarbete med EU.

Ett annat tidigare relaterat område som kraftigt betingas av olycksriskerna är utvecklingen av meteorologiska spridningsmodeller. Dessa används visserligen för utsläpp av annat slag än från olyckor, men deras betydelse ur olyckssynpunkt är odiskutabel. Speciellt modeller för att i realtid prognosticera aktivitetsnedfall och doser är mycket speciella för olycksfallet.

Kemiska reaktioner förväntas ha stor betydelse för utveckling av händelsesekvensen vid svåra reaktorhaverier och starkt påverka transporten av frigjorda radioaktiva ämnen inom reaktorinneslutningen. De flesta datorprogram som används för analys av tänkbara olyckor har en bristfällig modellering av betydelsefulla kemiska fenomen. Ett sådant haverianalysprogram (MAAP) har modifierats och utökats så att även viktiga kemiska reaktioner och deras kinetik kan modelleras. Projektet ingår som en del i det nordiska samarbetet rörande reaktor-säkerhet (6).

6.5 Slutsatser

Vi sammanfattar i detta avsnitt några slutsatser som vi dragit vid genomgången av svensk strålskyddsforskning. Vi har strukturerat sammanfattningen i enlighet med beskrivningen i kap 6.2 - 6.4.

6.5.1 Övergripande strålskyddsforskning

Dosimetri och mätteknik - joniserande strålning

När det gäller att öka tillförlitligheten vid mätning av joniserande strålning är forskningsverksamheten koncentrerad till metoder som utnyttjar jonkammare för noggrann bestämning av stråldos. Detta gäller i synnerhet för sådana strålfält (av fotoner, elektroner eller protoner) som användes vid strålbehandling men som också är av betydelse för strålskyddsområdet. Sådan forskning bedrivs vid samtliga institutioner för radiofysik och vid SSI. Betydande satsningar görs för att standardisera mätningen av slutna strålkällor för strålbehandling. Utvecklingen av vätskejonkammaren och av strålskyddsinstrument baserade på mikrodosimetriska principer är två intressanta och lovande utvecklingslinjer. Parallellt med detta sker en utveckling av annan mätmetodik och kalibreringsverksamhet av betydelse för strålskydd inom sjukvård och miljö (patientdosmätningar, fältgammaspktrometri, kalibreringsrum för mätning av radon och dess sönderfallsprodukter etc). Här behövs ökade experimentella och teoretiska insatser och tillgång till standardlaboratorium för bestämning av aktivitet.

Trots att betydande insatser gjorts behöver relationerna mellan exponeringsparametrar och stråldos till individer från såväl extern som intern bestrålning studeras ytterligare. Detta gäller såväl bestrålning vid röntgenundersökningar och extern bestrålning i yrkesverksamhet som allmänhetens exponering för radonets sönderfallsprodukter samt stråldoser till foster från radioaktiva ämnen i kroppen.

Dosimetri och mätteknik - Icke-joniserande strålning

När det gäller forskning som har som mål att öka tillförlitligheten vid mätning av icke-joniserande strålning som lågfrekventa elektriska och magnetiska fält, mikrovågor, UV-ljus, laserljus, ultraljud m.m. är insatserna blygsamma. Det är angeläget att utvecklingen av noggranna mätmetoder för 50 Hz elektriska och magnetiska fält i inomhusmiljöer och på arbetsplatser ges hög prioritet. Detta arbete involverar såväl instrumentutveckling som mätteknik. Vidare behöver det utvecklas fantom för studier av energiabsorption vid exponering för radiofrekvent strålning. I detta sammanhang är det av centralt intresse att, liksom gjorts när det gäller joniserande strålning, utveckla realistiska s.k. voxel (*volume pixel*) fantom baserade på kliniska CT- och MR-bilder. Arbetet med att ta fram parametrar som är relaterade till biologiska effekter i kroppen i syfte att åstadkomma en användbar dosimetri bör intensifieras.

*Strålningsbiologi - grundläggande mekanismer**Joniserande strålning*

Inom detta område har forskningen en lång tradition. Under senare år har antalet forskargrupper inom detta område minskat. Det råder inte någon tvekan om att intresset nu åter fokuseras mot de grundläggande mekanismerna för strålningens biologiska verkan. Det pågår ett antal projekt beträffande strålningseffekter på DNA, celler, vävnader och individer. Olika skydds- och reparationsmekanismer för DNA studeras. Med hjälp av molekylärbiologisk teknik försöker man nu också utröna orsakerna till varierande känslighet för strålning mellan individer, sambandet mellan genmutationer, arvsmassans instabilitet och cancer. I flera projekt jämföres effekterna av joniserande strålning med de som erhålles med andra mutagena agens. Inom detta område har svensk forskning under flera år legat i frontlinjen. Sambandet mellan stråldos och effekt studeras vid olika dosrater såväl i cellkulturer som i djurförsök. Inom landet finns goda möjligheter till studier av effekter av hög-LET strålning. Detta är viktigt mot bakgrund av radonproblematiken och de nya rön som gjort beträffande möjligheten att skador av tätjoniserande strålning manifesteras först efter flera generationer. För att få en bättre grund för riskuppskattningar inom strål-

skyddsområdet än vad vi har idag behövs en ökad förståelse av de mekanismer på cell- och molekylnivå som ligger bakom sent uppkomna effekter av joniserande strålning. Ökad kunskap om dessa mekanismer skulle tillsammans med epidemiologiska studier ge oss möjligheter att lösa några av strålskyddets centrala frågeställningar kring uppkomst av cancer, risker vid låga stråldoser och varierande känslighet mellan individer.

Strålningsbiologi - grundläggande mekanismer Icke-joniserande strålning

Flera projekt behandlar UV-ljus som till sin effekt liknar joniserande strålning. Sambandet mellan UV-bestrålning och t.ex. hudcancer är väl känd men de detaljerade mekanismerna för skadans uppkomst kräver ytterligare forskning. När det gäller lågfrekventa elektriska och magnetiska fält som enligt epidemiologiska studier misstänks ge en viss överrisk för cancer (barnleukemi nära kraftledningar, tumörer vid yrkesexponering etc) försöker man att kartlägga de hittills okända mekanismer som skulle kunna förklara de epidemiologiska iakttagelserna. Man studerar också frekvens av kromosomskador, missbildningar och cancerinduktion i djurförsök.

Trots att man inte kan avvisa möjligheten att magnetfält kan inducera vissa typer av cancer så är det möjliga antalet cancerfall så litet att det knappast utgör ett strålskyddsproblem i samma klass som UV-strålning eller joniserande strålning.

Epidemiologi

Sverige har goda förutsättningar för epidemiologiska studier och flera internationellt uppmärksammade strålningsepidemiologiska studier har också gjorts här. En serie av studier bygger på exponeringar som skett i diagnostiskt syfte inom sjukvården eller vid strålbehandling. Dessa studier har kunnat genomföras tack vare noggrann dokumentation av exponeringsförhållanden. För att möjliggöra framtida epidemiologiska studier är det viktigt att registrera bl.a. exponeringsparametrar för andra typer av undersökningar eller behandlingar (röntgen, MR, ultraljud).

Två andra studier rör exponering för radon (hemmiljö respektive arbetsmiljö). När det gäller icke-joniserande strålning bör särskilt den nationella studien kring cancerförekomst bland personer som bott nära kraftledningarna respektive utsatts för magnetfält i sin arbetsmiljö nämnas. Till detta kommer en studie kring hälsoeffekter av UV-strålning som ännu inte avslutats.

Framtida epidemiologiska undersökningar bör i ökad utsträckning kombineras med molekylärbioologiska studier av specifika strålnings-inducerade förändringar i arvsmassan.

Risikforskning m.m.

Den samhällsvetenskapliga forskningen med inriktning på strålskyddsfrågor behandlar riskproblematiken i ett vidare perspektiv omfattande riskupplevelser, riskjämförelser och riskkommunikation. Forskningen inom detta fält är liten. En utveckling av området kan med fördel ske i samverkan med riskforskning på andra områden.

Juridiska aspekter på strålskyddsfrågor bör också tas upp.

6.5.2 Strålskyddsforskning inom medicinska områden

Diagnostik

Forskning kring patient- och personalstrålskydd inom det medicinska området bedrivs på flera olika håll i landet, oftast i anknytning till universitetssjukhusens och de radiofysiska institutionerna. Området är komplext bl.a. på grund av den snabba teknologiska utvecklingen, motsättningar mellan kliniska behov och strålskyddshänsyn samt stort intresse från allmänheten.

Resultaten visar på en betydande återstående potential för dosminskning inom röntgendiagnostiken. Detta är tveklöst det samhällsområde där en strålskyddsinsats ger den största utdelningen i form av sparad stråldos. Man behöver i större utsträckning än i dag studera indikationer för röntgenundersökningar samt betydelsen av undersökningarna för behandlingsresultaten.

Ett grundläggande problem i all röntgendiagnostik och nuklearmedicin är att man i dag saknar full förståelse för sambandet mellan pa-

tientdos och bildkvalitet. Detta är ett centralt område som kräver stora framtida forskningsinsatser. Modern teknik ställer nya krav på strålskyddsforskning. Digital röntgenutrustning kan t.ex. ge mycket högre patientstråldoser än den utrustning som hittills använts.

Den strålskyddsinriktade forskningen kring metoder, som utnyttjar icke-joniserande strålning för patientbunden diagnostik, t.ex. MR och ultraljud har hittills varit mycket begränsade.

Strålbehandling

Forskningen med anknytning till strålbehandling gäller i första hand extern behandling med högenergetisk röntgen- och elektronstrålning. Här studeras framförallt stråldoser till organ (i patienten) som ligger långt bort från själva behandlingsvolymen. Ökad överlevnad vid strålbehandling kräver större satsningar när det gäller att skydda frisk vävnad under behandlingen. Iakttagelser beträffande akuta och sena effekter på normalvävnad i samband med strålbehandling är en viktig källa till ny information om strålningseffekter, individuell skillnad i känslighet för strålning etc.

6.5.3 Strålskyddsforskning inom miljöområdet

Den radioekologiska forskningen i Sverige måste för närvarande betraktas som relativt stark också i ett internationellt perspektiv. Detta är ett resultat av de satsningar som gjordes efter Tjernobylyckan bl.a. utifrån krav på beredskapen mot kärnenergiolyckor. Denna forskning har också en god geografisk spridning och vi menar att den bör bibehållas i nuvarande omfattning. Forskningen har hittills dominerats av fältundersökningar och experiment, medan de teoretiska studierna varit färre. Det behövs en fortsatt uppföljning av effekterna i naturen även vad gäller uppskattningar av stråldoser till utsatta befolkningsgrupper. Teoribildningen bör prioriteras högt. Vi menar att det finns anledning till ett närmare samarbete mellan traditionell radioekologi och de biologiskt/ekologiskt inriktade ämnena. Det finns många beröringspunkter på miljöområdet mellan strålskyddsforskningen och det miljöforskningsprogram som SNV svarar för. Likheter är stora när det gäller metoder och koncept. Det är också så att strålskyddsforskningen på många områden varit föregångare till utvecklingen på

miljöforskningsområdet. Detta gäller exempelvis utveckling och tillämpning av modeller för spridning av föroreningar i luft, vatten och mark. Erfarenheter från strålskyddsforskningen har vidare varit till nytta vid utveckling av exponeringsanalyser (dosimetri) och vid riskbedömningar.

En utbyggd forskning kring haveriberedskap, beslutsfattande, konsekvensuppskattningar och informationsspridning är angelägen och även här skulle resultaten av forskning kring strålskyddsområdets speciella frågeställningar kunna bli en modell för andra områden.

Sverige har en internationellt framskjuten roll vad gäller studier av radionuklidtransporten i berggrunden genom det svenska kärnavfallsprogrammet som hade en tidig start (1976-1977).

Bilagor

Kommittédirektiv



Dir. 1993:45

Utredning om forskningsverksamheten inom strålskyddsområdet

Dir. 1993:45

Beslut vid regeringssammanträde 1993-04-22

Chefen för Miljö- och naturresursdepartementet, statsrådet Johansson, anför.

Mitt förslag

Jag föreslår att en särskild utredare tillkallas med uppdrag att kartlägga forskningsverksamheten inom strålskyddsområdet i landet samt utreda strukturella frågor rörande grundforskningen av betydelse för strålskyddet.

Bakgrund

Statens strålskyddsinstitut (SSI) har enligt sin instruktion ett centralt samordnande ansvar för tillämpad strålskyddsforskning.

