

Betänkande av
energi- och miljökommittén

SOU 1977:67

Ur KB:s samlingar

Digitaliserad år 2013



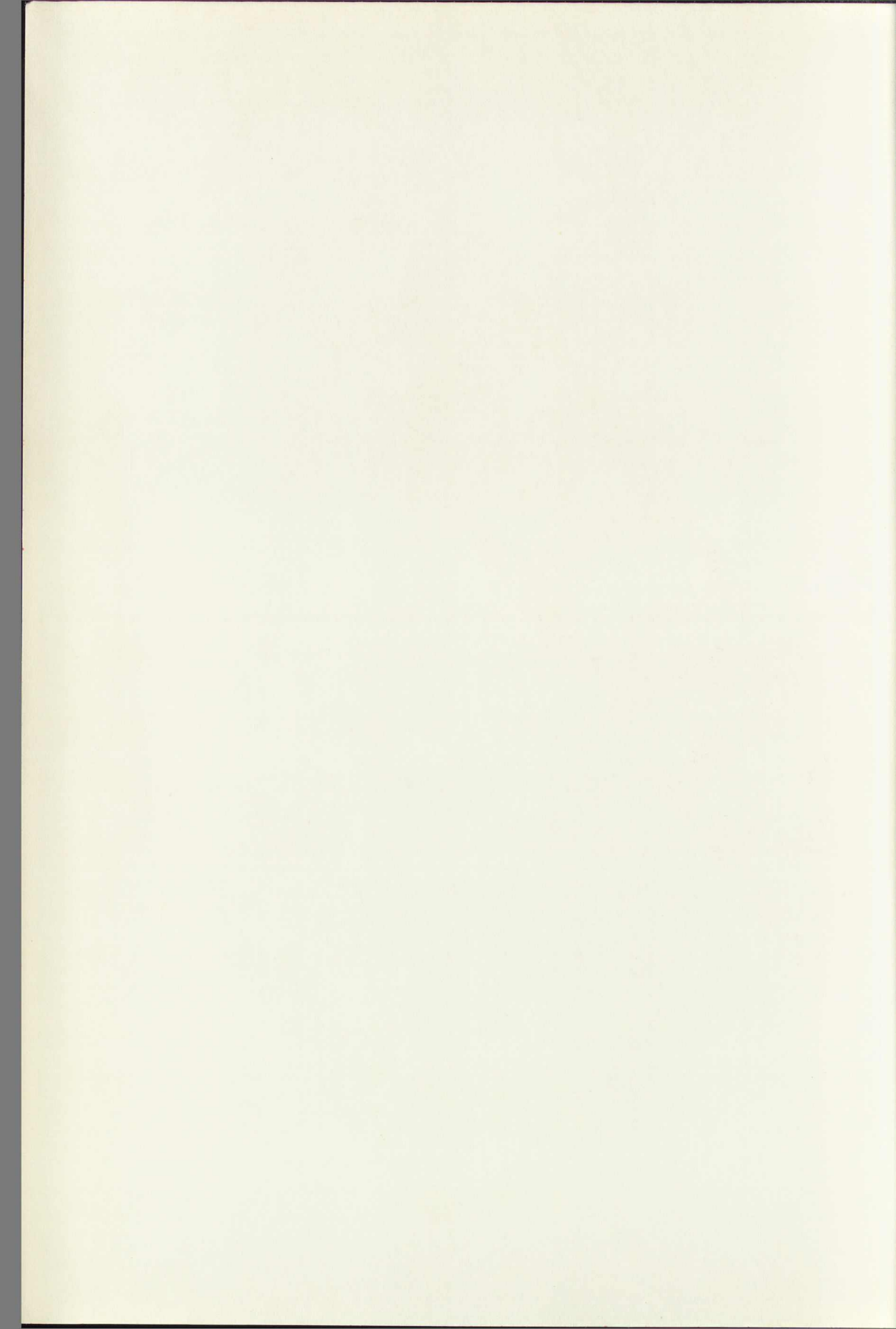
National Library
of Sweden

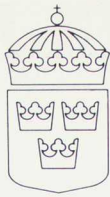
Betänkande av
energi- och miljökommittén

SOU 1977:67

Ref

ENERGI FÄLLSA MILJÖ





Statens offentliga utredningar

1977:67

Jordbruksdepartementet

Energi Hälsa Miljö

Betänkande av energi- och miljökommittén
Stockholm 1977

Typografi och omslag Håkan Lindström
Frilansgruppen har medverkat vid språklig redigering
Tryckning AB Grafiska Gruppen (inlaga)
Jernström Offset (omslag)

ISBN 91-38-03710-6
ISSN 0375-250X

Till Statsrådet och chefen för jordbruksdepartementet

Genom regeringsbeslut den 5 februari 1976 bemyndigades chefen för jordbruksdepartementet att tillkalla sju sakkunniga med uppdrag att ge en översiktlig och lättillgänglig redovisning av hälso- och miljöeffekterna vid användningen av olika energikällor.

Med stöd av bemyndigandet tillkallade chefen för jordbruksdepartementet, statsrådet Lundkvist, den 5 februari 1976 som sakkunniga generaldirektören för statskontoret, Sven Moberg, tillika ordförande, riksdagsmannen Per Bergman, riksdagsmannen Rolf Clarkson, riksdagsmannen Bo Forslund, dåvarande riksdagsmannen, företagsöverläkaren Sigvard Karlehagen, dåvarande riksdagsledamoten, skolkanslisten Maja Ohlin samt nämndemannen Ulla Orring. De sakkunniga antog namnet Energi- och miljökommittén.

Som experter åt kommittén tillkallades den 30 juni 1976 departementssekreteraren i industridepartementet, Lennart Cederstam, professorn i hälsovårdslära vid Karolinska institutet, tillika chefen för omgivningshygieniska avdelningen vid statens naturvårdsverk, Lars Friberg, dåvarande överingenjören vid arbetarskyddsstyrelsen, Yngve Hagerman, professor och överdirektören för statens strålskyddsinstitut, Bo Lindell, samt medicinalrådet vid socialstyrelsen, Lennart Rinder. Cederstam efterträddes som expert den 7 december 1976 av departementssekreteraren i industridepartementet, Olof Molin.

Genom beslut den 20 februari 1976 utsågs kontraktsanställda tjänstemannen vid försvarets forskningsanstalt, Lars Högberg till sekreterare i kommittén och den sakkunnige i jordbruksdepartementet, Bo Assarsson, till biträdande sekreterare.

Vidare utsågs överingenjören vid försvarets forskningsanstalt, Per Strangert, till biträdande sekreterare genom beslut den 28 februari 1977.

I bilagor till detta betänkande återfinns ett omfattande expertmaterial. Bilagan om hälso- och miljöverknningar vid användning av fossila bränslen har utarbetats av en expertgrupp inom naturvårdsverket under ledning av kommitténs expert, Lars Friberg, samt av byråchefen vid naturvårdsverkets tekniska avdelning, Lars Lindau. Bilagan om hälso- och miljöverknningar vid användningen av kärnkraft har utarbetats av en expertgrupp inom strålskyddsinstitutet under ledning av kommitténs expert Bo Lindell. Bilagan om arbetsmiljö vid energiproduktion har utarbetats av kommitténs expert Yngve Hagerman. Expertgrupperna har för detta arbete ställts till kommitténs förfogande av myndigheterna. För att inte föregripa ett eventuellt kommande remissförfarande som avser hela utredningsarbetet har vi inte anmodat respektive myndigheter att formellt ta ställning till underlagsrapporterna.

Vidare har arkitekten Bengt Anefall biträtt kommittén med en samman-

ställning av tidigare utredningsmaterial om vattenkraftens miljöpåverkan. En forskargrupp vid institutet för försäkringsmatematik och matematik statistik vid Stockholms universitet under ledning av professorn vid institutet, Bengt von Bahr, har biträtt kommittén med en sammanställning av olycksrisker vid oljehantering. Civilingenjören Staffan Engström har biträtt kommittén med en sammanställning av hälso- och miljöverkningar vid användning av vissa nya typer av energikällor.

Kommittén har också vid flera tillfällen inhämtat synpunkter från en referensgrupp av svenska forskare verksamma inom fackområden av särskilt intresse för kommitténs arbete när det gäller bedömningar av olika hälsorisker. I denna grupp har ingått

professor Maths Berlin, Lund (hygien)

professor Lars Ehrenberg, Stockholm (strålningsbiologi)

professor Jerzy Einhorn, Stockholm (radioterapi)

professor Lars-Gunnar Larsson, Umeå (radioterapi)

professor Kurt Lidén, Lund (medicinsk radiofysik)

professor Jan Lindsten, Stockholm (medicinsk genetik)

professor Karl Gustav Lünig, Stockholm (ärftlighetslära)

professor Ragnar Rylander, Göteborg (hygien, särskilt omgivningshygien)

bitr. professor Bernhard Tribukait, Stockholm (medicinsk radiobiologi)

forskningschef Gunnar Walinder, Stockholm (radiobiologi)

professor Torbjörn Westermark, Stockholm (kärnkemi).

I mars 1977 arrangerade Karolinska institutet på kommitténs uppdrag ett internationellt forskarmöte kring luftföroreningar. Mötets resultat blev av stort värde för kommittén. Den vetenskapliga avrapporteringen från mötet är under tryckning i ett nummer av Environmental Health Perspectives som beräknas föreligga i början av år 1978.

Kommittén har tagit kontakt med energikommissionen under utredningsarbetets gång, bl.a. för att samordna arbetsplaneringen. I samråd med energikommissionen anordnades den 17 maj 1977 en offentlig diskussionsdag kring en preliminär utgåva av kommitténs underlagsrapporter. Till diskussionsdagen inbjöds företrädare för miljövårdsorganisationer, kraftindustrin och vissa fackmyndigheter. Vidare har kontakter med det norska Kjernekraftutvalget och vissa brittiska myndigheter och verk gett värdefull teknisk-vetenskaplig information.

Kommittén är enig i sina överväganden.

Sedan vi nu slutfört vårt uppdrag får vi härmed överlämna betänkandet Energi, Hälsa, Miljö.

Stockholm i september 1977

Sven Moberg

Per Bergman

Sigvard Karlehagen

Rolf Clarkson

Maja Ohlin

Bo Forslund

Ulla Orring

/Lars Högberg

Bo Assarsson

Per Strangert

Innehåll

Läsanvisning 7

Innehållstabla 8

1 Energi, hälsa och miljö — sammanfattande överväganden

Några utgångspunkter 11

Inverkan på hälsan som visar sig förhållandevis snabbt 15

Inverkan på hälsan som visar sig efter viss tid 19

Inverkan på hälsan på mycket lång sikt 24

Inverkan på yttre miljön 27

Arbetsmiljön och dess hälsorisker 32

Stora olyckor 33

Spridning av kärnladdningar 37

Hälsa- och miljöfrågorna i ett energipolitiskt perspektiv 37

2 Enerkipolitisk bakgrund

Världens energiomsättning och energitillgångar 46

Sveriges energiförsörjning 49

1975 års energipolitiska beslut och senare åtgärder 53

Antagna alternativ för energiförbrukningen i denna utredning 56

3 Från energiråvara till spillvärme och avfall — den tekniska bakgrunden

Vattenkraft 58

Olja 67

Naturgas 79

Kol 80

Kärnkraft 90

4 Några metodfrågor

Verkningarnas fördelning — motstående intressen 114

Vad menas med en risk? 115

Risker sedda ur energiproduktionens synvinkel 116

Risker ur samhällets och individens synvinkel 116

En allsidig belysning behövs 117

5 Inverkan på befolkningens hälsa under normal drift — olja, kol, naturgas och kärnkraft

Trafikolyckor 118

Inverkan på hälsan som visar sig förhållandevis snabbt 119

Inverkan på hälsan som visar sig efter viss tid 123

Hälsorisker på mycket lång sikt 146

6 Arbetsmiljön och dess hälsorisker

Vattenkraft 153

Kol 155

Olja 159

Naturgas 161

Kärnkraft 162

7 Inverkan på yttre miljön

Utbyggnad av vattenkraft 168

Ingrepp i landskapet vid användning av olja, gas, kol och kärnkraft 174

Utsläpp av varmvatten 181

Utsläpp av svavelföreningar 182

Oljespill 184

Utsläpp av radioaktiva ämnen 184

Utsläpp av kolväten och metaller 184

Aska och avsvavlingsslam 187

Inverkan på klimatet 188

8 Haverier — olyckor — katastrofer

Vattenkraft 191

Olja 193

Naturgas 195

Kol 196

Kärnkraft 197

Exempel på riskvärderingar 207

9 Spridning av kärnladdningar. Terrorism

Risker för terror, sabotage och utpressning 212

Risker för att fler länder skaffar sig kärnladdningar 213

10 Hälsa- och miljöverkningar av övriga energislag

Torv 215

Ved och energiskogar 216

Oljeskiffer 217

Jordvärme 217

Solenergi 218
Vindenergi 220
Vätekraft (fusion) 224
Övrigt 226

APPENDIX

1. Utredningsuppdraget — direktiv och genomförande 227
2. Förteckning över underlagsrapporter och bakgrundsdocument 232
3. Forskning om energianvändningens skadliga hälsoeffekter, särskilt s k epidemiologisk forskning. Några synpunkter på behov och organisation m m 242
4. Lagstiftning och myndighetstillsyn 242

SAKREGISTER 244

En läsanvisning

Kapitel 1 sammanfattar de viktigaste hälso- och miljöverkningsarna vid användningen av olika energislag. Där redovisar vi också kommitténs syn på hur dessa risker och skadeverkningsar bör sättas in i ett större energipolitiskt sammanhang. I kapitel 1 har vi undvikit att använda ord och begrepp som förutsätter särskilda fackkunskaper.

I kapitel 2 till 10 ger vi en mer ingående beskrivning av hälso- och miljöverkningsarna och hur de uppkommer. Även här har vi så långt möjligt använt ett enkelt språk. Det är dock nödvändigt att införa vissa fackbegrepp som i så fall förklaras. Förklaringarna återfinns ofta i särskilda faktarutor (gul bakgrund) liksom vissa detaljbeskrivningar.

Det har hela tiden varit vårt mål att göra framställningen i detta betänkande lättillgänglig — dock utan att för den skull göra problemen kring hälso- och miljöverkningsar av energianvändning enklare än de är i verkligheten.

Det omfattande tekniska och vetenskapliga sakunderlag som detta betänkande grundar sig på redovisas i särskilda bilagor som finns förtecknade i appendix 2. I den mån vi också använt andra litteraturkällor finns dessa förtecknade efter vart och ett av kapitlen 2 till 9.

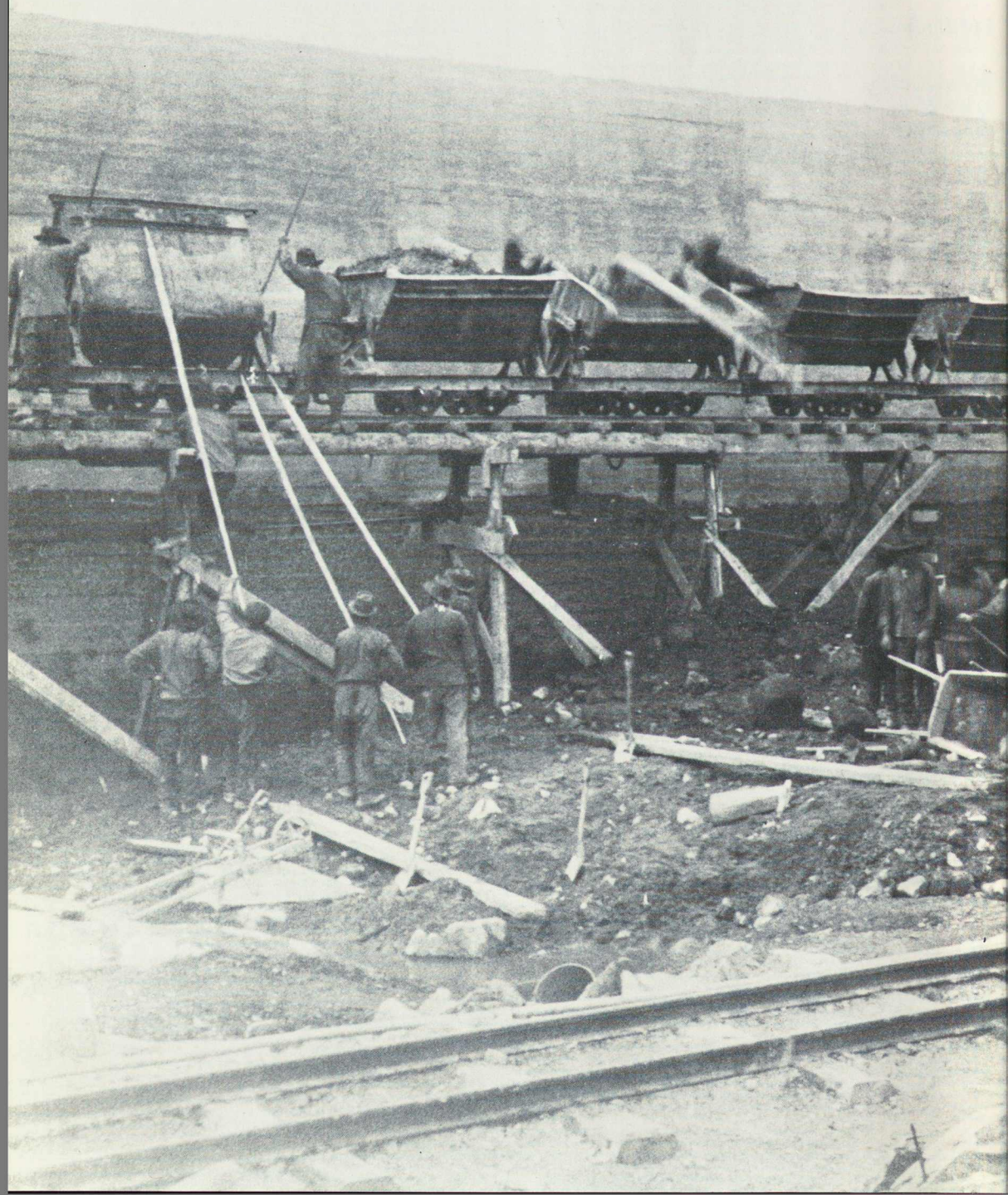
I slutet på betänkandet finns ett alfabetiskt sakregister. På nästa uppslag finns dessutom en innehållsöversikt i tabellform. Med dess hjälp kan man snabbt finna var vi behandlar olika hälso- och miljöverkningsar av de idag viktigaste energislagen — vattenkraft, olja, gas, kol och kärnkraft. Tabellen är försedd med sidhänvisningar dels till den utförligare beskrivningen, dels till sammanfattningen.

Verkningar	Vattenkraft	Kärnkraft
Inverkan på hälsan som visar sig förhållandevis snabbt		
Inverkan på hälsan som visar sig efter viss tid		Utsläpp av radioaktiva ämnen och risker för cancer, ärftliga skador och fosterskador 134 144 smf 21 24
Inverkan på hälsan på mycket lång sikt		Utsläpp av långlivade radioaktiva ämnen 146 smf 26 Förvaring av radioaktivt avfall 148 smf 24 42
Arbetsmiljön och dess hälsorisker	Risker vid anläggningsarbeten 153 smf 32	Strålrisker 162 Övriga yrkeskaderisker 165 smf 33
Risker för stora olyckor	Damm-brott, m m 191 smf 32	Reaktorhaveri, m m 197 med stora utsläpp av radioaktiva ämnen smf 36 43
Direkta ingrepp i naturen	Markbehov inkl skyddszoner för kraftverk, ledningsnät och andra anlägg 168 175 smf 27 177, 181 smf 28 Inverkan på landskapsbild samt växt- och djurliv vid överdämning, torrläggning, m m 168 smf 28	Ingrepp vid brytning av uranmalm, uran- eller oljeskiffer och kol
Inverkan genom föroreningar i miljön		Utsläpp av kylvatten från kraftverk Utsläpp av radioaktiva ämnen 184 smf 29
Inverkan på miljön på mycket lång sikt		Förvaring av radioaktivt avfall 148 smf 24 Krypton -85 och klimatet 190 smf 32

Kol		Olja	Naturgas
Luftföroreningar i tätorter och besvär eller sjukdomar i luftvägarna		119 smf 16	
Inverkan av utsläpp från kraftverk			
Luftföroreningar och risker för långvariga besvär och sjukdomar i luftvägarna		123 smf 19	
Luftföroreningar och risker för cancer, ärftliga skador och fosterskador			138 145
Metallnedfall	125		smf 22
och förgiftningsrisker	smf 19		24
	40		
Metaller i askupplag	151 smf 27		
Risker vid brytning och transport av kol	155 smf 33	Risker vid utvinning av olja och gas	159 smf 32
Gasexplosion, m m i gruva	155 196 smf 35	Explosion i raffinaderi, m m	160 193 smf 34
		Stora oljeutsläpp	194 smf 31
		Explosion eller brand vid gasutsläpp	161 195 smf 35
ningar			
	174 smf 28	Ingrepp vid utvinning av olja och gas	174 smf 28
			181 smf 29
Utsläpp av svavelföreningar och försurning av mark och vatten		182 smf 29 40	
		Oljespill	184 smf 31
Utsläpp av metaller och inverkan på växt- och djurliv		184 smf 30	
Metaller i askupplag	151, 187 smf 27	Koldioxid, stoft kväveoxider och klimatet	189 smf 31 39

Figur 1. Sveriges nuvarande elenergiförsörjning bygger inte minst på hårt kroppsarbete av generationer vattenrallare. Bilden visar gjutning av betongkärnan till dammen i Porjus 1912. Kraftverket levererar alltjämt ström till det svenska elnätet.

(Foto ur vattenfallsverkets arkiv.)



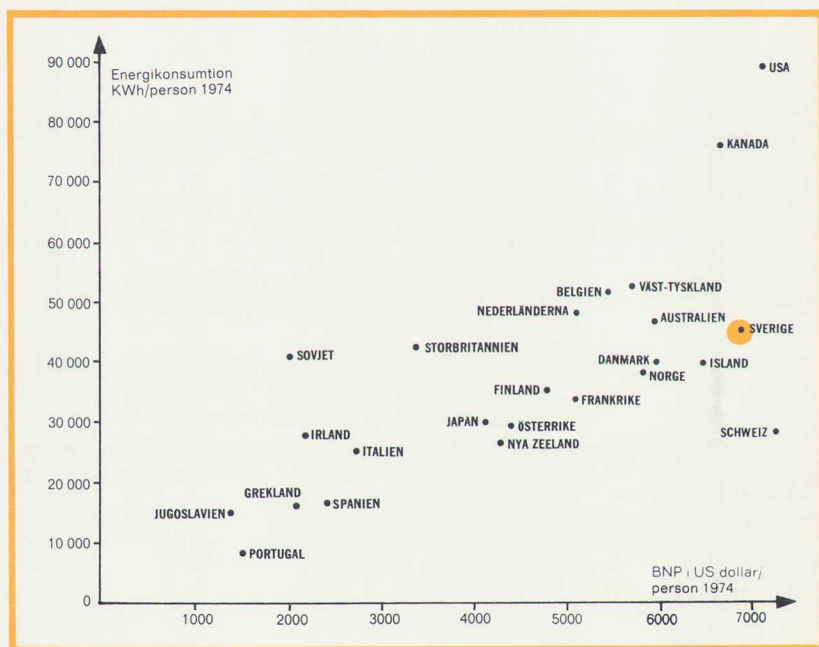
Energi, hälsa och miljö

— sammanfattande överväganden

Några utgångspunkter

Vår energiförbrukning

Sveriges förbrukning av energi i olika former uppgick 1976 till i medeltal 54 000 kilowattimmar per person. Det motsvarar det totala energiinnehållet i omkring 5 400 liter eldningsolja. Internationellt sett är detta en hög energiförbrukning (figur 2). I förhållande till levnadsstandard och klimat är vi i Sverige ändå rätt sparsamma med energi, jämfört med flera andra länder.



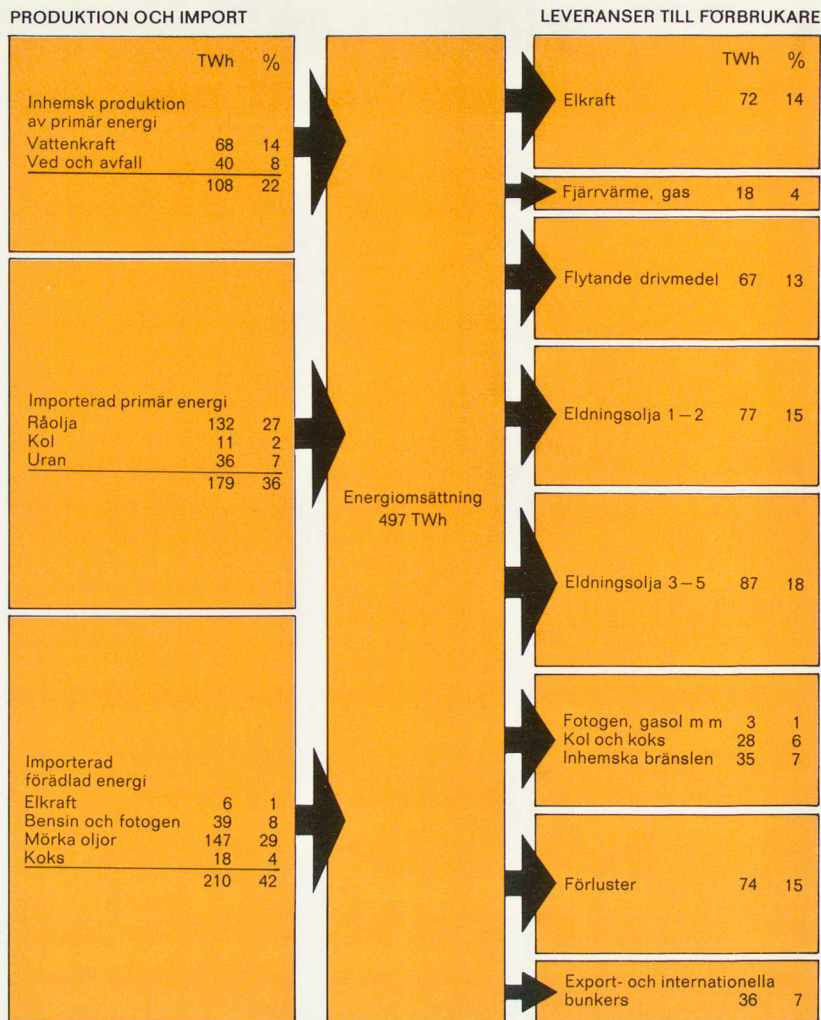
Figur 2. Energiförbrukning och bruttonationalprodukt (BNP) per invånare i några länder år 1974.

Källor: Statistik från UNCTAD och OECD.

Sveriges energibalans 1975, dvs en sammanställning av varifrån energin hämtas och hur den används, framgår av figur 3.

Importerad energi svarade således för 78 procent av tillförseln, medan endast 22 procent var av inhemskt ursprung.

Industrin svarade för omkring två femtedelar av landets totala energiförbrukning. I övrigt användes en femtedel av energin till transporter och



Figur 3. Sveriges energibalans 1975. 1 TWh = 1 miljard kilowattimmar, kWh. (Tillförselsidan i figuren upptar det totala energiinnehållet och inte den nyttiggjorda energin. Detta gör att värdena skiljer sig något från dem som redovisas i kapitel 2.)

Källa: Ångpanneföreningen.

samfärdsmedel och knappt två femtedelar till uppvärmning av byggnader och varmvatten.

Den elkraft som år 1976 producerades inom Sverige kom till 73 procent från vattenkraft, till 14 procent från kärnkraft och till 5 procent från annan sk kondenskraft och gasturbinkraft. Sk mottryckskraft, t ex i form av kraftvärmeverk, som bättre tar tillvara bränslets totala energiinnehåll svarade för 8 procent av elkraftproduktionen.

Energi — välfärd — skadeverkningar

Det finns — som figur 1 antyder — uppenbara samband mellan energiförbrukning och materiell och social välfärd. Sveriges välfärd är sålunda till betydande del avhängig av en exportindustri som använder stora mäng-

Olika energiformer

Energi kan varken skapas eller förstöras — bara omvandlas från en form till en annan. I dagligt tal — liksom i detta betänkande — använder vi ändå uttryck som "förbruka energi" och "framställa energi", när vi egentligen avser sådana energiomvandlingar.

Vattnets lägesenergi i en kraftverksdamm omvandlas till rörelseenergi i de roterande turbinerna. Den rörelseenergin kan sedan omvandlas till elektrisk energi i en elektrisk generator. Den elektriska energin kan i sin tur omvandlas till värmeenergi i en kokplatta.

Den kemiska energi som finns lagrad i olika bränslen omvandlas till värme vid förbränning. Värmen kan, t ex via ånga och ångturbiner, omvandlas till mekanisk energi och vidare till elektrisk energi i en generator.

Enligt Einsteins relativitetsteori kan också materia omvandlas till energi, och tvärtom. Kärnkraften bygger på en sådan omvandling av materia till energi.

Lägesenergi, rörelseenergi, kemisk energi, värmeenergi och elektrisk energi är exempel på olika energiformer (eller energislag). Ordet energislag använder vi dock i detta betänkande huvudsakligen för att skilja mellan energi av olika ursprung (från olika energiråvaror), t ex olja, kol, kärnkraft.

Energi- och effektmått

Energi mäts i enheten joule (J). Ett annat namn på joule är wattsekund (Ws). Vi använder i detta betänkande oftast enheten kilowattimme (kWh) eftersom detta är en välbekant enhet från våra elmätare. En kilowattimme är 3,6 miljoner joule. Vi använder också följande större enheter:

1 megawattimme (MWh) = 1 000 kWh

1 gigawattimme (GWh) = 1 miljon kWh

1 terawattimme (TWh) = 1 miljard kWh

Effekt mäts i watt (W) och är ett mått på hur mycket energi som utvecklas per tidsenhet. Effekten 1 kilowatt (kW = 1000 watt) utvecklad under en timme ger energin 1 kWh. Man använder här motsvarande större enheter:

1 megawatt (MW) = 1 000 kW

1 gigawatt (GW) = 1 miljon kW

1 terawatt (TW) = 1 miljard kW

der energi. På det individuella planet kan man erinra om att motorer av olika slag har ersatt mänsklig muskelkraft i många tunga och förslitande arbeten. Väl ventilerade och uppvärmda arbetsplatser och bostäder främjar hälsan men kräver energi. Många ytterligare exempel kan anges — liksom exempel på områden där sambandet mellan energiförbrukning och välfärd kan sättas i fråga. Vi har dock inte funnit anledning att i detta betänkande gå in på en närmare jämförelse av för- och nackdelar med förbrukningen av energi. Ej heller har vi funnit det motiverat att i betänkandet ta upp en bred diskussion om sambandet mellan olika system för energiförsörjningen och de sociala förhållandena i samhället i stort.

I enlighet med våra direktiv har vi begränsat oss till en redovisning av energiförbrukningens följder i form av skador på hälsa och miljö. Exempelen är många och välbekanta. Förbränningen av olja och andra bränslen ger luftföroreningar, som kan ge ökad sjuklighet och försurar mark och vatten. Användningen av bränslen kan också ge andra skadeverkningar genom giftiga ämnen som sprids i miljön.

Kärnkraften kan medföra hälsorisker genom den joniserande strålningen från utsläpp av radioaktiva ämnen. Vattenkraften medför omfattande ingrepp i landskapet som kan påverka växt- och djurliv och, inte minst, den lokala befolkningens livsmönster.

På energins väg från råvara till slutlig förbrukare finns också riskfyllda arbetsmiljöer — kolgruvor är det klassiska exemplet.

Fullständig överblick av verkningarna måste eftersträvas

Olika energikällors inverkan på hälsa och miljö är svåra att jämföra och värdera. I vissa fall drabbas en liten grupp människor, som arbetar vid eller bor nära ett kraftverk eller en gruva. I andra fall kan effekterna spridas till hela jordens befolkning. Somliga skadeverkningar uppträder bara så länge verksamheten pågår. Andra kvarstår under mycket längre tid. Kemiska föroreningar och radioaktiva ämnen som finns kvar lång tid efter det att utsläppen upphört kan sålunda utsätta även kommande generationer för skador och risker.

Utsläppen från varje enskild källa, t ex kraftverk, är ofta små och sprids över stora områden. Därför anses det ofta att man kan försumma verkningarna. Men om man lägger samman många års utsläpp från tiotusentals kraftverk, utspridda över hela jorden, kan man i vissa fall finna att det byggs upp oroande höga halter av föroreningar. Det enskilda landet har fördelarna av att använda elenergi från ett kraftverk. Nackdelarna, i form av förorenande utsläpp, kan däremot spridas över många länder. Det ställer stora krav på internationell solidaritet att lösa sådana föroreningsproblem.

För att kunna jämföra olika energislag från hälso- och miljösynpunkt måste man försöka skaffa sig en så fullständig överblick som möjligt av deras skadeverkningar. Man bör se till verkningarna för lång tid framåt, både inom och utom landet. Hälso- och miljöeffekterna måste även bedömas i förhållande till mängden utvunnen energi. Man får då hålla i minnet att olika energislag kan ha skilda användningsområden och kanske inte är direkt utbytbara.

Risker och osäkerheter

När det gäller många föroreningar kan man inte göra helt säkra förutsä-

gelsor om verkningarna. Man vet för lite om hur föreningarna sprids och vad de har för inverkan på människor och på växt- och djurliv. Trots många års intensiv forskning är exempelvis osäkerheten stor om hur cancer uppkommer och om de bakomliggande orsakerna. Olika forskare kan då ha olika mening om vad som är "vetenskapligt bevisat".

Att olika uppfattningar framförs är ett naturligt inslag i den kritiska, vetenskapliga prövningen av alla forskningsresultat. Den prövningen syftar till att sälla bort felaktigt utförda mätningar och illa underbyggda slutsatser. När den vetenskapliga osäkerheten är stor skapar dock diskussionen forskare emellan lätt förvirring bland icke fackmän — särskilt om lösryckta resultat förs ut i den allmänna debatten.

För att undvika förvirring bör man så klart och tydligt som möjligt redovisa vad som är vetenskapligt väl underbyggt och vad som är osäkert. Ett sätt är att bygga på de uppfattningar som omfattas av ett flertal svenska och utländska forskare, väl insatta i fackområdet. Vi har eftersträvat en sådan redovisning i detta betänkande och dess bilagor.

En anledning till osäkerhet är vidare att det pågår en intensiv teknisk utveckling. Det är både fråga om att utveckla nya energikällor och att minska risker och skadeverkningar vid användningen av energislag som olja, kol och kärnkraft. För att jämförelser från hälso- och miljösynpunkt mellan olika energislag skall bli rättvisande måste man göra i möjligaste mån likvärdiga antaganden om vilka tekniker som är allmänt tillgängliga under en viss tidsperiod. Dessa antaganden är i flera fall osäkra och får fortlöpande prövas i ljuset av de forsknings- och utvecklingsresultat som kommer fram.

Med hänsyn till osäkerheterna i kunskapsunderlaget är vi ofta hänvisade till rätt grova uppskattningar, t ex av olika slags risker. Beslut om energiförsörjningen i framtiden måste ändå fattas utifrån de kunskaper som finns tillgängliga nu. Vilka osäkerheter som kan anses som godtagbara är en bedömningsfråga i den demokratiska beslutsprocessen.

Hur redovisningen är upplagd

Vår översikt i detta kapitel börjar med de omedelbara och påtagliga verkningarna av olika energislag, t ex luftvägsbesvär från luftföreningar. Därefter tar vi upp mer långsiktiga effekter där verkningarna ofta sprids ut över stora befolkningsgrupper, t ex förgiftningsrisk från metaller och risk för fler cancerfall. Tidsperspektivet sträcks sedan ut till tusentals och hundratusentals år. Det gäller t ex kärnkraftens avfall och risk för klimatförändringar från användningen av fossila bränslen. Vi avslutar kapitlet med att redovisa vad vi bedömer vara de viktigaste skadliga följdverkningarna och riskerna för hälsa och miljö av varje energislag. Vi sätter också in våra resultat i ett större energipolitiskt sammanhang.