I sin anslagsframställning avseende budgetåret 1993/94 och i den särskilda anslagsframställningen för forskningsverksamheten åren 1993/94-1995/96 har institutet redovisat vissa problem, främst av samordnings- och ekonomisk karaktär, som landets strålskyddsforskning belastas med. För att förbättra förutsättningarna för strålskyddsforskningen i landet har institutet därför, i nämnda anslagsframställningar, anfört skäl för att utvidga sitt eget ansvar för den tillämpande strålskyddsforskningen till att omfatta all strålskyddsforskning, alltså även den grundläggande forskningen.

Naturvetenskapliga forskningsrådet har också föreslagit att SSI formellt skall ta ett ökat ansvar för den riktade grundforskningen, dvs. sådan grundläggande forskning som är av betydelse för den mer målinriktade strålskyddsforskningen (remissvar till Miljödepartementet 14 juni 1991 avseende SSI:s rapport prioriterade verksamheter).

2

Strålskyddsforskningen har en bred tvärvetenskaplig inriktning och innefattar all forskning som syftar till ett bättre strålskydd. Det kan vara svårt att särskilja tillämpad strålskyddsforskning från grundforskning på området. Vissa skillnader finns dock. Som exempel på rent tillämpad forskning kan nämnas studier av förekomsten av radionuklider i omgivningen efter Tjernobyloyolycan, kartläggning av radonkoncentrationer i bostäder och utveckling av metoder för mätning av aktiviteter, doser och dosindikatorer, t.ex. kromosomstörningar. Exempel på grundforskning kan vara studier av biologiska effekter förorsakade av strålning, studier av upptag av radioaktiva aerosoler i lungan eller studier av vissa ekologiska processer. Man kan således utpeka viss forskning som grundläggande respektive tillämpad men mellan dessa ytterligheter finns en stor gråzon.

Strålskyddsforskningens tvärvetenskapliga karaktär innebär att en rad olika ämnesområden har anknytning till strålskyddsforskningen. I första hand berörs radiofysik, kärnkemi, strålningsbiologi/radiobiologi och radioekologi och radioepidemiologi. Dessutom har strålskyddsforskningen beröringspunkter med ämnena fysik, geologi, geofysik, byggnadsteknik och hematologi. Inom dessa skilda ämnesområden råder delvis olika förutsättningar för att bedriva forskning, men vissa likartade drag finns. Vid strålskydd och dess tillämpning inom medicinen eftersträvas en optimerad avvägning mellan vinst och risk för patient och personal. Strålskyddsforskningen utgör därför även ett arbetsområde för yrkesmedicinare och hygieniker.

Enligt SSI finns framför allt inom forskningsområdena radiofysik, radioekologi och strålningsbiologi avsevärda ekonomiska svårigheter. Forskningen inom dessa områden bedrivs endast vid ett fåtal institutioner. Antalet studenter på grund- och forskarnivå har varierat under åren men är genomgående lågt.

Ett problem inom strålskyddsforskningen är att verksamheten är splittrad på många olika discipliner. Det leder till att forskningen bedrivs i alltför små grupper, vilket kan skapa svårigheter att vinna uppmärksamhet för verksamheten, att få förståelse för den inom bredare forskningsgruppering och att därmed finna långsiktig finansiering för den.

Det har varit svårt för den strålskyddsanknutna forskningen att locka forskare till området. Enligt vissa bedömare har det sin förklaring just i att det är svårt att få medel för att finansiera forskningen. Naturvetenskapliga forskningsrådet har i endast begränsad omfattning beslutat om stöd till den strålskyddsanknutna forskningen. Forskningsrådet har i flera fall gjort bedömningen att strålskyddsprojekten genom sin tillämpade karaktär inte uppfyller rådets kriterier för att få stöd.

Jag anser att kunskapsutvecklingen inom strålskyddsforskningen är av stor betydelse bl.a. för den förebyggande hälso- och sjukvården. Det gäller exempelvis studier av nedfallet efter Tjernobyloyolycan, förekomsten av

radon i bostadshus, studier av strålning från bildskärmar, kraftfält samt UV-strålning.

Vidare är det från samhällsekonomisk synpunkt naturligtvis viktigt att strålskyddsforskningen kan bedrivas effektivt.

Uppdraget

Jag föreslår mot bakgrund av vad jag anført att en särskild utredare tillkallas med uppdrag att kartlägga forskningsverksamheten inom strålskyddsområdet. Utredaren bör också diskutera och tydliggöra distinktionen mellan tillämpad, riktad och grundläggande strålskyddsforskning.

Utredaren bör beskriva situationen för strålskyddsforskningen i Sverige och analysera de problem av bl.a. samordnings- och resursmässig karaktär som beskrivits ovan. Utredaren bör vidare redovisa förslag till framtida riktlinjer för strålskyddsforskningen.

Utredaren bör bedöma behovet av insatser för grundläggande forskning. Frågor som rör forskarrekyteringen skall belysas. Förslagen skall finansieras inom SSI:s befintliga resurser för strålskyddsforskning.

Sverige deltar sedan år 1990 aktivt i EG:s strålskyddsforskningsprojekt. Utredaren bör analysera vilka effekter ett medlemskap i EG skulle få för den svenska strålskyddsforskningen.

Flera myndigheters verksamhet påverkas av de resultat som kommer av strålskyddsforskningen. Det gäller t.ex. Socialstyrelsen och Folkhälsoinstitutet som arbetar med hälso- och sjukvårdsfrågor samt Statens naturvårdsverk som arbetar med problematiken kring det uttunnande ozonskiktet. Utredaren skall beakta berörda myndigheters behov så att strålskyddsforskningen även i framtiden kan bidra till ett förhöjt strålskydd inom hälso- och sjukvården och till att öka kunskapen om de skadliga effekterna av UVB-strålningen.

Utredaren skall ta i beaktande de förslag och riktlinjer som regeringen presenterat i propositionerna om treårig budgetfinansiering för forskning och forskarutbildning (prop. 1992/93:170) samt om löntagarfondsmedel och forskning (prop. 1992/93:171). Härvid skall särskilt beaktas de riktlinjer som aktualiserar möjligheten att föra över en del av de fasta anslag till forskning som idag går till vissa institut och myndigheter till en annan finansieringsform som vidgar möjligheterna för nationell konkurrens.

Utredaren skall knyta till sig en referensgrupp med representanter från berörda institutioner och myndigheter för samråd.

Vidare skall för arbetet gälla regeringens direktiv till samtliga kommittéer och särskilda utredare angående utredningsförslagets inriktning (dir. 1984:5), EG-aspekter i utredningsarbetet (dir. 1988:43) samt att redovisa verksamhetens regionalpolitiska konsekvenser (dir. 1992:50).

Utredaren bör redovisa sitt arbete senast den 1 mars 1994.

4

Jag har samrått med cheferna för Socialdepartementet och Utbildningsdepartementet i denna fråga.

Hemställan

Med hänvisning till vad jag här anført hemställer jag att regeringen bemyndigar chefen för Miljö- och naturresursdepartementet

att tillkalla en särskild utredare, omfattad av kommittéförelörden (1976:119), med uppdrag att kartlägga forskningsverksamhet inom strålskyddsområdet i landet samt att utreda strukturella frågor rörande grundforskningen av betydelse för strålskyddsområdet,

att besluta om referensgrupp, sakkunniga, experter, sekreterare och annat biträde åt utredaren.

Vidare hemställer jag att regeringen beslutar att kostnaderna skall till lika delar belasta fjortonde huvudtitelns anslag A 2. Utredningar och femte huvudtitelns anslag A 2. Utredningar m.m.

Beslut

Regeringen ansluter sig till föredragandens överväganden och bifaller hemställan.

(Miljö- och naturresursdepartementet)

UTREDNINGEN (M 1993:05) OM FORSKNINGS- 1993-09-01
VERKSAMHETEN INOM STRÅLSKYDDSOMRÅDET

FRÅGEFORMULÄR

Med detta frågeformulär vill utredningen samla in basuppgifter som bedöms som väsentliga för kartläggningen av strålskyddsforskningen i Sverige. För redovisningen i denna enkät används den definition på strålskyddsforskning som ges i utredningens direktiv:

strålskyddsforskningen har en bred tvärvetenskaplig inriktning och innefattar all forskning som syftar till ett bättre strålskydd.

Strålskyddsforskningen kan vara *tillämpad (målinriktad)* såväl som *riktad grundforskning*. Enligt direktiven avses med

riktad grundforskning sådan grundläggande forskning som är av betydelse för den mer målinriktade strålskyddsforskningen.

Grundforskning i betydelsen sådan forskning som förekommer inom fysik, kemi, biologi mm och som utgör en grundläggande bas för all tillämpad forskning omfattas inte av denna enkät.

Detta svar kommer från

Institution:

Adress:

Kontaktperson:

Telefon:

Efter att ha tagit del av utredningens direktiv och denna enkät, har vi konstaterat att det inte bedrivs någon strålskyddsforskning vid vår institution, och vi återsänder därför formuläret oifyllt.

Vänligen returnera svaren senast den 30 september 1993 till:

Miljö- och naturresursdepartementet
Utredningen om strålskyddsforskning
Östra järnvägs-gatan 10, 7 tr
Att Leif Moberg
103 33 Stockholm.

Använd gärna nedanstående inramningar för besvarande av de olika frågorna. Alternativt kan sammanställningar som redan finns tillgängliga användas i den utsträckning de är tillämpliga.

1. Om forskningen

1.1 Pågående forskning

I detta avsnitt är utredningen intresserad av att få en kortfattad beskrivning av strålskyddsforskning som bedrivits under det senaste budgetåret (1992/93). Redovisningen bör disponeras efter de forskningsområden/forskargrupper som finns vid institutionen (motsvarande), dvs det kan bli mer än ett enkätsvar från en och samma institution.

Forskningsområdets titel:

Ansvarig forskare:

Medarbetare:

Kortfattad beskrivning:

Ekonomiskt stöd 1992/93 (se nedan, punkt 2.1; en tabell per forskningsområde)

En förteckning över de vetenskapliga artiklar som publicerats de senaste sex åren bör lämnas med. Markera de fem mest centrala arbetena.

1.2 Kontakter med andra grupper

För att utredningen skall få en bild av forskarmiljön i vid mening ange i punktform de samarbeten som pågår dels med andra svenska forskargrupper, dels med utländska forskargrupper, särskilt grupper i EG-länder. Ange huruvida samarbetet ingår i EGs forskningsprogram på strålskyddsområdet.

A. Svenska forskargrupper

institution

forskare/forskargrupp

B. Utländska forskargrupper

institution/land

forskare/forskargrupp

ingår i EG

1.3 Utvärdering

Har forskningen blivit föremål för någon form av utvärdering under de senaste sex åren?

- Ja, sammanfattning av utvärderingen bifogas
- Nej

2 Forskningsstöd

2.1 Utredningen har i uppdrag att ge en bild av hur strålskyddsforskningen finansieras, dvs via fakultetsanslag (basanslag), forskningsråd, sektorsorgan, EG och övriga anslag (lokala fonder, industri mm). För att erhålla en uppfattning om utvecklingen och långsiktigheten ber vi Er ange den tid (i år) som anslaget/stödet avser. *Helst bör den på separat blad bifogade tabellen utnyttjas, och data redovisas per forskningsområde/forskargrupp (i samstämmighet med punkt 1.1).* Det finns då möjlighet för utredningen att dels redovisa slutsatser institutionsvis, dels exempelvis per forskningsområde.

2.2 Lämna om möjligt också en grov ekonomisk sammanställning för all strålskyddsforskning vid institutionen som helhet för åren 89/90 och 86/87 - summan av resp fakultetsanslag (basanslag), rådsanslag, sektorsanslag, EG och övrigt.

	<u>1986/87</u>	<u>1989/90</u>	<u>1992/93</u>
fakultetsanslag			
anslag forskningsråd			
anslag sektorsorgan			
EG			
övriga anslag			

3 Forskarutbildning mm

3.1 Forskarrekrytering

Ge en sammanfattande förteckning över aktiva forskarstuderande med angivande av datum för antagning, avhandlingens inriktning och planerad tidpunkt för disputation. Ange aktivitetsgrad i procent efter resp namn.

<u>namn</u>	<u>antagen</u>	<u>avhandlingstema</u>	<u>planerad disp</u>
-------------	----------------	------------------------	----------------------

Ange vilka forskarutbildningskurser som anordnats de senaste tre åren (kursnamn, poäng, antal deltagare och om kursen ordnats gemensamt med andra institutioner (eller motsvarande)

<u>kurs</u>	<u>poäng</u>	<u>deltagare</u>	<u>gemensamt med</u>
-------------	--------------	------------------	----------------------

3.2 Avhandlingar

Redovisa avhandlingar under den senaste sexårsperioden med angivande av författare, avhandlingens titel samt disputationår.

<u>författare</u>	<u>titel</u>	<u>år</u>
-------------------	--------------	-----------

Redovisa också licentiatuppsatser (författare, titel, år)

<u>författare</u>	<u>titel</u>	<u>år</u>
-------------------	--------------	-----------

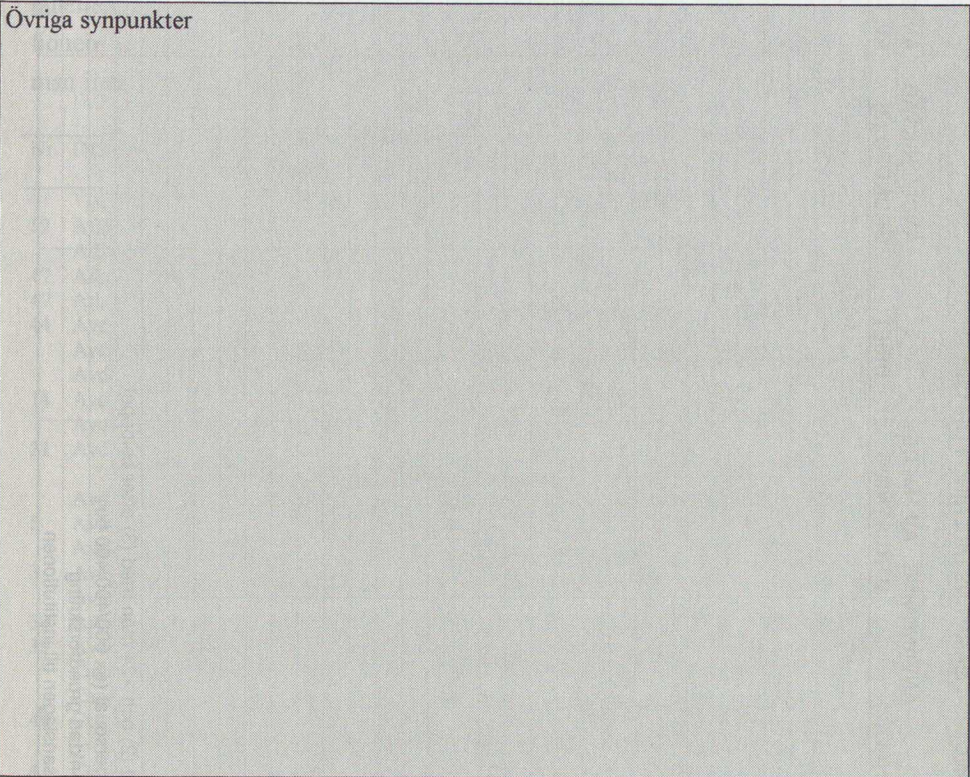
4 Övrigt

4.1 Utredningen är intresserad av att höra synpunkter på definitionen av strålskyddsforskning samt på begreppen tillämpad forskning resp riktad grundforskning på strålskyddsområdet. Vad bör man avse med grundläggande strålskyddsforskning?

Synpunkter på begreppet strålskyddsforskning

4.2 Utredningen är tacksam även för andra kommentarer och synpunkter som rör strålskyddsforskningen än de som efterfrågas i detta formulär.

Övriga synpunkter



4.3 Var vänlig ange tre dagar i oktober/november som är lämpliga för ett besök av representanter för utredningen.

förslag 1:

förslag 2:

förslag 3:

Frågor om denna enkät kan ställas till

Sören Mattsson tfn 040/33 13 74

Leif Moberg tfn 08/763 1998

Vi tackar för att Ni fyllt i detta frågeformulär. Uppgifterna behövs för att ge en så rättvisande bild av strålskyddsforskningen i Sverige som möjligt, och som underlag för kommande förslag.

Tabell Fullständig utsändningslista för enkäten ordnad i bokstavsordning efter adressat. Numreringen är densamma som i tabellerna 5.1-5.3 och avsnitt 5.2.4 i kapitel 5. Svaret anger om institutionen anser sig bedriva strålskyddsforskning eller ej (-- betyder att man inte svarat).

Nr	INSTITUTION	UNIVERSITET/ENHET	ORT	SVAR	
				Ja	Nej
52	ABB Atom		VÄSTERÅS	--	--
	Arbetskyddsstyrelsen	Medicinska enheten	SOLNA		X
47	Arbetsmiljöinstitutet		SOLNA	X	
47	Arbetsmiljöinstitutet		UMEÅ	X	
44	Avd för arbetsmiljöteknik	LTH	LUND	X	
	Avd för diagnostisk radiologi	Hälsouniversitetet	LINKÖPING		X
	Avd för diagnostisk radiologi	Akademiska sjukhuset	UPPSALA		X
14	Avd för kärnfysik	Fysiska institutionen	LUND	X	
	Avd för markvetenskap	SLU	UPPSALA		X
21	Avd för naturgeografi	Umeå universitet	UMEÅ	X	
	Avd för odont röntgendiagnostik	Odontologiska inst	JÖNKÖPING		X
5	Avd för radiofysik	Hälsouniversitet	LINKÖPING	X	
	Avd för radiologi	Hälsouniversitet	LINKÖPING		X
3	Avd för sjukhusfysik	Karolinska sjukhuset	STOCKHOLM	X	
	Avd för sjukhusfysik	Centrallasarettet	UDDEVALLA	--	--
38	Avd för sjukhusfysik	Akademiska sjukhuset	UPPSALA	X	
39	Avd för sjukhusfysik	Centrallasarettet	VÄXJÖ	X	
	Cancerepidemiologiska enheten	Karolinska sjukhuset	STOCKHOLM		X
	Cancerepidemiologiska enheten	Allmänna sjukhuset	UPPSALA	--	--
40	Centrum för riskforskning	Handelshögskolan	STOCKHOLM	X	
41	Centrum för vetenskapsstudier	Göteborgs universitet	GÖTEBORG	X	
11	Enheten för miljömedicin	Karolinska institutet	HUDDINGE	X	
31	Enheten för tillämpad cell- och molekylärbiologi	Umeå universitet	UMEÅ	X	
	Fiskeriverket	Sötvattenlaboratoriet	DROTTNINGHOLM		X
48	Försvarets forskningsanstalt		SUNDBYBERG	X	
48	Försvarets forskningsanstalt		UMEÅ	X	
	Handelshögskolan		STOCKHOLM	--	--
29	Hudkliniken	Karolinska sjukhuset	STOCKHOLM	X	
42	Inst för allmän och marin mikrobiol.	Göteborgs universitet	GÖTEBORG	X	
	Inst för analytisk och marin kemi	CTH	GÖTEBORG		X
	Inst för atomfysik	LTH	LUND		X
	Inst för dermatologi och venerologi	Sahlgrenska sjukhuset	GÖTEBORG		X
	Inst för diagnostisk radiologi	Sahlgrenska sjukhuset	GÖTEBORG		X
32	Inst för diagnostisk radiologi	Huddinge sjukhus	HUDDINGE	X	
	Inst för diagnostisk radiologi	Universitetssjukhuset	LUND	--	--
24	Inst för diagnostisk radiologi	Karolinska sjukhuset	STOCKHOLM	X	
13	Inst för ekologi och miljövärd	SLU	UPPSALA	X	
	Inst för elektrisk mätteknik	Lunds universitet	LUND	--	--
10	Inst för experimentell onkologi	Karolinska institutet	STOCKHOLM	X	
15	Inst för fysiologisk botanik	Lunds universitet	LUND	X	

forts. tabell

	INSTITUTION	UNIVERSITET/ENHET	ORT	SVAR	
				Ja	Nej
	Inst för geologi och geovetenskap	Stockholms universitet	STOCKHOLM		X
16	Inst för geovetenskap	Uppsala universitet	UPPSALA	X	
17	Inst för husdjurens utfodring och vård	SLU	ALNARP	X	
	Inst för kemisk apparatteknik	KTH	STOCKHOLM	--	--
18	Inst för klinisk kemi	SLU	UPPSALA	X	
34	Inst för klinisk radiologi	SLU	UPPSALA	X	
6	Inst för kärnkemi	CTH	GÖTEBORG	X	
	Inst för kärnkemi	KTH	STOCKHOLM	--	--
30	Inst för mikrovågsteknik	CTH	GÖTEBORG	X	
25	Inst för miljömedicin		STOCKHOLM	X	
	Inst för odontologisk röntgendiagnostik	Karolinska institutet	HUDDINGE	--	--
35	Inst för odontologisk röntgendiagnostik	Tandvårdshögskolan	MALMÖ	X	
27	Inst för onkologi	Radiumhemmet	STOCKHOLM	X	
	Inst för onkologi	Akademiska sjukhuset	UPPSALA		X
	Inst för oorganisk kemi	KTH	STOCKHOLM		X
2	Inst för radioekologi	SLU	UPPSALA	X	
7	Inst för radiofysik	Sahlgrenska sjukhuset	GÖTEBORG	X	
8	Inst för radiofysik	Universitetssjukhuset	LUND	X	
9	Inst för radiofysik	Malmö allmänna sjukhus	MALMÖ	X	
1	Inst för radiofysik	Umeå universitet	UMEÅ	X	
22	Inst för skoglig zoologi	SLU	UMEÅ	X	
4	Inst för strålningsbiologi	Stockholms universitet	STOCKHOLM	X	
12	Inst för strålningsvetenskap	Uppsala universitet	UPPSALA	X	
31	Inst för tillämp cell- och mol.biologi	Umeå universitet	UMEÅ	X	
	Inst för yrkesmedicin	Universitetssjukhuset	LINKÖPING	--	--
19	Limnologiska inst	Uppsala universitet	UPPSALA	X	
3	Medicinsk strålningsfysik	Karolinska institutet	STOCKHOLM	X	
20	Meteorologiska inst	Stockholms universitet	STOCKHOLM	X	
	Odontologiska inst	Göteborgs universitet	GÖTEBORG	--	--
	Odontologiska kliniken	Tandläkarhögskolan	UMEÅ	--	--
26	Onkologiska inst	Sahlgrenska sjukhuset	GÖTEBORG	X	
	Onkologiska kliniken	Regionsjukhuset	LINKÖPING	--	--
	Onkologiska kliniken	Universitetssjukhuset	LUND	--	--
36	Onkologiska kliniken	Malmö allmänna sjukhus	MALMÖ	X	
28	Onkologiskt centrum	Norrlands universitetssjukhus	UMEÅ	X	
	Radiofysikavdelningen	Regionsjukhuset	ÖREBRO		X
	Radiologiska avd	Regionsjukhuset	UMEÅ	--	--
27	Radiumhemmet	Karolinska sjukhuset	STOCKHOLM	X	
	Regionsjukhuset		ÖREBRO	--	--
37	Röntgenavdelningen	Barnklin, Östra sjukhuset	GÖTEBORG	X	
33	Röntgendiagn avd	Malmö allmänna sjukhus	MALMÖ	X	
	Röntgenkliniken	Danderyds sjukhus	DANDERYD	--	--
50	Statens geotekniska institut		LINKÖPING	X	
51	SMHI		NORRKÖPING	X	
	Statens livsmedelsverk		UPPSALA		X
	Statens naturvårdsverk		SOLNA		X
49	Statens strålskyddsinstitut		STOCKHOLM	X	
54	Studsвик Ecosafe		NYKÖPING	X	
54	Studsвик Nuclear AB		NYKÖPING	X	
	Svensk kärnbränslehantering		STOCKHOLM		X

forts. tabell

Nr	INSTITUTION	UNIVERSITET/ENHET	ORT	SVAR	
				Ja	Nej
	Sveriges geologiska undersökning		STOCKHOLM	--	--
	Tumörbiologi	Karolinska institutet	STOCKHOLM	--	--
55	Vattenfall		VÄLLINGBY	X	
	Veterinärmedicinsk näringslära	SLU	UPPSALA		X
23	Växtbiologiska inst	SLU	UPPSALA	X	
45	Yrkes- och miljömedicinska kliniken	Universitetssjukhuset	LUND	X	
46	Yrkes- och miljömedicinska kliniken	Regionsjukhuset	ÖREBRO	X	

No.	LOCATION	No.
1	...	1
2	...	2
3	...	3
4	...	4
5	...	5
6	...	6

Bilaga 3 Begreppet strålskyddsforskning och tidigare utredningar

Vad är strålskyddsforskning?

Definition av forskning och utveckling (FoU)

Följande generella definitioner av begreppet *forskning* och *utveckling* (FoU) har utvecklats inom OECD och används bl.a. av Statistiska centralbyrån vid redovisning av forskningsstatistik.