Vi vill framhålla att vi i detta kapitel bara tar upp ett urval av de mer betydande verkningarna och riskerna. Utförligare redovisningar lämnas längre fram i betänkandet.

Inverkan på hälsan som visar sig förhållandevis snabbt

I det här avsnittet diskuterar vi hur normala driftutsläpp i samband med

användningen av olika energislag kan ge en inverkan på allmänhetens hälsa som visar sig förhållandevis snabbt.

Hälsorisker vid haverier och stora olyckor behandlas i ett särskilt avsnitt längre fram i kapitlet. Samma sak gäller yrkesskaderiskerna.

Inverkan av luftföroreningar

Luftföroreningarna i de svenska tätorterna kommer i första hand från trafiken och från uppvärmning av hus. De är vanligen en blandning av en mängd olika ämnen. En del är gasformiga, som svaveldioxid, kväveoxider och koloxid. Andra föroreningar består av partiklar (stoft) med varierande ursprung och sammansättning. Svaveldioxiden kommer främst från värmeanläggningar, medan bilar och andra motorfordon bär huvudansvaret för stoft, koloxid, kolväten och bly. Det är också motorfordonen som

Joniserande strålning

Joniserande strålning är ett samlande namn på strålning som kan orsaka att elektroner (jfr nedan) slits loss från de atomer och molekyler som all materia är uppbyggd av. Man säger då att atomerna eller molekylerna joniseras. Sker detta i levande materia, t ex i en cell, kan detta innebära att de kemiska livsprocesserna påverkas.

Joniserande strålning utsänds av radioaktiva ämnen. Den kan också alstras på annat sätt, t ex i röntgenrör. Ibland används den fysikaliskt sett felaktiga benämningen radioaktiv strålning i stället för joniserande strålning.

Olika typer av joniserande strålning

Följande typer av joniserande strålning är främst av intresse i detta betänkande:

gamma- och röntgenstrålning:

Detta är s k elektromagnetisk strålning med mycket kort våglängd — tusentals till miljonen gånger kortare än t ex hos synligt ljus som också är elektromagnetisk strålning.

betastrålning:

Betastrålning består av elektroner. Elektroner är de elementarpartiklar som är bärare av den negativa elektriska enhetsladdningen. Elektroner ingår bl a i ytterhöljet på de atomer och molekyler varav all materia är uppbyggd.

alfastrålning:

Alfastrålning består av alfa-partiklar, dvs atomkärnor av grundämnet helium. Alfa-partiklarna är positivt elektriskt laddade.

neutronstrålning:

Denna består av neutroner, dvs elementarpartiklar med i stort sett samma massa som väteatomens kärna men utan elektrisk laddning.

Genomträngningsförmågan för alfa-, beta- och gammastrålning belyses i figuren intill. Alfastrålningens räckvidd är bara några centimeter i luft och någon hundradels till någon tiondels millimeter i kroppens vävnader.

är främsta orsaken till att det finns höga halter av kväveoxider i gatuplanet.

Många människor som bor i tätorter kan få hälsoproblem på grund av de allmänna luftföroreningarna. I första hand påverkas personer som redan lider av sjukdomar i hjärta eller lungor eller som är allergiker. Det är en betydande del av befolkningen som av sådana orsaker är särskilt känslig.

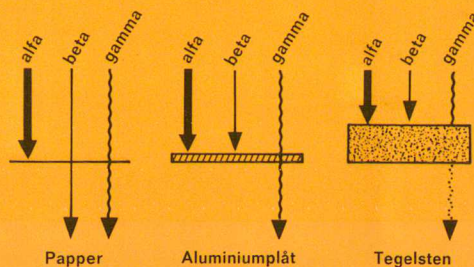
Luftföroreningar kan ge obehag i form av dålig lukt men även irritationer i andningsvägarna av inflammationstyp. För människor som redan har luftvägssjukdomar kan dessa förvärras. Vid de tillfällen med mycket svåra luftföroreningar som inträffat utomlands har fler dödsfall än normalt inträffat. Det finns också skäl att anta att irritationer och besvär som normalt är tillfälliga och övergående kan leda till långvariga (kroniska) sjukdomstillstånd om människor utsätts för luftföroreningar under lång tid.

2

Betastrålningens räckvidd i luft är av storleksordningen meter och i kroppsvävnaderna upp mot en centimeter, beroende av betapartiklarnas rörelseenergi.

Gammastrålningen, som är av samma natur som röntgenstrålning, dvs en elektromagnetisk vågrörelse, har till skillnad mot alfa- och betastrålningen stor genomträngningsförmåga, liksom neutronstrålningen.

Genomträngningsförmågan för alfa-, beta- och gammastrålning.



Naturligt förekommande strålning

Allt omkring oss och även vår egen kropp innehåller naturligt radioaktiva ämnen som ständigt utsätter oss för joniserande strålning. Därtill kommer joniserande strålning från solen och världsrymden (kosmisk strålning). Av de stråldoser vi på detta sätt får kommer i genomsnitt omkring en femtedel från naturligt radioaktiva ämnen i kroppen. Omkring en tredjedel kommer från kosmisk strålning. Resten, dvs omkring hälften av den årliga stråldosen, kommer från naturligt radioaktiva ämnen i mark och byggnader. Stråldosen från mark och byggnader kan dock variera starkt beroende på var i landet man bor, vad husen där man vistas är byggda av och till och med var i husen man huvudsakligen vistas. Olika personer kan därför mycket väl uppvisa skillnader på 20 procent eller i en del fall ändå mer i den totala årliga stråldosen från naturligt radioaktiva ämnen.

Svaveldioxid och sot

Sedan flera år tillbaka har värmepannornas utsläpp av svaveldioxid och sot i stadsluften betraktats som en hälsorisk. För att minska denna typ av föroreningar har man föreskrivit minskade svavelhalter i eldningsolja och strävat efter att gå över till fjärrvärme i ökad utsträckning. Fjärrvärmeverken kan förses med stofffilter och höga skorstenar som sprider utsläppen över större områden. Rökgaserna späds ut mer innan de når marken. Halten av luftföroreningar blir lägre och därmed risken för direkt uppträdande besvär och irritationer. De totalt utsläppta mängderna av olika föroreningar kan ändå vara i stort desamma som utan fjärrvärme.

Kol- eller oljeeldade kraftverk förses också med höga skorstenar som sprider ut rökgasutsläppen. Även om de läggs nära en tätort blir tillskotten av svaveldioxid till stadsluften för det mesta små. Ett stort oljekraftverk som bränner lågsvavlig olja utan rökgasrening kan dock vid enstaka tillfällen då vädret är ogynnsamt ge tillskott som inte kan ses som betydelselösa från medicinsk synpunkt.

En del av svaveldioxiden omvandlas till sura sulfater som kan spridas lång väg. Mycket talar för att dessa föreningar är skadligare än svaveldioxiden. I dag finns det dock inte tillräckligt med data för att man ska kunna bedöma riskerna.

Medicinsk expertis framhåller att det troligen inte är svaveldioxiden som ensam skapar hälsoriskerna vid de halter det här vanligen är fråga om. Halten svaveldioxid i luften bör mera ses som ett mått på halten av en rad delvis bristfälligt kända föroreningar från rökgaserna. Det är dessa föroreningar som tillsammans med svaveldioxiden påverkar hälsan. Sådana samverkans effekter mellan olika luftföroreningar kan enligt medicinsk expertis ha stor betydelse för en rad olika typer av påverkan på hälsan. Kunskapsläget härvidlag är i dag otillfredsställande.

Kvävedioxid

Djurförsök har visat att höga halter kvävedioxid i luften ger en rad allvarliga hälsoeffekter, bl a ökad känslighet för infektioner i andningsvägarna. Det finns också data som tyder på att människor kan påverkas, t ex få svårare att andas.

Medicinsk expertis bedömer mot bakgrund härav att läget vad gäller kvävedioxid i stadsluften redan nu till följd av bilarnas utsläpp är högst otillfredsställande från hälsosynpunkt. Det finns starka skäl att anta att många människor påverkas medicinskt av de kvävedioxidhalter som uppkommer på högtrafikerade gator när vinden är svag. I dag finns det dock inte tillräckligt med data för att närmare avgöra hur allvarliga och omfattande dessa medicinska effekter är, särskilt på längre sikt.

De tillfälliga tillskott av kvävedioxid som kan förväntas från framför allt dagens kolkraftverk är i sig tillräckligt stora för att kunna få medicinsk betydelse. Om dessa tillskott läggs till de halter vi har i städerna redan i dag kommer det tidvis att medföra förhållanden där risken för medicinska effekter är uppenbar. Ser man till genomsnittet över längre tidsperioder är tillskotten av kvävedioxid från kraftverk mycket lägre och ligger klart under den naturliga halten kvävedioxid i luft.

Användningen av alla typer av organiska bränslen — olja, kol, gas, torv,

ved och biomassa från energiskogar — ger utsläpp av kväveoxid i större eller mindre omfattning.

Användning av ändrad förbränningsteknik och bättre rökgasrening kan avsevärt minska utsläppen av kvävedioxid från kraftverk. I Japan finns sålunda redan i dag prototyper till anordningar för rökgasrening som tar bort 80—90 procent av kvävedioxiden.

Ny förbränningsteknik, som s k svävbädd, kan också avsevärt minska utsläppen av kvävedioxid. Svävbäddsanläggningar drivs i försöksskala i dag. Tekniken bedöms bli stegvis tillgänglig för aggregat upp till några hundra megawatt elektrisk effekt, dock först fram mot 1990-talet.

Inverkan av driftutsläpp från kärnkraftverk

Under normal drift ger utsläppen från kärnkraftverk inga omedelbara hälsoeffekter. Den mest utsatta gruppen näst personalen är de människor som bor nära kraftverken. Stråldoserna för ett helt år ligger för dessa personer på någon hundratusendel av den dos som kan ge omedelbara strål-skador, och då bara om man får hela dosen på kort tid.

Man kan också uttrycka det så att utsläppen från kärnkraftverk innebär ett tillskott på någon eller några procent av den naturligt förekommande bakgrundsstrålningen för personer som bor nära kraftverken.

Inverkan på hälsan som visar sig efter viss tid

Långvariga (kroniska) besvär och sjukdomar i andningsvägarna

Luftföroreningar som sot, svavelföreningar och kvävedioxid kan som nämnts påverka luftvägarna redan om man bara utsätts för föroreningarna en kort tid. Vi har också nämnt att det finns skäl att anta att om man utsätts för luftföroreningar under lång tid, så övergår irritationer och besvär, som normalt är tillfälliga, i långvariga (kroniska) sjukdomstillstånd. Sådana sjukdomstillstånd kan tänkas uppkomma till följd av de halter kvävedioxider som blir aktuella genom utsläpp från bilar och kraftverk. Svaveldioxidhalterna är relativt låga och det finns inte samma skäl förmoda att dessa skulle ge upphov till kroniska skador. I utlandet har högre halter svaveldioxid satts i samband med kroniska förändringar i andningsvägarna. Några undersökningar över eventuell förekomst i Sverige av kroniska förändringar till följd av att människor utsätts för luftvägsirriterande ämnen som svaveldioxid, sulfatpartiklar och kvävedioxid har inte utförts. Ett betydande antal sjukdomsfall kan mycket väl ha inträffat utan att detta givit sig tillkänna genom sedvanlig sjuklighets- och dödlighetsstatistik.

Skador av giftiga metallutsläpp

Olja och kol innehåller metaller som sprids ut i miljön vid förbränning. Vissa av dem kan medföra risk för förgiftning. Särskilt allvarliga kan ut-

släppen av kvicksilver och kadmium från kolkraftverk bli, bland annat därför att dessa metaller lagras och anrikas i olika näringskedjor. Skadeverkningarna beror i hög grad på vilka kolsorter som används och på hur väl rökgasreningen fungerar. Om man t ex i ett bristläge måste använda kol med höga metallhalter kan utsläppen och därmed hälsoriskerna bli stora.

Kadmium

Kadmium lagras bl a upp i markens ytskikt. Det tas sedan upp av växter och djur och kommer via födan in i människan. Där lagras det upp i njurarna. När kadmiumhalten i njurarna blir tillräckligt hög skadas deras funktion. Redan i dag har invånarna i Sverige och många andra länder betydande mängder kadmium i kroppen. Svenska 50-åringar har i medeltal en åttondel av de halter som ger påvisbara njurskador hos känsliga personer. Enstaka personer kan naturligtvis ha mer än genomsnittet.

I många områden tillförs marken redan i dag en hel del kadmium genom bl a gödsel och slam samt nedfall av luftföroreningar. Detta synes ha lett till att halten kadmium i t ex vete har ökat. Ett kolkraftverk skulle i ogynnsamma fall kunna ge ytterligare tillskott till kadmiumhalten i marken. Särskilt om man räknar med att använda kol under lång tid finns det risk för att man får kadmiumhalter i födoämnen som ej kan godtas från hälsosynpunkt. Japanska erfarenheter visar också att kadmium som en gång lagrats upp i jordens ytskikt blir kvar under lång tid och är mycket svårt att få bort.

Kvicksilver

Fisken i sjöar inom ett stort område kring kolkraftverk kan få höjda halter av kvicksilver på grund av utsläppen. I svårare fall måste fisket begränsas i dessa sjöar (s k svart- och grålistning) för att människor inte skall riskera att förgiftas.

Möjligheter att minska utsläppen

Osäkerheten kring utsläppen av metaller från kolkraftverk är stor. Utsläppen beror bl a i hög grad på vilka kolsorter som används och hur väl rökgasreningen fungerar. Den tekniska utvecklingen har också varit sådan att nya utsläppsdata fortlöpande har kommit fram under utredningsarbetets gång. Med i dag tillgänglig filterteknik är det troligen möjligt att nedbringa utsläppen av kadmium från stora kolkraftverk till omkring en tiondel av vad som anges i bilagorna. Det kan också bli tekniskt möjligt att avsevärt förbättra reningen av rökgaserna från kvicksilver. Även om metallutsläppen är små och väl spridda måste hälsoriskerna fortlöpande bevakas med hänsyn till att metallerna är stabila ämnen som lagras upp i naturen.

Cancer

Antalet cancerfall ökar — orsakerna oftast okända

Antalet människor som varje år insjuknar i cancer ökar i många länder. Mellan 1958 och 1972 ökade antalet nytillkomna cancerfall i Sverige från 19 000 per år till över 30 000 per år. Högst omkring hälften av ökningen

anses bero på att vi lever längre och på att vi får säkrare beskrivning av dödsorsakerna. Till resten av ökningen har den medicinska sakkunskapen ingen entydig förklaring.

Många forskare anser att uppemot fyra femtedelar av alla cancerfall är orsakade av människan själv — genom skadliga ämnen i arbetsmiljön, rökning, tillsatser i födan, utsläpp av föroreningar etc. Sådana uppskattningar är dock osäkra. Endast för ett fåtal cancerformer har man säkert kunna fastställa ett orsakssamband. Exempelvis är det väl klarlagt att det finns ett samband mellan rökning och lungcancer.

Mekanismerna för hur cancer uppkommer är fortfarande ofullständigt kända. Man vet dock att både joniserande strålning och ett stort antal kemiska ämnen kan orsaka cancer.

Cancer och kärnkraft

I kärnbränslets processkedja — från urangruvan över kärnreaktor till avfallslager — släpps vissa mängder radioaktiva ämnen ut i miljön. Under normala driftförhållanden är det kärnkraftaggregat och upparbetningsanläggningar för använt kärnbränsle som svarar för huvuddelen av utsläppen.

Kärnkraftaggregaten släpper ut små mängder radioaktiva ämnen i luften, främst vissa s k isotoper av xenon, krypton, jod, väte och kol. Dessa ämnen kommer huvudsakligen från mycket små läckor i enstaka bränslestavar. Små mängder radioaktiva ämnen släpps också ut i kylvattnet.

Upparbetningsanläggningarna släpper i stort sett ut samma gasformiga radioaktiva ämnen i luften som kärnkraftverken, men i form av mer långlivade isotoper. Många av dessa ämnen frigörs när bränslestavarna kapas sönder som ett första steg i upparbetningen. Vissa upparbetningsanläggningar släpper även ut radioaktiva ämnen i havet.

Normala driftutsläpp från civila och militära kärnreaktorer och upparbetningsanläggningar är tillsammans med de militära kärnladdningsproven de huvudsakliga källorna till de radioaktiva ämnen i miljön som inte har naturligt ursprung.

Forskarorgan som internationella strålskyddskommissionen (ICRP) och Förenta nationernas vetenskapliga strålningskommitté (UNSCEAR) anser att cancerrisken från dessa utsläpp kan uppskattas förhållandevis väl. Vid riskberäkningen tar man hänsyn till utsläppens inverkan på hela jordens befolkning under lång tid. Metoderna för att uppskatta cancerriskerna är i viss mån osäkra och kritik har också riktats mot dem. En del kritiker menar att cancerriskerna överskattats och några forskare betvivlar att det över huvud taget finns en risk vid låga stråldoser. Andra kritiker menar att de underskattats. Få forskare inom området har dock ansett att cancerriskerna har över- eller underskattats mer än tio gånger. Flertallet forskare inom området menar att osäkerheten är avsevärt lägre — omkring en faktor två, dvs riskerna kan knappast vara mer än dubbelt så stora eller mindre än hälften så små.

De uppskattningar av cancerriskerna som redovisas i det följande bygger på ICRP:s och UNSCEAR:s metoder. De risksiffror som ges avser det totala antalet cancerfall som kan inträffa under de närmaste 500 åren till följd av olika utsläpp. Risker på ännu längre sikt behandlas på s 26 och följande.

Dagens strålskyddsbestämmelser och de drifterfarenheter man hittills har i fråga om utsläpp från svenska kärnkraftverk tyder på att normala utsläpp från 20 års drift av ett kärnkraftaggregat med 1 000 MW elektrisk effekt kan medföra en risk för sammanlagt 1—2 dödsfall i cancer bland allmänheten. Därtill kommer cancerrisken för personalen (se s 33).

Cancerriskerna från en eventuell upparbetning av det använda kärnbränslet är svårare att uppskatta. Detta beror mycket på att man hittills har begränsade erfarenheter att bygga på när det gäller upparbetning av den typ av kärnbränsle som används i svenska reaktorer. Den upparbetning som hittills bedrivits har gett utsläpp som motsvarar en risk för sammanlagt 5—10 dödsfall i cancer bland allmänheten om man upparbetar det använda kärnbränslet från 20 års drift av en 1 000 MW reaktor.

De nordiska ländernas strålskyddsinstitut har föreslagit att de framtida utsläppen bl a av kol-14 (se s 26) bör begränsas. I så fall skulle risken stanna vid sammanlagt 1—2 dödsfall i cancer bland allmänheten om man upparbetar det använda kärnbränslet från 20 års drift av en 1 000 MW reaktor. Som närmare diskuteras i kapitel 3 finns det också teknik utvecklade för att avsevärt minska utsläppen av radioaktiva ämnen från upparbetningsanläggningar.

Om man inte vill upparbeta det använda kärnbränslet måste det överföras till en form som fyller kraven på en säker inneslutning för slutlig förvaring (se närmare s 24). De tekniska processerna härför kan ge utsläpp som för närvarande inte kan uppskattas närmare eftersom inga metoder ännu finns utvecklade. Av tekniska skäl (se kapitel 3 s 107) är det dock inte troligt att utsläppen från en sådan överföringsprocess blir högre än från upparbetningsanläggningar.

Det kan också vara av intresse att uppskatta cancerriskerna inte bara från enskilda reaktorer utan från hela kärnkraftprogram. Ett svenskt kärnkraftprogram med tiotalet aggregat och upparbetning av bränslet inom eller utom landet skulle ge en risk för 1—2 framtida dödsfall i cancer per driftår förutsatt att de nordiska strålskyddsorganens rekommendationer om utsläppen följs. Dessa 1—2 cancerfall från det svenska kärnkraftprogrammet fördelas över hela Europas befolkning. Om övriga europeiska länder bygger ut kärnkraften i ungefär samma omfattning som Sverige skulle cancerfallen i Sverige kunna öka med ett eller ett par fall om året, eftersom vi i Sverige då utsätts för både egna och utländska utsläpp. Ett sådant europeiskt kärnkraftprogram utsätter befolkningen för en strålning som uppskattas till någon hundradel av doserna från naturliga källor. Vi vill understryka att osäkerheten är betydande i alla dessa uppskattningar av cancerrisken från kärnkraft. De gäller också endast under vissa förutsättningar som närmare redovisas i kapitel 5, s 137.

Cancer och fossila bränslen

Antalet fall av lungcancer har ökat starkt de senaste årtiondena. I Sverige inträffar ungefär 2 000 fall om året. Huvudsakligen drabbas män men andelen kvinnor har ökat under senare år. Man anser att rökning orsakar eller bidrar till omkring tre fjärdedelar eller mer av lungcancerfallen. Rökningens dominerande roll gör det svårt att få klarhet om andra orsaker till lungcancer. Man vet dock att luftföroreningar, främst i städerna, innehåller ett stort antal ämnen som sannolikt kan framkalla cancer — vart för sig eller i samverkan.

I mars 1977 anordnade Karolinska institutet på uppdrag av kommittén ett internationellt forskarmöte kring luftföroreningar och hälsorisker. När det gäller att bedöma cancerriskerna från användningen av fossila bränslen torde mötets uttalanden vara det bästa underlag som för närvarande är tillgängligt. Uttalandena präglas dock av stor försiktighet och betonar osäkerheterna.

Deltagarna i forskarmötet enades om att luftföroreningarna i stora tätorter — sannolikt i samverkan med rökning — har bidragit till storleksordningen 5—10 extra fall av lungcancer per 100 000 manliga invånare och år. Det faktiska antalet fall beror på vilka förhållanden som rått lokalt i varje tätort under de senaste årtiondena. Vidare bör man räkna med att varje ökning av mängden cancerframkallande ämnen i luften medför en motsvarande ökning i riskerna för cancer. Inte heller bör man räkna med några så kallade tröskelvärden, dvs värden under vilka små tillskott av föroreningar inte innebär någon ökad sjukdomsrisk, om man inte har säkra bevis för sådana tröskelvärden.

Luftföroreningarna i svenska tätorter kommer framför allt från lokaluppvärmning och bilism. Även om luftföroreningarna bara skulle bidra till en liten del av lungcancerfallen är det dock många fall om året det gäller. I Sverige kan det röra sig om något eller några hundratal fall per år.

Kol- och oljeeldade kraftverk. Beräkningar visar att kol- eller oljeeldade kraftverk torde ge mycket små tillskott till mängden cancerframkallande ämnen i luften även i närliggande städer. Å andra sidan sprids föroreningarna över stora områden. En grov riskuppskattning efter samma principer som för kärnkraftverk tyder på en risk för något extra fall av lungcancer bland Europas befolkning per 20 driftår för ett olje- eller koleldat kraftverk om 1 000 MW elektrisk effekt.

Osäkerheten i denna riskuppskattning är stor — troligen större än för kärnkraftverk. Redan de utsläppta mängderna av cancerframkallande ämnen torde variera starkt med typ av bränsle och förbränningsteknik. Riskuppskattningen är grundad på antagandet att halten av ett enda ämne (bens(a)pyren) ger ett mått på den cancerframkallande effekten hos utsläppen. Det finns nya mätningar som tyder på att utsläppen av bens(a)pyren från dagens kraftverk är 10—100 gånger större än som antagits i beräkningarna. Antalet cancerfall per 20 driftår skulle alltså kunna vara 10—100 gånger större. Vidare råder det stora osäkerheter om föroreningarnas spridning och omvandling i luften samt om hur de tas in och verkar i kroppen. Vi vet inte i dag heller något om den cancerframkallande verkan hos blandningar av olika ämnen. Vid det ovan nämnda internationella forskarmötet var en av slutsatserna att man måste vara mycket försiktig med att dra slutsatser om luftföroreningarnas cancerframkallande effekt utifrån halten av ett enskilt ämne, eftersom man vet så litet om hur olika föroreningar kan samverka.

När det gäller luftföroreningarnas roll för uppkomsten av andra former av cancer än lungcancer är det vetenskapliga underlaget ännu osäkrare. Man vet dock att skadliga ämnen kan tas upp och fördelas i kroppens olika vävnader. Vi har dock inte funnit det möjligt att uttala oss om hur stora risker det kan röra sig om.

Ärftliga skador

Förändringar i arvsmassan kan ge upphov till skadliga arvsanlag som kan gå i arv från föräldrar till barn i många generationer. Ett stort antal människor drabbas förr eller senare av handikapp eller sjukdomar där ärftliga faktorer spelar in. I Sverige rör det sig om många tusen fall per år.

Den ökning av antalet ärftliga skador som joniserande strålning kan orsaka anses vara förhållandevis känd och möjlig att beräkna. Ett svenskt kärnkraftprogram på tio aggregat med uppärbetning av kärnbränslet kan ge något enstaka fall av ärftligt betingad skada per driftår bland allmänheten, förutsatt att de nordiska strålskyddsorganens rekommendationer om utsläppen följs. Från 20 års drift av ett sådant program kan man vänta ca 20 fall som sprids ut över många generationer, dvs hundratals år.

Man vet vidare att många kemiska ämnen kan orsaka förändringar i arvsmassan. Sådana ämnen finns t ex i bilavgaser. Problemet är bl a att förut säga hur ämnena kommer in i kroppen, hur de eventuellt omvandlas där till mer eller mindre farliga ämnen, och hur de slutligen når könscellerna. I dag vet vi inte tillräckligt mycket för att uttala oss om luftföroreningarnas inverkan på arvsmassan.

Fosterskador

Under havandeskapstiden kan joniserande strålning och vissa kemiska ämnen påverka fostrets normala utveckling. Detta kan medföra missbildningar och andra fosterskador som är ärftliga endast om skadorna drabbas fostrets könsceller.

När det gäller joniserande strålning och kemiska ämnen är det mycket svårt att ge risksiffror för fosterskador. Risken beror i hög grad på när under havandeskapet modern bestrålas eller får i sig ett visst kemiskt ämne. De högsta stråldoserna till enskilda individer som bor nära svenska kärnkraftverk anses emellertid ligga på hundradelar eller tusendelar av de doser som kan ge en påtaglig risk för fosterskador.

Inverkan på hälsan på mycket lång sikt

Kärnkraftens avfall

Ett kärnkraftsaggregat på 1 000 MW elektrisk effekt ger cirka 30 ton förbrukat kärnbränsle per driftår. Huvuddelen, ca 96 procent, är uran. Av återstoden utgörs omkring ett ton av sk klyvningsprodukter — starkt radioaktiva isotoper av en rad lättare grundämnen som strontium och cesium. Omkring 230 kg utgörs av plutonium, varav 170 kg är klyvbart, dvs användbart till nytt kärnbränsle. I avfallet ingår dessutom ca 60 kg andra sk transuraner (grundämnen tyngre än uran).

Vid uppärbetning avskils plutonium och uran för att återvändas som reaktorbränsle. Med de metoder som i dag framstår som realistiska torde det återstående högaktiva avfallet komma att bindas i stavar eller liknande av glas eller keramiska material. Avfallet får då en volym av några kubikmeter per driftår.

Metoderna för hur man skall förvara avfallet efter uppärbetningen är ännu ej slutprovade. Processer finns dock utvecklade i laboratorieskala.

Man torde dock behöva långtidsprova olika processer innan man binder sig för en viss metod för slutdeponering i stor skala.

Inom kärnkraftindustrin torde man hittills ha utgått från att bränslet skall upparbetas. Utvecklingen av metoder för slutförvaring av använt kärnbränsle utan upparbetning har därför knappast mer än påbörjats. Ett förslag är att kapsla in det använda kärnbränslet i behållare av beständiga keramiska material. Utan upparbetning blir avfallsvolymen omkring 30 gånger större än med.

Med hänsyn till den tidsgräns som gällt för vårt arbete har vi inte funnit det rimligt att försöka värdera riskerna vid olika metoder att slutförvara det högaktiva avfallet. Ett mer fördjupat tekniskt underlag för sådana riskprovningar torde föreligga inom det närmaste året som följd av en rad pågående in- och utländska forsknings- och utvecklingsprojekt. Det går dock att från befintligt underlag allmänt beskriva riskerna från avfallet.

En av de rimligaste lösningarna, särskilt för svenskt vidkommande, verkar kunna vara att slutförvara avfallet i geologiskt stabila bergformationer några hundra meter under markytan. Detta gäller vare sig man upparbetar bränslet eller ej. Den huvudsakliga risken från hälso- och miljösynpunkt blir då att radioaktiva ämnen trots inkapslingen läcker ut i grundvattnet. Riskbilden ändrar sig därvidlag med tiden.

Under de första århundradena är det de starkt radioaktiva klyvningsprodukterna som utgör den största risken. Under denna tid är det utomordentligt viktigt att förhindra läckage till grundvatten i närheten av markytan. Kraven blir då mycket höga på en tät inkapsling av avfallet. I det mycket långa tidsperspektivet, dvs 10 000 år till 1 miljon år, är dock dessa krav rimligen inte lika höga. Efter omkring 500 år blir sålunda avfallet — exklusive det avskilda och eventuellt återanvända plutoniet — knappast mer biologiskt farligt från strålrisksynpunkt än den ursprungliga mängden naturligt radioaktivt uran som användes till att framställa kärnbränslet. Väljer man slutdeponering utan upparbetning torde avfallet i fråga om långsiktiga biologiska strålrisker motsvara högst något tiotal gånger de ursprungliga uranmängderna.

Blå sådana överväganden som redovisats ovan ligger till grund för att många forskare anser det möjligt att tekniskt lösa avfallsförvaringen. De menar då att möjligheterna till läckage av radioaktiva ämnen till omgivningen under olika tidsperioder kan göras så små att risken för strålskador inte är påtagligt större än motsvarande naturliga risker, t ex på grund av att radioaktiva ämnen kommer ut i grundvattnet genom urlakning av naturliga uranförekomster.

Andra forskare menar att osäkerheterna är mycket stora, bl a när det gäller kapslingsmaterialens beständighet och de kemiska egenskaperna hos vissa ämnen i avfallet, särskilt då konstgjorda grundämnen som transurerna.

Vi har redan nämnt att vi inte funnit det möjligt att bedöma riskerna för strålskador från avfallet utan ett fördjupat tekniskt underlag. Blå torde det behövas ingående provningsprogram för att klarlägga om det finns tillgång till material som gör det möjligt att med tillräcklig säkerhet innesluta avfallet i både det korta och långa tidsperspektivet. Riskerna för transport av klyvningsprodukter till markytan vid ett eventuellt läckage måste också studeras.

Kompletterar man lättvattenreaktorer med bridreaktorer blir uppbyggnad nödvändig och avfallsproblemen annorlunda. Går man över till bridreaktorer kommer man att utvinna mer energi ur varje ton ursprungligt uran eftersom en större andel av uranet kommer att utnyttjas till kärnbränsle. Följden blir att man totalt sett får mycket större avfallsmängder än från lättvattenreaktorer räknat per ton använt naturligt uran.

Halten transuraner i avfallet ökar också. Avfallet från bridreaktorer kommer därför i det långa tidsperspektivet att innebära långt större strålrisker än de ursprungliga uranmängderna. Dessutom kan man räkna med att ekonomiska skäl kommer att tala för att man med bridreaktorer kommer att använda en större del av jordens sammanlagda urantillgångar än vid lättvattenreaktorer. Även detta kan bidra till avsevärt ökade avfallsmängder vid bridreaktorer.

Utsläpp av långlivade radioaktiva ämnen

Huvuddelen av de radioaktiva ämnen som under normal drift släpps ut från kärnkraftsaggregat och uppbyggnadsanläggningar försvinner gradvis ur miljön. Detta sker inom de första hundra åren efter utsläppet — för många ämnen betydligt snabbare. De radioaktiva ämnena har då sönderfallit och omvandlats till icke radioaktiva ämnen. Därmed kan sådana ämnen inte medföra några som helst strålningsrisker på mycket lång sikt.

Ett fåtal av de radioaktiva ämnen som släpps ut har betydligt längre livslängd, tusentals år. Ämnena anses under denna tid hinna spridas över större delen av världen. Utsläppen kan därför ge små tillskott till den naturliga bakgrundsstrålningen under lång tid.

Ett exempel är utsläpp av jod-129. Även om man antar ett världsomfattande kärnkraftsprogram med tusentals reaktorer i drift under flera hundra år, blir tillskotten till den naturliga bakgrundsstrålningen små — några hundra procent. Tillskotten består dock under flera tiotal miljoner år. Strålskyddsexpertisen framhåller svårigheterna med att göra meningsfulla beräkningar av vilka hälsorisker det kan innebära med så små doser under så lång tid. Det är dock klart att utsläppen av jod-129 innebär försvinnande små risker för enskilda individer och även för generationer om man jämför med alla andra hälsorisker de möter under sin livstid.

Ett annat exempel är utsläpp av kol-14. Med nuvarande teknik kan en stor och världsomfattande kärnkraftutbyggnad på lång sikt ge stora utsläpp av kol-14. Särskilt blir detta fallet om man satsar på bridreaktorer och därmed uppbyggnad i stor skala. Utsläppen av kol-14 kan då ensamma leda till en påtaglig höjning av den naturliga bakgrundsstrålningen i hela världen. Sedan utsläppen upphört försvinner förhöjningen gradvis under loppet av några tusen år.

De nordiska ländernas strålskyddsinstitut anser att den hittillsvarande rutinen att släppa ut allt kol-14 i atmosfären inte kan godtas på sikt. Därför bör man redan nu verka för en begränsning av utsläppen av kol-14. Huvuddelen av utsläppen av kol-14 kommer från uppbyggnad av det använda kärnbränslet. Man kan inte heller helt bortse från de utsläpp som härör från driften av kärnkraftverk. Utsläppen från 20 års drift av ett kärnkraftverk på 1 000 MW kan teoretiskt sett orsaka sammanlagt 3—6 döds-

fall i cancer och något färre ärftligt betingade skador. Dessa skadefall fördelas över hela jordens befolkning och sprids ut över en tid av några tusen år.

Upparbetningsanläggningar släpper dessutom ut långlivade radioaktiva ämnen i havet, däribland små mängder plutonium och andra transuraner. Utsläppen av sådana ämnen från upparbetningsanläggningen i Windscale har bl a behandlats av den brittiska Flowerskommissionen. Kommissionen ansåg inte att gällande gränser för tillåtna utsläpp behöver skärpas omedelbart. Däremot underströk man behovet av forskning för att klarlägga utsläppens långsiktiga effekter.

Metallutsläpp från askhögar m m

Kolkraftverkens askhögar innehåller större delen av de giftiga tungmetaller som ursprungligen fanns i kolet. Detta kan innebära att en riskbörda som är svår att uppskatta läggs på kommande generationer.

Regnvatten som tränger igenom askhögarna lakar ur metallerna och kan förorena grundvattnet. Detta kan undvikas genom att markskiktet under askhögarna tätas och genom att vattnet från askhögarna leds bort och renas på ett kontrollerat sätt. Att lägga upp ett asklager innebär dock en förpliktelse att se till att reningen fungerar under mycket lång tid. Det kan röra sig om flera hundra år — i princip så länge som erfordras för att de farliga metallerna i lagret skall kunna tas om hand på ett betryggande sätt som förhindrar en okontrollerad spridning till miljön under all framtid. Man kan här t ex jämföra med den risk för spridning som fanns från de ursprungliga kolflötserna.

Vi har redan nämnt att vissa metaller, bl a kadmium, som släpps ut med rökgaserna lagras upp i naturen. Kadmium blir kvar i markens ytskikt under lång tid. Även detta innebär att en riskbörda läggs på kommande generationer.

Vi har funnit det svårt att i nuvarande kunskapsläge närmare värdera de mycket långsiktiga riskerna med metallutsläpp av olika slag.

Inverkan på yttre miljön

Användningen av de flesta energislag för med sig omfattande ingrepp i naturen. Ett stort värmekraftaggregat ger ca 6 TWh elenergi per år. För att framställa så mycket elenergi per år måste man t ex

- bryta ca 700 000 ton skiffer eller ca 100 000 ton högvärdig uranmalm per år (det mesta materialet kan användas för återfyllning, men kräver då mera utrymme),
eller
- utvinna ca 1,5 miljoner ton olja eller ca 1,6 miljarder m³ naturgas per år
eller
- bryta drygt 2 miljoner ton kol eller ca 7 miljoner ton oljeskiffer per år
eller
- ta upp 20—25 miljoner m³ torv per år från omkring 200 km² torvmossar
eller

- odla 1 000—2 000 km² energiskog och årligen avverka erforderlig del av denna eller
- bygga ut och driva kraftverk i en stor Norrlandsälv (Kalix älv skulle t ex ge 4,5 TWh per år) eller
- bygga och driva hundratals till något tusental vindkraftverk (beroende på aggregatens storlek) som är 100—150 m höga och utspridda över några hundra km².

Siffrorna ger en grov uppfattning om vilka naturresurser som utnyttjas för vår energiförsörjning. Sverige förbrukar för närvarande omkring 80 TWh elenergi per år varav knappt 60 TWh framställs genom vattenkraft. De uranmalm- och bränslemängder som går åt för att alstra 6 TWh elenergi motsvarar 15—18 TWh värmeenergi. Det beror på att en viss mängd energi går förlorad vid omvandlingen från värmeenergi till elenergi. En värmemängd på 15—18 TWh motsvarar i stort sett det årliga uppvärmningsbehovet i Stockholmsområdet.

Direkta ingrepp i naturen

När man framställer energi blir det nästan alltid ingrepp i naturen. Landskapsbilden förändras liksom livsvillkoren för växter och djur. Likaså påverkas ofta den lokala befolkningens levnadsmönster.

Vattenkraft

Andra utredningar har uppskattat att vattenkraft som skulle ge omkring 5 TWh/år kan byggas ut med rätt måttliga skador. Det rör sig då mest om ett stort antal kompletteringar i redan reglerade älvsträckor. De människor som direkt berörs av skadorna kan ändå uppleva dem som stora.

De enskilda utbyggnadsprojekt som kan ge avsevärda krafttillskott kräver i allmänhet omfattande ingrepp i hittills orörda älvsträckor. För varje större anläggning påverkas direkt åtskilliga km älvlopp. Vidare får man dämna över områden på 10—100 km² i typiska fall. Inverkan på rennaring och fiske blir ofta avsevärd. I flera fall drabbas områden med en levande samekultur.

Kol, olja, naturgas och kärnkraft

Kolbrytning liksom brytning av uranmalm eller uran- och oljeskiffer innebär betydande ingrepp i landskapet, särskilt vid dagbrott. Dagbrott kan dock återfyllas och återställas i viss utsträckning. Särskilt gäller detta malm- och skifferbrytning där inte så stora mängder material behövs lämna brytningsplatsen. Vid underjordsbrytning kan stora markområden bli begränsat användbara på grund av bl a marksättningar. Grundvattnet påverkas i allmänhet starkt vid alla former av gruvdrift. Även utvinning av olja och gas kräver i allmänhet stora anläggningar, som sätter sin prägel på landskapsbilden.

Nya samhällen växer upp kring gruvor och oljefält. Dessa samhällen får sällan en livskraft som varar längre än tillgången på energiråvaran. Kraftverk, raffinaderier och liknande stora anläggningar sätter också sin prägel på den lokala landskapsbilden. Kolkraftverk behöver vidare stora

markområden för askupplag. 40 års drift av ett kolkraftverk om 1 000 MW elektrisk effekt ger en kulle av aska med en bottenyta av en kvadratkilometer och en höjd av flera tiotal meter. Ungefär lika stora högar blir det av det kalkslam man får från olje- och kolkraftverk som avsvavlar rökgaserna.

Kring kol- och oljekraftverk, raffinaderier och liknande krävs en skyddszon på åtskilliga hundra meter för att begränsa de närboendes besvär av damm, buller, dålig lukt och dylikt. Runt kärnkraftverk och upparbeitungsanläggningar måste man ha en skyddszon på 2 km. Inom zonen gäller byggnadsförbud för bostäder. Dessutom bör tätorter inte byggas på närmare håll än 15–20 km.

Övriga energislag

Som framgick på sidan 27 påverkas naturen även när vi använder torv, vindenergi och energiskogar. Solvärmepaneler och anläggningar för jordvärme kan däremot ofta passas in i den vanliga bebyggelsen. Om solceller används för elproduktion i större skala kan de dock ta mycket mark i anspråk.

Utsläpp av föroreningar

Varmvatten från olika typer av kraftverk

Kärnkraftverk och kraftverk som eldas med olja, kol eller andra bränslen ger stora mängder spillvärme. Om spillvärmets inte används för uppvärmning av bostäder (fjärrvärme) eller för industriellt bruk är det från samhällets synpunkt ett stort slöseri med energi. Cirka 1,5–2 gånger mer energi lämnar nämligen kraftverket som uppvärmt kylvatten eller uppvärmd luft än som elektrisk ström. För ett kraftverk med 1 000 MW elektrisk effekt rör det sig om 30–50 m³ vatten per sekund som värms upp ca 10°C. Den högre siffran gäller kärnkraftverk. Sådana utsläpp kan märkas i havsområden på flera tiotal km². Verkningarna på miljön kan vara av både positiv och negativ art.

Radioaktiva ämnen från kärnkraftverk m m

Kärnkraftverk och upparbeitungsanläggningar släpper ut radioaktiva ämnen som i viss mån tas upp och anrikas i växter och djur. Mängderna är så små att deras inverkan på arternas fortlevnad anses försumbar till skillnad mot vad som är fallet med många kemiska miljöföroreningar. Problemen med kärnkraftens högaktiva avfall har redan behandlats.

Försurning av mark och vatten genom förbränning av olja och kol

Olja och kol innehåller vanligen 1–3 procent svavel. Vid förbränningen bildas svaveldioxid som helt eller till en del släpps ut i luften. Där omvandlas svaveldioxiden delvis till andra svavelföreningar.

Svavelföreningarna faller så småningom ned och försurar mark och vatten. Försurningen av de svenska markerna och vattendragen är inte bara en följd av våra egna utsläpp utan beror också till stor del på utsläppen i de industrialiserade delarna av Europa. Av det totala nedfallet av svavelföreningar i Sverige står vi själva för 25–30 procent. Ungefär lika mycket

svavelföreningar från svenska utsläpp faller ned i övriga Europa som vi i Sverige tar emot utifrån.

Ju surare vattnet blir, desto mer påverkas växt- och djurliv. Pågår utvecklingen mot surare vatten en längre tid får det drastiska följder. Fiskar och huvuddelen av de växter som förekommer i en normal sjö försvinner så småningom — sjön dör. I dag är en sådan utveckling redan på väg i omkring 10 000 av Sveriges omkring 100 000 sjöar.

I områden med sur nederbörd finns det risk för att skogsproduktionen minskar i framtiden. Försurningen gör också att nedfallen av metaller ger större skador.

Byggnader och andra föremål skadas genom vittring och korrosion till följd av luftföroreningar. Sådana skador har uppskattats till hundratals miljoner kronor per år i Sverige.

Totalt släpptes omkring 800 000 ton svaveldioxid ut i Sverige 1973. Härav kom omkring 600 000 ton från förbränning av olja och 200 000 ton från industriutsläpp. Målet för nuvarande lagstiftning är att till 1985 få ned dessa utsläpp till hälften eller totalt omkring 400 000 ton per år, dvs nivån i början av 1950-talet. Därigenom hoppas man kunna bryta nuvarande utveckling mot ökad försurning av mark och vatten. Utvecklingen när det gäller utsläppen i övriga Europa får dock stor betydelse.

Ett olje- eller koleldat kraftverk om 1 000 MW elektrisk effekt kan beräknas släppa ut mellan 10 000 och 30 000 ton svaveldioxid per år. Den lägre siffran gäller ett verk med rökgasrening, medan den högre avser ett verk som använder lågsvavligt bränsle och därmed enligt nu gällande bestämmelser inte behöver rena rökgaserna från svavel. Detta innebär att ett enda ytterligare kraftverk kan öka de beräknade svenska utsläppen 1985 med 2—8 procent. Kraftverket ger vidare en lokal ökning av försurningen som inte är obetydlig.

Metaller från kol, olja och bensin

Utsläppen av metaller från kraftverk kan innebära problem för både hälsa och miljö. Kadmium tas upp av växter och djur och når sedan människan. På sikt kan man bli tvungen att reglera jordbrukets inriktning och omfattning kring kolkraftverk med höga kadmiumutsläpp. Kvicksilver som släpps ut från kolkraftverk anrikas i fisk som fångas och äts av människor. Även fiskätande djur, som sjöfågel, riskerar att förgiftas.

Vanadin förekommer i både kol och olja. Det finns data som visar att vanadin från värmeanläggningar och andra användningsområden hämmar vissa omvandlingsprocesser i jorden som är viktiga för växternas näringstillgång om dagens utsläpp får fortsätta. Detta kan ge en mätbar minskning i skogstillväxten från sekelskiftet och framöver.

Liknande hämmningseffekter kan erhållas även med en lång rad andra metaller, t ex kvicksilver och koppar, om inte utsläppen begränsas.

Bly sprids i första hand genom bilavgaser (blyhaltig bensin). Om blyhalten i omgivningen är hög lagras blyet upp i både växter och djur. Omkring hälften av allt bly faller ned i närheten av trafikleder. Bly lakas ur jorden långsamt. Men nuvarande utsläpp ökar blyhalterna i marken fortlöpande. Blyets allmänt giftiga egenskaper gör att en fortsatt upplagring i marken så småningom skulle kunna medföra skadeverkningar. Det finns

dock inga undersökningar som visar att blyet hittills har orsakat några rubbningar i växt- och djurliv.

Oljespill

Av den mängd olja som transporteras till havs spills 0,16 procent ut vid hanteringen på fartyg och oljeplattformar. Det innebär att Sveriges sammanlagda oljeförbrukning statistiskt sett bidrar till spill på över 40 000 ton per år. Det är omkring dubbelt så mycket som det totala utsläppet vid blowoutolyckan vid Bravoplattformen våren 1977. Stora haverier och tankbåtskatastrofer svarar bara för någon tiondel av utsläppen. I huvudsak rör det sig om avsiktliga utsläpp eller utsläpp till följd av slarv och mindre missöden.

Även små oljeutsläpp kan få stora lokala verkningar på växt- och djurliv, t ex beståndet av sjöfågel. Om de långsiktiga effekterna av de stora mängder som släpps ut i öppet hav vet man ännu mycket litet, men forskning pågår.

Inverkan på miljön på mycket lång sikt

Många direkta ingrepp i naturen i form av t ex gruvor eller utbyggda älvar blir bestående under mycket lång tid.

Halterna av vissa metaller i markens ytskikt ökar fortlöpande så länge utsläppen pågår, och sedan kan det ta hundratals år eller ännu mer efter det att utsläppen upphört innan halterna åter närmar sig naturliga nivåer. Detta, liksom kärnkraftens avfallsproblem, har redan behandlats.

Inverkan på klimatet

Vid all förbränning av kol, olja, naturgas, torv och andra kolhaltiga bränslen bildas koldioxid. Om man ser till all användning av bränslen rör det sig om mycket stora mängder. Ett kraftverk om 1 000 MW släpper ut flera miljoner ton koldioxid per år.

Riskerna för långsiktiga klimatförändringar på grund av koldioxidutsläppen har uppmärksamrats under senare år, men de är långtifrån klarlagda. Vi vet att omsättningen av koldioxid i atmosfären sker mycket långsamt. Varje utsläpp av koldioxid höjer därför koldioxidhalten en aning för hundratals till tusentals år framåt i tiden. Fortsätter dagens ökning av förbrukningen av kol och olja, fördubblas halten av koldioxid i atmosfären inom 50 till 100 år, dvs någon gång mellan år 2020 och 2070. Vissa forskare anser att jorden i sin helhet då skulle börja få ett varmare klimat. Detta skulle i sin tur medföra att delar av polarisarna började smälta. Följden blir i så fall att världshavens nivå höjs med flera meter.

Samtidigt förändras jordens klimat långsiktigt av naturliga orsaker. Även dessa förändringar är svåra att förutsäga. Man vet därför inte om koldioxidutsläppen kommer att höja temperaturen eller bara förhindra eller fördröja en avkylning.

På många håll i världen planerar man en fortsatt ökad användning av fossila bränslen. Därför finner vi det mycket otillfredsställande att osäkerheten är så stor om risken för klimatförändringar. Det allvarligaste är att den dag vi säkert kan mäta en klimatpåverkan från koldioxidutsläppen

har vi troligen inlett en utveckling som det är för sent att göra något åt. Förbränning av ved och biomassor från energiskogar medför inga risker i detta avseende. I stort sett samma mängder koldioxid som bildas vid förbränningen tas upp vid återväxten.

Några forskare har på senare tid varnat för att fortsatta och ökande utsläpp av den radioaktiva isotopen krypton-85 från uppberedning av kärnbränsle skulle kunna påverka atmosfärens elektriska egenskaper och därigenom klimatet. Osäkerheten är dock stor om hur såväl krypton-85 som kemiska luftföroreningar kan påverka klimatet via atmosfärens elektriska egenskaper. Undersökningar pågår.

Arbetsmiljön och dess hälsorisker

Arbetsmiljön inom olika slags energiproduktion bör bedömas med hänsyn till två faktorer. Den ena avser risken för yrkesskador i förhållande till framställd energimängd. Denna uppskattning bör avse hela processkedjan, från utvinning av energiråvara till avfallshantering. Den andra faktorn avser förekomsten av speciellt påfrestande och riskfyllda arbetsmiljöer. Dessa kan drabba en liten grupp anställda och behöver inte ge utslag i skadestatistiken per producerad energimängd.

Det statistiska underlag man har för att uppskatta riskerna är av skiftande kvalitet. Bl a är vissa sjukdomsrisker, t ex risken för cancer, inte enhetligt redovisade. Med hänsyn till sådana skillnader i underlaget bör man se mer till storleksordningen än till de exakta siffervärdena. Likaledes bör man vara försiktig med att använda siffrorna för att försöka förutsäga antalet skador som verkligen kommer att inträffa i framtiden.

Vattenkraft

Risken för skador och dödsfall i samband med vattenkraft finns främst när man bygger anläggningarna. Utslaget över en anläggnings hela livslängd — ca 50 år — rör det sig om ca 0,15 dödsfall och 30 skadefall för en årsproduktion på ca 5 TWh elkraft. Statistiskt sett inträffar eventuella dödsfall och ca 20 skador när man bygger anläggningen.

Olja och naturgas

När man utvinnet olja till lands inträffar ca 0,6 dödsfall och ca 50 skadefall varje år för en årsproduktion som ger ca 6 TWh elenergi i kondenskraftverk, eller ca 15 TWh om oljan används för uppvärmning. Av skadorna inträffar tre fjärdedelar utomlands. När man utvinnet olja, t ex i Nordsjön, är skaderiskerna antagligen större, men ännu finns inte tillräcklig statistik för att man skall kunna räkna ut riskerna per utvunnen oljemängd. Personalen på oljeplattformarna utsätts för stora risker. Framför allt gäller detta dykarna — av dem omkommer omkring en på hundra varje år.

Yrkesskaderiskerna vid användning av naturgas uppskattas till omkring hälften av dem vid oljeanvändning.

Kol

När man utvinner och transporterar kol inträffar 4—5 dödsfall och 700—1 000 skadefall för en årsproduktion som ger ca 6 TWh elenergi i kondenskraftverk, eller ca 15 TWh om kolet används för uppvärmning. Tre fjärdedelar eller mer inträffar i gruvorna och de flesta övriga vid transporterna. Yrkesskadorna drabbar nästan helt arbetare utanför Sverige. I förhållande till den energimängd man får ut kräver kolgruvorna stora insatser av mänsklig arbetskraft i en påfrestande och riskfylld arbetsmiljö — trots de förbättringar som skett under senare år. Siffrorna ovan gäller vid underjordsbrytning av kol. Vid dagbrytning är skaderisken uppskattningsvis 3—4 gånger lägre för själva utvinningen.

Kärnkraft

Risken för yrkesskador vid användning av kärnkraft är av två typer: dels konventionella olyckor i urangruvor och vid byggande och drift av kärnkraftverk, dels ett ökat antal fall av cancer och ärftliga skador på grund av joniserande strålning. Strålriskerna drabbar främst personalen vid kärnkraftsaggregat och uppberedningsanläggningar. Totalt i alla processled får man uppskattningsvis ca 40 yrkesskador, varav 0,1—0,3 dödsfall, för en årsproduktion på 6 TWh elenergi från ett kärnkraftsaggregat. Av dessa beror 0,1—0,2 dödsfall på strålningen, med ungefär lika fördelning mellan personal vid kärnkraftverk och uppberedningsanläggningar. Uppskattningen av strålriskerna förutsätter att de i bilagorna antagna riktvärdena för sammanlagda stråldoser till personalen inte överskrids. Detta har inte hittills skett vid svenska kärnkraftverk. Från uppberedningsanläggningar finns inga svenska erfarenheter. Erfarenheter från utländska kärnkraftsanläggningar pekar på ca tre gånger högre strålrisker, vilket åtminstone delvis beror på skillnaden i strålskyddsbestämmelser. Det är osäkert om de antagna riktvärdena kan hållas på sikt, eftersom anläggningarna kräver mer inspektioner, underhållsarbeten och reparationer när de blir äldre.

Underhåll och reparationer av reaktorer och uppberedningsanläggningar uppvisar besvärliga arbetsmiljöer på grund av strålrisker och pressande arbetsförhållanden, bl a arbete i skyddsdräkter. Underjordsbrytning av uran ger samma arbetsmiljöproblem som arbete i andra malmgruvor. På vissa håll utomlands har dessutom stråldoserna tidigare varit ganska höga på grund av dålig gruvventilation.

Övriga energislag

Bränslen som oljeskiffer, torv och ved ger förhållandevis höga risker för yrkesskador på grund av de stora materialmängder som skall hanteras. Solvärme och vindkraft ger antagligen förhållandevis små yrkesskaderisker. De som förekommer blir främst knutna till anläggning och underhåll.

Stora olyckor

Risker för stora olyckor uppmärksammas ibland mer än andra risker för människors liv och hälsa. Stora olyckor i kolgruvor med hundratals till tusentals omkomna har betytt mycket för att skapa politisk opinion för

ett bättre arbetsskydd i gruvorna. Likväl har inandningen av koldamm och det stora antalet mindre olyckor, med bara enstaka individer inblandade, orsakat de flesta döds- och invaliditetsfallen bland gruvarbetarna, och gör så alltfjämt.

Alltmer förfinade sannolikhetsberäkningar underlättar bara till en viss gräns värderingen av risker för stora olyckor. Olika människor kan ändå ha olika uppfattning om hur man skall värdera skilda typer av risker. Särskilt torde detta gälla olyckor som kan få stora följdverkningar men där sannolikheten att de inträffar är liten.

Det går i dessa sammanhang inte att komma förbi vissa grundläggande värderingsproblem: inga risker är egentligen godtagbara, åtminstone inte i den meningen att man ej bör sträva efter att minska dem. Samtidigt kan samhället aldrig göras fullständigt riskfritt. Somliga risker måste man finna det rimligt att leva med därför att utbytet av verksamheten bedöms vara större än riskerna.

Vattenkraft

Utomlands har stora dammolyckor under de senaste årtiondena vid flera tillfällen krävt hundratals dödsoffer — i ett fall omkring 2 000 döda (Vai-ont, Italien). Risksiffror för utländska dammar kan inte tillämpas på svenska förhållanden. Dels är berggrund och konstruktionssätt annorlunda i Sverige, dels ligger svenska dammar i mer utpräglad glesbygd. Ändå skulle ett brott på en stor svensk kraftverks- eller regleringsdamm kunna orsaka stora skador längs älvsträckan nedströms med risk för tiotal till hundratals dödsoffer, om förvarning och utrymning fungerade dåligt. Sannolikheten för ett sådant dammbrott i frestid är enligt statens vattenfallsverk utomordentligt liten. Någon mer ingående uppskattning av riskerna föreligger inte för närvarande men pågår på uppdrag av energikommissionen. Det kan nämnas att de holländska nordsjödammarna är konstruerade så att risken för brott är högst ett på 10 000 år. Det förefaller inte osannolikt att påfrestningarna på svenska kraftverksdammar vanligen är lägre.

Olja

Inom oljehantering är de stora olyckorna främst av typen haverier och blowouts på oljeplattformar till havs, förlisning av supertankers samt bränder och explosioner i raffinaderier. Sådana stora olyckor har inträffat flera gånger under de senaste tjugo åren. Antalet dödsoffer i varje olycka har varit något eller några tiotal och betydligt fler har skadats allvarligt. Det finns också liten risk för olyckor med ett större antal dödsoffer, t ex kollision med åtföljande brand mellan en oljetanker och ett stort passagerarfartyg. En norsk uppskattning av riskerna visar, att om tio oljekraftverk på 1 000 MW elektrisk effekt drivs i 20 år ligger sannolikheten kring 20 procent för att man får en olycka med 20 döda eller fler. För större olyckor — mer än 100 döda — blir sannolikhetsuppskattningarna osäkra. Sannolikheten torde bli avsevärt variera med hur kraftverk och raffinaderier ligger i förhållande till tätbebyggelse och trafiken i de farleder tankfartygen skall använda.

tande. En svår blowout på ett oljeborrstorn i Nordsjön kan medföra utsläpp på omkring en miljon ton olja. Enbart för Sveriges del kan kostnaderna för sanering, fiskebortfall, osv i värsta fall uppgå till cirka 300 miljoner kronor, enligt en uppskattning från Naturvårdsverket. Det finns — låt vara osäkra — uppskattningar som tyder på att man med den teknik man hittills använt kan vänta sig några blowouts per årtionde. Kanske högst en av tio blowouts leder till större oljeutsläpp. Den blowout som inträffade på Bravoplattformen i april 1977 och som ledde till utsläpp av drygt 20 000 ton olja motsäger inte dessa riskuppskattningar.

Ett stort supertankerhaveri i Östersjön kan leda till miljökador där redan de kostnader som kan mätas i pengar för svenskt vidkommande kan uppgå till hundratals miljoner kronor. Sannolikheten för en sådan olycka har vi dock inte haft möjlighet att uppskatta.

Utsläpp av olja i samband med stora olyckor kan få förödande lokala skadeverkningar på växt- och djurliv liksom många mindre utsläpp. Utsläpp vid stora olyckor svarar bara för omkring en tiondel av de totala oljeutsläppen i världshaven.

Naturgas

Utvinningen av naturgas sker i allmänhet samtidigt med oljeutvinning. Det kännetecknas av ungefär samma olycksrisker som gäller t ex borrhull till havs.

Brott på stora gasledningar eller andra stora gasutsläpp — t ex från gaseldade kraftverk — kan leda till explosioner och bränder med ett stort antal dödsoffer, särskilt om utsläppen drabbar tätorter. Transport av gas i rörledning utan mellanlagring är något säkrare än oljetransport med tankfartyg enligt den tidigare nämnda norska studien. Om tio gaseldade kraftverk på 1 000 MW elektrisk effekt drivs i 20 år, kan sannolikheten för en olycka med mer än 100 döda uppgå till någon procent. Sannolikheten kan variera beroende på var och hur kraftverk och ledningar är förlagda.

Naturgas kan också transporteras och lagras i koncentrerad flytande form, nedkyld till -162°C eller kallare. Om förvaringsbehållaren skadas kan gasen spridas snabbt i ett tunt skikt över stora land- och vattenytor. Omfattande bränder, och i vissa fall explosioner, kan bli följden. Riskerna är troligen störst vid transporterna, men vi har inte haft tillgång till några siffermässiga uppskattningar. Mer ingående studier av dessa risker pågår genom energikommissionens försorg.

Kol

De dominerande olycksriskerna vid användning av kol är knutna till underjordsbrytning. Riskerna för stora gruvolyckor med många dödsoffer verkar fortfarande vara stora på många håll i världen. Om tio kolkraftverk på 1 000 MW elektrisk effekt drivs i 20 år med en stor andel kol bruten under jord är enligt den norska studien sannolikheten 10—20 procent för att en olycka med minst 100 döda skall inträffa.

I kolkraftverk finns en viss risk för koldammexplosioner. Detta kan i värsta fall leda till ett fåtal döda bland driftpersonalen.

Kärnkraft

Det farligaste som kan hända en lättvattenreaktor av den typ som används i Sverige är att reaktorhärden smälter. Härden består av ett stort antal rör som innehåller uranoxid. I dem äger kärnreaktionerna rum under intensiv värmeutveckling. Värmet leds bort av vatten som under högt tryck strömmar genom reaktorhärden. Fel i vattencirkulationen eller brott på reaktorkärl och rörledningar kan leda till överhettning, härdsnedsmltning och ångexplosioner. Då kan någon del av den stora mängden radioaktiva ämnen i reaktorhärden komma ut i omgivningen. Däremot kan reaktorhärden inte explodera som en kärnladdning.

En kärnreaktor är försedd med ett stort antal skyddssystem som skall förhindra att en härdsnedsmltning inträffar. Om detta ändå sker finns det andra skyddssystem som skall begränsa utsläppen av radioaktiva ämnen. Hittills har det inte inträffat någon olycka som lett till härdsnedsmltning eller större utsläpp av radioaktiva ämnen vid civila lättvattenreaktorer av den typ som förekommer i Sverige.

Många tusen dödsfall kan dock krävas om en reaktorolycka med stora utsläpp skulle inträffa under värsta tänkbara omständigheter, nämligen om reaktorn ligger nära en stor stad och väder och vind vid olyckstillfället är sådana att utsläppet driver längs marken in över staden. Man kan knappast räkna med att det i ett sådant läge går snabbt att utrymma tätorten. Större delen av dödsfallen kommer troligen att bero på cancer och ärftligt betingade skador, utspridda bland en befolkning på flera miljoner under många decennier. De materiella skadorna kan också bli mycket omfattande genom att stora markområden, i värsta fall upp till tusentals km², inte kan användas till följd av att de beläggs med radioaktiva ämnen som det kräver lång tid och stora kostnader att få bort.

De uppskattningar man gjort av riskerna för stora reaktorolyckor är mycket osäkra. Drifterfarenheterna från kraftproducerande lättvattenreaktorer — totalt omkring 700 reaktordriftår — är ännu alltför begränsade för att man skall kunna använda dem för riskuppskattningar som blir tillfredsställande från statistisk synpunkt. I väntan på ytterligare driftstatistik är man hänvisad till teoretiska riskanalyser som den amerikanska s k Rasmussen-studien.

Om man bygger på Rasmussen-rapportens siffror skulle sannolikheten för en stor reaktorolycka med något tusental dödliga skador vara mindre än ca 0,003 procent om tio reaktorer drivs i 20 år. Då har antalet cancerfall räknats upp med hänsyn till bl a den kritik som den amerikanska miljö-vårdsmyndigheten riktade mot Rasmussen-studien.

Förutom mot sättet att beräkna och redovisa antalet cancerfall har kritik riktats mot Rasmussen-rapporten på en rad andra punkter. En amerikansk forskargrupp har nyligen publicerat en starkt kritisk granskning, där man bl a nämner att genomsnittsriskerna för dödsfall till följd av reaktorolyckor beräknad per år och kärnkrafttaggregat kan vara underskattad med en faktor 500 i Rasmussen-studien. Detta skall då enligt forskargruppen inte tolkas så att risken verkligen är 500 gånger större utan som en pessimistisk övre gräns för osäkerheten i riskuppskattningarna. Sådana skillnader mellan olika riskbedömningar visar att det är mycket svårt att bestämma sannolikheten för en allvarlig reaktorolycka.

Risksiffror för amerikanska reaktorer kan heller inte direkt tillämpas på

svenska kärnkraftaggregat. Kompletterande studier pågår därför genom energikommissionens och kärnkraftinspektionens försorg.

Spridning av kärnladdningar

Flera utländska studier har på senare år kraftigt varnat för att man redan nu skulle binda sig för utvecklingslinjer som leder fram till plutoniumhantering i stor skala med en omfattande upparbetning av kärnbränsle och användning av bridreaktorer. Man har då hänvisat dels till risken för att fler länder skaffar sig kärnvapen, dels till risken för att plutonium kan komma att användas i terror- och utpressningssyfte av grupper och organisationer.

Vi anser dessa frågor viktiga — en ökad spridning av kärnvapen ökar sannolikt risken för kärnvapenkrig med deras enorma följdverkningar för hälsa och miljö. Det faller utanför ramen för vårt uppdrag att gå in på en värdering av dessa risker. För fullständighetens skull har vi dock i kapitel 9 kortfattat redovisat några faktorer av betydelse i sammanhanget.

Hälso- och miljöfrågorna i ett energipolitiskt perspektiv

Ej enbart en fråga om hälsa och miljö

Det svenska samhällets utformning och sätt att fungera påverkar och påverkas av energiförsörjningen på många olika sätt. Exempelvis kännetecknas de större basindustrierna, främst järn- och stålframställning samt pappers- och pappersmasseindustrin, av en hög energiförbrukning. Isoleringen av bostäder och val av uppvärmningsform har bl a påverkats av tillgång och pris på olika energislag som olja och elkraft. Tillgången på drivmedel hör till de faktorer som påverkar hur människor väljer att bo och resa — både till och från arbetet och på fritid. Stora och snabba förändringar i tillgången på energi kan ofta få allvarliga följdverkningar — både för enskilda individer och för samhället som helhet.

Med detta vill vi ha sagt det i och för sig självklara att frågan om vilken energiförsörjning vi skall ha i framtiden aldrig kan diskuteras enbart med hänsyn till olika energislags negativa inverkan på hälsa och miljö. Hälso- och miljöeffekterna måste sättas in i ett vidare energipolitiskt sammanhang, där dessa effekter vägs samman med andra faktorer såsom trygghet i energiförsörjningen, sysselsättning, existerande produktionsstruktur, kommunikationsnät och allmän samhällsekonomi, dvs faktorer som har att göra med de positiva sidorna av den nuvarande energiförbrukningen.

Det ingår nu inte i vårt uppdrag att ta upp en bred diskussion kring vår framtida energiförsörjning. Vår uppgift har i stället varit att bidra med underlag av mer specialiserad natur som kan sättas in i ett sådant vidare sammanhang, främst vad gäller den framtida försörjningen med elkraft. Vi har valt att i möjligaste mån redovisa inverkan på hälsa och miljö för ett visst "energiblock" — vanligen en årsproduktion om ca 6 TWh elenergi. Ett sådant energiblock motsvarar grovt sett årsproduktionen i en stor

norrlandsälv eller från ett stort kärnkraftaggregat eller fossileldat kraftaggregat.

De viktigaste hälso- och miljöfrågorna för varje energislag

Överväganden om Sveriges framtida energiförsörjning kommer som vi redan nämnt att till stor del handla om avvägningar mellan användningen av olika energislag. För att underlätta användningen av vårt material och våra bedömanden i sådana sammanhang redovisar vi på de följande sidorna hur vi ser på de viktigaste hälso- och miljöfrågorna för varje energislag — både om man betraktar dem som fristående och i jämförelse med motsvarande skadeverkningar och risker vid andra energislag.

En uttömmande jämförelse mellan olika energislag måste — det är ett av våra resultat — handla om hälso- och miljöeffekter av vitt skilda typer, t ex lokala ingrepp i naturen, risker för enstaka, stora olyckor, risker för att klimatet påverkas på lång sikt. Det framlagda materialet visar också att man inte kan beräkna någon form av enhetliga mätetal för hälso- och miljöpåverkan som gör det möjligt med enbart en enkel, siffermässig jämförelse mellan olika energislag. Vid jämförelser mellan energislag måste man väga in både sådana effekter som kan åsättas siffervärden, t ex markbehov i kvadratmeter och sådana som inte kan det, t ex inverkan på skönhetsvärden i landskapsbilden. Även i de fall siffervärden kan anges, t ex för cancerrisker, måste man komma ihåg att osäkerheten i uppskattningarna ofta är stor.

Den riskbild man i dag får fram kan också ändra sig snabbt med tiden som följd av de forsknings- och utvecklingsresultat som fortlöpande läggs fram. Vi har mött flera exempel härpå under utredningsarbetets gång. Det kom t ex fram data som visade att rökgaserna från kolkraftverk troligen kan renas från vissa metaller, däribland kadmium, omkring tio gånger effektivare än vad som antagits i bilagorna. Samtidigt lades det fram nya mätresultat som tydde på att utsläppen av ett cancerframkallande ämne som bens(a)pyren underskattats kanske tio eller hundra gånger jämfört med vad som antagits i riskuppskattningarna. På kärnkraftsidan pågår en rad undersökningar som inom något eller några år förhoppningsvis kommer att ge ett väsentligt bättre underlag för värdering av riskerna för stora olyckor och från det högaktiva avfallet.

Alla dessa osäkerheter i riskuppskattningarna måste beaktas när man jämför och värderar olika energislag. Vi anser det väsentligt att man ständigt har dessa förbehåll i åtanke när vi fortsättningsvis går in på sådana jämförelser och värderingar. Vid en jämförelse mellan olika energislag bör man vidare enligt vår mening ta lika stor hänsyn till risker och skadeverkningar inom som utom Sverige. Detta är bl a en förutsättning för att Sverige skall kunna verka för begränsningar av utsläpp i andra länder som drabbar Sverige, t ex i form av nedfall av skadliga ämnen. Om man inte gör en sådan likvärdig värdering av riskerna skulle det också innebära att man premierar energislag där man blir kvitt arbetsmiljöproblem i Sverige genom att de förläggs utomlands.

I enlighet med våra direktiv har vi huvudsakligen inriktat oss på de energislag som främst kan komma i fråga för elkraftproduktion i större omfattning under 1980-talet, dvs vattenkraft, kol, olja, naturgas och kärnkraft. I första hand diskuterar vi — också i enlighet med våra direktiv —

följdverkningarna av att man använder dessa energislag i kraftverk för elproduktion. Vi vill emellertid redan här framhålla att följdverkningarna inom andra användningsområden än elproduktion, t ex uppvärmning eller bilism, kan vara avsevärt större. Det kan nämnas i detta sammanhang att det redan tillkallats en särskild utredning om hälsoriskerna från bilavgasen.

Trots alla förbehåll vi gjort om osäkerheter är vi överens i kommittén om att de faktauppgifter och bedömningar vi här redovisar måste tillmätas stor vikt i det fortsatta energipolitiska arbetet. Som vi redan konstaterat måste en rad beslut om det framtida energiförsörjningen fattas på det underlag som för närvarande är tillgängligt.

Vattenkraft

Vattenkraftens följdverkningar i form av stora och bestående ingrepp i såväl naturen som den lokala befolkningens levnadsvillkor är väl kända. Någon mer omfattande utbyggnad av vattenkraften kan knappast heller ske utan betydande ingrepp i hittills orörda älvsträckor. Eftersom dessa är så få blir de desto värdefullare. Samtidigt är vattenkraften i stort sett fri från andra skadeverkningar — energibäraren, dvs vattnet, ingår i sitt naturliga kretslopp.

Man kan vid en jämförelse inte heller komma ifrån att även de andra energislagen innebär omfattande ingrepp i naturen, främst på utvinningssidan i form av uran- eller kolgruvor, oljefält etc. Dessa ingrepp har hittills legat utanför Sveriges gränser. Det finns dock visst fog för uppfattningen att ingreppen kan bli ytmässigt mindre i förhållande till utvunnen energimängd jämfört med vattenkraften. Uranutvinning i Billingen kan exempelvis redan vid måttlig brytningstakt energimässigt motsvara utbyggnad av flera Norrlandsälvar.

Fossila bränslen

Klimatpåverkan. Ett stort och osäkert långsiktigt riskmoment är hur de stora utsläppen av koldioxid från alla fossileldade anläggningar kan påverka jordens klimat på sikt. Detta är ett världsomfattande problem. Osäkerheten är stor om denna påverkan. Den är än så länge inte iakttagen. Det allvarligaste är att den dag effekten blivit så stor att den kan mätas kan vi inte göra något åt den. Förändringen blir då troligen bestående under tusentals år.