Forsknings- och utvecklingsverksamhet definieras som verksamhet på systematisk grundval för att öka fonden av vetande. I FoU inräknas att utnyttja detta vetande för nya användningsområden och att åstadkomma nya eller förbättrade produkter, system eller metoder. Schematiskt kan FoU delas upp i följande tre komponenter.

grundforskning: att systematiskt och metodiskt söka efter ny kunskap och nya idéer utan någon bestämd tillämpning i sikte. Detta begrepp innefattar både *ren grundforskning* (eng. pure basic research), där ingen restriktion finns vad gäller forskningens inriktning, och *riktad grundforskning* (oriented basic research) där forskningens inriktning är att lägga en grund som kan tänkas ge en tillämpning.

tillämpad forskning: att systematiskt och metodiskt söka efter ny kunskap och nya idéer med en bestämd tillämpning i sikte

utvecklingsarbete: att systematiskt och metodiskt utnyttja forskningsresultat, vetenskaplig kunskap och nya idéer för att åstadkomma nya produkter, nya processer och nya system eller väsentliga förbättringar av existerande sådana.

Hur har strålskyddsforskning definierats tidigare?

Strålskyddsforskning som samlande beteckning för forskning som rör skyddet mot strålning blev i Sverige mer allmänt använd under 1960-talet. År 1963 inrättade Kungliga vetenskapsakademien en särskild

Nationalkommitté för strålskyddsforskning som fortfarande är verksam.

Den 1 juli 1976 erhöll Statens strålskyddsinstitut (SSI) formellt ansvaret för den *tillämpade* strålskyddsforskningen. Ansvaret omfattar både frågeställningar inom kärnenergiområdet och inom övriga områden på strålskyddsområdet. De senare omfattar såväl *joniserande* strålning som *icke-joniserande* strålning.

Begreppet strålskyddsforskning diskuterades av Radiobiologiutredningen. I dess betänkande (Radiobiologisk forskning m.m., Ds U 1981:6) sägs bl.a. att strålskyddsforskningen är inriktad på att ge kunskaper om människans strålningsmiljö och strålningens verkningar. Dessa kunskaper används sedan i utvecklingen av förbättrad metodik och för kontroll och reduktion av människans strålbekäftning och de skadliga verkningarna av denna. Strålskyddsforskningens resultat är också underlag för beslut om gränsvärden och skyddsåtgärder. I detta ingår också riskanalyser.

Det sägs vidare att utgångspunkten för strålskyddsforskningen är ett praktiskt strålskyddsproblem som ska ges en vetenskapligt grundad lösning. I en del fall kan detta kräva grundforskningsinsatser. Grundforskningen är i detta fall underordnad ett visst syfte och resultatet avses få betydelse inom strålskyddet. Man kallar detta *riktad grundforskning*.

Det konstaterades vidare att strålskyddsforskningen är beroende av att det vid universiteten bedrivs grundforskning av hög klass inom många av naturvetenskapens ämnesområden som matematik, fysik, kemi, biologi och geovetenskaper. Detta gäller kompetens, arbetsmetodik och grundläggande kunskaper. Beroendet av aktiv naturvetenskaplig forskning delar strålskyddsforskningen med många andra tillämpade forskningsområden.

Begreppet strålskyddsforskning berörs också av utredningen om kärnkraftberedskapen (Samhällets åtgärder mot allvarliga olyckor, SOU 1989:86). I betänkandet sägs om strålskyddsforskningen, delvis betingat av utredningens uppdrag, att denna forskning är inriktad på att ge kunskaper om strålningsmiljön och strålningens verkningar. Denna kunskap kan bl.a. utnyttjas för att förbättra metodik och kontroll och för att reducera de storskaliga verkningarna av strålning. Strålskyddsforskningen är till sin natur målinriktad men vissa problemställningar kräver insatser även av grundforskningskaraktär. Strålskyddsforskningen är för sin utveckling beroende av den grund-

forskning som sker vid universitet och högskolor inom en rad naturvetenskapliga ämnesområden.

De definitioner på strålskyddsforskning m.m. som förekommit i andra sammanhang är mer operationella, dvs. de anger områden och frågeställningar som omfattas av strålskyddsforskningen. På samma sätt anges sådana områden som inte tillhör strålskyddsforskningen.

Definition i utredningens direktiv

I direktiven till denna utredning definieras strålskyddsforskning på följande sätt: "strålskyddsforskningen har en bred tvärvetenskaplig inriktning och innefattar all forskning som syftar till ett bättre strålskydd".

Den tvärvetenskapliga karaktären innebär att en rad olika ämnesområden har anknytning till strålskyddsforskningen. I första hand berörs radiofysik, kärnkemi, strålningsbiologi, radioekologi, och radioepidemiologi. Dessutom finns beröringspunkter med fysik, geologi, geofysik, byggnadsteknik och hematologi. Såväl joniserande som icke-joniserande strålning omfattas. Strålskyddsforskningen har vidare kontaktytor mot icke-tekniskt/naturvetenskapliga ämnen som exempelvis riskforskning.

I direktiven definieras riktad grundforskning som "sådan grundläggande forskning som är av betydelse för den mer målinriktade strålskyddsforskningen"

Definition i enkäten och några synpunkter

För att samla in ett grundmaterial till vår kartläggning av strålskyddsforskningen i landet har vi distribuerat en enkät till forskargrupper/institutioner som vi på förhand bedömde utföra strålskyddsforskning. Denna enkät behandlas närmare i kapitel 1.3. För enkäten utnyttjades i huvudsak den definition som används i utredningsdirektiven. Grundforskning i betydelsen sådan forskning som förekommer inom fysik, kemi, biologi m.m. och som utgör en grundläggande bas för all tillämpad naturvetenskaplig forskning omfattades inte av enkäten.

I enkäten inbjöd vi till synpunkter på dessa definitioner. Vi har fått ett flertal synpunkter från vilka man kan urskilja ett mönster enligt följande.

En generell definition. I några enkätsvar instämde man i den givna definitionen och fann det också naturligt att en generell definition av begreppet strålskyddsforskning även innebär möjlighet till olika tolkningar och ger upphov till diffusa gränsdragningar. I flera enkätsvar har man angivit en alternativ definition med innebörden "all forskning som ökar vår kunskap om strålningens verkningar på mänskliga, djur och miljö och som kan vara av värde för att förbättra strålskyddet".

De traditionella definitionerna på tillämpad och grundläggande forskning kan väsentligen utnyttjas. Detta innebär då att den grundläggande forskningen befinner sig betydligt längre från strålskyddet och frågan om huruvida resultaten kommer att bidra till ett bättre strålskydd är mer svårbedömd än för den tillämpade forskningen.

I något fall har man även tagit hänsyn till att grundforskning är av mer långsiktig karaktär (flera år). För tillämpad strålskyddsforskning har nämnts att den gärna bör ha en regional spridning och ske exempelvis i samverkan med regionala och lokala myndigheter.

En operativ definition. Strålskyddsforskning (tillämpad och grundläggande) definieras i form av konkreta exempel från olika områden. Enligt vår uppfattning belyser dessa exempel på ett tydligt sätt strålskyddsforskningens bredd och komplexitet. Samtidigt visar de på hur denna forskning kan uppfattas beroende på forskarens verksamhetsområde. Ett urval av sådana definitioner är

- strålskyddsforskning är att studera processer inom strålningsbiologi, radioekologi, radiokemi, strålningskemi och radiofysik för såväl joniserande som icke-joniserande strålning där såväl teoretisk som reell och psykologisk inverkan på människor och miljö beaktas
- strålskyddsforskning innefattar basala cell- och molekylärbiologiska effekter av strålning, joniserande såväl som icke-joniserande
- strålskyddsforskning innefattar mätteknik och dosimetri för såväl joniserande strålning som icke-joniserande strålning
- grundläggande strålskyddsforskning är studier av biokemiska och ekologiska processer som styr upptag och fördelning av radioaktiva ämnen i djur, studier av direkta strålskador på animalieproducerade

- djur; tillämpad forskning handlar om möjligheterna att påverka djurets upptag och fördelning av aktivitet
- strålskyddsforskning innefattar kartläggning av biologisk effekt, undanröjande av onödiga stråldoser t.ex. optimering av strålbehandling där tumörkontrollen kan ökas utan motsvarande ökning av antalet strålskador, samt utveckling av metoder för att förutsäga biologisk effekt

En intressant synpunkt ur enkätsvaren som rör strålskyddsforskningens tvärvetenskapliga karaktär är att strålning och strålnings effekter kan hänföras till det naturvetenskapliga området, men frågan om *skydd* i sin grund är samhällelig. Talar man om strålskydd kommer man direkt in på normer, kriterier och bedömningar som fastställs och görs av människor. Studier av hur detta görs utförs av samhällsvetare och bör innefattas i strålskyddsforskning.

Tidigare utredningar som berört strålskyddsforskningen

Från slutet av 1950-talet finansierades strålskyddsforskningen väsentligen av det dåvarande Statens råd för atomforskning (AFR). År 1977 upphörde Atomforskningsrådet och dess uppgifter övertogs av Naturvetenskapliga forskningsrådet (NFR). Den medicinska strålskyddsforskningen kunde erhålla anslag hos MFR och Cancerfonden. Framförallt under 1960-talet stöddes också viss strålskyddsforskning av SJFR. AMFO gav redan under 1970-talet stöd till projekt rörande effekterna av icke-joniserande strålning. Under 1970-talet (1972-75) bekostades strålskyddsforskning som rörde kärnkraften också via Delegationen för forskning rörande kärnkraftens säkerhets- och miljöfrågor (Kärnsäkforsk).

I samband med förändringar av Statens strålskyddsinstitutets uppgifter och organisation lades den 1 juli 1976 ansvaret för den *tillämpade* strålskyddsforskningen på institutet (prop 1975/76:123). Ett viktigt skäl för detta var att sektorsmyndigheten för sin myndighetsutövning behövde tillgång till vetenskapligt grundade resultat. SSI övertog därmed ansvaret för strålskyddsforskning relaterad till användningen av kärnenergi från Delegationen för forskning rörande kärnkraftens säkerhets- och miljöfrågor som avvecklades. Under en kortare

övergångstid låg ansvaret hos Nämnden för energiproduktionsforskning (NE). Den kärnkraftrelaterade forskningen finansierades redan från början via avgifter från ägarna av kärnkraftverken. Storleken på anslaget fastställes årligen av riksdagen. SSI fick 1976 också ansvar för övrig *tillämpad* strålskyddsforskning inklusive problemställningar som rör icke-joniserande strålning. Denna del av strålskyddsforskningen finansieras via statsanslag. Från 1976 har SSI en rådgivande forskningsnämnd till sin hjälp i bedömningen av de uppdrag som beställes. Nämnden utses av regeringen.

I samband med att SSI fick ansvaret för den *tillämpade* strålskyddsforskningen sades emellertid inte något om finansieringen av den mer *grundläggande* strålskyddsforskningen. Berörda forskningsråd vid denna tidpunkt var i första hand AFR (1977 införlivat med NFR) samt delvis NFR, SJFR och MFR.

Radiobiologiutredningen

Utredningens förslag

Radiobiologiutredningen avgav sitt betänkande i juni 1981 (Radiobiologisk forskning m.m., Ds U 1981:6). Utredningen redogjorde för pågående forskning uppdelad i grundforskning och tillämpad forskning samt gränsområden däremellan. Vidare redovisades finansieringen av forskningen liksom utbildningssituationen och rekryteringen av forskarstuderande. Den pågående forskningen i landet ställdes i relation till internationell forskning inom området.

Utredningens förslag syftade till att konsolidera befintliga resurser genom permanentning av vissa tjänster och till att förstärka resurserna för grundforskningen genom omfördelning av medel från tillämpad forskning till grundforskning. Utredningen framhöll att det grundläggande problemet för strålskyddsforskningen är hur grundforskningen skall kunna förstärkas så att kompetens och kunskaper kan vidmakthållas och utvecklas. Till förslagen hörde mer i detalj bl.a.

- att den personliga professuren (för Lars Ehrenberg) vid strålningbiologiska institutionen, Stockholms universitet, omvandlades till en permanent professur

- att institutionen för radioekologi vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) borde utgöra centrum för radioekologi med särskild inriktning mot kulturekosystem, och att den vakanta professuren tillsattes
- att det i instruktionen för Statens strålskyddsinstitut gjordes ett tillägg som innebar att institutet även bör uppmärksamma den grundläggande strålskyddsforskningen och också satsa medel på detta område.