I ett världsomfattande perspektiv är osäkerheterna kring inverkan på klimatet allvarligare när det gäller kol än olja. Världens koltillgångar är mycket större än tillgångarna på olja och kan därmed ge totalt sett långt större koldioxidutsläpp. Det finns knappast heller några tekniska möjligheter att minska utsläppen per ton olja eller kol som förbränns.

Kol. Energi ur kol lade en gång grunden till den industriella utvecklingen i Europa och USA. Kol framstår för många som den enda energiråvara som vid sidan av uran i brytare kan ge några väsentliga energitillskott när det på allvar börjar bli brist på olja och gas, vilket möjligen kan bli fallet redan inom något eller några årtionden.

Användningen av kol ger dock risk för en rad allvarliga skadeverkningar. Antalet dödsfall och yrkesskador bland arbetare i kolgruvor under jord

blir högt. Problemen med luftföroreningar från kolkraftverk, sådana de byggts hittills, kan bli allvarliga. Man kan dock räkna med att det kommer att finnas teknik tillgänglig i framtiden som gör det möjligt att minska flera av de hälso- och miljörisker som idag är förknippade med kolanvändning.

Vid elproduktion ur kol bör spillvärmets tas tillvara i största möjliga utsträckning. Det betyder att anläggningarna kan komma att läggas nära tätorter. Särskilt vid stora anläggningar kan rökgaserna vid tillfällen då vädret är ogynnsamt ge en ökning av sjukdomar och besvär i luftvägar, speciellt hos känsliga personer som allergiker. Dessa utgör en ej försumbar del av befolkningen. Utsläppen kan inte bara medföra övergående besvär och sjukdomar vid tillfälligt höga halter av luftföroreningar. De kan också bidra till ökat antal fall av kroniska luftvägssjukdomar. Tekniska förbättringar av dagens förbrännings- och reningsprocesser kan minska dessa verkningar.

Skadliga ämnen som släpps ut från kolkraftverk kan transporteras lång väg, bli bundna till det fina stoft som trots allt slipper igenom rökgasfilterna.

Det kan inte uteslutas att ett kolkraftverk ökar risken för cancer bland befolkningen i Europa i ungefär samma omfattning som ett kärnkraftverk av motsvarande storlek. Osäkerheten härvidlag är dock stor — risken kan vara både väsentligt mindre och väsentligt större. Det har som nämnts nyligen lagts fram mätningar som tyder på att risken skulle kunna vara tio till hundra gånger större.

Hälsorisker förknippade med utsläpp av metaller med rökgaserna, främst kadmium och kvicksilver, från kolförbränning i stor skala kan bli oroande särskilt på längre sikt. Metallerna lagras upp i naturen. Detta kan ge höga halter i livsmedel under många generationer framåt efter det att utsläppen upphört. Det är visserligen osäkert hur höga metallhalter det är i de kolsorter som kan komma att användas och hur effektiv reningen av rökgaserna från vissa metaller kan bli. Som nämnts har det under utredningsarbetets gång kommit fram data som visar att rökgaserna troligen kan renas från många metaller, däribland kadmium, tio gånger effektivare än som antagits i bilagorna. När det gäller kadmium ifrågasätter medicinsk expertis om man i dagsläget bör tillåta att de sammanlagda tillskotten av kadmium till mark ökar genom utsläpp från t ex kolkraftverk. Det finns mätningar som tyder på att vi redan i dag har en fortlöpande ökning av kadmiumhalten i både mark och vissa livsmedel genom utsläpp från befintliga källor. Om denna ökning fortsätter över en viss gräns kan den leda till ett stort antal njurskador. Utsläppen av kadmium måste därför nogta övervakas.

De stora askmängderna efter kolförbränning innehåller också stora mängder giftiga metaller. Vattenavrinningen från askhögarerna måste kontrolleras och renas under lång tid för att undvika risker för lokal förgiftning av grundvatten m m — risker som kan sträcka sig långt in i framtiden. Här för finns teknik utvecklad.

Försurningen av mark och vatten kvarstår som ett allvarligt problem vid kolkraftverk lika väl som vid oljekraftverk trots de begränsningar av våra egna svavelutsläpp vi redan beslutat om. Våra möjligheter att hålla försurningen under kontroll påverkas starkt av hur stora svavelmängder övriga Europa kommer att släppa ut i framtiden. Detta begränsar vår

handlingsfrihet när det gäller att öka vår sammanlagda förbrukning av kol och olja.

Mot bakgrund av de här redovisade hälso- och miljöriskerna anser vi att beslut om att bygga koleldade anläggningar för elproduktion eller uppvärmning måste baseras på en prövning av olika metoder för rökgasrening och förbränning samt för askhanteringen — en prövning som visar att utsläppen av olika föroreningar kan nedbringas till en nivå som är säker från hälso- och miljösynpunkt. Prövningsförfarandet bör vara lika ingående som för andra energislag med mycket långsiktiga avfallsproblem.

Olja. Vid nuvarande användning av olja träder problemen med utsläpp från bilar och värmepannor fortfarande i förgrunden trots de insatser som gjorts under senare år. Dessa utsläpp svarar för huvuddelen av de allmänna luftföroreningarna i tätorterna. Sådana föroreningar kan, särskilt vid besvärliga väderförhållanden, troligen bidra till ett stort antal fall av sjukdomar och besvär i luftvägarna.

Sett från hälsosynpunkt torde utsläppen från ett stort oljekraftverk vara mindre problematiska än från ett kolkraftverk. Tillskotten till luftföroreningarna i en närliggande tätort kan dock inte anses helt försumbara från medicinsk synpunkt när det gäller olika besvär och sjukdomar i luftvägarna.

Cancerrisken kan vara lika stor som vid ett motsvarande kolkraftverk. Även när det gäller cancer framstår dock andra användningar av olja och oljeprodukter som en långt allvarligare risk. Allmänna luftföroreningar i städer från bilavgaser och värmepannor torde ha varit en bidragande orsak till något hundratal fall av lungcancer per år i Sverige under senare tid.

Metallutsläppen från oljekraftverk förefaller inte kunna bli oroande från hälsosynpunkt. Ej heller ger askan eller slaggen några nämnvärda problem från hälsosynpunkt. Däremot har man visat att stora vanadinutsläpp kan minska växternas näringstillgång och därmed hämma skogstillväxten.

Ett oljekraftverk ger i huvudsak samma bidrag till försurningen av mark och vatten som ett kolkraftverk. Bidragen beror i båda fallen starkt på vilka krav som ställs på svavelhalt i bränslet och avsvavling av rökgaserna. Det är också tekniskt möjligt att minska även utsläppen av andra skadliga ämnen än svavel, jämfört med dagens oljekraftverk.

Naturgas. Naturgas förefaller i de flesta avseenden klart mindre skadlig än olja från miljö- och hälsosynpunkt. Utsläppen av de flesta luftföroreningar med undantag av koldioxid är avsevärt lägre. Bl a blir svavelutsläppen mycket låga. Transport och lagring av naturgas, särskilt i flytande form (LNG) medför dock risk för bränder och explosioner som kan medföra mycket stora skador. Vid hanteringen av gas i stora mängder, särskilt LNG, måste därför enligt vår mening tillämpas ett avancerat säkerhetstänkande. Vi har dock inte funnit det möjligt att göra någon närmare riskvärdering på det underlag som stått till vårt förfogande.

Kärnkraft

Kärnkraftens skador på miljön från normala driftutsläpp framstår som små om man jämför med olja och kol. Vi har dock funnit det svårt att med nuvarande kunskapsläge se några säkert fastställda och avgörande skill-

nader mellan hälsoriskerna orsakade av de normala driftutsläppen om man jämför kärnkraftverk med dagens oljekraftverk. Däremot torde utsläppen från dagens kolkraftverk vara förknippade med jämförelsevis större hälsorisker. Det framlagda expertmaterialet ger enligt vår mening inte heller anledning till oro för att användningen av kärnkraft åtminstone under normal drift skulle skada befolkningens samlade arvs massa. Räknat över all framtid uppskattas det sammanlagda antalet fall av ärftligt betingade skador från utsläppen från ett kärnkraftverk bli av samma storleksordning som antalet cancerfall. Det finns dock icke ringa osäkerheter i det tekniska och vetenskapliga underlaget för de här redovisade bedömningarna. Osäkerheterna förefaller dock att vara större på olje- och kolsidan än på kärnkraftsidan.

En förutsättning för att hälsoriskerna från kärnkraft skall kunna hållas låga är att utsläppen av vissa långlivade radioaktiva ämnen, däribland kol-14, från bl a uppberedningsanläggningar begränsas kraftigare i framtiden för att undvika ett visserligen litet men länge kvardröjande tillskott till den naturliga strålningsbakgrunden. Vi anser att man där bör följa de rekommendationer som bl a de nordiska ländernas strålskyddsinstitut gemensamt lagt fram.

När det gäller yrkesskaderiskerna är stråldosen till varje enskild anställd inom kärnkraftindustrin begränsad av särskilda bestämmelser. Det råder dock en viss osäkerhet om hur långt man kan begränsa de sammanlagda stråldoserna till personal och entreprenörer under kärnkraftanläggningarnas hela livslängd. Behovet av säkerhetsinspektioner, underhåll och reparationer kan medföra stråldoser till ett allt större antal personer, vilket ökar risken för att cancerfall skall inträffa bland de anställda. Mot bakgrund av hittills vunna erfarenheter framstår ändå inte den totala yrkesskaderisken inom kärnkraftindustrin som större än för de viktigaste alternativa metoderna att producera elenergi.

De mer betydande problemen kring kärnkraften är enligt vår mening i första hand knutna till det högaktiva avfallet och riskerna för stora olyckor. Därtill kommer risken för en okontrollerad spridning av klyvbart material som kan användas till kärnladdningar. Detta senare problemområde har vi ansett falla utanför vårt uppdrag.

Problemen kring omhändertagandet av det högaktiva avfallet är ännu ej lösta i den meningen att det finns fungerande anläggningar i industriell skala. Utvecklingen av metoder för avfallsförvaring har hittills mest byggts på uppberedning. Vi finner det anmärkningsvärt att utvecklingen av metoder för att slutförvara använt kärnbränsle utan uppberedning knappast mer än påbörjats. Vi har inte funnit det möjligt att värdera de metoder som nu håller på att utvecklas på nu befintligt underlag. När det gäller att bedöma om en metod för förvaring av avfallet är rimligt säker från strålskyddssynpunkt förefaller det enligt vår mening dock vara lämpligt att jämföra med strålriskerna från den naturligt radioaktiva uranmalm som användes till kärnbränslet.

Vi vill understryka att det krävs omfattande och samordnade insatser av politisk, administrativ och teknisk art för att få till stånd en lagring av det högaktiva avfallet — inte minst redan befintligt sådant — som är godtagbar på såväl kort som lång sikt. De tekniska utvecklingsinsatserna på avfallsområdet har med undantag av de allra senaste åren varit anmärkningsvärt små och klart otillräckliga.

Följderna av olika framtida handlingsvägar när det gäller det använda kärnbränslet från lättvattenreaktorer behöver också belysas ytterligare. Vi anser det särskilt viktigt att man i god tid inför ev ställningstaganden till bridreaktioner gör en ingående kartläggning av deras avfallsproblem. Dessa är av en annan dimension än vid lättvattenreaktorer. Dels blir halten sk transuraner, som svarar för de långsiktiga strålriskerna, väsentligt högre, dels kan de totala avfallsmängderna förväntas bli avsevärt större. Det sammanhänger med att vi i bridreaktorer kan förväntas använda minst lika stor del av världens urantillgångar som vid lättvattenreaktorer. Vi kommer också att utvinna avsevärt mer energi och därmed få avsevärt mer avfall per kilo naturligt uran. Avfallets farlighet i förhållande till strålriskerna från de ursprungliga mängderna naturligt radioaktiv uranmalm bör, som vi redan nämnt, spela en viktig roll vid riskvärderingen.

Med hänsyn till osäkerheten i de riskuppskattningar som vi har haft tillgång till har vi inte ansett det möjligt att göra en närmare värdering av kärnkraftens olycksrisker, särskilt inte för svenskt vidkommande. Vi kan dock konstatera att ett haveri av maximal omfattning i ett kärnkraftsaggregat i värsta fall skulle kunna ge mycket stora skador. Om aggregatet ligger nära ett storstadsområde och om vädret är ogynnsamt vid haveritillfället skulle ett sådant haveri kunna leda till många tusen dödsfall. En mindre del härav kommer till följd av omedelbara strålskador. Större delen av dödsfallen kan förväntas komma i form av att nuvarande antal cancerfall per år i den berörda befolkningsgruppen ökar med något tiotal procent under några årtionden. Därutöver kan stora markområden bli obeboeliga under många år och kräva omfattande saneringsåtgärder. I kapitel 8 redovisar vi några av de problem som möter när man skall försöka värdera olycksrisker av denna typ. Vi anser att det mot bakgrund av redovisningen i kapitel 8 är väsentligt med en allsidig diskussion kring risker för stora olyckor av olika slag, en diskussion, där fakta, osäkerheter och värderingar klart redovisas. Annars kan man komma in i ett läge där kraven på skyddsinsatser samlas till vissa områden, medan andra områden — där riskerna kanske är större — lämnas obeaktade.

Energibesparande åtgärder och nya energikällor

Kombinerad elkraft- och värmeproduktion i mottrycksanläggningar eldade med kol, olja, naturgas, ved eller dylikt innebär minskad hälso- och miljöpåverkan i förhållande till totalt utvunnen energi ur bränslet om man jämför med motsvarande kondenskraftverk.

Energibesparande åtgärder som förbättrad isolering och värmepumpar av olika slag, t ex för ytjordvärme, innebär likaså vanligen vinster i fråga om minskad hälso- och miljöpåverkan. Strålskyddsinstitutet har dock påpekat att en alltför begränsad inomhusventilation kan ge strålrisker på grund av att alla stenhaltiga byggnadsmaterial naturligen avger den radioaktiva gasen radon. Även kemiska föroreningar i inomhusluften kan i sådana fall tänkas ge hälsorisker.

Ökad användning av förnyelsebara energikällor som solvärme och vindkraft torde också på sikt kunna ge påtagliga vinster från hälso- och miljösynpunkt. Stora vindkraftverk påverkar visserligen landskapsbilden men ingreppen är inte så definitiva som vid vattenkraft, dvs de kan om man så vill lättare återställas.

Man bör emellertid uppmärksamma att en starkt decentraliserad energiproduktion i vissa fall kan ge ett ökat antal yrkesskador och trafikskador i förhållande till utvunnen energimängd i samband med transporter och underhållsarbeten.

Det finns inga enkla lösningar

Enligt vår mening visar det framlagda materialet att det inte finns några enkla svar på frågan hur Sveriges energibehov skall tillgodoses under de närmaste årtiondena — ens om man bara skulle se till verkningar på hälsa och miljö. Alla de energislag som i detta tidsperspektiv kan spela en mer betydande roll är förknippade med skadeverkningar som är eller kan bli ett allvarligt hot mot vår hälsa eller vår miljö. Osäkerheten om vissa väsentliga risker och skadeverkningar är dock så stor att resultat från fortsatta studie- och forskningsinsatser kan ge en annan helhetsbild från hälso- och miljösynpunkt.

Det står emellertid klart att kraftfulla åtgärder i energibesparande syfte skulle kunna ge betydande och förhållandevis snabba vinster från hälso- och miljösynpunkt. Åtgärder för att uppnå en bättre energihushållning bör vidare kompletteras med forsknings- och utvecklingsinsatser med sikte på ökad användning av förnyelsebara energikällor. Många av dessa kan jämfört med fossila bränslen och uran ge påtagliga fördelar, när det gäller inverkan på hälsa och miljö. I övrigt förefaller det rimligast från hälso- och miljösynpunkt att vi i Sverige vidmakthåller handlingsfriheten genom att bygga vår elenergiförsörjning på en kombination av nu och i framtiden tillgängliga energislag.

Behov av fortsatt forskning och andra insatser inom landet

Vi anser att det behövs fortsatta kraftfulla satsningar på studier, forskning och utveckling för att fylla kvarvarande luckor i kunskaperna om olika risker och skadeverkningar samt för att genom förbättrad teknik minska redan kända risker och verkningar hos i dag använda energikällor.

Vi vill bli erinra om de osäkerheter som råder om

- riskerna för cancer och ärftliga skador både från kärnkraft och — i ännu högre grad — bränslen som kol och olja
- riskerna för kroniska besvär och sjukdomar i luftvägarna till följd av vissa luftföroreningar
- riskerna för okontrollerad spridning och upplagring av vissa metaller, främst vid kolanvändning
- riskerna för klimatförändringar vid omfattande användning av fossila bränslen
- riskerna för stora olyckor vid kärnkraftverk samt problem kring det högaktiva avfallet.
- risker förknippade med en omfattande plutoniumhantering till följd av satsning på brytareaktorer och upparbetning.

I Sverige stöds grundforskning inom dessa områden av forskningsråden och andra forskningsfinansierande organ. Vår kommittés arbete understryker hur angelägen denna forskning är från samhällets synpunkt.

Vid våra försök att värdera hälsoriskerna vid olika energislag har vi särskilt uppmärksammat behovet av epidemiologiska studier av sambandet mellan t ex luftföroreningar och olika sjukdomar i stora befolkningsgrupper. Detta har även betonats av flera svenska och utländska forskare vi har haft kontakt med. Några problem kring den epidemiologiska forskningens ställning i Sverige belyses närmare i en promemoria (appendix 3), utarbetad av kommitténs expert Lennart Rinder. Vi anser att det i Sverige bör göras kraftfullare insatser vad gäller epidemiologisk forskning med speciell inriktning på långsiktiga och målinriktade studier av olika befolkningsgrupper för att få ett gradvis bättre kunnande om sambandet mellan miljöföroreningar och hälsorisker.

Vid vår genomgång av risker och skadeverkningar vid användningen av olika energislag har det framgått att samhällets åtgärder för att minska de risker som olika verksamheter utsätter medborgarna för är olika långtgående. Exempelvis vållar tobaksrökning och biltrafik flera tusen dödsfall per år, vilket kan och bör jämföras med omfattningen av de hälsorisker vi redovisar för energiområdet. Riskbedömningar görs också idag av ett stort antal myndigheter. Detta framgår exempelvis av appendix 4 som redovisar lagstiftning och myndighetstillsyn inom energiområdet. Vi finner det angeläget att risker med olika verksamheter och möjligheterna att minska dessa risker studeras och utvärderas så långt möjligt i ett sammanhang så att man bättre än som sker för närvarande kan pröva olika förslag till åtgärder för att minska riskbelastningen för befolkningen i dess helhet. Det finns enligt vår mening anledning för statsmakterna att pröva olika åtgärder även av organisatorisk art som skulle underlätta mer enhetliga riskbedömningar än vad som sker för närvarande.

Det internationella perspektivet

Det framgår också klart av det redovisade materialet att många viktiga hälso- och miljöproblem inom energiområdet kan lösas endast på det internationella planet. Om vissa risker och skadeverkningar skall kunna begränsas får isolerade åtgärder i ett enskilt land, t ex begränsning av vissa utsläpp, förhållandevis ringa verkan. Vad som betyder något är vilka åtgärder ett stort antal länder gemensamt vidtar. Vi vill i detta sammanhang särskilt peka på följande områden:

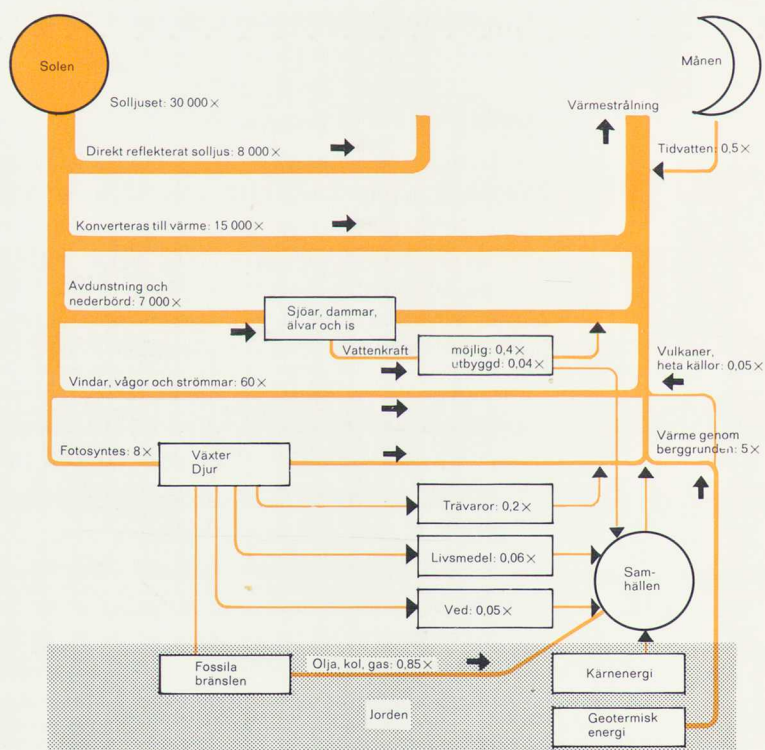
- behovet av fortsatta begränsningar av strålriskerna från en världsomfattande användning av kärnkraft, bl a i enlighet med de förslag som gemensamt lagts fram av de nordiska ländernas strålskyddsinstitut
- behovet av en närmare kartläggning och begränsning av riskerna i samband med hanteringen av plutonium vid en världsomfattande satsning på brytareaktorer och upparbetning
- behovet av en närmare kartläggning av de risker som är förknippade med en ökad världsomfattande användning av fossila bränslen, främst kol, med hänsyn till att det kan visa sig nödvändigt att regionalt eller globalt begränsa de totalt utsläppta mängderna av vissa föroreningar.

Sverige måste på det internationella planet verka för kraftfulla insatser inom dessa områden.

För fullständighetens skull redovisar vi i detta kapitel mycket översiktligt några faktorer i världens energiförsörjning. Vi beskriver också huvud dragen i Sveriges nuvarande energibalans: hur produktion och förbrukning fördelar sig på olika energislag och användargrupper. Kapitlet avslutas med en redogörelse för 1975 års energipolitiska beslut och senare energipolitiska åtgärder som regering och riksdag beslutat om fram till sommaren 1977.

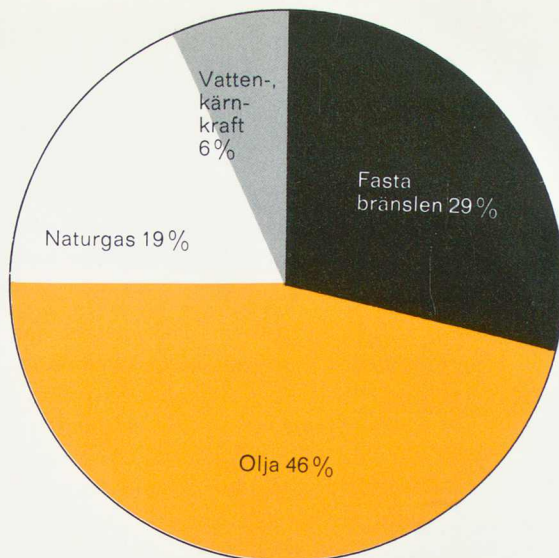
Världens energiomsättning och energitillgångar

Alla processer på jorden drivs av energi, som till absolut övervägande del härstammar från solen. Figur 4 visar hur det ständiga energiflödet från



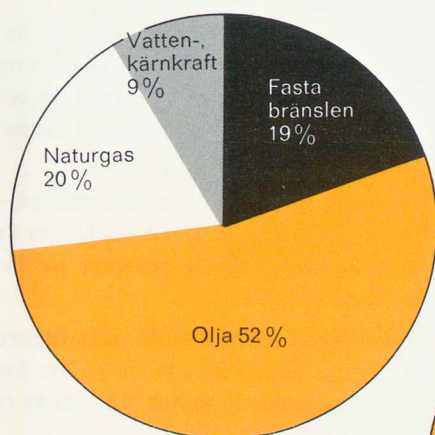
Figur 4. Energiflödet på jorden. Siffran anger flödets storlek som multipel av den energimängd som samhället totalt omsätter. Logaritmisk breddskala.

Källa: Energi — inte endast en fråga om teknik. Centrum för tvärvetenskap vid Göteborgs universitet.

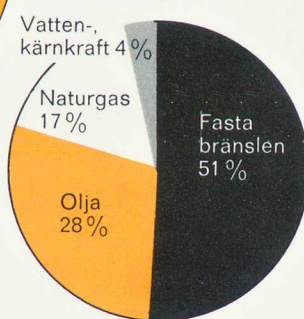


Hela världen
65 575 TWh

OECD-länderna
38 186 TWh



Östblockets
länder
19 384 TWh



Utvecklings-
länderna
7 220 TWh



Figur 5. Energiförbrukningen och dess fördelning på olika energikällor 1974.
Källa: IEA, World Energy Consumption & Supply, 18 mars 1976.

solen genom olika processer omvandlas till värmestrålning som lämnar jorden igen.

Rutorna längst ner på bilden visar den lagrade energin i jorden. Energin i fossila bränslen, som är lagrad solenergi, fylls långsamt på genom dött organiskt material, men människans uttag är för närvarande betydligt större än återfyllningen. Sedan jordklotet kom till finns mycket stora energimängder lagrade i form av kärnenergi, geometrisk energi (jordvärme) och energi från tidvatten. I dag kommer bara små tillskott till energiflödet från dessa lager.

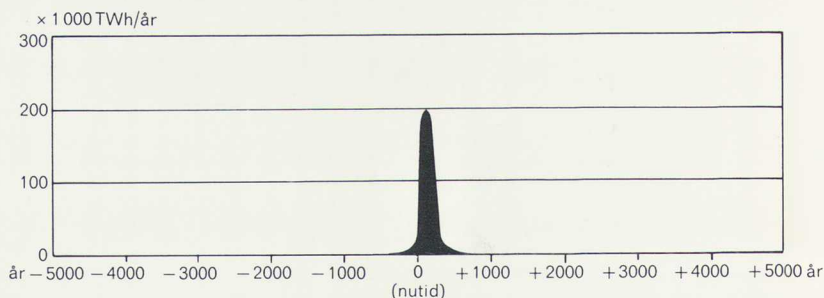
Figur 4 visar att hela mänsklighetens energiomsättning bara är en liten del av naturens totala energiomsättning. Människans totala energiomsättning är satt till 1 i bilden, och övriga siffror anger hur många gånger större eller mindre övriga energiflöden är. När man ser till den energi som direkt utnyttjas av människan, dominerar den globala energiförsörjningen av råolja som ger närmare 50 procent. Därefter kommer kol med knappt 30 procent och naturgas med närmare 20 procent. De fossila bränslena dominerar alltså kraftigt den globala energianvändningen. Vattenkraften och kärnkraften spelar en avsevärt mindre roll.

Världens energiförbrukning år 1974 fördelad på olika regioner och energislag framgår av figur 5. Preliminära uppgifter för år 1975 och 1976 visar inga nämnvärda förändringar.

Våra nuvarande industrisamhällen förutsätter en hög förbrukning av fossila bränslen som olja, kol och naturgas. Om vi fortsätter förbrukningen i samma takt som i dag — och till och med ökar den — kommer beroendet av fossila bränslen enligt de flesta bedömare att bli en rätt kort parentes i människans historia (se figur 6).

De totala reserverna av fossila bränslena är svåra att ange bestämt — de uppgifter som finns skiljer sig från varandra på grund av olikheter i definitioner och bedömningar. En uppskattning av de reserver av fossila bränslen som går att utvinna redovisas i tabell 1.

Tabellen visar också hur länge dessa reserver teoretiskt sett räcker vid olika antaganden om hur mycket förbrukningen ökar varje år. För kol (inklusive brunkol) redovisas två olika antaganden om hur stor del av reser-



Figur 6. Människans förbrukning av fossila bränslen i ett historiskt perspektiv, där år 0 på tidsskalan representerar nutid. Den helt övervägande delen av de fossila bränslena utgörs av kol.

Källa: M. King Hubbert, *Can. Mining and Metallurgical Bulletin* vol 66, s 37–53, juli 1973.

Tabell 1 Reserver av fossila bränslen

	Utvinningsbara reserver miljarder ton olja eller oljeekvivalenter		Förbrukning år 1974	Reservernas varaktighet i antal år vid en årlig tillväxttakt i förbrukningen om		
				0 %	2 %	4 %
Olja	233		2,8	82	49	37
Naturgas	171		1,1	155	72	51
Kol vid en utvinnings- 10 % 645 barhet om 50 % 3 225			} 1,7	379	108	71
				1 895	185	110

Källa: Föredrag av H. Ager-Hansen från norska Statoil vid konferensen "Elkraft 76" den 23 november 1976.

verna som utvinns. Jordens koltillgångar är avsevärt mycket större än tillgångarna på olja och naturgas.

Olja kan utvinns ur de mycket stora tillgångar som finns av oljeskiffer och oljesand. Hittills har dessa i stort sett utnyttjats bara i forsknings- och utvecklingsprojekt, bl a därför att det med känd teknik blir betydligt dyrare att utvinna dem än andra energiråvaror. Miljöproblemen är också svårbemästrade.

Allt fler bedömare varnar nu för att det kan uppstå brist på olja redan inom något eller några årtionden. Det är inte fråga om att oljan håller på att ta slut, utan i första hand om att efterfrågan kan bli större än den möjliga produktionen. Förutom eventuella politiska hinder finns det rent tekniska begränsningar när det gäller att öka utvinningen. Nya oljefält ligger ofta där det är svårt och tar lång tid att få fram oljan, t ex till havs eller i arktiska områden.

I en rapport i december 1975 från Nuclear Energy Agency (NEA) och International Atomic Energy Agency (IAEA) beräknas världens kända uranreserver till 1 810 000 ton. Sannolika tillgångar därutöver beräknas till 1 680 000 ton. (Se även faktaruta 3, s 50). Årsproduktionen uppgick 1975 till ca 20 000 ton. När man skall bedöma hur länge uranreserverna räcker, bör man ta med i beräkningen den omfattande utbyggnad av kärnkraftreaktorer som pågår. Det anses vara sannolikt att årsbehovet mot mitten och slutet av 1980-talet är 60 000 ton, och med den förbrukningstakten skulle reserverna räcka i omkring 60 år.

Sverige saknar nämnvärda tillgångar av olja, kol och naturgas. Däremot är de kända urantillgångarna betydande, även vid en internationell jämförelse. Ur de låghaltiga skiffrarna i Billingen har den möjliga utvinningen beräknats till 300 000 ton uran.

Sveriges energiförsörjning

Tillförsel av energi

Efter andra världskriget har energianvändningen kännetecknats av en snabb övergång från fasta bränslen som kol, koks och ved till oljeproduk-

ter. Av Sveriges totala tillförsel 1976 på 437 TWh svarade oljan för 72 procent. Praktiskt taget all olja importerades. Detsamma gällde kol och koks, som dock utgjorde bara ca 4 procent av hela förbrukningen.¹

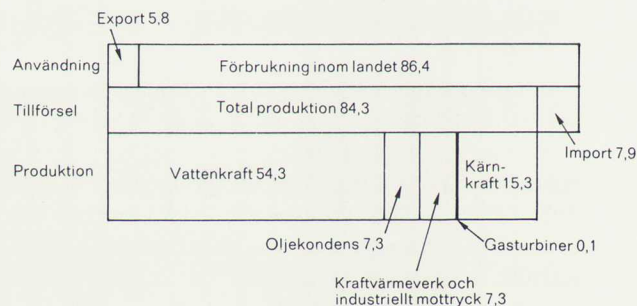
Tillförseln av energi fördelade sig 1976 på de viktigaste energislagen enligt tabell 2.

Tabell 2 Tillförseln av energi till Sverige 1976

	TWh	
Olja	313	(32)
(därav för elproduktion)		
Kol, koks	18	
Lutar, ved, avfall	35	
Vattenkraft	54	
Kärnkraft som utvunnen elenergi	15	(ca 45)
(som värmeenergi)		
Nettoimport av el	2	
Totalt tillförd energi	437	

Den totala energitillförseln i landet ökade med i genomsnitt 4,7 procent årligen under perioden 1955–1973. Därefter har ökningstakten dämpats påtagligt — till i genomsnitt omkring 0,5 procent per år under 1973–1976. Att tillväxten varit så liten beror till stor del på låg produktion inom industrin.

Försörjningen med elektrisk kraft baseras till större delen på inhemsk vattenkraft, men kompletteras med produktion av värmekraft. Denna bestod år 1976 till ungefär lika delar av kärnkraft och av oljekraft i olika former (figur 7).



Figur 7. Sammansättningen av elkraftproduktionen i Sverige 1976.

Källa: Statistiska meddelanden Iv 1977:3.3.

Olja är, som vi tidigare nämnt, den dominerande källan för svensk energiförsörjning. Oljeleveranserna 1976 fördelade på olika raffinerade oljeprodukter framgår av tabell 3.

Drygt hälften av oljeprodukterna härrörde 1976 från råolja som raffinerats i Sverige. Övriga oljeprodukter har importerats från utländska raffinaderier.

¹Uppgifterna i detta avsnitt har inhämtats från statens industriverk, om inte annat anges.

Tabell 3 Leveranser av raffinerade oljeprodukter i Sverige 1976

	Miljoner m ³	TWh
Motorbensin	4,629	40,4
Övrig bensin, fotogen m m	0,981	9,3
Dieselbrännolja	2,488	24,6
Tunna oljor	8,970	88,8
Tjock långsvavlig ^a olja	5,718	61,9
Tjock normalsvavlig ^b olja	7,988	86,4

^aSvavelinnehåll högst 1 viktprocent

^bSvavelinnehåll mer än 1 viktprocent

Källa: SCB:s preliminära bränslestatistik för 1976 (Iv 1977:6.5)

Förbrukning av energi

Förbrukningen år 1976 fördelad på el och bränsle samt på olika förbrukarkategorier framgår av tabell 4.

Tabell 4 Förbrukningen år 1976 fördelad på el och bränsle samt på olika förbrukarkategorier

Sektor	Elförbrukning	Bränsleförbrukning	Energiförbrukning hos användare
	TWh	TWh	TWh
Industri	39,2	115,8	155,0
Samfärdsel	2,1	77,0	79,1
Övrigt	36,7	129,8	166,5
Summa	78,0	322,6	400,6
Omvandlings- och överföringsförluster			36,1
Total tillförsel			436,7

Världens urantillgångar

3

Storleken på världens urantillgångar är en omdiskuterad fråga. Vad man räknar in i tillgångarna beror i hög grad på vilka utvinningskostnader per kg uran kärnkraften kan bära i konkurrens med andra sätt att framställa elektrisk energi. Vidare är stora områden av jorden inte systematiskt undersökta med avseende på uranfyndigheter. Ej heller har östblocket avslöjat sina tillgångar. Enligt de senaste uppskattningarna kan de någorlunda kända och utvinningsvärda urantillgångarna utanför östblocket motsvara 3–5 miljoner ton uranoxid. Det beräknas troligen räcka till att försörja nuvarande och planerade kärnkraftaggregat något eller några årtionden in på 2 000-talet. De svenska tillgångarna i Billingen räcker till att försörja ett tiotal lättvattenaggregat med uran i 100–200 år.

Om man bygger brytareaktorer räknar man med att kunna ta ut omkring femtio gånger mer energi ur dessa uranmängder — även om de dessförinnan använts som bränsle i t ex lättvattenreaktorer. Vidare kan det då bli lönsamt att bearbeta uranfyndigheter, som f n ej räknas som utvinningsvärda. Detta beror dock i hög grad på brytareaktorsystemens ekonomi vilket är en omdiskuterad fråga.

Av industrins olika branscher har massa- och pappersindustrin den högsta energiförbrukningen med ungefär en tredjedel av elförbrukningen och närmare 49 procent av bränsleförbrukningen inom hela industrin. Näst störst i fråga om energiförbrukning är järn-, stål- och metallverk med ca 20 procent av elförbrukningen och ca 22 procent av bränsleförbrukningen inom hela industrin. Som jämförelse kan nämnas att verkstadsindustrin, som svarar för närmare 40 procent av industrins förädlingsvärde, bara svarar för ca 8 procent av dess energiförbrukning.

Transportsektorn gör anspråk på ca 20 procent av den totala energiförbrukningen i landet, till helt övervägande del i form av bränslen.

Av energiprognosutredningens (EPU) betänkande Energi 1985—2000 (SOU 1974:64) framgår att ca 87 procent av bensinförbrukningen i transportsektorn gick till drift av personbilar, medan övriga 13 procent gick till bussar, lastbilar, fritidsbåtar, jord- och skogsbruksmaskiner m m. Av motorbrännoljan gick ca 15 procent till drift av personbilar, taxi och bussar och ca 40 procent till lastbilar. Resten gick till truckar och jordbruksmaskiner, järnvägar, fiske m m.

Personbilarna svarar sammanlagt för omkring hälften av transportsektorns energiförbrukning och därmed för ungefär 10 procent av Sveriges sammanlagda energiförbrukning.

Av landets totala energiförbrukning går drygt 40 procent till den s k övrigsektorn, som framgår av tabell 4 på sid 51. Hit räknas hushåll, handel, offentlig service, jord- och skogsbruk, gatubelysning m m. Förbrukningen avser huvudsakligen uppvärmning av byggnader och förbrukningsvarmvatten (ca 85 procent). Den största delen av uppvärmningen sker för närvarande med oljepannor i varje hus, men fjärrvärme och elvärme ökar i betydelse.

Utvecklingen mot 1980-talet

Statens industriverk lade i mars 1977 fram en s k referensprognos i promemorian Sveriges energikonsumtion till 1995 (SIND 1977:5). Vad gäller förutsättningar och antaganden för prognosen hänvisar vi till denna promemoria. I denna jämförs bl a med förbrukningen år 1985 som den antas i 1975 års energipolitiska proposition till riksdagen. (Tabell 5.) Industriverket redovisar i sin prognos slutlig användning av energi, medan energipropositionen redovisar tillförsel (dvs med överförings- och omvandlingsförluster inräknade). För att kunna jämföra har verket därför räknat om

Tabell 5 Slutlig användning av energi år 1985, TWh

	1975 års energi- proposition	SIND:s prognos 1977
Oljeprodukter	240	268
Kol och koks	45	27
Lutar och ved	37	38
El, slutlig användning	140	121
Fjärrvärme	30	29
Totalt	491	483

energipropositionens tillförselsiffror till motsvarande siffror för slutlig användning.

Industriverkets bedömning 1977 innebär att förbrukningen av oljeprodukter blir högre och förbrukningen av elkraft lägre än vad 1975 års energipolitiska proposition antog. Den totala förbrukningen bedöms bli något lägre än enligt propositionen.

1975 års energipolitiska beslut och senare åtgärder

Riksdagen antog våren 1975 riktlinjer för den framtida svenska energipolitiken (prop. 1975:30, NU 1975:30, rskr 1975:202).

I propositionen framhålls att energipolitiken är av utomordentlig betydelse för landets oberoende, för det fortsatta välfärdsarbetet, den sociala utjämningen i samhället och för bevarandet av en god livsmiljö. Samtidigt sägs att kraven på internationell solidaritet måste finna uttryck i Sveriges energipolitik.

Vidare understryks att all produktion av energi är förenad med miljöproblem. Att utnyttja vattenkraft innebär ofrånkomligen ingrepp i naturen. Kärnkraften har särskilda säkerhetsproblem som hänger ihop med den joniserande strålningen. Användningen av fossila bränslen innebär risker för både människors hälsa och naturmiljön.

I framtiden kommer, sägs det vidare i propositionen, många av de begränsningar och riskproblem som hör ihop med nya energikällor att lösas. Att utveckla ny teknik kräver emellertid stora forskningsinsatser. Det tar också lång tid innan ny energiteknik kan få en mera påtaglig roll för energiförsörjningen.

Enligt 1975 års beslut måste den energipolitiska planeringen vidgas och förstärkas till att i princip omfatta hela energiområdet. Det är också nödvändigt att samordna energiplaneringen med annan samhällsplanering såsom den långsiktiga planeringen för sysselsättning och industriell utveckling samt den fysiska riksplaneringen.

Planeringen måste, sägs det vidare, arbeta med olika tidsperspektiv. År 1985 har valts som riktpunkt för planeringen på medellång sikt. Det tar lång tid mellan beslut om utbyggnad och färdig produktionskapacitet inom energiområdet. Därför förutsätts att statsmakterna år 1978 tar ställning till hur energiförsörjningen skall tryggas även efter 1985. Dessutom finns 1978 troligen bättre underlag för beslut om den fortsatta energipolitiken. Detta gäller främst möjligheterna till fortsatt vattenkraftutbyggnad, frågor om kärnkraftens säkerhetsproblem och driftekonomi, risker förenade med förbränningen av fossila bränslen och möjligheterna till import av naturgas. Även effekterna av de hushållningsåtgärder som vidtagits och resultaten av en intensifierad forsknings- och utvecklingsverksamhet bör då kunna ge ett bättre underlag för planeringen.

Följande principiella riktlinjer för den statliga energipolitiken läggs fast i beslutet:

- åtgärder vidtas för att dämpa ökningen av energikonsumtionen,
- en aktiv statlig oljepolitik bedrivs,
- åtgärder vidtas för att trygga elförsörjningen,
- Sverige deltar i internationell samverkan inom energiområdet.

Ambitionen i det energipolitiska beslutet är att under perioden 1973—1985 komma ned från de senaste femton årens ökningstakt av energikonsumtionen på ca 4,5 procent per år till i genomsnitt 2 procent per år. Den totala energiförbrukningen 1973 uppgick till ca 430 TWh. En årlig ökning med 2 procent innebär därför en energiförbrukning på ca 540 TWh år 1985. (Som basår har valts 1973, eftersom 1974 kännetecknades av speciella förhållanden.) Man bör vidare sträva efter att vid början av 1990-talet nå ned till nolltillväxt i energiförbrukningen.

Genom det energipolitiska beslutet har flera åtgärder vidtagits eller påbörjats för att målet att begränsa ökningstakten till 2 procent per år fram till 1985 skall nås. Bl a följande åtgärder i hushållningssyfte kan nämnas:

- Lån och bidrag till energihushållande åtgärder i bostadshus och vissa andra lokaler, samt inom näringslivet.
- Prövning enligt § 136 a byggnadslagen av tillkomst och utbyggnad av industri av väsentlig betydelse från energihushållningssynpunkt.
- Allmänna bestämmelser i byggnadsstadgan om att bebyggelse skall planläggas och byggnader utformas så att hänsyn tas till behovet av energihushållning.
- Höjd energibesättning.
- Bred satsning på forskning och utveckling med sikte på besparing och effektivare energianvändning.
- Lagstiftning om kommunal energiplanering.

Vissa av dessa åtgärder beskrivs närmare här nedan.

Elkraftproduktionen uppgick 1973 till 77,2 TWh. Enligt det energipolitiska beslutet väntas produktionen 1985 uppgå till ca 160 TWh. Detta innebär en årlig ökning av uttaget av elenergi (belastningsökning) med i genomsnitt 6 procent. Inom den totala ramen av 2 procent årlig ökning av energiförbrukningen förutsätter man alltså en betydligt större ökning för el än för övrig energiförbrukning.

Med nuvarande teknik kan elbehovet för Sveriges del i huvudsak tillgodoses genom att man bygger ut vattenkraft, olje- eller kolbaserad kraft eller kärnkraft. I det energipolitiska beslutet förutsätts att alla tre sätten används.

I den energibalans som räknats fram för 1985 enligt 1975 års energiproposition skulle ca 130 TWh komma att täckas av elproduktion i vatten- eller kärnkraftverk. Det innebär enligt 1975 års beslut att vattenkraften efter 1973 skulle behöva byggas ut med 6 TWh till totalt 66 TWh och kärnkraften med 61 TWh till totalt 63 TWh år 1985.

Resten, ca 30 TWh, skulle tillgodoses med olje- eller kolbaserad kraft. Denna elproduktion planeras i första hand ske i kraftvärmeverk och industriella mottrycksanläggningar. I sådana utnyttjas bränslets energiinnehåll mest effektivt. Energibeslutets elbalans förutsätter att anläggningar av dessa typer byggs ut till en total produktionskapacitet på 23 TWh år 1985. Produktionen av oljekondenskraft, som utnyttjar bränslet

mindre effektivt, skulle därmed kunna begränsas till 7 TWh 1985, dvs ungefär samma energimängd som 1973.

I viss utsträckning skulle också inhemskt bränsle kunna användas.

Trots försök att begränsa oljeimporten måste man alltså — enligt den re-
doisade energibalansen — för Sveriges del räkna med att den ökar, åt-
minstone fram till 1985. I en tid av internationell oro och internationella
kriser kan beroendet av oljan innebära ett hot mot landets oberoende och
göra det svårare att föra en alliansfri utrikespolitik. Samtidigt innebär
kostnaderna för oljeimporten en stor belastning på betalningsbalansen.
Därför har staten ansett sig behöva medverka i större utsträckning för
att trygga oljeförsörjningen, vilket i beslutet har förutsatts ske genom
bl a följande metoder:

- ökad oljelagring,
- statlig garanti för att underlätta finansiering av investeringar i utvin-
ning av olja, naturgas och kol
- samarbete med andra oljekonsumentländer för att bli rättvist fördela
tillgänglig olja i ett krisläge,
- statligt deltagande i raffinaderinäringen i Sverige.

Vad gäller åtgärder efter 1975 års beslut som är av betydelse för energipo-
litiken kan nämnas följande.

För att förbereda 1978 års energipolitiska beslut har ett omfattande ut-
redningsarbete satts igång. En av åtgärderna var att tillkalla energi- och
miljökommittén.

Den särskilda energikommission (I 1976:05), som tillkallades hösten 1976,
fick ett övergripande ansvar för utredningsarbetet inför 1978 års beslut.
Kommissionen har bl a till uppgift att utvärdera erfarenheter och forsk-
ningsrapporter som rör dels kärnkraftens säkerhetsproblem, dels hanter-
ring av utbränt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Kommissionen skall
vidare utreda frågor om förbättrad energihushållning och föreslå åtgärder
i detta syfte. Till den 1 juli 1978, då kommissionens hela arbete skall vara
slutfört, skall bli alternativa energiprogram fram till år 1990 ha redovi-
sats. Man skall också ha utarbetat en beredskapsplan för att avveckla
kärnkraften om säkerhetsproblemen inte kan lösas. Kommissionen skall
belysa den försörjningstrygghet som kan uppnås i de olika alternativen
och bedöma vad de kostar.

År 1976 har kraven på energihushållande byggnadssätt höjts väsentligt
genom ett tillägg till Svensk byggnorm med bestämmelser om energi-
hushållning. Bestämmelserna avser alla nybyggnader och gäller fr o m
den 1 januari 1977.

För att motverka negativa effekter av svavelutsläpp beslutade riksdagen
1976 om bli en lag (1976:1054) som syftar till att ytterligare begränsa ut-
släppen av svavelföreningar.

Vidare har kommunerna fått ett lagfäst planeringsansvar inom energiom-
rådet. Enligt lagen om kommunal energiplanering (1977:439) skall kommu-
nerna bli i sin planering främja hushållningen med energi och verka för
en säker och tillräcklig tillförsel av energi.

Riksdagen antog hösten 1976 en lag (1976:838) som väntas främja utbygg-
nad av och anslutning till allmänna fjärrvärmeanläggningar.

Frågan om den fortsatta utbyggnaden av fjärrvärmeanläggningar har tagits upp av statens industriverk i rapporten "Tätorternas och den tunga industrins energiförsörjning". Enligt verket hämmas utbyggnaden av att kommunerna har svårt att finansiera anläggningarna. Vissa åtgärder har sedermera vidtagits för att undanröja finansieringsproblemen.

Bestämmelserna i § 136 a byggnadslagen (1947:385, § 136 a ändrad senast 1976:213), som handlar om lokaliseringssprövning av industriell och liknande verksamhet, utvidgades den 1 juli 1975 till att också omfatta prövning från energihushållningssynpunkt. Prövningen ger möjlighet att bedöma vilka anspråk på energi som ställs i samband med nyanläggningar och utbyggnader inom industrin. Vid prövningen kan man också granska hur effektivt energin utnyttjas i olika projekt. Lokaliseringstillstånd kan förenas med särskilda villkor beträffande energianvändningen om det bedöms erforderligt.

Riksdagen har antagit en lag (1977:140) om särskilt tillstånd att tillföra kärnreaktorer kärnbränsle m m (prop 1976/77:53). Lagen innebär att en kärnreaktor får tas i drift bara om dess innehavare har företett avtal som på ett betryggande sätt tillgodoser behovet av upparbetning av använt kärnbränsle och har visat hur och var en helt säker slutlig förvaring av det vid upparbetningen erhållna högaktiva avfallet kan ske. Om kärnbränslet inte avses bli upparbetat krävs för tillstånd att reaktornnehavaren har visat hur och var en helt säker slutlig förvaring av det använda bränslet kan ske.

Lagen gäller inte för de fem reaktorer som var i drift hösten 1976. För reaktorn Barsebäck 2 innebär lagen att anläggningen fick tas i drift utan särskilt tillstånd. Efter 1977 får den dock bara drivas om reaktorns innehavare före utgången av september 1977 har uppvisat avtal som på ett betryggande sätt tillgodoser behovet av upparbetning eller, alternativt, har visat att hanteringen av använt, inte upparbetat kärnbränsle kan ske på ett helt säkert sätt.

Antagna alternativ för energiförbrukningen i denna utredning

En bedömning av hälso- och miljöpåverkan i framtiden måste utgå från vissa antaganden om den framtida energiförbrukningen. Det gäller framför allt förbrukningen av fossila bränslen och de luftföroreningar och nedfall som de kan orsaka. Som grundalternativ för det teknisk-vetenskapliga underlaget har energi- och miljökommittén utgått från bedömd förbrukning 1985 enligt 1975 års energipolitiska beslut. De bestämmelser om rökgasrening etc. som då gäller enligt hittills fattade beslut har iakttagits. Det innebär inte att vi tagit ställning till prognosernas trovärdighet — bara att vi funnit det rimligt att belysa vad som skulle hända om de slår in. Vi har också funnit det rimligt att belysa vad som skulle hända om vi avstår från att använda kärnkraft utan att lyckas skära ned förbrukningen av elenergi avsevärt i förhållande till prognoserna. Därför bad vi våra experter att också belysa en typ av ytterlighetsalternativ. I detta produceras 54 TWh mer elenergi per år från olja eller kol än i grundalternativet. Av ökningen faller ca 2 TWh på industriellt mottryck, 16 TWh på kraftvärme och 36 TWh på kondenskraft.

Uppskattningarna av inverkan på hälsa och i viss utsträckning på miljö är dock i första hand knutna till "block" på ca 6 TWh elenergi per år, vilket motsvarar omkring 15 TWh värmeenergi där man kan ta tillvara hela värmeinnehållet. Därför kan uppskattningarna likaväl användas till att bedöma verkningarna på hälsa och miljö vid en ökad energiförbrukning som till att bedöma motsvarande vinster vid en minskad förbrukning.

Litteraturhänvisningar utöver underlagsrapporter och bakgrundsdocument (se appendix 2)

Regeringens proposition 1975:30: Energihushållning, m m.

Sveriges energikonsumtion till 1995. PM från statens industriverk (SIND 1977:5).

Nuclear Power Issues and Choices. Report of the Nuclear Energy Policy Study Group. Ballinger Publ. Co. Cambridge, Mass., (1977).

Från energiråvara till spillvärme och avfall — den tekniska bakgrunden

Den allra största delen av den energi som vi använder slutar som spillvärme i naturen: värmestrålning, varm ventilationsluft och varmt avloppsvatten från industrier och bostäder är några exempel. En mycket liten del binds i form av beständig kemisk energi, t ex vid framställning av metaller. I det här kapitlet beskriver vi de tekniska förutsättningarna för framställning av framför allt elektrisk energi ur de viktigaste energiråvarorna — vattenkraft, vidare fossila bränslen som olja, naturgas och kol samt slutligen uran. Vi tar också upp oljans användning för uppvärmning och fordonsdrift. För varje energislag beskriver vi översiktligt processleden från utvinningen av energiråvara till avfallshantering — där sådan förekommer. Syftet är att ge den tekniska bakgrunden till den hälso- och miljöpåverkan som behandlas i kommande kapitel.

Vattenkraft

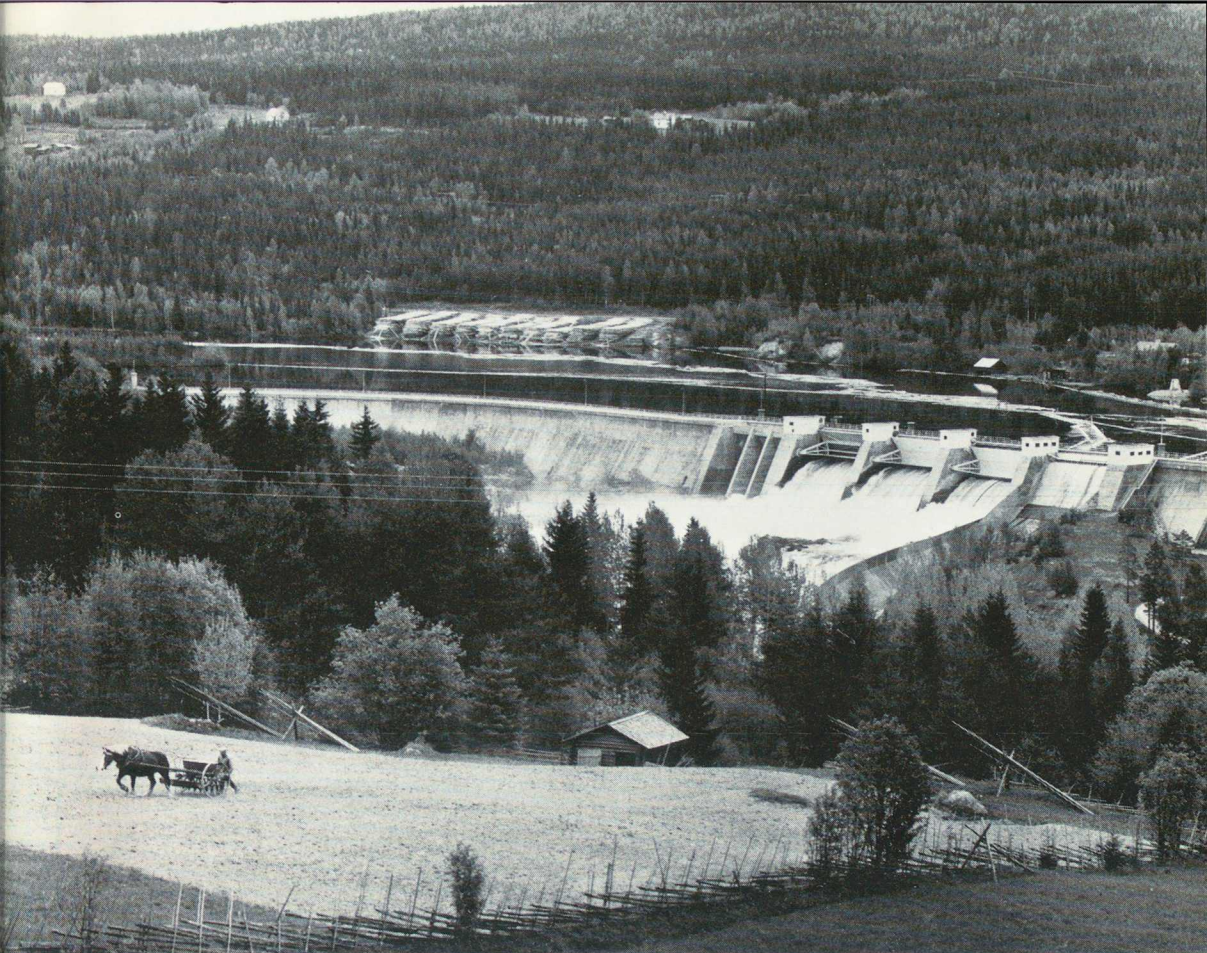
Vattenkraften är en förnyelsebar energikälla där solen är den yttersta drivkraften. Elkraften framställs med hjälp av vatten i sitt naturliga kretslopp, avdunstning — nederbörd — ytvattenavrinning. Därför uppstår inga föroreningar och inget avfall. För att få tillgång till energin måste vi dock göra stora ingrepp i vattendragen i form av kraftverk, dammar och vattenmagasin. Det kräver stora anläggningsarbeten. En gång byggda kräver vattenkraftverk bara små arbetsinsatser i en förhållandevis riskfri miljö.

Vattenkraftens utnyttjande bygger på en sedan länge känd teknik. Vattenkraftverken är driftsäkra och har lång livslängd. I ekonomiska kalkyler räknar man med avskrivning på 40 år, men det finns exempel på verk som varit i drift sedan 1890-talet.

Energin levereras alltså under mycket lång tid med låga driftkostnader och oberoende av störningar i omvärlden och växlande bränslepriser. Även relativt små kraftverk blir därför, totalt sett, betydande energiproducenter.

Vattenkraftverk

I ett vattenkraftverk driver det strömmande vattnet en vattenturbin, och turbinen driver en elektrisk generator. Omkring 85% av vattnets lägesenergi omvandlas på så sätt till elektrisk energi. Moderna anläggningar kan till och med ge högre verkningsgrad. Den utvunna elektriska energin är proportionell mot den genomströmmande vattenmängden och den fallhöjd som utnyttjas. De största fallhöjderna finns i norra Sveriges fjällområden, där också nederbörden är riklig och avdunstningen liten. De



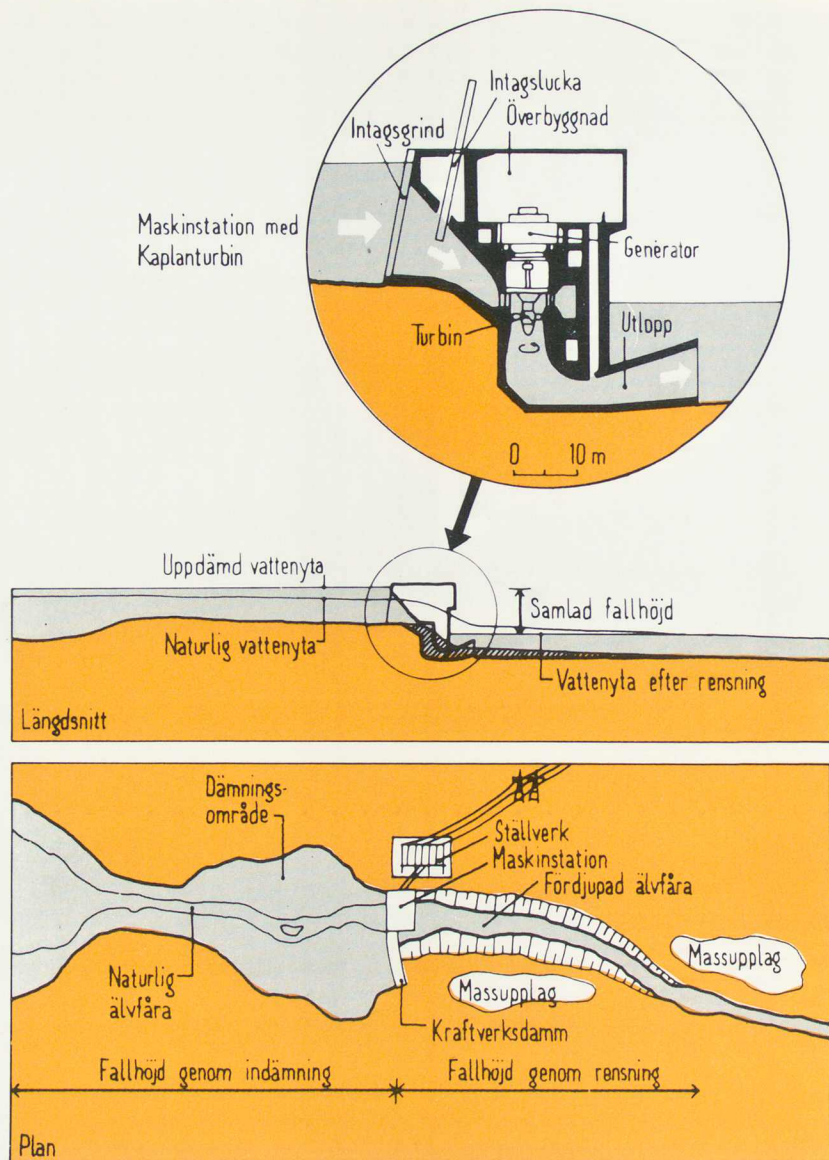
Figur 8. Stadsforsens kraftverk i Indalsälven. Den utbyggda effekten är 135 MW vid en fallhöjd på 29 meter.

Foto från 1950-talet ur vattenfallsverkets arkiv

kraftstationer som är belägna i vattendragens övre delar utnyttjar ofta relativt stora fallhöjder. Längre ned i en älv där vattenföringen är större, kan en utbyggnad ibland vara lönsam även om fallhöjden bara är ett fåtal meter.

Låga fallhöjder kan byggas ut genom att man dämmer upp vattnet ovanför kraftverket och gräver en djupare älvfåra nedanför. Ett exempel framgår av figur 9, som visar en forssträcka nedströms en sjö. Damm och kraftstation, som i det här fallet byggts samman, har lagts i ett bergparti, där grundläggningsförutsättningarna är goda. Med dammen indäms fallsträckan upp till sjön, och genom höjning av sjöns vattenyta kan man även utnyttja fallhöjd i sjöns tillflöden. Fallhöjden nedströms dammen har samlats till kraftstationen genom att älvfåran har rensats, dvs utvidgats och fördjupats genom schaktning eller sprängning.

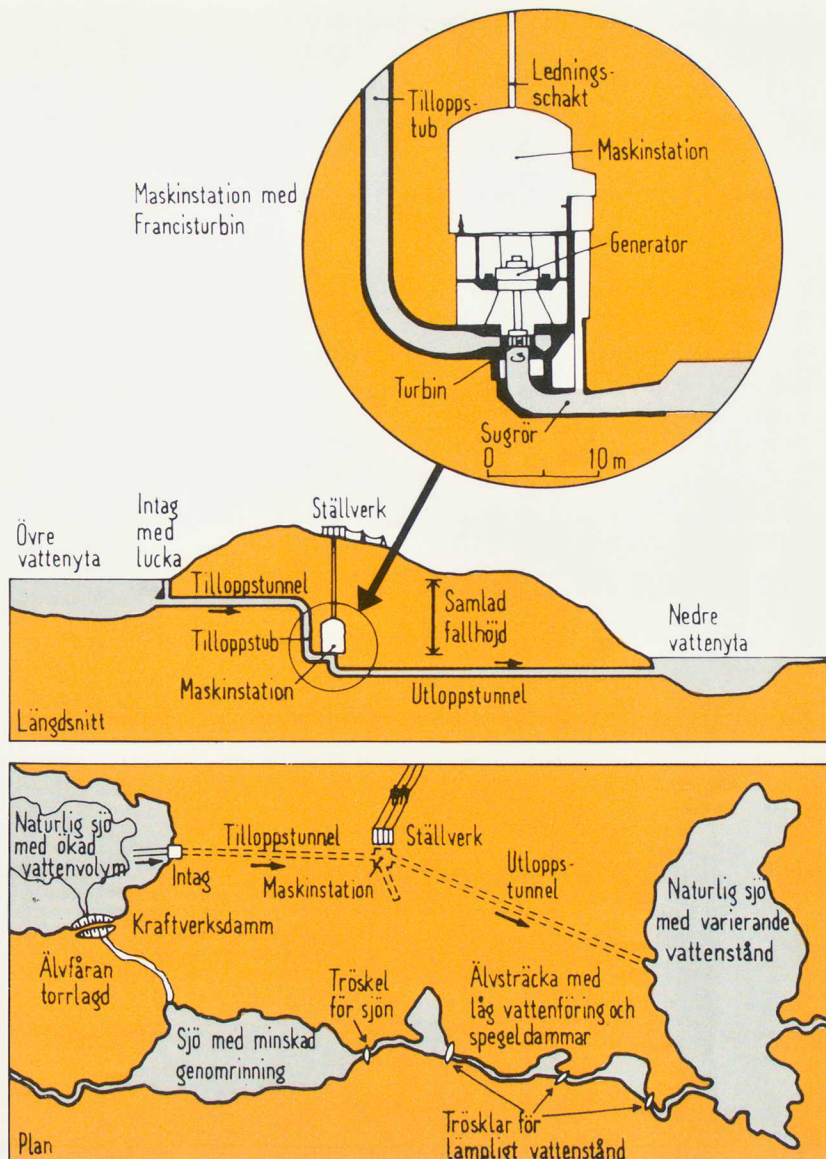
När man bygger ut stora fallhöjder är det vanligt att fallhöjden med hjälp av bergstunnlar samlas till kraftstationen. Ett exempel på detta finns i figur 10, som visar hur en längre fallsträcka mellan två sjöar kan byggas ut. I det naturliga utsläppet från den övre sjön anläggs en damm, med vil-



Figur 9. Principskiss av kraftverk av ovanjordstyp.
Efter Vattenfall — Svenska Kraftverksföreningen.

ken sjöns vattenstånd höjs. Liksom i föregående exempel innebär upp-dämningen att även fallhöjden i sjöns tillflöden utnyttjas.

Från sjön leds vattnet via en tillloppstunnel och en tillloppstub till maskin-stationen, som är insprängd långt nere i berget. Från stationen avleds vattnet via en utloppstunnel till den nedre sjön. Tunnlarna kan ofta vara flera kilometer långa. Den naturliga älvfåran blir då utan vatten bortsett



Figur 10. Principskiss av kraftverk av underjordstyp.

Efter Vattenfall – Svenska Kraftverksföreningen.

från eventuell lokal tillrinning. Det kan därför ofta vara nödvändigt att med hänsyn till miljövården eller andra viktiga intressen låta en viss mängd vatten fortfarande rinna i den gamla älvfåran. Sådan minimivattenföring eller minimitappning kan fastställas av vattendomstolen som ett villkor för att kraftverket skall få byggas och användas.

De största vattenkraftverken i Sverige år 1974 framgår av tabell 6.

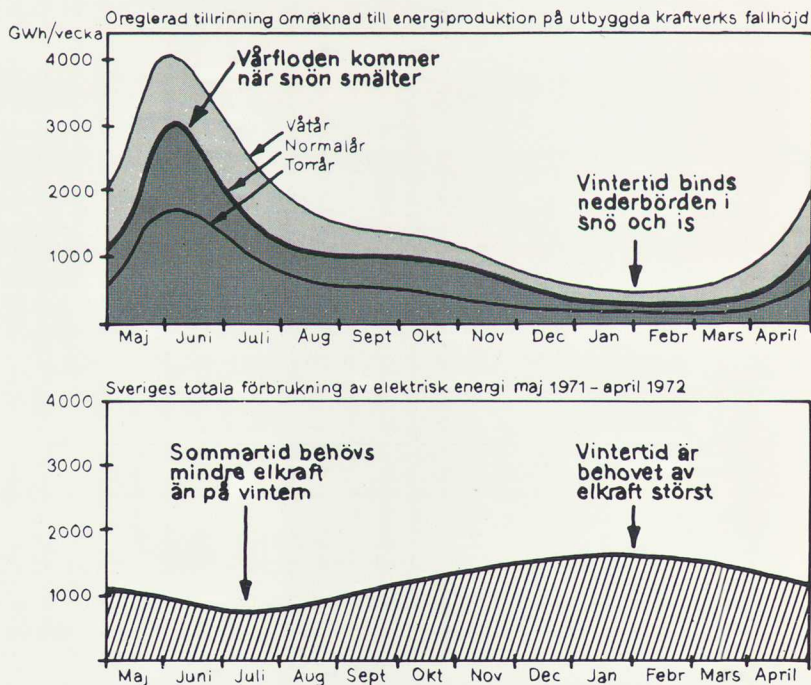
Tabell 6 De största vattenkraftverken 1974

	I drift år	Dämnings- gräns m över havsytan	Fallhöjd m	Utbyggd vatten- föring m ³ /s	Effekt MW
Letsi (Lule älv)	1967	214	135	390	450
Stornorrfors (Ume älv)	1958	75	75	700	410
Harsprånget (Lule älv)	1951	312	107	380	330
Trängslet (Dalälven)	1960	422	142	285	330
Vietas (Lule älv)	1971	457	82,5	530	320
Messaure (Lule älv)	1963	165	87	385	300
Kilforsen (Ångermanälven)	1953	193	99	350	275
Trollhättan (Göta älv)	1910	40	32,2	995	235
Krångede (Indalsälven)	1936	204	60	500	225
Seitevare (Lule älv)	1967	477	180	135	220
Harrsele (Ume älv)	1957	145	54,5	450	203

Källa: Vattenkraft och miljö 3(SOU 1976:28).

Vattenflödet regleras genom magasin

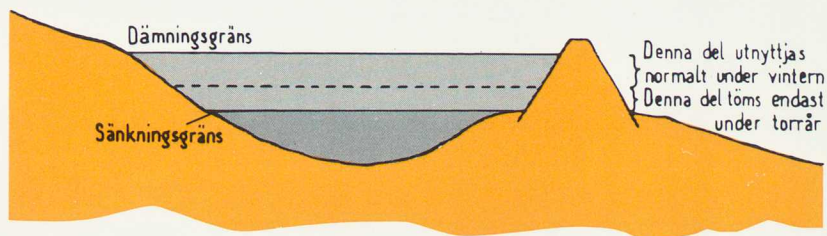
Det naturliga vattenflödet i ett vattendrag varierar med årstiderna. Detta gäller särskilt de norrländska vattendragen. Där produceras den helt övervägande delen av vattenkraftens elenergi. Det ringa vattenflödet un-



Figur 11. Vattentillgång och elkraftbehov.
Efter Vattenfall - Svenska Kraftverksföreningen.

der vintern innebär att den naturliga tillgången på energi är lägst då förbrukningen är störst (figur 11). För att anpassa vattentillgången till efterfrågan på elenergi regleras vattendragen. Detta innebär, att överskottsvatten samlas i magasin under tider med god tillrinning och/eller liten efterfrågan på elkraft och tappas ur då efterfrågan är hög. Detta kallas årsreglering. Dessutom förekommer flerårsreglering med hänsyn till variationer i vattenflödet från år till år. Ett regleringsmagasin betjänar i regel flera kraftstationer, ibland alla kraftstationerna i ett vattendrag. Magasinen skapas i första hand genom reglering av naturliga sjöar i vattendraget, som t ex Hornavan, Uddjaur och Storavan i Skellefteälven. I sjöfattiga vattendrag kan man tvingas skapa helt eller delvis konstgjorda sjöar, som Trängsletmagasinet i Österdalälven.

En reglering innebär att vattnet i magasinet hålls inne eller avtappas efter behov. Dämningsgräns är i regel det högsta vattenstånd som får förekomma och sänkingsgränsen den lägsta. Sänkingsgränsen kan vara lägre än det naturliga lågvattenståndet om sjöns utlopp rensas, eller om sänkning sker med tunnel. Dämningsgränsen ligger ofta högre än de högsta naturligt förekommande vattenstånden. Man eftersträvar i princip att få så mycket vatten som möjligt i magasinet. Det är dock mera sällan som magasinet kan dimensioneras utifrån rent teknisk-ekonomiska grunder.



Figur 12. Dämningsgräns, sänkingsgräns och regleringsamplitud i ett vattenmagasin med flerårsreglering.

Det vatten som ryms mellan dämningsgräns och sänkingsgräns, magasinvolymen, är alltså beroende av sjöns yta och nivåskillnaden mellan dämnings- och sänkingsgränsen (regleringsamplituden (figur 12)). De största regleringsamplituder som förekommer i vårt land uppgår till mer än 30 meter. Tabell 7 visar storlek och energiinnehåll för de största vattenmagasinen i Sverige.