Formerna för förslaget om SSI och grundforskningen diskuterades. Det bedömdes vara viktigt att prioriteringen av ansökningar om forskningsbidrag lades utanför SSI. Motiveringen för detta ställningstagande var att undvika varje form av sammanblandning av myndighetens verksamhet med den obundna forskningen. Ansökningar om bidrag till forskningsprojekt skulle förslagsvis kunna behandlas i nära samarbete med NFR när det gäller den naturvetenskapligt inriktade delen av den grundläggande strålskyddsforskningen.

Utredningen konstaterade vidare att det effektivaste sättet att garantera kapacitet och flexibilitet inom utbildningen är att vidmakthålla forskningen inom de undersökta ämnesområdena på en hög nivå. Samarbetet mellan radiofysiker, radioekologer och andra biologer i forskningsprojekt med radioekologisk inriktning borde enligt utredningen förbättras.

Resultat av radiobiologiutredningen

Resultaten av radiobiologiutredningens förslag blev mycket få, och särskilt gäller detta förslagen som rörde den grundläggande strålskyddsforskningen.

Tjänster

När det gäller de två föreslagna professurerna följdes utredningens förslag - professuren i strålningsbiologi permanentades och professuren i radioekologi tillsattes. Fram till Tjernobylyolyckan 1986 har också forskningen vid den radioekologiska institutionen väsentligen behandlat kulturekosystemen. (Den nuvarande situationen för professuren i

strålningsbiologi vid Stockholms universitet behandlas i kap 2.7.1 och bilaga 5).

Samarbetet NFR-SSI

Utredningens förslag att ändra SSI:s instruktion så att SSI även skulle uppmärksamma den grundläggande strålskyddsforskningen genomfördes inte. Däremot inleddes 1984/85 ett samarbete mellan NFR och SSI som innebar att NFR utifrån sina kriterier delade ut anslag till grundläggande strålskyddsforskning. Ekonomiskt grundades samarbetet på att SSI erhöll 500 tkr i ökade anslag med hänvisning till bl.a. behovet av stöd till grundläggande strålskyddsforskning. I praktiken kom ytterligare medel att tillskjutas av SSI och de uppgick till knappt 1 mkr per år. Samarbetet pågick till 1992/93, men avtrappades successivt under de senaste åren, bl.a. beroende på det samarbete med EU och dess strålskyddsprogram som inleddes 1990.

Inom samarbetet mellan NFR och SSI definierades aldrig begreppet "grundläggande strålskyddsforskning". Vissa gränsdragningar gjordes dock:

Områden som klart innefattades i grundläggande och/eller allmänt kunskapsuppbyggande forskning var dosimetri, dos-verkansamband, radioekologi, metodik för riskuppskattning och riskjämförelser

Exempel på områden som inte ingick var biologiska strålskadors uppkomst och utveckling samt nuklearteknik för medicinskt och tekniskt bruk.

Utredningen om kärnkraftsberedskapen

Utredningens förslag

Denna utredning hade i uppdrag att göra en samlad bedömning av kraven på beredskapen mot utsläpp av radioaktiva ämnen. Sambandet med beredskapen mot allvarliga kemiska olyckor var med i bedömningen. I utredningens betänkande (Samhällets åtgärder mot allvarliga olyckor SOU 1989:86) beskrivs hotbilden och lämnas i olika avsnitt dels förslag till åtgärder vid alla slags allvarliga olyckor, dels förslag till åtgärder vid utsläpp av radioaktiva ämnen samt dels en redogö-

reselse för ekonomi m.m.. I huvudavsnittet om förslag till åtgärder vid utsläpp av radioaktiva ämnen ingår också ett kapitel om forskning.

I sina sammanfattande bedömningar rörande strålskyddsforskningen föreslog utredningen förstärkningar avseende kompetensen vid ett antal forskningsinstitutioner, säkerställande av tillgången på kvalificerade mätesurser i landets olika regioner och förbättring av möjligheterna för centrala myndigheter att se till att forskning som gäller kärnkraftberedskapen kommer till stånd. Utredningen föreslog att Strålskyddsinstitutet skulle få i uppdrag att svara för programmets genomförande.

Det sägs vidare att SSI har det övergripande ansvaret för den målinriktade strålskyddsforskningen, men att SSI däremot inte har något ansvar för grundforskningen. Enligt utredningen borde SSI inte heller få något sådant ansvar. Detta motiveras av att det är viktigt att grundforskningen bedrivs som obunden forskning vid universitet och högskolor.

Utredningen presenterade ett förhållandevis detaljerat förslag till prioriterade områden för forskningen som omfattade huvudområdena luftspridning av radioaktiva ämnen, studier av radioaktiva ämnens fysikaliska och kemiska form, jordbruksradioekologi, renforskning, skogens radioekologi, studier av sjö- och havsekosystem, samt studier av radioaktiva ämnen i tätbebyggda områden.

Det framhölls också som viktigt med fortsatt forskning på dosimetriområdet och saneringsområdet.

Utredningen om kärnkraftberedskapen underströk vikten av att det finns kompetenta forskare och kvalificerad mätutrustning att tillgå i landet i händelse av en olycka som leder till utsläpp av radioaktiva ämnen. Man förordade också en utökad samverkan med ämnesområden utanför det traditionella strålskyddsområdet.

Utredningen ansåg det ytterst angeläget att resurser tillfördes forskningen omedelbart så att en ytterligare nedgång i antalet forskarstuderande inom strålskyddsforskningen kunde förhindras. Totalt föreslogs ett årligt tillskott på 8 mkr.

Resultat av förslagen från utredningen om kärnkraftberedskapen vad gäller forskning

Stöd till mätverksamhet

Strålskyddsinstitutet erhöll budgetåret 1991/92 ett engångsanslag på 1,25 mkr för att använda som stöd till kvalificerad mätutrustning inom den svenska beredskapen mot kärnenergiolyckor. Efter samråd med NFR fördelades medlen mellan FOA i Umeå, institutionen för radioekologi i Uppsala samt radiofysikinstitutionerna i Lund och Malmö. Medlen användes för komplettering av kvalificerad mätutrustning.

Kompetensbevarande stöd

Från och med budgetåret 1992/93 erhåller SSI 3 mkr per år i tre år att användas för bibehållande av kompetens inom i första hand radioekologiområdet. Medlen utnyttjas för att bekosta nio doktorandtjänster vid följande institutioner: skoglig zoekologi vid skogshögskolan i Umeå (inriktning skogens radioekologi), FOA i Umeå (skog-stråldos), radioekologi i Uppsala (två tjänster, jordbrukets radioekologi), naturgeografi vid Uppsala universitet (insjöars radioekologi), radiofysikinstitutionen i Lund (två tjänster, kustnära radioekologi och mätteknik), radiofysikinstitutionen i Malmö (stråldoser till befolkningen) samt kärnkemi vid Chalmers i Göteborg (mätteknik särskilt svärmätbara nuklider).

Forskningsmedel till de centrala myndigheterna

Utredningens förslag om ytterligare medel till centrala myndigheter för att användas till forskningsuppdrag har inte genomförts.

Om strålskyddslagstiftningen

För fullständighetens skull vill vi slutligen kort nämna något om lagstiftningen på strålskyddsområdet. I december 1985 lade utredningen

om översyn av strålskyddslagstiftningen fram sitt betänkande (Ny strålskyddslag, SOU 1985:58). Den följdes i februari 1988 av en regeringsproposition (prop. 1987/88:88). I den nya strålskyddslagen (SFS 1988:220) som trädde i kraft den 1 juli 1988 sägs att syftet med lagen är att människor, djur, och miljö skall skyddas mot skadlig verkan av strålning. Lagen gäller såväl joniserande strålning som icke-joniserande strålning. Enligt strålskyddslagen avses med *joniserande* strålning gammastrålning, röntgenstrålning, partikelstrålning eller annan till sin biologiska verkan likartad strålning. Med *icke-joniserande* strålning avses optisk strålning, radiofrekvent strålning, lågfrekventa elektriska och magnetiska fält och ultraljud eller annan till sin biologiska verkan likartad strålning. Den nya strålskyddslagen innebär att behövliga skyddsåtgärder mot strålning skall kunna vidtagas med stöd av lagen allt eftersom kunskaperna om strålningens effekter ökar. Statens strålskyddsinstitut är ansvarig myndighet. Förhållandet till annan lagstiftning och samverkan med andra myndigheter behandlas i regeringens proposition.

Bilaga 4 Erfarenheter av svenskt samarbete med EU inom strålskyddsforskningens område.

Bakgrund

EU har sedan 1960-talet inom ramen för EURATOM-avtalet ett särskilt program för strålskyddsforskning inom området joniserande strålning, vilket hittills löpt i 5-års perioder. Programmets målsättning är att samordna europeisk strålskyddsforskning, att främja kunnskap och utbildning inom området (t.ex. genom att anordna konferenser och kurser), samt att bidra till kunskapsöverföring mellan de ingående länderna.

Under pågående period (det tredje ramprogrammet) ingår strålskyddsforskningen som ett av två delområden inom programmet Nuclear Fission Safety. Programmets namn är något olyckligt, eftersom inte enbart kärntekniskt relaterade frågor behandlas. Enligt uppgift räknar man inom EU med att programmet Nuclear Fission Safety kommer att finnas kvar inom fjärde ramprogrammet, men att strukturen eventuellt kommer att förändras något. Vid sidan av det reguljära programmet har sedan 1991 ett så kallat "Tjernobyprojekt" pågått. Detta är helt inriktat på forskning i anslutning till olyckan i Tjernoby 1986, och målsättningen har mer och mer kommit att fokuseras mot frågor rörande beredskap mot olyckor, motåtgärder och sanering av områden som kontaminerats av radioaktiva ämnen. Ungefär hälften av anslagna pengar går här till forskare från Ryssland, Ukraina och Vitryssland. Från 1993 finns dessutom ytterligare ett projekt (PECO) som går ut på att stödja vissa forskargrupper från länder i Östeuropa utanför det forna Sovjetunionen.

Sverige ansökte inför perioden 1990 - 1994 om att få delta som associerad medlem, och beviljades detta. På grund av interna ekonomiska förhållanden inom EU kunde kontrakt tecknas endast för perioden 1990 - 1991. Sverige ansökte 1991 om att på samma sätt få delta

under den resterande perioden fram till och med 1994. Denna ansökan har ännu inte (februari 1994) lett till ett nytt avtal. Trots att Sverige inte formellt deltagit efter 1991 har i praktiken det vetenskapliga samarbetet kunnat bedrivas nära nog som om vi vore associerade till programmet även under dessa år. Den stora skillnaden rör finansieringssituationen - några pengar har ännu i februari 1994 inte kunnat överföras till de svenska grupperna.

Ett trettiotal svenska grupper sökte medel från EU inför programmets start 1990. Cirka hälften av dessa fick sina ansökningar beviljade. Totalt delades för de två första åren ut cirka 5,5 mkr till de svenska grupperna. Fördelningen beslutas av tjänstemännen inom kommissionen (DG XII/F/6) efter hörande av en rådgivande grupp (CGC 10), sammansatt av delegater från de deltagande länderna. Sverige har två representanter i CGC 10, vilka även efter 1991 deltar i gruppens arbete, men nu formellt som observatörer. CGC 10 sammanträder ett par gånger om året för att ta ställning till ansökningar och avrapporteringar. Vid dessa tillfällen kan också nationella experter delta som stöd för de nationella delegaterna. Allmänt kan sägas att man från kommissionens sida tar stor hänsyn till de synpunkter som förs fram från medlemmarna i CGC 10. Diskussionen vid mötena är i de flesta fall mycket öppen.

Programmets innehåll

Forskningsprogrammets struktur har varierat något mellan de olika femårsprogrammen. Programmet 1990 - 1994 är indelat in på följande sätt:

- I. Exponering av människa
 - I.1 Mätning och tolkning av stråldos
 - I.2 Radionuklidens utträdnad i miljön

- II. Strålningens konsekvenser på människa; bedömning, prevention och behandling
 - II.1 Stokastiska effekter
 - II.2 Icke stokastiska effekter
 - II.3 Strålningseffekter på organismer i utveckling

III. Risk och hantering av strålning

III.1 Uppskattning av exponering och risk (inkl. radon i bostäder)

III.2 Optimering och management i strålskydd

Anslagen har fördelats så att en dryg tredjedel har lagts vardera på områdena I och II. Den något lägre insatsen inom område III beror huvudsakligen på svårigheten att finna goda projektförslag inom detta område. Inom område II har merparten av pengarna gått till delområde II.1. Inom område I och III har däremot fördelningen varit ganska jämn över delområdena.