Korttidsreglering och effektutbyggnad

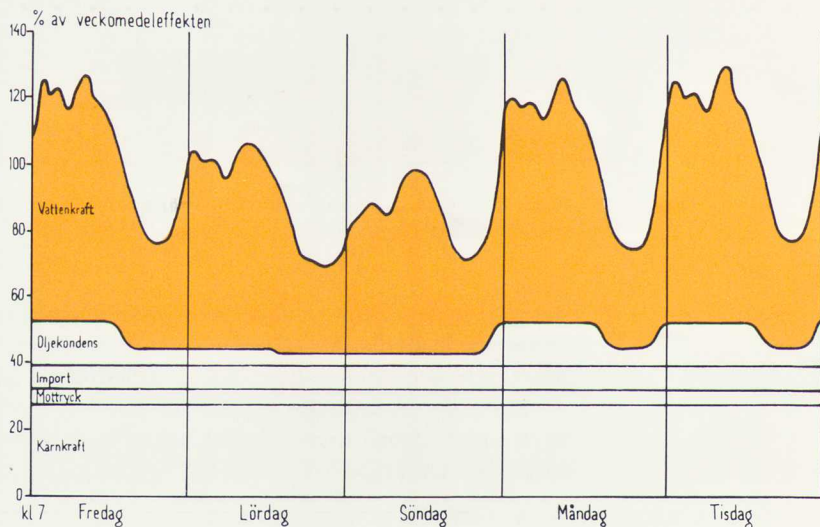
Förbrukning av elenergi varierar inte bara mellan olika årstider utan också mellan natt och dag, vardagar och veckoslut (figur 13). Elproduktionen måste anpassas också till dessa variationer, så länge man inte har effektiva metoder för att lagra elenergin.

Anpassning av produktionen till variationer i belastningen sker i Sverige i huvudsak just med vattenkraft. Man magasinerar vatten på nätter och helger för att kunna tappa ur det under dagtid på vardagarna. Korttidsregleringen kräver inte så stora magasinvolym och kan göras i mindre

Tabell 7 De största vattenmagasinen

	Älv	Energiinnehåll på utbyggd fallhöjd i TWh	Volym i milj m ³	Amplitud m
Suorva	Lule älv	6,095	5900	30,0
Tjaktjajaure	Lule älv	1,80	1650	34,5
Satisjaure	Lule älv	1,29	1240	19,0
Torrön	Indalsälven	1,07	1180	12,5
Vänern	Göta älv	0,97	9400	1,7
Storuman	Ume älv	0,885	1100	7,0
Rebnisjaure	Skellefte älv	0,845	740	13,5
Sitasjaure	Lule älv	0,825	600	10,0
Storsjön	Indalsälven	0,82	1250	2,75
Gardiken	Ume älv	0,775	875	20,0
Häckren	Indalsälven	0,76	700	26,9
Trängslet	Dalälven	0,73	880	35,0
Storavan-				
Uddjaur	Skellefte älv	0,73	780	2,0
Hornavan	Skellefte älv	0,70	750	2,9

Källa: Vattenkraft och miljö 3 (SOU 1976:28).



Figur 13. Belastningens variationer och produktionens fördelning på kraftslag under dygnet och under veckan — decemberdagar.

Källa: Vattenfall

magasin, i regel i direkt anslutning till de enskilda kraftverken, men flera av de stora årsregleringsmagasinen utnyttjas också som korttidsmagasin. Vid sidan av korttidsreglerad vattenkraft använder man också snabbstartande gasturbiner för att klara kortare belastningstoppar.

Från kraftsynpunkt är det förmånligast om älven är fullständigt avtrappad, dvs om varje kraftverk i älven dämmer in all fallhöjd upp till närmast ovanföriggande kraftverk. Det innebär dels att all fallhöjd är utnyttjad, dels att korttidsregleringen kan göras genomgående, dvs att man ändrar genomströmningen vid kraftverken praktiskt taget samtidigt. Det ger utslag i magasinet ovanför det översta verket och i älven nedanför det nedersta, men i alla mellanliggande magasin slipper man i allmänhet vattenståndsändringar av någon betydelse. Man släpper hela tiden ut lika mycket vatten som rinner till, och det är bara genomströmningshastigheten som varierar. I smala och långa älvmagasin uppkommer dock vissa vattenståndsvariationer i samband med den genomgående korttidsregleringen. För att man skall kunna korttidsreglera fordras det att kraftverkets maximala kapacitet ligger väl över den genomsnittliga elproduktionen. Man brukar säga att ett sådant verk har en hög effektutbyggnad.

En effektutbyggnad ökar i allmänhet inte de totalt utvunna energimängderna — där sätts gränsen av det sammanlagda vattenflödet i älven under ett år. Huvudsyftet är att få bättre totalekonomi i hela elnätet genom att kunna klara belastningstopparna utan att behöva sätta in dyrare produktions sätt, t ex gasturbiner. Förutsättningen för en effektutbyggnad är inte bara goda korttidsregleringsmöjligheter utan även en väl årsreglerad vattenföring.

En speciell form av effektutbyggnad är pumpkraftverket. Det producerar dock inte energi utan lagrar den, med vissa förluster, så att hög effekt kan tas ut då efterfrågan är stor. Ett pumpkraftverk har två magasin — i regel med nivåskillnader på upp till flera hundra meter. Under dagtid då kraftbehovet är stort töms det övre magasinet. Under nätter och helger då elenergi finns i överskott pumpas vattnet tillbaka till det övre magasinet. I kraftstationen används då generatoren som motor och turbinen får arbeta som pump. Exempel på pumpkraftverk i Sverige är Letten vid Klarälven och Juktans kraftstation i Umeälven.

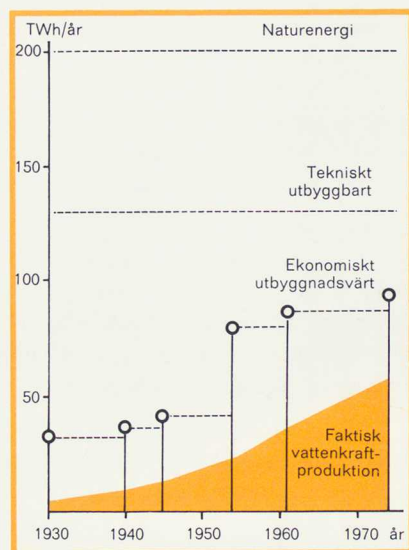
Möjligheter till en omfattande korttidsreglering gör det för övrigt avsevärt lättare att på sikt passa in ev vindkraftverk i elnätet. Elproduktionen från dessa kan variera starkt beroende på vindförhållandena.

Vattenkrafttillgångar

Avrinningen i alla Sveriges vattendrag motsvarar under ett normalår en energimängd av ca 200 TWh. Den tekniskt utbyggbara vattenkraften har överslagsmässigt bedömts till 130 TWh i årlig produktion. En allt större del av den tekniskt utbyggbara vattenkraften har enligt kraftindustrins bedömningar också blivit ekonomiskt utbyggnadsvärd. Det hänger främst samman med ökad efterfrågan på elenergi, teknisk utveckling och rationaliseringar inom såväl elöverförings- som vattenbyggnadssektorn samt — under de senaste åren — kraftigt ökade kostnader för andra energikällor som olja och kärnkraft. Denna utveckling har bl a inneburit att även mindre vattendrag och fallhöjder blivit intressanta för utbyggnad. För närvarande pågår ett utvecklingsarbete som syftar till att ta fram automatiskt styrda, standardiserade småaggregat. Försöksverksamhet med ett antal prototypanläggningar planeras i vissa vattendrag.

Enligt kraftindustrins senaste bedömning, som gjordes 1974, uppgår de ekonomiskt utbyggnadsvärda vattenkraftresurserna till totalt 95 TWh.

Det är tre gånger mer än vad man ansåg vara värt att bygga ut 1930 (se figur 14). Av dessa 95 TWh har 60 TWh redan utnyttjats. Därtill kommer ca 1 TWh i beslutade anläggningar som ännu inte har tagits i drift. De återstående utbyggnadsvärda vattenkraftresurserna är alltså ca 34 TWh. Möjligen kommer denna siffra att fortsätta stiga i takt med stigande priser på andra energislag.



Figur 14. Ekonomiskt utbyggnadsvärd vattenkraft enligt kraftindustrins bedömningar.

Källa: Vattenkraft och miljö 3 (SOU 1976:28).

Vattenkraften svarar i dag för omkring tre fjärdedelar av elkraftförsörjningen. Den helt övervägande delen kommer från Norrland och nordligaste Svealand (se tabell 8). Mindre än en tiondel kommer från området söder om Klarälven — Dalälven. Av de utbyggnadsvärda tillgångarna ligger på sin höjd ett par procent söder om Klarälven — Dalälven.

Tabell 8 De största energiproducerande älvarna 1974

	TWh/år	procent
Lule älv	12,7	22
Ångermanälven	10,3	18
Indalsälven	9,0	16
Ume älv	7,0	12
Dalälven	4,0	7
Skellefte älv	3,5	6
Ljusnan	3,1	5
Klarälven	1,6	3
Ljungan	1,5	3
Göta älv	1,3	2
Summa	54,0	94
Övriga älvar	3,3	6
Totalt	57,3	100

Olja

Olja är det fossila bränsle vars hantering torde vara mest allmänt känd i Sverige. Därför har vi valt att börja med olja vid beskrivningen av de tekniska processerna vid användning av fossila bränslen.

Petroleum, eller råolja, är en blandning av olika kemiska föreningar mellan huvudsakligen kol, väte och svavel med spår av vanadin, nickel och andra ämnen. Hundratals föreningar förekommer, alltifrån gaser som metan och etan till fast asfalt.

Råoljan utvinns genom borrhning till lands eller till havs. I raffinaderier framställs sedan de många olika slutprodukterna, t ex gasol, bensin och eldningsolja. Olja och oljeprodukter är också en viktig råvara för den petrokemiska industrin. Olika led i oljans processkedja belyses översiktligt i figur 15.

Oljeutvinning

Vid oljeletning söker man med olika metoder, t ex flygfotografering, magnetiska och seismiska metoder, efter veck i sedimentär berggrund. I en del, men långt ifrån alla, finns olja samlad.

Berggrundens egenskaper och eventuell oljeförekomst måste undersökas genom provborrning. Efter upptäckten av olja borrar ofta flera hål för att man skall kunna fastställa förekomstens läge mer exakt. Oljeborrning utförs till lands, i sjöar och på havets kontinentalhyllor tiotals mil utanför kusten. Oljekällan förses sedan med oljeproduktionsutrustning, rör, pumpar, vatten- och gasavskiljare och lagringsanläggningar. Vid oljeutvinning till havs, t ex i Nordsjön, är kostnaderna betydligt högre än till lands. Särskilda produktionsplattformar byggs i betong eller stål. Från dem leds oljan i rörledningar på havsbotten till mottagningsanläggningar på land. Oljeutvinning till havs blir därför mycket kapitalkrävande. Investeringskostnaderna för oljeproduktionen i Nordsjön är minst 25 gånger större per m³ olja än de i Mellersta Östern.

Det ständiga spillet runt en oljeborringsplattform uppgår till ca fem procent av allt oljespill ute till havs. Först och främst drabbas de känsliga kustområdena. Havsbotten är ett annat offer för oljespillet. Förstörda bottnar anses vara en anledning till det försämrade fisket i Kaspiska havet. På botten ligger lager av asfaltliknande bildningar till följd av långvarig oljeutvinning.

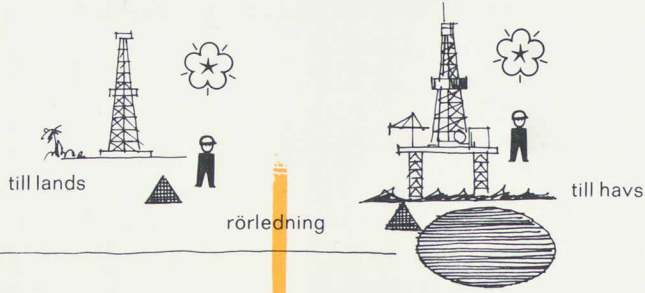
Den andra stora faran vid oljeutvinning till havs är risken för en sk blow-

Hur oljan bildades

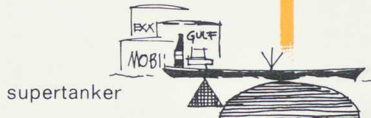
4

Oljan återfinns i anslutning till sk sedimentära bergarter. Under årmiljonernas lopp har dött organiskt material, till stor del primitiva organismer som plankton, avlagrats på sjö- och havsbotten tillsammans med rester från berggrunderna som isar, vindar, regn och vattenströmmar fört med sig. När vattnet inte innehållit tillräckligt mycket syre för att bryta ned det organiska materialet har detta i stället lagrats i skikten och till slut under det höga trycket omvandlats till olja. Denna har sedan sakta samlats i fickor i de sedimentära bergarterna.

Oljeutvinning



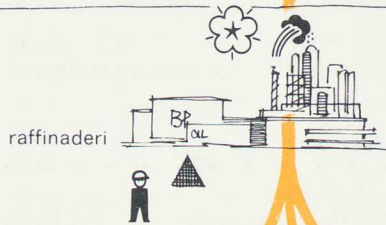
Råoljetransport



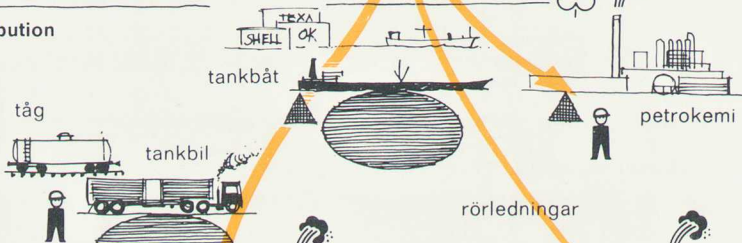
Symbolförklaringar:

- utsläpp av luftföroreningar
- risk för stora olyckor med luftföroreningar
- särskilda arbetsskyddsproblem
- oljespill
- risk för stor olycka med betydande oljeutsläpp

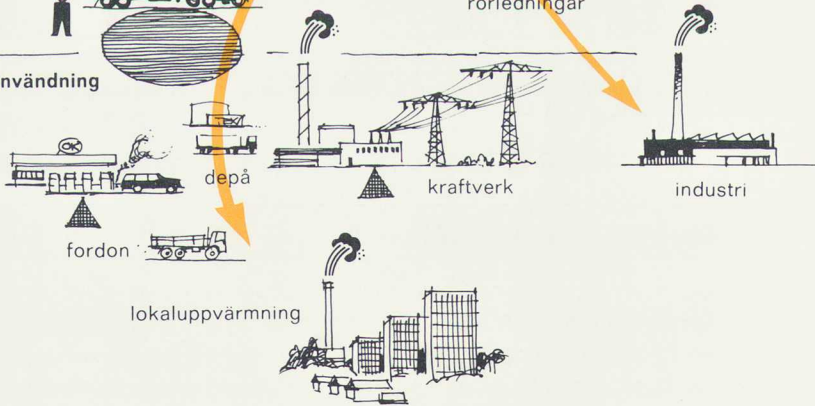
Raffinering



Distribution



Slutanvändning



Figur 15. Oljans processkedja. I Sverige förekommer samtliga processled utom själva utvinningen.

out, en explosionsartad utblåsning av gas och olja som beror på högt tryck i oljekällan. Den allvarligaste olyckan hittills inträffade vid Santa Barbara i USA 1969 då uppskattningsvis 300 000 m³ olja strömmade ut i havet. Det tog flera månader att hejda det okontrollerade oljeutflödet. För att undvika blowout förses borrhålen med säkerhetsventiler under havsbotten.

Under våren 1977 inträffade en blowout i Nordsjön. Enligt en redovisning i norska stortinget läckte sammanlagt drygt 20 000 ton olja ut under loppet av tio dygn.

Transport och lagring

Råoljan pumpas genom rörledningar från oljefältet till utlastningshamnen och fraktas sedan med tankfartyg till olika raffinaderier.

Tankbåtstrafiken orsakar omkring hälften av allt oljespill, framför allt på grund av tömning av ballastvatten. Dessutom förekommer spill i samband med lastning och lossning av tankbåtar. Arbete för att minska dessa utsläpp pågår. Vid haverier med tankfartyg kommer ofta hela eller delar av oljelasten ut i havet. Resurser för bekämpning av olja finns, men det är mycket svårt att fånga in stora oljemängder. Oljan från fartygshaverier kan därför åstadkomma stora skador på stränder och i vatten.

Oljetransporter till olika förbrukare sker med fartyg, tankbilar, järnvägsagnar och rörledningar. Vid landtransporter kan olja genom tekniska fel eller trafikolyckor rinna ut och tränga ner i marken och förorena grundvatten. Vid fyllning och tömning av tankbilar kan oavsiktliga spill förekomma. Utsläpp i eller intill sjöar, vattendrag och grusåsar medför de största problemen. Vid cisternlagring av olja kan allvarliga vattenföroreningar uppstå på grund av spill och läckage av olja.

För att hindra eventuellt oljespill, och för att stoppa spridning av det, invallar man upplagringsplatserna och gör marken där hård och ogenomtränglig. Vid vissa raffinaderier lagras råolja och oljeprodukter i oinklädda berggrum som sprängts ut under lägsta grundvattennivå. Det omgivande grundvattnet hindrar oljan, som förvaras på en grundvattenbädd, att tränga ut. Det grundvatten som läcker in förorenas av olja och måste renas före utsläpp. Vid lagring av råolja i cisterner eller berggrum avdunstar dessutom kolväten.

Raffinering

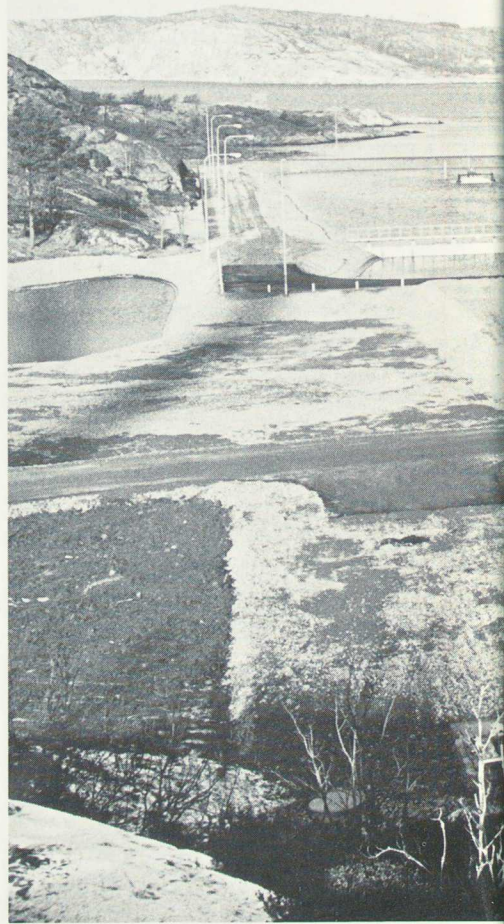
Raffinering av olja börjar med destillation för att dela upp den i olika fraktioner, dvs blandningar av kolväten som kokar vid olika temperatur. Dessa olika fraktioner renas och omvandlas sedan ytterligare. Slutligen blandas de till olika produkter som gas, bensin, fotogen och dieselolja samt tunna och tjocka eldningsoljor.

I Sverige finns fyra större oljeraffinaderier med en sammanlagd kapacitet på ca 22 miljoner ton råolja per år. Vid ett vanligt europeiskt raffinaderi ger råolja ca 20 procent bensin, ca 30 procent fotogen, dieselolja och tunna eldningsoljor samt drygt 40 procent tjocka eldningsoljor. Förlusterna — främst bränsle för driften — uppgår till 3—7 procent.

Vid ett raffinaderi finns, förutom processanläggningar, även omfattande

Figur 16. Del av oljeraffinaderiet Scanraff vid Brofjorden, Lysekil. Anläggningen kan raffinera omkring 9 miljoner ton råolja per år.

Foto: Scanraff/OK

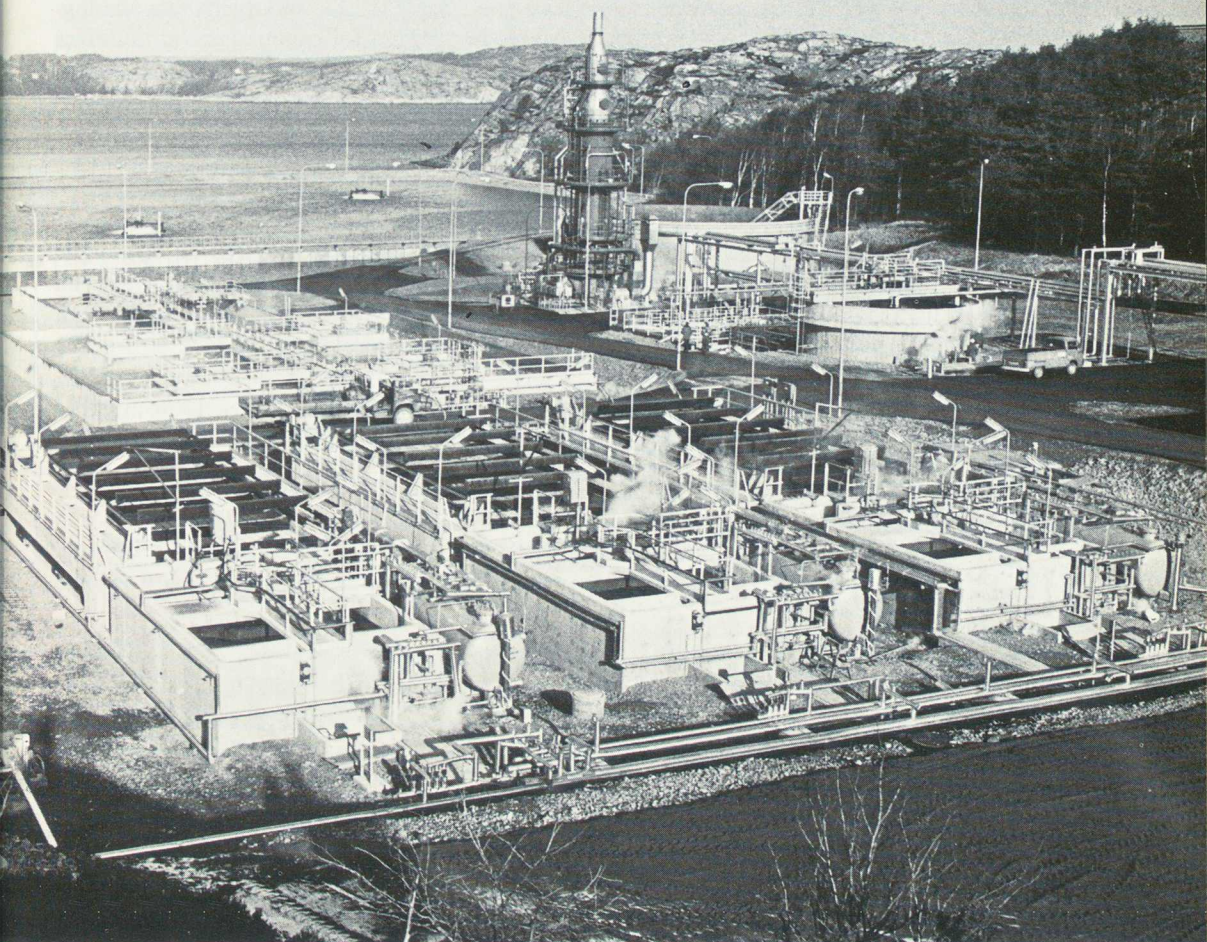


lagringsanläggningar för råolja och produkter. Ett raffinaderi kräver ett markområde på omkring två km², och dessutom tillkommer ett skyddsområde på omkring tio km².

Utsläppen till luften från ett raffinaderi utgörs av svaveldioxid, kolväten och luktande ämnen, koldioxid, sot, stoft och kväveoxider.

Svaveldioxid, sot, stoft och kvävedioxid kommer till största delen från de bränslen raffinaderiet använder för att få energi till processerna. Svenska oljeraffinaderier släppte under 1975 ut ca 19 000 ton svaveldioxid och ca 4 500 ton kväveoxider. Från processenheterna och lagringstankarna kommer kolväten och illaluktande ämnen. Avdunstningen av kolväten är 0,2–0,4 kg per ton raffinerad råolja.

Också utsläpp som förorenar vattnet sker från ett oljeraffinaderi. Trots långtgående rening kvarstår rester av olja, fenoler och organiska svavel- och kväveföreningar. Oorganiska föreningar — t ex ammoniak, cyanider



och oorganiska svavelföreningar — kan dessutom släppas ut. I utsläppen förekommer också dels mindre mängder av olika metaller som härstammar från råoljan, dels förbrukade katalysatorer och hjälpkemikalier. Man måste även räkna med spill av olja vid lossning och lastning.

Förbränning av olja och oljeprodukter

Oljeprodukterna används i olika typer av förbränningsanläggningar, t ex gasolkök, villapannor, större fastighetspannor, värmeverk, kraftverk och olika industriella processer. Dessutom används bensin och dieselolja för fordonsdrift.

Alla typer av förbränningsanläggningar ger luftförorenande utsläpp — i vilken grad så sker beror på bränslets kvalitet, typ av anläggning, reningsutrustning etc. (Se faktaruta 5 på s 72.) Bilavgaser ger hälften av alla luftförorenande utsläpp i Sverige. Bilarna släpper främst ut koldi-

oxid, koloxid, kväveoxider, kolväten och bly. Av de omkring 800 000 ton svaveldioxid som släpps ut i Sverige varje år svarar oljeeldningen för ca 600 000 ton. Enligt riksdagsbeslut skall svaveldioxidutsläppen minskas till samma nivå som i början av 50-talet, dvs till ca 400 000 ton.

Utsläppen ger olika hälsorisker och miljöeffekter, t ex vegetationsskador, försurning och klimatpåverkan. Olika föroreningar har även olika skadlighet — därför är en jämförelse av de totala utsläppsmängderna av olika ämnen inte helt meningsfull. Vilka effekterna blir bestäms, förutom av utsläppens storlek, även av bl a spridningsförhållanden och anläggningarnas lokalisering.

Kraftverk

I faktarutan på s 74 beskrivs hur ett oljeeldat kraftverk är uppbyggt och fungerar. Ett sådant kraftverk som ger 1 000 MW elektrisk effekt och alstrar 6 TWh elenergi under ett år släpper ut ca 30 000 ton svaveldioxid, om man eldar lågsvavlig olja utan rökgasrening. (Se faktaruta 7, s 77.) Dessutom släpper ett sådant verk ut omkring 700 ton stoft, 10 000—20 000 ton kväveoxider, 5—50 kg bens(a)pyren, ca 100 ton tung-

Förbränning

Förbränning i en flamma eller låga innebär att den kemiska energi som finns bunden i ett bränsle omvandlas till värme och till ljus- och värme-strålning.

Vid förbränning av t ex vanlig eldningsolja oxideras oljans kol och väte med hjälp av syre till koldioxid och vatten. Den kemiska bindningsenergin i de olika kolväteföreningar som oljan består av frigörs då i form av värme och ljus. Genom ofullständig förbränning bildas föroreningar som sot, koloxid och delvis förbrända kolväten. Oljans innehåll av andra ämnen — t ex svavel, aska och metaller — ger föroreningar som svaveldioxid, stoft och tungmetallhaltiga partikelutsläpp. Dessutom bildas kväveoxider eller nitroxa gaser när förbränningsluftens syre och kväve vid höga temperaturer reagerar med varandra.

Det finns ett stort antal olika typer av oljebrännare. Som regel finförde-las oljan först, för att sedan blandas med luft. Den vanligaste brännarty-pen finfördelar oljan genom att pressa ut den genom ett munstycke. Även tryckluft och centrifugalkraft kan användas vid finfördelningen. Centri-fugalkraften utnyttjas i s k rotationsbrännare genom att oljan slungas ut från en roterande kopp. För att allt bränsle skall utnyttjas vid förbrän-ningen tillför man något mer luft än som teoretiskt är nödvändigt. Man försöker dock begränsa luftöverskottet så mycket som möjligt för att inte värmeförlusterna via rökgasen skall bli så stora. Å andra sidan kan ett alltför litet luftöverskott leda till ofullständig förbränning och sotbild-ning.

Även kväveoxidutsläppen är beroende av förbränningstekniska faktorer — bl a förbränningsrummets utformning. Utsläpp av andra föroreningar beror i första hand på bränslets kvalitet. Utsläpp av luftföroreningar från olika typer av oljeeldade anläggningar och bilar framgår av följande ta-bell.

metaller och ca 5 miljoner ton koldioxid. Ca 500 ton sot och aska kommer från panna och filter.

Om ett sådant kraftverk kompletterat med elektrofilter och rökgasavsvavling bränner högsvavlig olja minskar svavelutsläppen till ca 10 000 ton och metallutsläppen troligen till något eller några ton. I stället får man ca 300 000 ton slam som innehåller gips, kalk, sot och andra föroreningar uppslammade i vatten.

Om kraftverket enbart producerar el (ett s k kondenskraftverk) måste dessutom stora energimängder kylas bort — oavsett vilket bränsle som används. Vid ett oljeeldat kondenskraftverk på 1 000 MW elektrisk effekt får man en temperaturhöjning på 10° C vid ett kylvattenflöde av 33 m³ per sekund.

Dessa beräkningar baseras på dagens teknik. I framtiden kan ny teknik komma att minska utsläppen. Ändrad förbränningsteknik och bättre filter kan troligen minska utsläppen av kväveoxider och partikelbundna metaller med åtminstone 50 procent jämfört med i dag. Enligt uppgift pågår i Japan utveckling av processer som kan rena utsläppen med 80—90 procent. Någon ytterligare minskning av svaveldioxidutsläppen jämfört

Utsläpp från olika källor per ton bränsle

	Svavel- dioxid kg	Kväve- oxider kg	Stoft kg	Kol- oxid kg	Kol- väten kg	Tung- metaller gram	Bens(a) pyren milligram
Tjockoljeeldade anläggningar < 100 MW bränsle- effekt	20(50) ^a	5	1,5	0,50	0,40	72	4—35
Tunnoljeeldade anläggningar	6(10) ^a	5	0,3	0,70	0,40	1,2	—
Personbilar, bensin							
—70 års modell	0,6	20	1,1	275	35	300 ^b	110
71—75 års modell	0,6	20	1,1	230	23	300 ^b	110
76— års modell	0,6	11	1,1	130	15	300 ^b	110
Personbilar, diesel	6(10) ^a	7,5	6,5	22	6,5	1,2	80
Bussar och last- bilar, diesel	6(10) ^a	36	6,5	33	6,5	1,2	80

^aGäller utan begränsning av svavelhalt i eldningsolja.

^bTungmetallutsläpp från personbilar förekommer främst som bly och är beräknade med nuvarande blyhalter i bensin.

med rökgasavsvavling kommer antagligen inte att kunna göras före 1990. Däremot är det sannolikt att sk återvinningsprocesser för rökgasavsvavling kan utvecklas, vilket minskar slamproduktionen. Metoder för att avsvavla olja och rökgaser behandlas mer i detalj på s 75.

Bilar

Avgasutsläpp från bilar redovisas närmare i faktaruta 8 på s 78. Trots ett omfattande forsknings- och utvecklingsarbete finns i dag inte några framdrivningsmetoder för bilar som är konkurrenskraftiga med oljeprodukterna bensin och dieselolja. Därför måste man räkna med att bränsleförbrukningen för fordonsparken ökar i takt med trafikens utveckling, även om en övergång till mindre bilar kan effektivisera transportererna något. Vissa bestämmelser om avgasrening på främst bensindrivna bilar finns i Sverige, men ännu har de inte slagit igenom helt i praktiken. Förbättrad avgas-

Kraftverk

Kärnkraftverken och de kol- eller oljeeldade kraftverken skiljer sig i princip från varandra bara genom att de använder olika källor för att alstra värmeenergi. I båda fallen driver vattenånga en turbin som är kopplad till en elgenerator.

Ångans användning för omvandling av värmeenergi till mekanisk energi har varit känd i över 2 000 år. Kolvångmaskinen blev en viktig kraftkälla under 1700-talet, men det var inte förrän i slutet av 1800-talet som ångturbinen blev praktiskt användbar. I alla moderna värmekraftverk används ångturbiner.

I ett oljeeldat kraftverk (se figur) tas oljan in från tankfartyg via en hamn till oljeförrådet, som kan bestå av bergrum eller cisterner ovan jord. Oljan pumpas vidare in till pannan där den förbränns i ett flertal brännare. Det mesta av den utvecklade värmeenergin fångas upp i pannans olika tubsystem. Tuberna är fyllda med vatten som kokar och förångas. Ångan värms ytterligare för att öka verkningsgraden och får sedan driva en turbin. Denna driver i sin tur en elgenerator.

Turbinen kan inte omvandla ångans hela energi — en stor del måste kylas bort i en kondensor. Där kyls ångan åter till vatten som går tillbaka till pannan för att värmas på nytt. Kylmedlet i ett kondenskraftverk är oftast havsvatten. På sin väg genom kondensorn höjs kylvattnets temperatur med ca 10°C. Det går också att använda särskilt kylvatten som i sin tur kyls med luft i stora kyltorn. Kylvattnet kan också avledas till slutna kylsjöar. I ett kraftvärmeverk låter man kylvattnet cirkulera i ett slutet system. Vanligast är ett fjärrvärmesystem för uppvärmningsändamål. Man brukar då konstruera turbin och kondensor så att vattnet i fjärrvärmesystemet kan värmas till drygt 100°C.

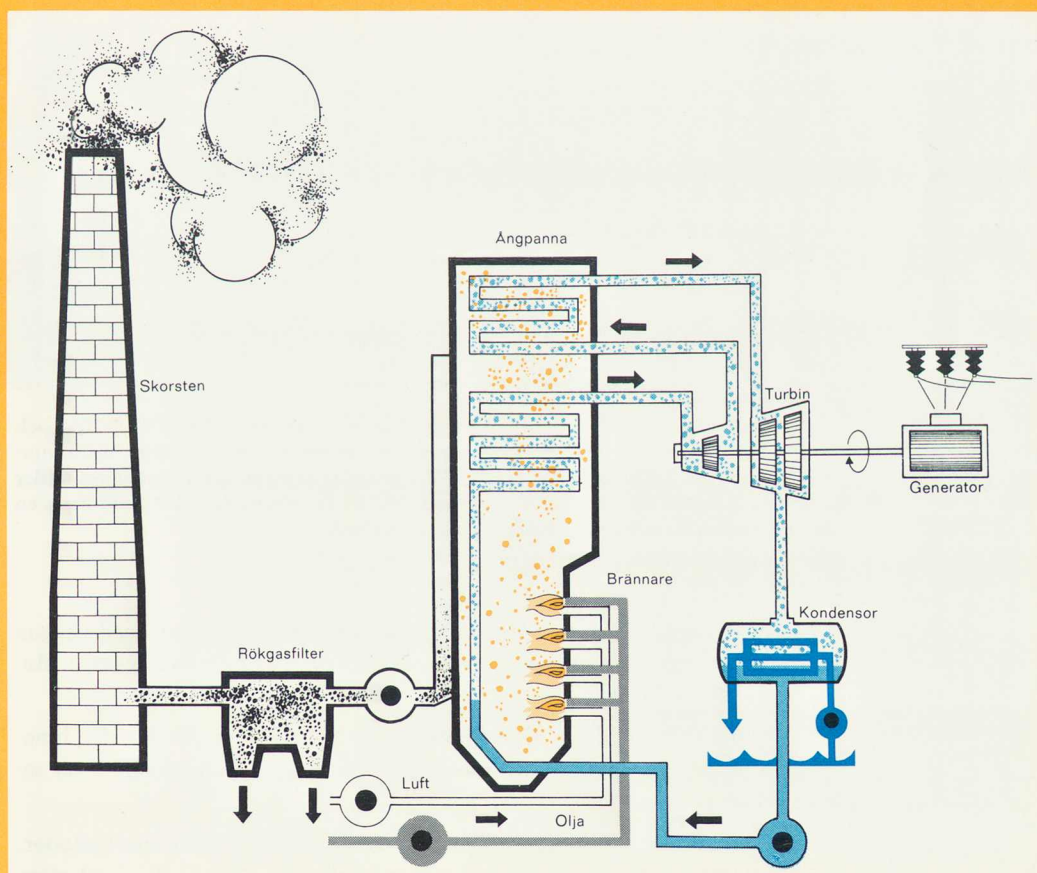
Ett oljeeldat kondenskraftverk kan i bästa fall omvandla 40 procent av den energi, som tillförts med olja, till elenergi. Resten avgår som värme, till största delen med kylvattnet och i viss mån med rökgaserna. Vid ett kraftvärmeverk utnyttjas hela 80 procent av oljans energi, även om förlusterna i fjärrvärmesystemet räknas bort från den nyttiga effekten.

rening kan bara införas på helt nya bilar, varför det tar omkring 15 år innan alla bilar har fått utrustning för avgasrening. Bilavgasutsläppen torde inte minska nämnvärt fram till år 1985, trots skärpta avgasreningskrav. Orsaken är givetvis att man med nuvarande utveckling kan förvänta sig fler bilar. Ny avgasreningsteknik som kan minska utsläppen ytterligare, s k katalytisk efterförbränning, finns tillgänglig, men den ställer särskilda krav på blyfritt bränsle och är dyrbarare än de system som tillämpas i Sverige i dag.

Avsvavling av olja och rökgaser

För att minska svaveldioxidutsläppen från oljeeldning kan man antingen avlägsna svavlet direkt ur oljan eller ur rökgaserna efter förbränningen.

Avsvavlingen av tunn eldningsolja, som används i villapannor, görs med



Principskiss av ett oljeeldat kondenskraftaggregat



Figur 17. Uppsala kraftvärmeverk. Verket har en kapacitet av 200 MW eleffekt och 315 MW värmeeffekt. Den senare motsvarar värmebehovet för drygt 40 000 normallägenheter. Av hänsyn till stadsbilden är anläggningen delvis nedsänkt under markplanet. Den 100 m höga skorstenen med 10 st rökgaspipor betjänar även en hetvattencentral och en sopförbränningsanläggning.

Foto: Uppsala Kraftvärme AB

känd och beprövad teknik. Vid raffineringen behandlas oljan med vätgas vid hög temperatur och högt tryck och i närvaro av en katalysator. Resultatet blir en eldningsolja med en svavelhalt under 0,3 procent.

Den tjocka eldningsoljan är svårare att rena, främst därför att den innehåller metaller och asfalt. En fullt användbar teknik finns dock i bruk sedan slutet av sextiotalet.

Svavelhalten i tjockolja kan minskas med direkta eller indirekta metoder. Den direkta metoden innebär att hela mängden olja behandlas i ett steg. Den indirekta avsvavlingen sker i två eller flera steg. I det första uppdelas tjockoljan i ett destillat och en återstodsolja, i det andra avsvavlas

Föroreningsutsläpp från ett oljeeldat kraftverk 7

För beräkning av utsläpp från oljeeldade kraftverk har naturvårdsverkets experter antagit två alternativ, ett med både stoftavskiljning och rökgasavsvavling och ett utan rening. I alternativet utan rening används lågsvavlig olja i enlighet med nu gällande bestämmelser. Följande tekniska huvuddata och föroreningsutsläpp gäller för de båda alternativen, enligt beräkningarna i bilaga.

Tekniska huvuddata

Anläggningsstorlek	1 000 MW	elektrisk effekt
Drifttid	6 000 timmar/år	
Elkraftproduktion	6 TWh/år	
Total verkningsgrad	38%	
Tillförd bränsleeffekt	2 630 MW	
Årsförbrukning av eldningsolja	1 415 000 ton	
Halt tungmetaller i olja	72 gram/ton	
härav: vanadin	49 gram/ton	
nickel	15 gram/ton	

	Alternativ med elektrofilter och rökgasavsvavling	Alternativ utan rening
Svavelhalt i olja	3,5%	1,0%
Avsvavlingsgrad	90%	—

Utsläpp av föroreningar per år

Svaveldioxid	10 000 ton	28 000 ton
Stoft	180—480 ton	675 ton
Kväveoxider	10 000—20 000 ton ^a	10 000—20 000 ton ^a
Koldioxid	4,8 milj ton	4,8 milj ton
Tungmetaller (främst vanadin och nickel)	mindre än 5 ton ^b	ca 100 ton
Bens(a)pyren	4—40 kg ^c	5—50 kg ^c

Avfall per år

Slam från rökgasavsvavling	300 000 ton	—
Sot och aska från panna och filter	500 ton	500 ton

Kylvatten 33 m³ per sekund vid 10°C temperaturhöjning

^aSiffrorna återspeglar att idag tillgänglig teknik medger att utsläppen av kväveoxider kan halveras jämfört med vad som anges i bilaga.

^bNaturvårdsverkets experter har antagit 95% avskiljningsgrad i elfilter. I dag tillgänglig teknik medger högre avskiljningsgrad.

^cOsäkerheten om utsläppen av bens(a)pyren är stor (jfr kol)

destillatet. En ytterligare uppdelning kan göras genom rening eller för-gasning av den tjockaste delen. Direktavsvavlingen av tjock eldningsolja är effektivast och ger oljan en svavelhalt under en procent.

För att man skall komma under en procent svavel i tjockolja efter indirekt avsvavling fordras att man tillsätter lågsavvlig olja.

Vid Scanraff i Lysekil produceras 2,7 miljoner ton lågsavvlig tjockolja per år. Det sker med hjälp av indirekt avsvavling och en 20-procentig tillsats av lågsavvlig olja.

Rökgaser kan avsvavlas, varvid man antingen får en säljbar produkt eller ett värdelöst avfall. Säljbara produkter är rent svavel, koncentrerad svaveldioxid, svavelsyra och gödselmedel. Över 100 olika processer för avsvavling av rökgaser är kända, men bara ett fåtal av dem har kommit till användning i större skala. De flesta av de prövade metoderna producerar avfall. Vanligast är att rökgaserna tvättas ("skrubbas") i en uppslamning av kalk eller kalksten i vatten. Avfallet består av slam med omkring 50 procent vattenhalt. Det innehåller en blandning av kalciumsulfat och sulfid, oförbrukad kalk och föroreningar från förbränningen. En del processer ger ett torrt avfall.

Tekniken att förbränna olja och kol i s k svävbädd är under vidareutveckling. Metoden innebär dels effektivare förbränning, dels möjligheter att avlägsna svavlet i samband med själva förbränningen. Metoden kan därför, åtminstone vid vissa anläggningar, bli ett alternativ till avsvavlingen av bränsle och rökgaser. Innan processen blir fullt användbar kvarstår

Avgasutsläpp från bilar

8

I bilmotorer förbränns bränslet — bensin eller dieselolja — hastigt vid högt tryck och hög temperatur. Dieselmotorn skiljer sig från bensinmotorn genom att högre tryck och temperatur ger självantändning av bränslet i stället för ett tändsystem. Dieselmotorn arbetar också med luftöverskott, till skillnad från bensinmotorn som har luftunderskott och därmed sämre förbränning och verkningsgrad.

Utsläppen av avgaser från olika bilar framgår av tabellen i faktaruta 5 på s 73. Om man använder prognoserna från energiprognosutredningen och Industrins utredningsinstitut för bilbeståndets utveckling, får man följande totala utsläpp från alla fordon i landet:

Utsläpp från motorfordon i Sverige år 1975 och 1985 (ton/år)

	1975	1985
Koloxid	1 102 000	1 023 000
Kolväten	173 000	106 000
Bens(a)pyren	0,5	0,6
Kväveoxider	164 000	161 000
Svaveldioxid	15 000	17 500
Bly	1 300 ^a	2 200 ^a

^aVid nuvarande blyhalt i bensin (0,4 gram per liter).

vissa problem med kemikalieförbrukningen och avfallet. Man räknar med att metoden skall kunna användas i stora anläggningar först omkring år 1990.

Den mest önskvärda biprodukten från avsvavlingen är svavel i ren form. Den uppkommer när man avsvavlar olja och — vid vissa processer — rökgaser. Världskonsumtionen av svavel har ökat kraftigt de senaste årtiondena. Trots det har produktionen överstigit efterfrågan — följderna har blivit lägre priser. Ett intensivt utvecklingsarbete pågår, och nya användningsområden för svavel kommer antagligen att skapas. Om det trots allt skulle visa sig nödvändigt att i stället för att utnyttja svavlet förvara det, så innebär detta stora större miljöproblem.

Om man använder kalk- eller kalkstensmetoden för att avsvavla rökgaserna, får man ca 270 kg avfallsslam per ton olja. Vattenhalten är omkring 50 procent. Förvaringen av detta avfall skapar problem både inom och utanför förvaringsplatserna. Allt regnvatten måste samlas in och renas. Avfallet är instabilt men kan fixeras genom inblandning av byggnadsavfall så att ytan åtminstone kan göras körbar.

Naturgas

Naturgas förekommer ofta i naturen tillsammans med olja och avskils i samband med utvinningen. Vidare finns förekomster av enbart naturgas.

Naturgasens sammansättning varierar. Kolvätet metan utgör ca 90 procent av den totala mängden i naturgas, resten består av andra kolväten — t ex etan, propan och butan. Ämnena helium, kväve, koldioxid, argon, vattenånga och svavelväte kan också förekomma.

Naturgasen renas som regel från svavelföreningar redan vid utvinningen och kan alltså betraktas som svavelfri. Till konsumenterna distribueras den i allmänhet via rörledningar. I Sovjet, Europa och Nordamerika finns stora rörledningssystem för naturgas. Sverige har hittills inte anknutits till något sådant naturgasnät.

Världens totala resurser av naturgas beräknas uppgå till 72 000 miljarder m³, motsvarande ca 62 miljarder ton eldningsolja. Därav finns 43 procent i USA. Naturgasen svarar för ca 20 procent av världens energiförsörjning.

Transport och lagring

Ett rörtransportsystem för naturgas består av rörledningssystem, reducer-, mät- och kompressorstationer samt centraler för driftkontroll. Det är främst kompressorstationerna som kan ge upphov till miljöstörningar, bl a bullerproblem.

Om rörledningarna läggs ovan jord innebär det stora ingrepp i naturen. Därför bör de i stället grävas ned under marken eller läggas i diken och samordnas med vägar, kraftledningar och järnvägar.

Naturgasen kan överföras från gasform till vätskeform, s k LNG (liquefied natural gas). Det sker genom nedkylning till -162°C . I form av LNG kan gasen transporteras med fartyg. Ett läckage från en LNG-tanker efter en kollision eller hård grundstötning skulle kunna innebära allvarliga risker. Vid kontakt med vatten kokar LNG mycket snabbt och bildar ett

gasmoln. Under vissa betingelser kan själva förångningen ske explosionsartat utan att gasen därför antänds. Gasen är emellertid lättantändlig och kan ge upphov till omfattande bränder och i vissa fall explosioner.

Naturgas kan lagras i gasform eller som vätska (LNG). I vätskeform kan den lagras i cisterner och i håligheter i marken, som täckts med gastätt tak. Hålrummen görs gastäta genom nedfrysning av omgivande mark.

Man kan lagra naturgasen i gasform i stor skala bara när geologiskt bildade reservoarer i underjorden kan utnyttjas. Metoden har med framgång använts i utlandet under många år, men den är inte aktuell i Sverige.

Förbränning av naturgas

Den renade gasen har praktiskt taget ingen lukt. Den innehåller i allmänhet inte heller några starkt giftiga beståndsdelar. Att den naturgas som distribueras till konsumenterna luktar beror på att man tillsätter små mängder starkt luktvande ämnen för att lättare kunna upptäcka läckage.

Den största faran vid ett gasläckage är brand- och explosionsrisken. Därför måste säkerheten ägnas stor omsorg — såväl hos transport- och lagringssystem som hos distributionsnäten och konsumenternas anläggningar.

Skulle det uppstå ett läckage av naturgas, skingras gasen snabbt i luften utan att lämna några restprodukter på mark eller i vatten. Det innebär en stor fördel från vattenvårdssynpunkt jämfört med olja.

För en årsproduktion om 6 TWh elektrisk energi släpper ett kraftverk på 1000 MW, eldat med naturgas, ut ca 14 ton svaveldioxid, 3 000—8 000 ton kväveoxider och ca 300 ton stoft. Naturgasen ger alltså väsentligt mindre luftföroreningar än t ex kol och olja.

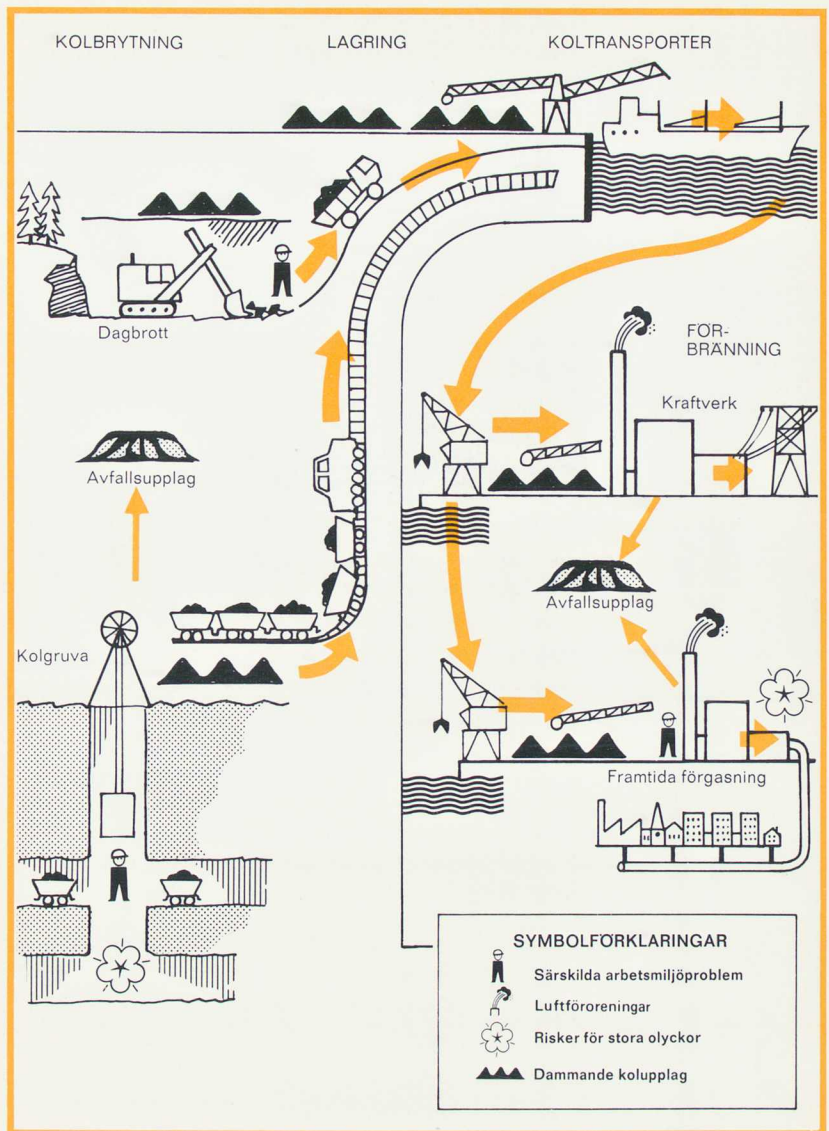
Kol

Bränslet kol består till största delen av grundämnet kol, men innehåller dessutom en lång rad andra ämnen som kolväten, mineraler, svavel och vatten. Kolet utvinns genom brytning i gruvor under jord eller i dagbrott. Efter sortering och rensning transporteras kolet med specialbyggda tåg eller fartyg till förbrukaren. De stora kolförbrukarna — främst kraftverk — placeras ofta i närheten av brytningen i länder med stor kolproduktion. Kol används också för en rad andra ändamål, t ex kokstillverkning och olika industriella processer. Ofta innehåller kolet så mycket aska som 10—15 procent, vilken efter förbränningen måste förvaras.

De processer som kolet måste gå igenom omfattar alltså i huvudsak utvinning, transport, lagring, förbränning och avfallshantering. Detta belyses översiktligt i figur 18.

Kolbrytning

Jämfört med de kända oljereserverna i världen är kolreserverna mycket stora. Kolförekomster finns ofta djupt nere i marken. De kolförande lagrens — kolflötsernas — tjocklek uppgår oftast till högst tre meter. Moderna kolbrytningsmaskiner river loss kolet ur flötsen med kloförsedda, rote-



Figur 18. Kolets processkedja. I Sverige kan endast processleden i högra delen av bilden bli aktuella. Det kol som för närvarande importeras används nästan uteslutande inom järn- och stålindustrin. Några kraft- och värmeverk är dock byggda så att de kan använda kol i stället för olja.

rande valsar. Samtidigt lastar de upp kolet på band eller vagn. Efter transport ur gruvan förs kolet till en rensningsanläggning där gråberg och andra föroreningar avskils. Kolet kan också torkas, sorteras och blandas innan det levereras.

Om en horisontell eller flackt stupande kolflöts inte ligger så djupt, kan kolet utvinnas genom dagbrytning. Det är vid dagbrytning som den yttre miljön påverkas mest, men man kan återskapa en ny landskapsbild om ytskiktets jordlager vårdas och läggs tillbaka. I dagbrott kan man arbeta

med stora maskiner och snabbt utvinna stora volymer kol. Vid torr väderlek och blåst blir dammbildningen besvärande.

Även underjordsbrytning har sina speciella problem. Markförskjutningar kan inträffa, och kolgruvornas länsvatten — som är surt och järnhaltigt — måste neutraliseras. För att reducera svavel- och askhalten tvättar man ibland kolet, vilket ger stora mängder förorenat vatten. Bara en mindre del av svavlet kan dock tvättas bort.

Både dagbrott och underjordsbrytning påverkar miljön genom grundvattnensänkning och avfallsupplag.

Även i de modernaste gruvorna sker underjordsbrytningen i en mycket besvärande arbetsmiljö, men stora ansträngningar görs för att förbättra säkerheten.

Transport och lagring

De flesta landtransporter av kol sker med järnväg. I de stora kolländerna har särskilda koltransportssystem med stor kapacitet utvecklats — med kolvagnar som kan lasta 60—100 ton och mer. Normalstorleken för ett kol-tåg, som lastas och lossas kontinuerligt, är 4 000—10 000 ton.

För kortare transporter har man länge använt sig av rörtransport av kol som uppslammats i vatten. På senare tid har metoden också utnyttjats för långdistanstransporter av kol.

Stenkol

9

Stenkol härstammar från urtida skogar och bildades för mellan 50 och 400 miljoner år sedan. Det är ett sammansatt ämne och kvalitetsskillnaderna mellan kol från olika gruvor är stora.

Olika slags kol har olika bakgrund. Brunkol är t ex relativt ungt och har bara delvis omvandlats, antracit är mycket äldre och har nästan helt omvandlats till rent kol.

Stenkol består till största delen av rent kol, kolväten, obrännbara mineraler (aska), svavel och vatten. Vilken sammansättning och vilka egenskaper olika kol har beror på dess tidigare historia.

Kol produceras i olika kvaliteter för olika ändamål. Användningen varierar — från enkel förbränning i olika industrier och bostäder till utnyttjande som kemisk råvara. Först och främst indelas kol i dels ångkol för förbränning, dels gaskol som omvandlas till gas eller koks. För kommersiella ändamål indelas kolet mer i detalj. Handelskol indelas i olika steg med hänsyn till askinnehållet, som kan variera från 7 till 40 procent.

Från miljösynpunkt är halten av brännbart svavel viktig. Detta är den del av den totala svavelhalten som förbränns och ger svaveldioxid i rökgasen. Den totala svavelhalten i polskt exportkol ligger på 0,6—1,2 procent. Drygt hälften av USA:s och praktiskt taget hela Australiens koltillgångar håller under en procent svavel. Halten brännbart svavel ligger i allmänhet 0,3—0,5 procent under den totala svavelhalten.

Två av världens största kolexportörer — USA och Australien — har sina utländska marknader i främst Västeuropa, Sydeuropa och Japan. Transporterna till sjöss sker med fartyg på mer än 100 000 ton. Det finns inte så många hamnar som kan ta emot större kolfartyg — bara två exporthamnar i världen kan t ex hantera fullastade 120 000-tonnare.

För koltransporter från Polen till Sverige kan man använda självlossande mindre bulkfartyg med en storlek på 5 000—15 000 ton. Sådana fartyg kan tas in i flera av Sveriges östersjöhamnar. Med självlossande fartyg behövs inga särskilda lossningsanläggningar i hamnen — men väl lagerutrymmen. I Sverige är bara hamnarna i Luleå, Gävle och Oxelösund utrustade med lossningsanordningar för kolfartyg på 25 000—70 000 ton. Dessa tre hamnar kan tillsammans klara en import av tio miljoner ton kol per år utan större investeringar. Ett nytt koleldat kraftverk skulle förmodligen behöva en egen hamn.

Kol är från miljösynpunkt en transportvänlig vara. Ett lastfartyg med kol som förliser förstör inte våra vatten eller kuster. Såväl fartyg som last sjunker till botten och verkningarna på miljön blir mycket små.

Vid lossning, lastning, transport och lagring av kol alstras ett mycket fin-kornigt koldamm som kan spridas inom anläggningen och till omgivande bebyggelse. Torrt kol är mycket besvärligare än fuktigt. Inomhusdamm kan ge yrkeshygieniska risker och stoftexplosioner. Dammspridning till omgivningen kan medföra nedsmutsning, siktnedsättning, skador på vegetation och material samt hälsorisker för människor och djur.

Mängden av damm kan begränsas på flera sätt: lastning, transport och lossning bör utföras i så slutna system som möjligt, och man kan spruta vatten över kolet, eventuellt också kemikalier. Man kan skärma av kolhögen från vinden med staket och vallar. Om man planterar buskar och träd som är motståndskraftiga mot koldamm kan dammandet minska ytterligare.

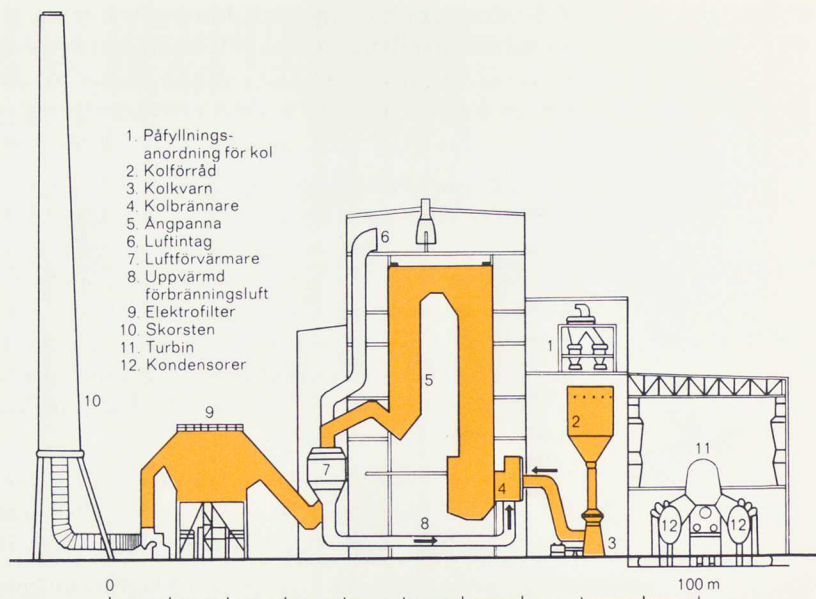
En kolhög som omsätter något eller några miljoner ton per år, och som inte utrustats med dammbegränsning, ger ifrån sig mellan 10 och 100 kg damm per timme. Kol kan inte lagras i hur höga högar som helst med tanke på risken för självantändning.

Förbränning av kol

Kol kan förbrännas på olika sätt. Det kan också torrdestilleras i koksverk och ger då koks och gas. Tidigare användes sådan gas i Sverige för spisar och värmepannor i städerna. Dessa gasverk är nu nedlagda och ersatta med oljebaserade gasverk.

Koks används som fast bränsle i kokspannor, där det fylls på kontinuerligt eller med några timmars mellanrum. Mindre pannor fylls med bränsle manuellt och måste också rensas från aska och slagg manuellt. Större pannor kan eldas med sk stoker, som för in bränslet maskinellt. Även då fordras dock viss övervakning, slaggrensning osv för att det skall fungera. En riktigt dimensionerad och skött kokspanna kan utnyttja koksens energiinnehåll till ca 80 procent. Felaktig skötsel eller olämplig koks kan minska effektiviteten flera tiotal procent.

När ett kol upphettas i pannan, avgasas det först och lämnar en återstod



Figur 19. Ett koleldat kondenskraftaggregat i genomsärning.

av koks som också förbränns. Vid förstklassig skötsel och användning av bra kol får man ungefär samma verkningsgrad som vid kokseldning, men skötseln och kolet är ofta sådana att resultatet blir sämre.

Koleldade kraftverk drivs som regel med kolpulvereldning. Det innebär att kolet krossas till pulver i kolkvarnar och sprutas in i ångpannan med hjälp av en kolbrännare. Den principiella uppbyggnaden och funktionen i övrigt liknar den för ett oljeeldat kraftverk. En översiktlig plan för hur ett koleldat kraftverk är uppbyggt finns i figur 19–20.

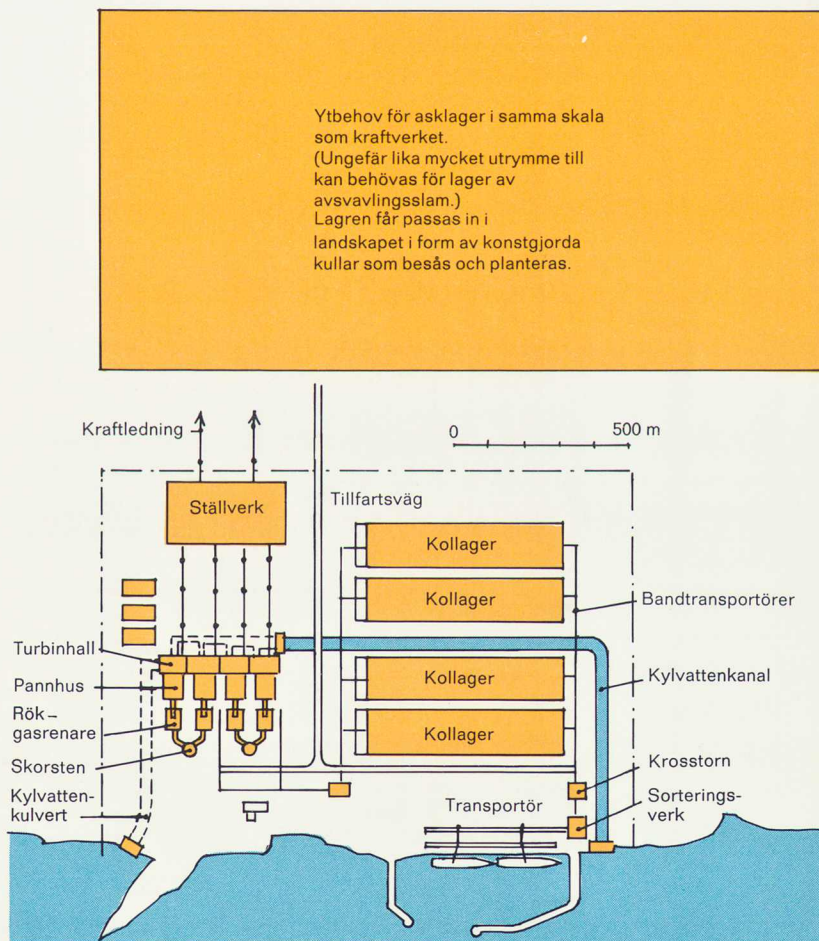
Kolet lossas från båtarna med speciella kranar och förs med transportband till sorteringsverk och krosstorn. Från krosstornet fortsätter kolet med andra transportband till kollagret på platsen. I moderna kraftverk pulveriseras kolet före förbränningen. Det sker i speciella kolkvarnar som i regel är placerade i pannhusen.

Kolkraftverk förses med effektiva stoftavskiljare, eftersom mängden stoft i rökgaserna är avsevärt större än vid oljeeldade verk. Naturvårdsverkets experter har vid de beräkningar som redovisas i bilaga antagit att kraftverken är utrustade med elektrofilter, som har en avskiljningsgrad på ca 99,5 procent. Det överstiger miljökraven i de flesta länder med god marginal.

Svavelutsläppen kan antingen begränsas genom att man använder lågsvavligt bränsle eller genom avsvavling av rökgaserna. Här har vi antagit att koleldade kraftverk använder sig av rökgasavsvavling med en effektivitet av 90 procent. Tekniken att avsvavla kol före förbränningen är utvecklade.

I Sverige finns bara några få kraftverk som kan eldas med kol (normalt används olja). Ett av dem är Hässelby kraftvärmeverk, där sammanlagt 95 MW elektrisk effekt kan alstras genom koleldning efter viss modifiering av förbränningsutrustningen. Ett annat är Öresundsverket i Malmö, där de fem först byggda pannorna, som tillsammans motsvarar 240 MW elektrisk effekt, kan eldas med kol.

Halten av svavel och metaller i kolet samt typen av reningsutrustning är de viktigaste faktorerna för att man skall kunna beräkna utsläpp från koleldade kraftverk. Metallhalterna i kol varierar mycket mellan olika kolfält men också inom ett och samma fält. Vid beräkningar, närmare redovisade i bilaga, har naturvårdsverkets experter som exempel valt dels en kolsort med mycket låga metallhalter från ett amerikanskt kolfält, dels en med höga metallhalter från ett australiskt fält (se faktaruta 10, s 86). Man har fått göra antaganden beträffande halten och avskiljningsgraden av vissa metaller. Polskt kol, som är intressant för Sverige, har relativt låga metallhalter.



Figur 20. Situationsplan för ett 2 000 MW koleldat kondenskraftverk.

För de koleldade alternativen har naturvårdsverkets experter förutsatt rökgasavsvavling med hänsyn till svårigheterna att på längre sikt ha säker tillgång till lågsvavligt kol. Den enda kommersiellt tillgängliga metoden för rökgasavsvavling är skrubber med kalk- eller kalkstensslam. Anläggningarna är beräknade för en svavelhalt i kolet på 1–3 procent. För beräkning av kväveoxidutsläpp har man förutsatt den utformning av pannor, brännare osv som vanligen används i dag.

Utsläppen från ett koleldat kraftverk på 1 000 MW, som under ett år med 6 000 timmars drifttid alstrar 6 TWh elektrisk energi, redovisas i faktarutan på s 88.

Ett sådant kraftverk släpper per år sålunda ut mellan 4 000 och 13 000 ton svaveldioxid, ca 1 200 ton stoft, 25 000–50 000 ton kväveoxider och ca 6 miljoner ton koldioxid. Mängden fast avfall, främst från rökgasreningen, uppgår till 400 000–800 000 ton per år. Utsläppen av tungmetaller kan komma att röra sig om flera tiotal ton per år. Dessa utsläpp kommer att variera starkt med metallhalterna i använda kol och med hur effektivt olika metaller skils av i filtren. Som jämförelse kan nämnas att Sveriges enda stora smältverk, som ligger i Skelleftehamn, 1972 släppte ut 42 000 ton svaveldioxid och ca 1 100 ton tungmetaller, men för år 1978 har åtagit sig att minska utsläppen till 24 000 ton svaveldioxid och ca 400 ton tungmetaller. Mängden bens(a)pyren (ett cancerframkallande ämne) som släpps ut är också osäker. Nyligen framlagda mätningar tyder på att utsläppen skulle kunna vara 10–100 gånger högre än som tidigare antagits, t ex i faktarutan på s 88. Dessa osäkerheter om utsläppens storlek har tagits med vid bedömningen av hälso- och miljöpåverkan i följande kapitel.

Tungmetaller i kol

10

Tungmetallerna i kol varierar avsevärt mellan olika kolfält och inom varje fyndighet.

	Exempel 1: Ett kol från USA ^a (metallhalter i gram per ton kol)	Exempel 2: Ett kol från Australien ^b	Exempel 3: Ett kol från Polen ^c
Arsenik	1	15	—
Kadmium	0,01	2	13
Krom	65	300	0,9
Kvicksilver	0,3	1,5	—
Koppar	40	100	40
Nickel	4	80	30
Bly	1	30	14
Zink	4	300	60
Vanadin	2	150	—

^aMetallhalter från en provsammanställning från 13 kolfält i USA, där ett kolfält med de lägsta tungmetallhalterna valts.

^bMetallhalter i kol levererade till anläggningen Balmoral i Australien.

^cMetallhalter från leveranser till Enstedverket i Danmark.

Om man jämför med ett motsvarande oljeeldat kraftverk med rökgasrening, får man ungefär samma eller något mindre utsläpp av svaveldioxid och bens(a)pyren, men större utsläpp av stoft, kväveoxider och tungmetaller samt avsevärt större mängder avfall.

Liksom vid alla kondenskraftverk blir utsläppen av uppvärmt kylvatten ett miljöproblem. Kylvattenbehovet för ett 1 000 MW kolkraftverk är samma som för motsvarande oljekraftverk, dvs 33 m³ per sekund om vattnet värms upp 10°C.

Avfallshantering

Vid koleldning får man aska och slagg från pannor och flygaska från elektrofilter. Den totala mängden utgör minst 10–15 procent av bränsleförbrukningen. Ett kraftverk i storleksordningen 1 000 MW elektrisk effekt, som under ett år drivs 6 000 timmar och alstrar 6 TWh elektrisk energi, producerar därvid 200 000–250 000 ton flygaska vid elektrofiltren och 20 000–25 000 ton aska och slagg vid pannan.

De stora slagg- och askmängderna måste förvaras i upplag. En del kan komma till användning som fyllnadsmaterial i vägar eller i betong.

För avsvavling av rökgaser har de kalciumbaserade skrubberanläggningarna kommit längst i utvecklingen och fått den största praktiska användningen, men de ger å andra sidan en stor mängd slam som måste tas om hand. Slamproduktionen utgör 20–30 procent av bränsleförbrukningen vid en svavelhalt på tre procent. I bl a Japan återanvänds slammet — man tillverkar gipsplattor av det.

Avfallet innehåller en del miljöfarliga beståndsdelar, t ex tungmetaller och svavel, vilket gör att man måste vidta skyddsåtgärder vid deponeringen. Speciellt måste man förhindra att giftiga ämnen kommer ut i grundvattnet. Mängden tungmetaller i aska och slagg beror på typen av reningsanläggning. Metallhalten i aska och slagg är ofta 10 gånger så stor som i bränslet.

Teknisk utveckling

Sedan 1950-talet har man arbetat med att utveckla koleldning i sk svävbädd eller fluidiserad bädd. Det innebär att kolstyckena hålls svävande på en luftström under förbränningen, vilket ger en mer kompakt anläggning och mindre föroreningar. Det är troligt att stora anläggningar för förbränning av kol i svävbädd kommer att kunna beställas omkring år 1990. Det blir då fråga om aggregat på något eller några hundratal MW elektrisk effekt, men de kan givetvis slås ihop till större enheter. Den engelska kraftverksstyrelsen (CEGB) förklarade på en fråga från kommittén att även kraftverk som skall tas i drift på 80-talet måste utföras med den teknik som tillämpas nu.

Med svävbädd reduceras utsläppen av kväveoxider med minst 50 procent jämfört med siffrorna för dagens teknik. Även utsläppen av polyaromatiska ämnen torde minska. Vid förbränning i svävbädd kan man också avsvavla direkt vid förbränningen med hjälp av kalk eller kalksten. Man får då ett torrt avfall.

Slangfilter byggs redan i dag för mindre, koleldade anläggningar och bör inom ett par år kunna installeras på stora enheter över 1 000 MW elektrisk effekt. Det innebär att man kan begränsa metallutsläppen, bortsett från kvicksilver, med ytterligare ca 50 procent. Nya typer av slangfilter, nu under utveckling, kan också ge möjlighet att rena rökgaserna från kvicksilver.

När det gäller avsvavling av rökgaserna bör mängderna slam kunna minska när återvinningsprocesser blir tillgängliga. Om det skulle visa sig att detta inte går, bör man kunna binda slammet med hjälp av stabiliseringsmedel. På så sätt får man ett fast avfall som kan användas för t ex utfyllnadsändamål.