Anslagen till de svenska grupperna har grovt räknat fördelat sig med 40 % på område I, 20 % på område II och 40 % på område III. Detta motsvarar intressant nog snarare mer hur SSI lagt ut forskningsprojekt än fördelningen av EUs medel totalt.

Nationell finansiering

Forskningsprogrammet bekostas genom att de deltagande länderna belastas i proportion till sina respektive bruttonationalprodukter vid en given tidpunkt. Sverige bidrog under 1990-1991 med 4,2 % av programmets budget. För perioden 1992 - 1994 är motsvarande siffra knappt 4 % . Kostnaderna för Sverige för hela perioden 1990 - 1994 beräknas bli cirka 19,8 mkr.

Av strålskyddsprogrammets totala budget används mellan 15 och 20 procent till administration och utbildningsverksamhet. Resterande andel går tillbaka till forskare i de deltagande länderna. Den relativa återföringen av dessa medel varierar något mellan de olika länderna, dock knappast med mer än omkring 20 procent. Det kan noteras att Sverige för perioden 1990-1991 inte behövde bidra till administration och utbildning, vilket man dock måste göra i det fortsatta arbetet. För perioden 1992-1994 tillämpas dessutom en paragraf som säger att varje forskargrupp från EFTA-länder skall betala 5 000 ECU (1 ECU är ungefär 9 kr i mars 1994) av sina projektpengar till EU.

Varken Tjernobyprojektet eller PECO finansieras med forskningsmedel utan i stället med pengar av biståndskaraktär. Sverige har, som land utanför EU, hittills inte belastats med några kostnader för dessa projekt. Den situationen kommer dock att förändras inom fjärde ramprogrammet (se nedan). Det kan också tilläggas att behandlingen i

CGC 10 av dessa projekt skett endast inom en *ad hoc* grupp med en deltagare från varje land. Styrningen från kommissionens sida har här också varit betydligt hårdare än när det gäller projekt inom det ordinarie programmet. Tjernobyprojektets totala budget för åren 1993 och 1994 är 7,5 miljoner ECU och för PECO cirka 1,8 miljoner ECU.

Utvärdering av forskningsprogrammet

EU låter regelmässigt utvärdera forskningsprogrammen med hjälp av internationella expertgrupper. Den senaste utvärderingen har gällt perioden 1987 - 1991. Expertgrupperna har uttalat sig om kvaliteten på forskningen, om hur programmet har skötts från EU:s sida, samt om hur konsistent programmet är med EU:s policy och principer. Genomgående har programmet fått positiva utlåtanden.

Positiva erfarenheter av EU:s forskningsprogram

Den största fördelen med att svenska grupper deltar i EU-programmet ligger i de möjligheter till kontaktskapande och samarbete som drivs fram. De ingående grupperna måste samarbeta med varandra. Alla projekt är flernationella (rent nationella projekt stöds inte med dessa pengar), och koordinationsmöten ingår som en tvingande del i arbetet. Svenska forskare har genom samarbetet fått en helt annan insyn än tidigare i viktiga delar av den europeiska forskningsverksamheten ur strålskyddssynpunkt.

Det förefaller också som om en stor majoritet av de svenska grupper som deltagit i samarbetet inom EG-programmet uppfattat det som stimulerande, kanske delvis på grund av det tydliga engagemang i forskningen som visas upp från sekretariatet i Bryssel. Grupperna stimuleras och spurras till arbete, och resultat efterfrågas på ett helt annat sätt än vad som är fallet till exempel när det gäller forskningsrådsfinansierad forskning i Sverige.

En annan stor fördel, kanske främst då sett från myndighetshåll, är att svensk strålskyddsforskning kunnat jämföras med europeisk, såväl vad gäller kvalitet som inriktning. Det har visat sig att de svenska insatserna står sig gott i internationell konkurrens. Inom vissa områden har Sverige en ställning i främsta ledet. Inriktningen av det svenska

programmet för tillämpad strålskyddsforskning, så som det utformats av SSI under de cirka 15 år ansvaret legat där, stämmer i sina huvuddrag väl överens med EU-programmet.

Några skillnader finns dock: Inom SSI:s program behandlas strålskyddsrelaterade frågor rörande avfall från kärntekniska anläggningar, och nedläggning av kärntekniska anläggningar. Inom EU drivs dessa projekt inom det andra av de två delprogrammen inom Nuclear Fission Safety. Sverige är inte associerat till detta delprogram. Strålskyddsforskning rörande icke-joniserande strålning bekostas i viss omfattning inom SSI:s program. Inom EU finns forskningen rörande icke-joniserande forskning inom de traditionella naturvetenskapliga forskningsprogrammen. Någon direkt strålskyddsforskning är det här knappast tal om, men observansen på dessa frågor har dock höjts under senare år. Biomedicinsk forskning har traditionellt haft en stark, om än avtagande, ställning inom EU:s strålskyddsforskningsprogram. Denna typ av forskning bedrivs dock endast inom ett relativt begränsat antal EU-länder.

Negativa erfarenheter

Den dominerande negativa aspekten på det hittillsvarande samarbetet är den jämfört med svenska förhållanden ganska omständliga byråkrati som bland annat tar sig uttryck i en myckenhet av formulär och mycket långa handläggningstider. Tiden för även en enkel utbetalning kan vara över ett halvt år vilket är svårt att acceptera. För svenska forskares del har ju de ekonomiska frågorna dessutom varit osedvanligt komplicerade på grund av de långa förhandlingar som föregått svensk associering till forskningsprogrammet.

Den negativa aspekten på det uttalade kravet på samordning mellan de ingående forskargrupperna är risken för onödigt likriktning av forskningen. På flertalet forskningsområden är detta förmodligen ett ganska akademiskt problem. Ställer man den i relation till EU-programmets forskning gentemot de nationella forskningsinsatserna i övrigt blir den dock intressant. I och med att man inom EU-programmet driver kravet på internationella grupper och samordning av forskningen så blir forskningen i hög grad sameuropeisk, något som också uttalat eftersträvas. Men det betyder att den i hög grad inriktar sig på frågeställningar som är mycket gemensamma de olika länderna emel-

lan. Det är alltså inte bara så att nationella frågeställningar inte behandlas, utan också så att de frågeställningar som tas upp delvis formuleras så att den nationella tillämpningen minskas.

En annan sida av kravet på multinationalitet är att sammansättningen av forskare inom de olika projekten i ganska stor utsträckning kommer att styras av vad man kan kalla politiska, snarare än av rent vetenskapliga, hänsyn. Det är ur EU-synpunkt angeläget att i de flesta projekt kunna engagera även grupper från länder med en svagare ställning inom området, vilket med nödvändighet innebär att en lång rad med kompetenta forskargrupper blir förbigångna. Till detta kommer dessutom att den klassiska motsättningen mellan nord och syd inom EU gör att man är angelägen att försöka bredda projektgrupperna även geografiskt.

Det 4:e ramprogrammet och strålskyddsforskningen

Den framtida strålskyddsforskningen inom EU kommer helt att styras av vad som slutligen läggs fast i det s.k. fjärde ramprogrammet. Detta är ännu inte fastlagt (februari 1994). Vid diskussioner om innehållet har det dock framskymtat att det finns starka krafter som önskar styra in programmet mot fortsatt stora insatser kopplade till följderna av Tjernobylolyckan 1986 i det forna Sovjetunionen, men framförallt mot mer kortsiktigt tillämpbara resultat.

Det finns naturligtvis inga besked att få om vad som skulle ligga bakom denna förändring i inriktningen, men det ligger nära till hands att gissa på ekonomiska orsaker. Programmets finansiering skulle med säkerhet underlättas om mer icke vetenskapliga målsättningar ställdes upp. Vilka skälen än må vara måste man från vetenskaplig synpunkt beklaga om de signaler som hörts blir verklighet. Kortsiktiga mål bör inte i större omfattning än vad som hittills varit fallet styra EU-programmet, som har sin potentiella styrka i frågor av övergripande och oftast långsiktiga frågor. Och den forskning som förläggs till områden i närheten av Tjernobyli ger möjligen vissa fördelar vad gäller möjligheter till fältmätningar av några viktiga nuklider, men de praktiska svårigheterna är ofta så stora att det uppväger fördelarna. Därtill kommer den personliga risken för deltagande forskare, ett problem som bör uppmärksammas i högre grad än vad som hittills skett.

Bilaga 5 Historik över strålningsbiologin i Sverige

Radiofysiken hade genom Rolf Sievert fått en stark ställning i Sverige och han insåg tidigt nödvändigheten av ett samarbete mellan radiologer, radiobiologer och fysiker.

Arne Forssberg påbörjade 1929 sina strålningsbiologiska arbeten. De första studierna handlade om dosratens betydelse för den biologiska effekten. Andra områden av relevans var kliniska försök över syrgasens betydelse för strålkänsligheten hos tumörer liksom studier av strålskyddande ämnen. Allt detta är fortfarande högaktuellt. Senare arbetade Forssberg med mera grundläggande forskning, att försöka klarlägga vad som händer biokemiskt de första sekunderna efter en bestrålning.

Radiobiologin etablerades som självständigt ämne när Forssberg 1958 utnämndes till laborator vid Karolinska institutet. Han erhöll 1963 en personlig professur vid institutet. Arne Forssberg pensionerades 1971 och efterträddes året därpå av Bernhard Tribukait. I samband med nybesättningen ändrades benämningen på professuren till medicinsk radiobiologi. Tribukait var tidigare knuten till Statens strålskyddsinstitut och sedan 1967 föreståndare för institutets avdelning för strålskyddsmedicin. Hans vetenskapliga arbeten har huvudsakligen berört fenomen som hör ihop med hur celldelningen påverkas av bestrålning. I samband med Tribukaits pensionering omvandlades professuren i medicinsk radiobiologi till experimentell onkologi. Radiobiologisk forskning kommer emellertid även fortsättningsvis att försiga i samma byggnad om än i reducerad omfattning och nu knuten till medicinsk strålningsfysik vid KI.

I samband med andra världskriget blev många av de fysiker som arbetade under Sieverts ledning upptagna med försvarsforskning. Detta ledde också till att man efter kriget etablerade en avdelning för strålningsbiologi på Försvarets forskningsanstalt. Orsaken till att radiobiologin fick en egen institution var att Sievert hade gjort upp en

lista på biologiskt-medicinska frågor som måste besvaras innan man kunde utvärdera följderna av ett kärnvapenkrig. En sak som man inte visste mycket om var frågan om upptag och omsättning av olika radioaktiva ämnen i kroppen. Vilka var egentligen de kritiska radionukliderna? Arne Nelson var institutionens förste chef och han efterträddes i början av 1970-talet av Agnar Nilsson. Denna hade redan tio år tidigare startat sina undersökningar över konsekvenserna av en inkorporering av radioaktivt strontium (Sr-90) i benvävnad, från utvecklingen av den primära strålskadan till de fullbildade tumörerna.

Agnar Nilsson efterträddes 1976 av Gunnar Walinder vars specialområde var en annan kritisk nuklid, radioaktiv jod, och dess effekter på sköldkörteln. Både Nilsson och Walinder kunde visa hur beroende av sekundära faktorer den cancerframkallande verkan av olika radioaktiva nuklider var. En av de primära uppgifterna för radiobiologerna på FOA var att kartlägga riskerna vid exponering för radioaktivt nedfall. Delar av FOA omlokalisades 1978-79 till Umeå men den del av institutionen som studerade strålningsinducerad cancer stannade kvar i Urvik. Under 1986 övertogs huvudmannskapet för denna avdelning av Sveriges lantbruksuniversitetet i Uppsala och verksamheten flyttades dit och avvecklades 1992.

I början på 1950-talet studerade Georg Klein och Laszlo Révész, Karolinska institutet, tillväxtkurvor för tumörceller. Detta intresserade bl.a. Gray och Scott från England som ville tillämpa dessa metoder för att erhålla överlevnadskurvor för bestrålade tumörer. Detta samarbete fortskred under många år och en ny avdelning för radiobiologi, Tumörbiologi II, etablerades 1969 under Révész ledning. Man inriktade sig speciellt på olika faktorer som bestämde hur tumörcellerna påverkades av strålning och deras förmåga till återväxt. Bland annat var det viktigt att ta reda på hur man kunde styra dessa förlopp i det praktiska strålbehandlingsarbetet. Man har studerat betydelsen av fraktionerade doser, vad syresättningen betyder och gjort jämförelser mellan naturligt förekommande skyddsämnen i cellen och artificiella sådana. I samband med Révész pensionering återbesattes inte professuren.

Redan några få år efter det att man upptäckt den joniserande strålningens förmåga att förändra arvsanlagen insåg man möjligheten att använda detta inom växtförädlingen. I Sverige var det Herman Nilsson-Ehle i Lund och Åke Gustafsson i Stockholm som försökte sig på att framställa nya och förbättrade sorter av olika kulturväxter.

Gustafsson intresserade Lars Ehrenberg för att studera de mutagena effekterna av strålning på olika växtslag. Det ökade intresset för strålningens verkan på arvsmassan ledde till att en personlig professur i strålningsbiologi 1962 inrättades vid Stockholms universitet för Ehrenberg. Fram till början av 1970-talet dominerade växtförädlingsintresset. I växtförädlingsarbetet hade man också introducerat mutagena kemikalier och man blev också varse deras förekomst i olika processer i samhället. För att ta ett samlat grepp på de risker för ärftliga skador och cancer som människan utsätts för i vårt samhälle, utvecklades under Ehrenbergs ledning metoder för att bestämma och jämföra risker från strålning och kemikalier. Tanken var att uttrycka en kemikalierisk i en strålningsekvivalent enhet och därigenom kunna summera risker och sätta gränser för den totala belastningen från olika cancerframkallande agens. Samtidigt påbörjades också studiet av skador på DNA-nivå och hur dessa reparerades. Denna del av forskningen stöddes genom en forskartjänst på Atomforskningsrådet för Gunnar Ahnström. Denna tjänst övertogs av NFR i och med att AFR lades ner och tjänsten omvandlades till en professur vid rådet. Vid Ehrenbergs pensionering efterträddes han av Ahnström. I och med att Ahnström pensioneras 1994 omvandlas professuren i strålningsbiologi till molekylär genomforskning med inriktning mot genomets organisation och reparation. I tjänsten ingår (enligt annonseringen för tjänsten) ansvar för utbildningen i strålningsbiologi.

Protonacceleratorn i Uppsala var under åren 1954-76 basen för en fysikalisk-biologisk forskning med medicinsk inriktning. Där utvecklades tekniken att göra oblodiga operationer med hjälp av en precisionstyrd protonstråle. Man lade också grunden till användningen av positronstrålande radioaktiva spårämnens användning i forskning och medicinsk diagnostik. Börje Larsson utnämndes 1969 till professor i fysikalisk biologi och 1976 påbörjades en modernisering av cyklotronen, ett arbete som avslutades först 1988. Detta nödvändiggjorde en total omläggning av forskningsverksamheten, som fick en inriktning mot mera grundläggande strålningsbiologiska problem, DNA-skador och deras reparation, studier av olika cellaggregat som tumörmodeller m.m. I och med att cyklotronen 1989 stod färdig med ökade prestanda är man nu redo för ytterligare en omorientering. Framför allt kan man nu använda tunga joner i biologiska försök. Börje Larsson tillträdde 1990 en professur i Schweiz och för närvarande vikarierar docent Jörgen Carlsson på

professuren. Den matematisk-naturvetenskapliga fakulteten beslutade att omvandla professuren och risken finns för en minskning av den strålningsbiologiska verksamheten. Det föreligger ett förslag att flytta verksamheten till den medicinska fakulteten och inrätta en professur i medicinsk strålningsvetenskap.

Bilaga 6 Litteratur

Cancer, orsaker, förebyggande m.m. Betänkande av Cancerkommittén. Socialdepartementet, SOU 1984:67

Corporate Plan 1993/94 to 1997/98. National Radiological Protection Board, Storbritannien, Report NRPB-M406

Forskning för kunskap och framsteg. Regeringens prop. 1992/93:170

Forskningsstatistik. Forskning och utveckling inom universitets- och högskolesektorn 1989/90. Statistiska Meddelanden U13 SM 9101. Statistiska Centralbyrån, 1991

Forskning i frontlinjen. Regeringens prop. 1992/93:171

Forskningens utmaningar-En strategi inför 2000-talet. Utbildningsdepartementet, Ds 1992:27

Kvalitet och dynamik. Förslag från Resursberedningen rörande statsmakternas resurstilldelning till grundläggande högskoleutbildning samt forskning och forskarutbildning. Utbildningsdepartementet SOU 1993:102.

Vetenskapsakademiens syn på kunskap och kompetens inför 2000-talet. Utbildningsdepartementet, Ds 1993:92

Magnetfält och cancer. Elsäkerhetsverket (1993)

National Academy of Sciences, National Research Council Committee on the Effects of Ionizing Radiation (BEIR IV), Health Risks of Radon and other Internally Deposited Alpha Emitters. Washington D.C., National Academy Press, 1988

National Academy of Sciences, National Research Council Committee on the Effects of Ionizing Radiation (BEIR V), Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Washington D.C., National Academy Press, 1990

Ny strålskyddslag. Betänkande av utredningen om översyn av strålskyddslagstiftningen, SOU 1985:58

Ny strålskyddslag m.m. Regeringens prop. 1987/88:88

Radiobiologisk forskning m.m. Utbildningsdepartementet, DsU 1981:6

Radon 1993. En rapport över läget. Statens strålskyddsinstitut SSI-Rapport 93-10

Research Needs for Radiation Protection, USA. National Commission on Radiological Protection, NCRP Report 17, 1993

Samhällets åtgärder mot allvarliga olyckor. Betänkande av utredningen om kärnkraftsberedskapen. Försvarsdepartementet, SOU 1989:86

Statens strålskyddsinstituts uppgifter och organisation mm. Regeringens prop. 1975/76:123

Statistisk årsbok '94. Statistiska centralbyrån, 1994

Strålevernforskning. Et strategidokument fra Den nasjonale referansegruppen for EU:s forskningsprogram innenfor strålevern. Norges forskningsråd, 1994

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York, 1993

Zur Situation der Strahlenforschung in der Bundesrepublik Deutschland, Denkschrift der Strahlenschutzkommission, Tyskland

Bilaga 7 Ordlista och förkortningar

<i>absorberad dos</i>	"stråldos", den mängd energi per viktsenhet som en bestrålad kropp tagit upp. Enheten för absorberad dos är gray (Gy). 1 gray = 1 joule/kg
<i>agens</i>	påverkansfaktor, exempelvis strålning, kemiskt ämne, smittämne
<i>AI</i>	Arbetsmiljöinstitutet
<i>aktinider</i>	benämning på en serie av 15 grundämnen med atomnumren 89-103 som börjar med aktinium. Andra exempel är torium, uran, plutonium, americium. Aktinider har endast radioaktiva isotoper.
<i>aktivitet</i>	antalet sönderfall per tidsenhet i ett radioaktivt material; anges i enheten becquerel (Bq); 1 becquerel = 1 sönderfall/sekund
<i>AMFO</i>	Arbetsmiljöfonden
<i>artificiell strålning</i>	strålning alstrad på konstgjord väg
<i>autoradiografi</i>	att med fotografisk film detektera radioaktiva substansers fördelning i ett föremål

<i>berlinerblått</i>	ett färgämne som minskar upptaget av radioaktivt cesium
<i>BFR</i>	Byggforskningsrådet
<i>cancerogen</i>	cancerframkallande
<i>cellcykel</i>	cellens olika faser, t ex vila, tillväxt och delning
<i>cell-linje</i>	en mängd genetiskt identiska, framodlade celler som härstammar från enda cell
<i>comptonspektrometer</i>	instrument som medger mätning av sammansättningen hos starka strålkällor genom att strålningen före analysen får spridas i en tunn spridare
<i>CT, datortomograf</i>	avbildningsteknik med röntgenstrålning där man genom att ta bilder i många olika projektioner kan rekonstruera fram "snittbilder" med stora möjligheter att avbilda små kontrastskillnader
<i>diagnostisk radiologi</i>	röntgendiagnostik
<i>DNA</i>	molekyl som utgör arvsmassan hos alla levande organismer (deoxiribonukleinsyra)
<i>dosimeter</i>	instrument för mätning av stråldos
<i>dosimetri</i>	mätning av stråldoser
<i>dosrat</i>	stråldos per tidsenhet

effektiv dos

"stråldos". För att jämföra stråldoser från olika bestrålningsituationer räknar man normalt ut den helkroppsbestrålning som kan förväntas ge samma risk för allvarlig skada som den aktuella bestrålningen av en del av kroppen. För att göra detta behöver man ta hänsyn till olika organs och vävnaders varierande strålkänslighet

ekvivalent dos

"stråldos", där man tagit hänsyn till de olika strålslagens olika biologiska verkan. Den absorberade dosen (gray) multiplicerad med en viktningsfaktor ger den ekvivalenta dosen i sievert (Sv).

1 sievert = 1joule/kg

elektrofores

metod att skilja olika molekyler och partiklar från varandra, som bygger på skillnader i vandringshastighet under inverkan av ett elektriskt fält (se betänkandes omslag)

elektromagnetiska fält

elektromagnetisk strålning består av tidsvarierande elektriska och magnetiska fält och omfattar både joniserande och icke-joniserande strålning. I detta betänkande användes beteckningarna elektromagnetiska fält alternativt elektriska och magnetiska fält för att beteckna sådan icke-joniserande elektromagnetisk strålning som har låg frekvens t.ex. 50 Hz (nätfrekvens) eller frekvenser i kHz-området.

<i>energifluens</i>	energi per ytenhet
<i>epidemiologi</i>	läran om sjukdomars utbredning, orsaker och förlopp i befolkningen
<i>EU</i>	Europeiska unionen
<i>fall-kontroll studie</i>	jämförelse mellan en grupp individer som har fått en viss sjukdom och en jämförbar kontrollgrupp i syfte att kartlägga faktorer som kan ha betydelse för sjukdomens uppkomst
<i>fantom</i>	modell av hela kroppen, kroppsdel eller organ
<i>FOA</i>	Försvarets forskningsanstalt
<i>FRN</i>	Forskningsrådsnämnden
<i>gener</i>	arvsanlag som finns i kromosomerna; generna är uppbyggda av DNA
<i>genom</i>	allt genetiskt material i en cell, individ eller art
<i>genotoxisk</i>	ett ämne som ger upphov till skador på arvsmassan (genetiska skador)
<i>IAEA</i>	International Atomic Energy Agency, Internationella atomenergiorganet
<i>icke-joniserande strålning</i>	strålning som har för låg energi för att frigöra elektroner från atomer och molekyler

<i>ICNIRP</i>	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
<i>ICRP</i>	International Commission on Radiological Protection, Internationella strålskyddskommissionen
<i>incidens</i>	antal fall av en sjukdom
<i>in situ</i>	på platsen (latin)
<i>in vitro</i>	utanför den levande organismen (latin: i glas)
<i>in vivo</i>	i den levande organismen (latin: i det levande)
<i>IRPA</i>	International Radiation Protection Association
<i>isotop</i>	atomer som har samma atomnummer och antal protoner men olika antal neutroner
<i>joniserande strålning</i>	strålning som har tillräcklig energi för att slita loss elektroner från atomer och molekyler, dvs. kan alstra joner
<i>jonkammare</i>	gas eller vätskefylld strålningsdetektor; olika typer av jonkammare är centrala referensinstrument för strålningsdosimetri

<i>kerma</i>	sammanlagd rörelseenergi hos laddade partiklar som frigjorts per massenhet i ett material som bestrållats med t.ex. fotoner; enheten är gray (dosimetriskt begrepp)
<i>kinetik</i>	(här:) upptag och utsöndring av olika substanser i kroppen
<i>kohort</i>	avser en definierad grupp individer för epidemiologiska studier (ursprunglig betydelse: romersk legion)
<i>kollektivdos</i>	summan av stråldoserna till en grupp individer; ofta använder man produkten av antalet personer i en grupp och deras genomsnittliga effektiva dos; enheten är mansievert
<i>kromosomer</i>	bärare av de ärftliga anlagen (generna), en kromosom kan innehålla ett par tusen gener
<i>KVA</i>	Kungliga Vetenskapsakademien
<i>LET</i>	anger den per längdenhet lokalt absorberade energin vid en partikels passage genom ett material (eng. Linear Energy Transfer)
<i>longitudinell studie</i>	i tiden upprepade mätningar på samma individ eller en grupp av individer
<i>lymfocyter</i>	samlingsnamn för en grupp vita blodkroppar

<i>MFR</i>	Medicinska forskningsrådet
<i>mikrodosimetri</i>	mätning av mikroskopisk fördelning av absorberad strålningsenergi
<i>miljödosekvivalent</i>	anger ungefär stråldosen till levande vävnad på 1 cm djup; enheten är sievert
<i>MR, MRI, MRT</i>	magnetisk resonanstomografi. Avbildningsmetod som utnyttjar väteatomkärnors egenskap att då de befinner sig i ett starkt homogent magnetfält återsända pulser av radiovågor. Pulserna som detekteras utanför patienten innehåller sådan information om väteförekomst (vattenhalt) och kemisk bindning att detaljerade snittbilder av kroppen kan byggas upp (jämför CT)
<i>mutation</i>	förändring i cellens arvs massa
<i>NCI</i>	National Cancer Institute (USA)
<i>NCRP</i>	National Commission on Radiological Protection (USA)
<i>NFR</i>	Naturvetenskapliga forskningsrådet
<i>NKS</i>	Nordiska kommittén för kärnsäkerhetsforskning
<i>NRPB</i>	National Radiological Protection Board (Storbritannien)

<i>nuklearmedicin</i>	den gren av medicinen där man använder radioaktiva spårämnen, främst i diagnostiskt syfte
<i>NUTEK</i>	Närings- och teknikutvecklingsverket
<i>OECD</i>	Organization for Economic Cooperation and Development, Organisationen för ekonomiskt samarbete och utveckling
<i>OH-radikal</i>	kemiskt reaktiv produkt som bildas vid bestrålning av vatten
<i>onkogen</i>	s.k. cancergen. Arvsanlag för celltillväxt som blivit tumörframkallande.
<i>onkologi</i>	tumörlära
<i>proportionalräknare</i>	gasfylld strålningsdetektor (jämför jonkammare) som ger pulser vars storlek är proportionella mot den absorberade energin
<i>prospektiv studie</i>	en grupp individer följs under en viss tidsperiod för att se vilka sjukdomar som uppkommer
<i>radioaktivitet</i>	en egenskap hos ett ämne att sända ut joniserande strålning
<i>radioaktivt ämne</i>	ämne som innehåller atomer med instabila atomkärnor, som genom sönderfall blir stabila. Vid sönderfallet utsändes joniserande strålning

<i>radiolys</i>	kemisk omvandling i ett material förorsakad av joniserande strålning
<i>radiotoxicitet</i>	farligheten hos ett radioaktivt ämne med hänsyn till dess strålverkan på levande organismer
<i>retrospektiv studie</i>	tillbackablickande studie
<i>SCB</i>	Statistiska centralbyrån
<i>SGI</i>	Statens geotekniska institut
<i>SJFR</i>	Skogs- och jordbrukets forskningsråd
<i>SKB</i>	Svensk kärnbränslehantering AB
<i>SKI</i>	Statens kärnkraftinspektion
<i>SMHI</i>	Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
<i>SNV</i>	Statens naturvårdsverk
<i>SPECT</i>	tomografi (skiktbilder) med gammakamera (jämför CT)
<i>spårbarhet</i>	ofta använt i samband med kalibreringar som kan spåras till ett visst standardlaboratorium
<i>SSI</i>	Statens strålskyddsinstitut
<i>strålbehandling</i>	radioterapi; omfattar i första hand bestrålning av tumörer med joniserande strålning

<i>strålkvalitet</i>	strålningens typ och energi
<i>strålning</i>	transport av energi i form av vågor eller partiklar
<i>strålskydd</i>	tekniska och administrativa åtgärder för att skydda människor, djur och natur från joniserande och icke-joniserande strålning.
<i>suppressorgener</i>	arvsanlag som motverkar cancer
<i>teratogen</i>	framkalla skador på embryo/foster
<i>TFR</i>	Teknikvetenskapliga forskningsrådet
<i>TL dosimeter</i>	termoluminiscent strålningsdetektor; en liten tablettliknande mätkropp som kan lagra energin från strålningen. Efter uppvärmning av mätkroppen avges energin som synligt ljus vilket registras och analyseras. Utslaget kan omräknas i absorberad dos.
<i>transuraner</i>	grundämnen med högre atomnummer än uran som har nummer 92, exempelvis neptunium, plutonium och americium
<i>tätjoniserande strålning</i>	strålning med högt LET (jämför LET)
<i>UNSCEAR</i>	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, FN:s vetenskapliga strålningskommitté

UV-strålning

liksom synligt ljus en form av elektromagnetisk strålning; indelas vanligen i tre våglängdsområden: UVA (400-315 nm), UVB (315-280 nm), UVC (280-100 nm)

WHO

World Health Organization, Världshälsoorganisationen

vävnadsekvivalent

har liknande absorptions- och spridningsegenskaper som mänsklig vävnad för den aktuella strålningen



Kronologisk förteckning

1. Ändrad ansvarsfördelning för den statliga statistiken. Fi.
2. Kommunerna, Landstingen och Europa + Bilagedel. C.
3. Mäns föreställningar om kvinnor och chefskap. S.
4. Vapenlagen och EG. Ju.
5. Kriminallvård och psykiatri. Ju.
6. Sverige och Europa. En samhällsekonomisk konsekvensanalys. Fi.
7. EU, EES och miljön. M.
8. Historiskt vägval – Följderna för Sverige i utrikes- och säkerhetspolitiskt hänseende av att bli, respektive inte bli medlem i Europeiska unionen. UD.
9. Förnyelse och kontinuitet – om konst och kultur i framtiden. Ku.
10. Anslutning till EU – Förslag till övergripande lagstiftning. UD.
11. Om kriget kommit... Förberedelser för mottagande av militärt bistånd 1949-1969 + Bilagedel. SB.
12. Suveränitet och demokrati + bilagedel med expertutspisatser. UD.
13. JIK-metoden, m.m. Fi.
14. Konsumentpolitik i en ny tid. C.
15. På väg. K.
16. Skoterkörning på jordbruks- och skogsmark. Kartläggning och åtgärdsförslag. M.
17. Års- och koncernredovisning enligt EG-direktiv. Del I och II. Ju.
18. Kvalitet i kommunal verksamhet – nationell uppföljning och utvärdering. C.
19. Rena roller i biståndet – styrning och arbetsfördelning i en effektiv biståndsförvaltning. UD.
20. Reformerat pensionssystem. S.
21. Reformerat pensionssystem. Bilaga A. Kostnader och individeffekter. S.
22. Reformerat pensionssystem. Bilaga B. Kvinnors ATP och avtalspensioner. S.
23. Förvalta bostäder. Ju.
24. Svensk alkoholpolitik – en strategi för framtiden. S.
25. Svensk alkoholpolitik – bakgrund och nuläge. S.
26. Att förebygga alkoholproblem. S.
27. Vård av alkoholmissbrukare. S.
28. Kvinnor och alkohol. S.
29. Barn – Föräldrar – Alkohol. S.
30. Vallagen. Ju.
31. Vissa mervärdskattefrågor III – Kultur m.m. Fi.
32. Mycket Under Samma Tak. C.
33. Vandels betydelse i medborgarskapsärenden, m.m. Ku.
34. Tekniskt utrymme för ytterligare TV-sändningar. Ku.
35. Vår andes stämma – och andras. Kulturpolitik och internationalisering. Ku.
36. Miljö och fysisk planering. M.
37. Sexualupplysning och reproduktiv hälsa under 1900-talet i Sverige. UD.
38. Kvinnor, barn och arbete i Sverige 1850-1993. UD.
39. Gamla är unga som blivit äldre. Om solidaritet mellan generationerna. Europeiska äldreåret 1993. S.
40. Långsiktig strålskyddsforskning. M.

Statens offentliga utredningar 1994

Systematisk förteckning

Statsrådsberedningen

Om kriget kommit... Förberedelser för mottagande av militärt bistånd 1949-1969 + Bilagedel. [11]

Justitiedepartementet

Vapenlagen och EG [4]
Kriminalvård och psykiatri. [5]
Års- och koncernredovisning enligt EG-direktiv.
Del I och II. Ju. [17]
Förvalta bostäder. [23]
Vallagen. [30]

Utrikesdepartementet

Historiskt vägval – Följderna för Sverige i utrikes- och säkerhetspolitiskt hänseende av att bli, respektive inte bli medlem i Europeiska unionen. [8]
Anslutning till EU – Förslag till övergripande lagstiftning. [10]
Suveränitet och demokrati
+ bilagedel med expertuppsatser. [12]
Rena roller i biståndet – styrning och arbetsfördelning i en effektiv biståndsförvaltning. [19]
Sexualupplysning och reproduktiv hälsa under 1900-talet i Sverige. [37]
Kvinnor, barn och arbete i Sverige 1850-1993. [38]

Socialdepartementet

Mäns föreställningar om kvinnor och chefskap. [3]
Reformerat pensionssystem. [20]
Reformerat pensionssystem. Bilaga A.
Kostnader och individeffekter. [21]
Reformerat pensionssystem. Bilaga B.
Kvinnors ATP och avtalspensioner. [22]
Svensk alkoholpolitik – en strategi för framtiden. [24]
Svensk alkoholpolitik – bakgrund och nuläge. [25]
Att förebygga alkoholproblem. [26]
Vård av alkoholmissbrukare. [27]
Kvinnor och alkohol. [28]
Barn – Föräldrar – Alkohol. [29]
Gamla är unga som blivit äldre. Om solidaritet mellan generationerna. Europeiska äldreåret 1993. [39]

Kommunikationsdepartementet

På väg. [15]

Finansdepartementet

Ändrad ansvarsfördelning för den statliga statistiken. [1]
Sverige och Europa. En samhällsekonomisk konsekvensanalys. [6]
JIK-metoden, m.m. [13]
Vissa mervärdeskattefrågor III – Kultur m.m. [31]

Kulturdepartementet

Förnyelse och kontinuitet – om konst och kultur i framtiden. [9]
Vandelns betydelse i medborgarskapsärenden, m.m. [33]
Tekniskt utrymme för ytterligare TV-sändningar. [34]
Vår andes stämma – och andras.
Kulturpolitik och internationalisering. [35]

Civildepartementet

Kommunerna, Landstingen och Europa.
+ Bilagedel. [2]
Konsumentpolitik i en ny tid. [14]
Kvalitet i kommunal verksamhet – nationell uppföljning och utvärdering. [18]
Mycket Under Samma Tak. [32]

Miljö- och naturresursdepartementet

EU, EES och miljön. [7]
Skoterkörning på jordbruks- och skogsmark.
Kartläggning och åtgärdsförslag. [16]
Miljö och fysisk planering. [36]
Långsiktig strålskyddsforskning. [40]

Systematik der Tierwelt

Systematische Einheiten

Die Systematik der Tierwelt ist die Lehre von der Klassifizierung der Tiere in systematische Einheiten.

Systematische Einheiten

- Reich (Kingdom)
- Phylum (Phylum)
- Klasse (Class)
- Ordnung (Order)
- Familie (Family)
- Gattung (Genus)
- Art (Species)

Systematische Einheiten

Die Systematik der Tierwelt ist die Lehre von der Klassifizierung der Tiere in systematische Einheiten.

- Reich (Kingdom)
- Phylum (Phylum)
- Klasse (Class)
- Ordnung (Order)
- Familie (Family)
- Gattung (Genus)
- Art (Species)

Systematische Einheiten

Die Systematik der Tierwelt ist die Lehre von der Klassifizierung der Tiere in systematische Einheiten.

- Reich (Kingdom)
- Phylum (Phylum)
- Klasse (Class)
- Ordnung (Order)
- Familie (Family)
- Gattung (Genus)
- Art (Species)

Systematische Einheiten

Die Systematik der Tierwelt ist die Lehre von der Klassifizierung der Tiere in systematische Einheiten.

- Reich (Kingdom)
- Phylum (Phylum)
- Klasse (Class)
- Ordnung (Order)
- Familie (Family)
- Gattung (Genus)
- Art (Species)

Systematische Einheiten

Die Systematik der Tierwelt ist die Lehre von der Klassifizierung der Tiere in systematische Einheiten.

- Reich (Kingdom)
- Phylum (Phylum)
- Klasse (Class)
- Ordnung (Order)
- Familie (Family)
- Gattung (Genus)
- Art (Species)

Systematische Einheiten

Die Systematik der Tierwelt ist die Lehre von der Klassifizierung der Tiere in systematische Einheiten.

- Reich (Kingdom)
- Phylum (Phylum)
- Klasse (Class)
- Ordnung (Order)
- Familie (Family)
- Gattung (Genus)
- Art (Species)

Systematische Einheiten

Die Systematik der Tierwelt ist die Lehre von der Klassifizierung der Tiere in systematische Einheiten.

- Reich (Kingdom)
- Phylum (Phylum)
- Klasse (Class)
- Ordnung (Order)
- Familie (Family)
- Gattung (Genus)
- Art (Species)

Systematische Einheiten

Die Systematik der Tierwelt ist die Lehre von der Klassifizierung der Tiere in systematische Einheiten.

- Reich (Kingdom)
- Phylum (Phylum)
- Klasse (Class)
- Ordnung (Order)
- Familie (Family)
- Gattung (Genus)
- Art (Species)