Föroreningsutsläpp från ett koleldat kraftverk

För att belysa de utsläpp av föroreningar som kan ske från kolkraftverk har naturvårdsverkets experter gjort beräkningar för olika koltyper (se bilaga). Koltyperna skiljer sig dels ifråga om svavelhalt, dels i fråga om halter av olika tungmetaller.

För ett typiskt kolkraftverk byggt enligt dagens teknik redovisas följande värden:

Tekniska huvuddata

Anläggningsstorlek	1 000 MW elektrisk effekt
Drifttid	6 000 timmar/år
Elkraftproduktion	6 TWh/år
Total verkningsgrad	36 %
Tillförd bränsleeffekt	2 800 MW
Årsförbrukning av kol	2 130 000 ton

	Alternativ med låg svavelhalt i kol	Alternativ med hög svavelhalt i kol
Svavelhalt i kol	1 %	3 %
Avsvavlingsgrad	90 %	90 %

Utsläpp av föroreningar per år

Svaveldioxid	4 260 ton	12 780 ton
Stoft	1 150 ton	1 150 ton
Kväveoxider	25 000—50 000 ton ^a	25 000—50 000 ton ^a
Koldioxid	6,3 milj ton	6,3 milj ton
Bens(a)pyren	1—20 kg ^b	1—20 kg ^b

Sedan många år har man kunnat producera lågvärdig gas ur kol. Stora insatser har gjorts för att förbättra tekniken och alstra högvärdig gas av samma kvalitet som naturgas. Sådan kolförgasning kan vara en tillgänglig teknik på 90-talet. Tekniken möjliggör långtgående begränsningar av utsläppen av svaveldioxid, kväveoxider, metaller och kvicksilver. Laboratorieförsök visar även på andra möjligheter att avskilja kvicksilver efter förbränningen. Det bedrivs också en hel del arbete med att framställa flytande bränslen ur kol — s k förvätskning.

Både vid förbränning och förgasning av kol får man stora mängder metallhaltig aska och slagg. Det finns två sätt att lösa problemet. Det ena är att man behandlar kol med lösningsmedel, vilket kan bli aktuellt på 1990-

	Alternativ med låg svavelhalt i kol	Alternativ med hög svavelhalt i kol
<u>Avfall per år:</u>		
Slam från rökgasavsvavling	170 000 ton	500 000 ton
Stoft från elektrofilter	230 000 ton	230 000 ton
Slagg och aska från pannor	25 000 ton	25 000 ton
Total avfallsmängd per år	425 000 ton	755 000 ton
<u>Kylvatten</u>	33 m ³ /s vid 10° C temperaturhöjning	

^aSiffrorna återspeglar att idag tillgänglig teknik medger att utsläppen av kväveoxider kan halveras jämfört med vad som anges i bilaga.

^bNyligen framlagda undersökningsresultat tyder på att utsläppen av bens(a)pyren skulle kunna vara 10–100 gånger större.

Utsläpp av metaller

Utsläpp av metaller har beräknats för två olika kolsorter. (Se även faktaruta 10, s 86.) Ett kol från USA har använts som exempel på ett kol med förhållandevis låga metallhalter (150 gram metaller per ton kol). Ett annat kol från Australien har använts som exempel på kol med förhållandevis hög metallhalt (ca 1 100 gram per ton). I bilagan har man antagit att totalt 84 procent av metallerna avskils vid höga metallhalter och 92 procent vid låga. För ett 1 000 MW kraftverk skulle det innebära utsläpp om ca 300 ton metaller per år vid höga metallhalter och ca 30 ton per år vid låga. Senare inkomna data har visat att moderna filter troligen bara släpper igenom omkring en tiondel av dessa mängder. Det gäller de flesta metaller av intresse från hälso- och miljösynpunkt som t ex kadmium. Kviksilver avskils dock knappast alls — man räknar med att omkring 90 procent passerar filtren. Enligt uppgift pågår dock utveckling av filter som även skiljer av kvicksilver effektivt.

talet. Denna förbehandling av kolet ger mindre askinnehåll och därmed mindre avfall. Svavelhalten i kolet kan också reduceras. Det andra sättet är att behandla avfallet så att det kan återanvändas, åtminstone som exempelvis vägmateriel. Utveckling av sådan teknik pågår i flera länder.

Följande tabell har gjorts inom nämnden för energiproduktionsforskning och är en bedömning av genombrott för kolomvandlingsprocesser. Tekniskt genombrott har därvid satts lika med prövad demonstrationsanläggning.

Tabell 9 Bedömd teknisk utveckling inom kolområdet

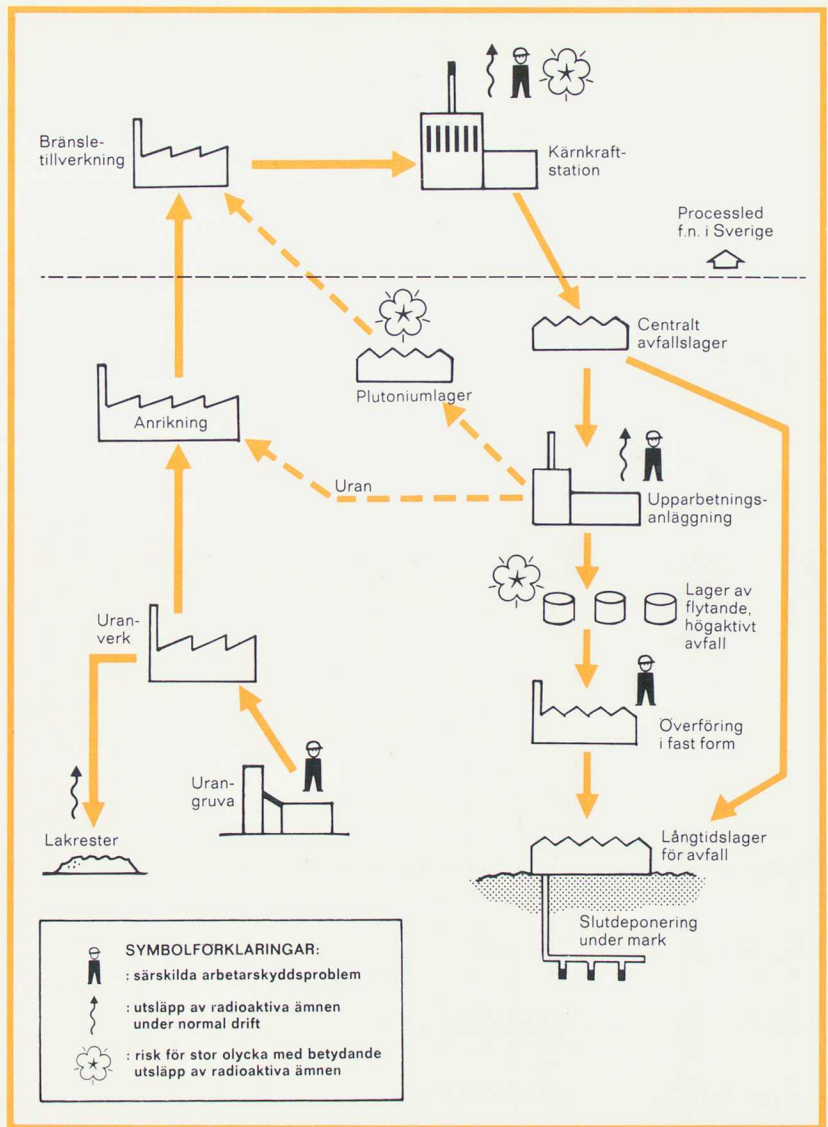
Process	Tekniskt genombrott	Första kommersiella anläggning
Direkt kolpulvereldning med stoftavskiljning och rökgasavsvavling	Finns	Finns
Kolpastor för utnyttjande i oljebrännare	1980	1983
Direktförbränning i svävande bädd för små effekter	1980	1983
Gasturbin med svävande bädd	1980	?
Avancerad svävbädd med hög svavelavskiljning och låg kväveoxidbildning	1982	1985
Lågvärdegas med svävbäddsförgasning	1985	1990
Gasturbin med avancerad svävbädd	1985	1990
Mellänvärdegas och koks via partiell förgasning i syresatt svävbädd	1985	1990
Högvärdegas	1983	1993
Kol raffinerat med lösningsmedel	1983	1993
Flytande bränslen	1985	1995
Koleldat magnetohydrodynamiskt kraftverk	1990	1995

Källa: Nämnden för energiproduktionsforskning.

Kärnkraft

Kärnkraftens processkedja börjar med utvinning av det grundläggande kärnbränslet, uran. I ett kärnkraftaggregat får man sedan elektrisk energi genom att utnyttja energi som frigörs när uranatomer sprängs.

Kärnkraftaggregatet består av en reaktor, där klyvningen av uranatomerna åstadkommer höga temperaturer. Värmen används för att omvandla vatten till ånga som får driva en turbin, kopplad till en elgenerator. Processkedjan avslutas med behandling och förvaring av de olika radioaktiva avfallsprodukter som bildas vid kärnreaktionerna i reaktorn. Figur 21 belyser översiktligt kärnbränslets processkedja.



Figur 21. Kärnkraftens processkedja. Som antyds i figuren finns för närvarande två processled (bränsletillverkning och kärnkraftstationer) i kommersiell drift i Sverige. Diskussioner om att starta uranutvinning i större skala i Ranstad pågår, liksom förberedande projektering av ett centralt avfallslager i Sverige. Någon återanvändning av plutoniet ur det använda kärnbränslet sker inte i Sverige. Slutleden i processkedjan (överföring av det högaktiva avfallet till fast form och slutdeponering) är ej färdigutprovade och i drift i industriell skala. Anläggningar för slutdeponering av avfallet kan bli aktuella i Sverige i framtiden.

Uranutvinning

För att under ett år driva en lättvattenreaktor om 1 000 MW elektrisk effekt i 6 000 timmar och producera 6 TWh elektrisk energi krävs 160 ton naturligt uran.

I naturen förekommer uran i varierande koncentration i olika bergarter. Uranhalten i t ex alunskifferna i Billingen är så låg som 0,03 procent, och man räknar med att kunna utvinna ca 70 procent av uranet där.

För att få fram 160 ton uran måste man därför bryta över 700 000 ton skiffer. Uranet skils från skiffen (lakas ur) med hjälp av olika kemikalier i ett uranverk som av transportskäl brukar läggas vid gruvan. Eftersom malmen är fattig på uran skapar utvinningen stora mängder avfall. Dels rör det sig om rester från den kemiska processen (lakrester), dels om mindre mängder gipshaltigt slam. Dessutom får man drygt ett ton svaveldioxidutsläpp för varje ton producerat uran.

Gruvdriften och lagringen av lakrester innebär miljöproblem bl a genom stora ingrepp i landskapet. Strålningsriskerna kan också öka i omgivningarna om lakresterna inte täcks över ordentligt.

Atomer och kärnklyvning

All materia är uppbyggd av atomer av olika grundämnen såsom väte, syre, kol, kväve etc. Atomerna består av en kärna omgiven av ett hölje av elektroner. Elektronen är en sk elementarpartikel med negativ elektrisk laddning. Atomkärnan är uppbyggd av protoner och neutroner. Protonen är en elementarpartikel med positiv elektrisk laddning och en massa närmare 2 000 gånger elektronens. Den utgör kärnan i den enklaste atomen, väteatomen. Neutronen är en elektriskt neutral (oladdad) elementarpartikel med praktiskt taget samma massa som protonen.

Uranatomer består av 92 protoner och ett varierande antal (135–148) neutroner. Olika uranatomer kan således ha olika massa beroende på hur många neutroner som ingår. Alla atomer av samma grundämne har samma antal protoner i kärnan. Antalet protoner bestämmer kärnans elektriska laddning och därmed, via elektronhöljet, grundämnets kemiska egenskaper. Atomer av samma grundämne men med olika massa genom olika antal neutroner kallas isotoper. Den i naturen vanligaste uranisotopen är uran-238 (92 protoner och 146 neutroner).

Isotopen uran-235 (92 protoner och 143 neutroner) har den viktiga egenskapen att kunna klyvas i två lättare atomkärnor (t ex krypton och barium) när urankärnan träffas av en neutron. Vid klyvningen bildas också 2 à 3 nya neutroner (se figur), som i sin tur kan klyva nya uranatomer. På så sätt kan en kedjereaktion uppstå och vidmakthållas. Vid kärnklyvningen frigörs energi, ursprungligen bunden i urankärnan. Huvuddelen av denna energi omvandlas så småningom till värmeenergi. De lättare atomer som bildas vid klyvningen av urankärnan kallas klyvningsprodukter.

Av figuren framgår att en neutron också kan fångas in av en atom av isotopen uran-238. Denna omvandlas då till plutonium-239, en atomkärna som också är klyvbar i en kedjereaktion. Detta sker i viss omfattning i alla kärnreaktorer. Särskilt utnyttjas detta fenomen i den särskilda reaktortyp som kallas bredreaktor (av engelskans breed=avla). Där tillvaratas neutronerna så effektivt att man får fler klyvbara plutoniumatomer genom bestrålning av uran-238 än man förbrukar genom klyvning av den

Gruvdriften orsakar också arbetsmiljöproblem. Dels är gruvarbete allmänt riskfyllt, dels förekommer den radioaktiva och cancerframkallande radongasen, vilket ställer krav på god ventilation.

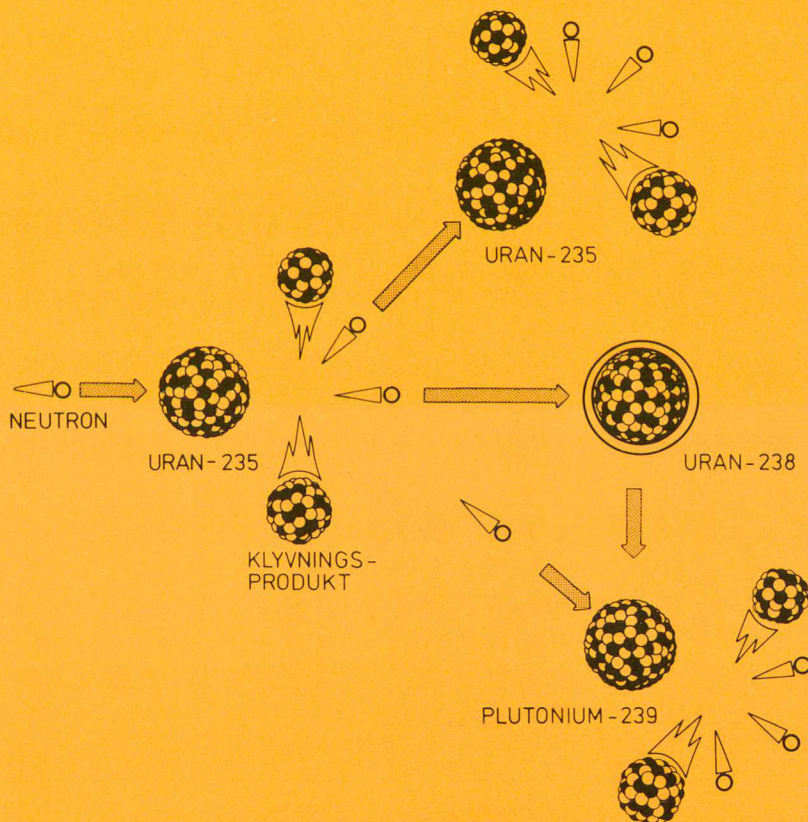
Anrikning

Naturligt uran är en blandning av uranatomer med olika vikt (isotoper). Drygt 99 procent utgörs av den svårklyvbara isotopen uran-238 och bara 0,7 procent av den lättklyvbara isotopen uran-235. För att uran skall kunna användas som bränsle i en lättvattenreaktor måste halten uran-235 höjas till omkring 3 procent. Det gör man i en anrikningsanläggning.

Ur de 160 ton naturligt uran som krävs för att driva ett aggregat på 1 000 MW i ett år utvinns ca 30 ton anrikat uran för framställning av reaktor-

12

ursprungliga bränsleladdningen. Härigenom kan man utnyttja den mycket vanligare förekommande isotopen uran-238 för framställning av reaktorbränsle trots att isotopen som sådan inte är direkt användbar för detta ändamål.



Kärnklyvningsprocessen

Källa: AKA-utredningen

bränsle. De 130 ton utarmat uran som blir över lagras för eventuell framtida användning i sk bridreaktorer.

Strålningsriskerna vid ett anrikningsverk är små, men det finns kemiska arbetsmiljöproblem.

Bränsletillverkning

För den slutgiltiga framställningen av bränsle till lättvattenreaktorerna används uran förenat med syre (urandioxid). Den pulverformiga urandioxiden pressas till cylindrar som sintras vid hög temperatur. Cylindrarna stoppas ned i rör, tillverkade av en legering av metallen zirkonium eller rostfritt stål. Varje rör, eller bränslestav, försluts genom svetsning. Bränslestavarna sammanfogas i grupper till bränslepatroner. En bränslepatron innehåller omkring 200 kg anrikat uran. En kokarreaktor innehåller omkring 700 bränslepatroner.

Under bränsletillverkningen riskerar personalen att andas in uranföreningar, vilket skulle kunna leda till såväl kemiska förgiftningar som strålskador. Detta kräver särskilda skyddsåtgärder. Kraven på skyddsåtgärder skärps om kärnbränslet förutom av uran också skall bestå av plutonium, som återvunnits ur det använda kärnbränslet.

Kärnkraftaggregat

Det finns en rad olika typer av reaktorer som används i kärnkraftaggre-

Radioaktivt sönderfall. Halveringstid

13

Atomkärnorna i ett radioaktivt ämne är instabila. Det innebär att de omvandlas till andra, stabila atomkärnor genom radioaktivt sönderfall. Därvid utsänds joniserande strålning. (Faktaruta 2, s 16).

Sönderfallet går med en bestämd hastighet för varje typ av radioaktivt ämne (radioaktiv isotop). Hur snabbt ett radioaktivt ämne sönderfaller anges ofta med halveringstiden. Halveringstiden är den tid det tar för hälften av antalet ursprungligen närvarande atomkärnor att sönderfalla. Om man från början har 1 000 atomkärnor återstår det efter en halveringstid i genomsnitt bara 500, efter två halveringstider 250 och efter tre halveringstider 125, osv.

Med aktiviteten hos ett radioaktivt ämne avses antalet sönderfall per sekund. Aktiviteten beror dels på hur stor mängd man har av ämnet, dels på hur snabbt det sönderfaller, dvs halveringstiden.

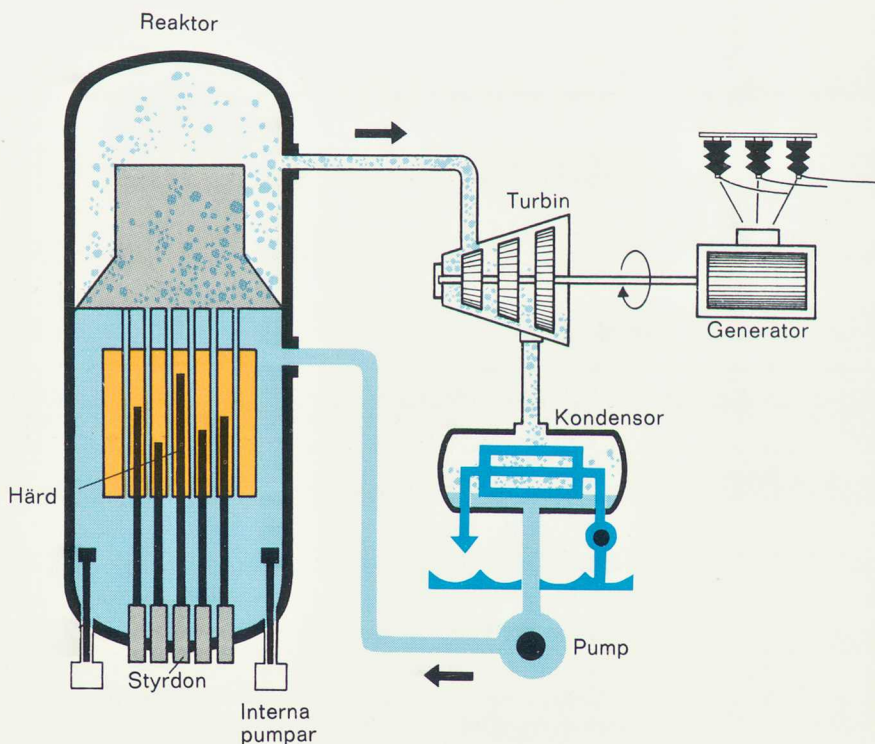
Aktiviteten mäts hittills vanligen i curie (Ci). En curie är 37 miljarder sönderfall per sekund. När det gäller radioaktiva ämnen i miljön talar man ofta om så låga aktiviteter som picocurie. En picocurie är en miljondels miljondels curie (10^{-12} curie) eller 2,22 sönderfall per minut.

Enligt SI-systemet för olika måttenheter skall i fortsättningen användas enheten 1 becquerel (Bq), som är ett sönderfall per sekund.

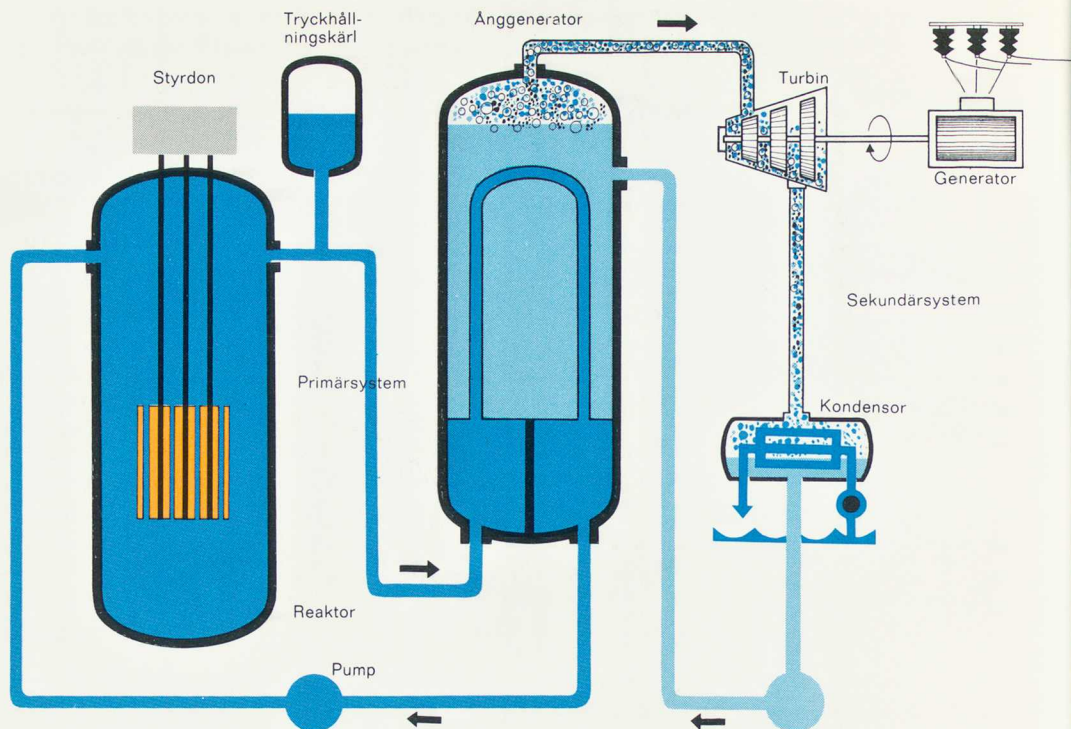
gat. I Sverige förekommer numera endast s k lättvattenreaktorer. De kännetecknas av att reaktorhärden, där kärnreaktionerna och därmed värmealstringen sker, befinner sig under vatten i en stor trycktank, reaktorkärlet. Det är helt eller delvis fyllt med vatten, beroende på reaktortypen. Vattnet omvandlas till ånga som driver en turbin. Ångan kondenseras sedan genom avkyllning med havsvatten och går tillbaka till ny uppvärmning i reaktorhärden.

I den typ av reaktor som kallas kokareaktor är reaktorkärlet bara delvis fyllt med vatten. Vattnet kokar vid 285°C och vid ett tryck som är 70 gånger det vanliga lufttrycket. Ångan driver sedan direkt en turbin. Därpå kyls vattnet i en kondensor, där kallt havsvatten förs in och ut i ett rörledningssystem. Havsvattnet kommer dock aldrig i direkt kontakt med ånga och vatten som passerar genom reaktorhård och turbin.

I tryckvattenreaktorn är reaktorkärlet helt fyllt med vatten, trycket höjt till 155 gånger det vanliga lufttrycket och temperaturen till 315°C. Det heta vattnet, som vid detta tryck inte övergår till ånga, leds i ett slutet system till en ånggenerator. Där förångas vatten i en yttre ångkrets.



Figur 22. Principskiss av ett kärnkraftaggregat med kokareaktor (BWR). Ånga som avkokas från reaktorn lämnar en del av sin energi i turbinen. Resten av energin lämnas i kondensorn där ångan kyls ned och kondenseras till vatten. Kondensorn kyls i sin tur med vatten utifrån, t ex havsvatten.



Figur 23. Principskiss av ett kärnkraftaggregat med tryckvattenreaktor (PWR). En tryckvattenreaktor arbetar med två skilda värmetransportsystem. Själva reaktorn ingår i ett primärsystem som arbetar med vatten under högt tryck. I en ånggenerator alstrar det heta vattnet i primärsystemet ånga i ett sekundärsystem. Ångan i sekundärsystemet driver sedan en turbin, varefter den kyls ned i en kondensator på samma sätt som i ett kokaraggregat.

Ångan driver en turbin och avkyls på samma sätt som i kokarreaktorn. I tryckvattenreaktorn kommer således vattnet och vattenångan i turbin-kretsen aldrig i direkt kontakt med reaktorhärden.

Figurerna 22 och 23 visar den principiella uppbyggnaden av de båda reaktortyperna.

Från energiutvinningsynpunkt är de båda reaktortyperna likvärdiga. Omkring två tredjedelar av den alstrade värmeenergin förs bort med kylvattnet i båda reaktorerna. Temperaturen på de 50 m³ kylvatten som går åt per sekund höjs med omkring tio grader. Dessa kan jämföras med de 33 m³ per sekund som går åt i ett kol- eller oljeeldat aggregat med samma elektriska effekt.

Båda dessa typer av kärnreaktor ingår i det svenska kärnkraftprogrammet enligt 1975 års beslut. Tryckvattenreaktor (PWR) tillverkas av det amerikanska företaget Westinghouse, kokarreaktor (BWR) tillverkas av Asea-Atom.

Tabell 10 Svenska kärnkraftaggregat.

Anläggning	Ägare	Kommer- siell drift	Typ	Netto- effekt MW
Oskarshamn 1	OKG ^a	1972	BWR	440
Oskarshamn 2	OKG	1974	BWR	580
Ringhals 1	Vattenfall	1974/75	BWR	760
Ringhals 2	Vattenfall	1974/75	PWR	820
Barsebäck 1	Sydkraft	1975	BWR	580
Ringhals 3	Vattenfall		PWR	900
Barsebäck 2	Sydkraft	1977	BWR	580
Forsmark 1	FKA ^b		BWR	900
Ringhals 4	Vattenfall		PWR	900
Forsmark 2	FKA		BWR	900
Oskarshamn 3	OKG		BWR	1 060
Forsmark 3	FKA		BWR	1 060
Summa				9 480

^aOskarshamns kraftgrupp AB, i vilket företag Sydkraft AB är största intressent.

^bForsmarks kraftgrupp AB, som ägs till ca 75% av statens vattenfallsverk (Vattenfall).

Tabell 10 upptar dels aggregat som tagits i drift, dels aggregat för vilka koncession beviljats och byggnadsarbeten påbörjats. För några aggregat är arbetena långt framskridna. Ringhals 3 och Forsmark 1 beräknas sålunda vara färdiga att tas i drift 1978. Frågan om tillstånd för att ta dessa aggregat i drift liksom om tillstånd för fortsatt drift av Barsebäck 2 skall prövas enligt den s k villkorslagen (1977:140, se s 56).

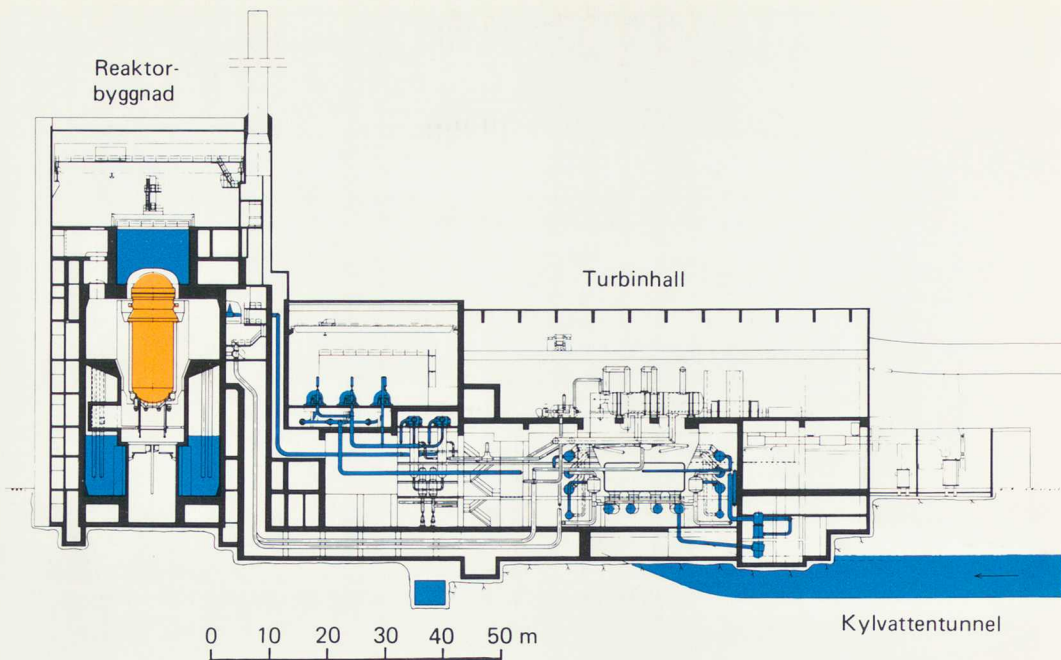
Risker vid reaktordrift

Reaktorhärden är en oerhört intensiv källa till joniserande strålning av alla slag. Vattnet i reaktortanken, den ca 15 cm tjocka tankväggen av stål samt betongväggar på tillsammans några meters tjocklek svarar för att den direkta strålningen från reaktorhärden stoppas upp.

Bränslestavarna i reaktorhärden skall i princip vara fullständigt täta, men även under normal drift går det inte att undvika ett visst läckage. Det som främst läcker ut är gasformiga ämnen, såsom isotoper av ädelgaserna xenon och krypton, isotoper av jod i ångform samt tritium, en radioaktiv väteisotop. Därför innehåller det kylvatten som passerar genom reaktorhärden vissa radioaktiva föroreningar. En del av dem bildas också genom den intensiva bestrålning kylvattnet utsätts för i reaktorn. Bland de radioaktiva ämnen som bildas på detta sätt finns kol-14, som i kokareaktorer huvudsakligen förekommer kemiskt bundet i form av koldioxid. Kol-14 är ett radioaktivt ämne som sönderfaller med en halveringstid på 5 700 år. Ämnet kan alltså orsaka problem på lång sikt.

Reningsåtgärder

De gasformiga föroreningarna i reaktorvattnet avskiljes i olika filter. Radioaktiviteten i de avskilda ämnena får sedan avklinga i en s k fördröj-



Figur 24. Ett kärnkraftaggregat med kokareaktor, sett i genomskärning. Det är ett av Forsmarkaggregaten med 900 MW elektrisk effekt.

Källa: FKA/Vattenfall

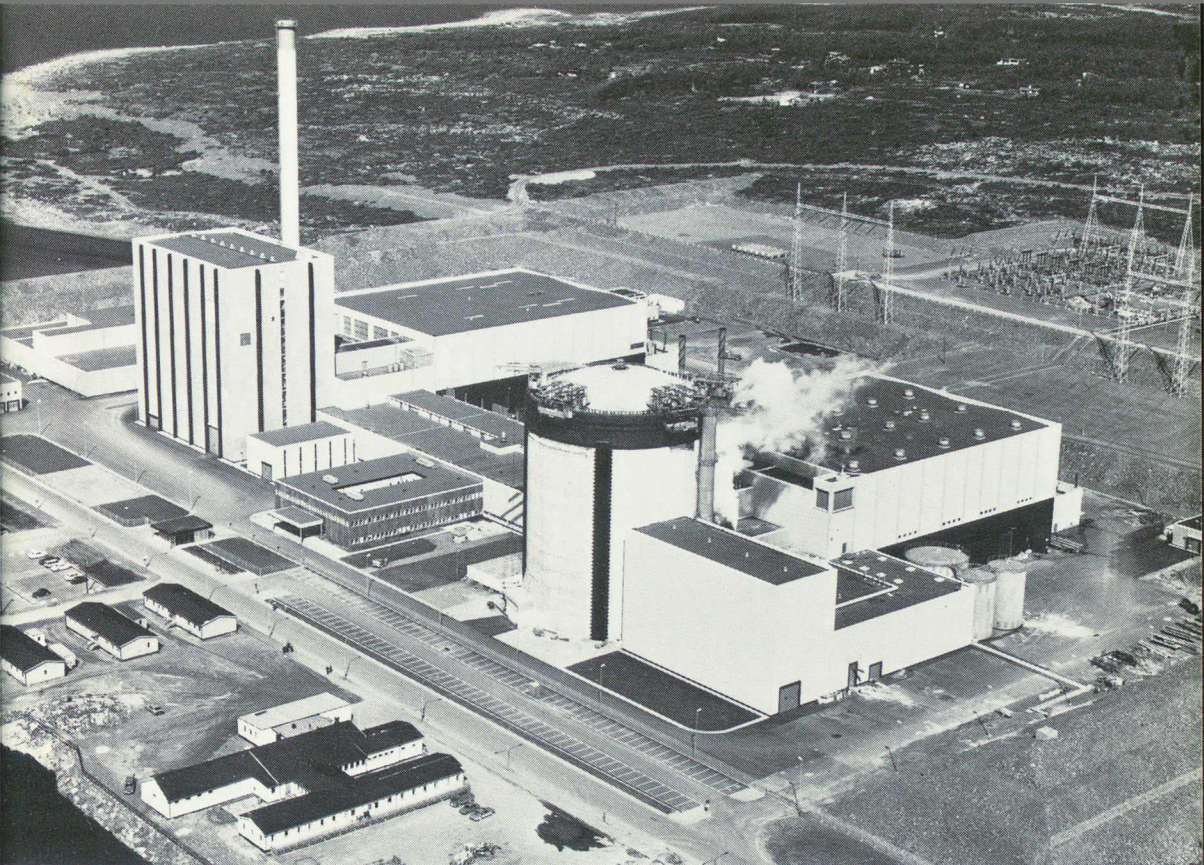
ningskammare. De fortfarande något radioaktiva gaserna släpps sedan ut genom anläggningens skorsten. Små mängder radioaktiva ämnen släpps också ut med det utgående havsvattnet i det yttre kylsystemet.

Mängden utsläppt aktivitet mäts fortlöpande. Gränserna för högsta tillåtna utsläpp anges av strålskyddsinstitutet. Utsläppsgränserna bestäms med hänsyn till hälsoriskerna dels för dem som bor nära reaktorn, dels för jordens befolkning i stort och på lång sikt.

Arbetsmiljöproblem

I ett kärnkraftverk finns naturligtvis den vanliga typen av olycksrisker, såsom fall- och halkolyckor — inte minst under byggnadsskedet. Dessutom finns strålriskerna, som till stor del är knutna till inspektions- och underhållsarbeten. I kapitel 6 behandlar vi dessa båda slag av risker var för sig.

Säkerhetsföreskrifterna kräver regelbundna kontroller av kritiska delar i reaktorsystemet. Även när reaktorn stängts av utgör klyvningsprodukterna i reaktorhärden en mycket stark strålkälla. Dessutom får pumpar, ventiler och andra delar i reaktorns kylsystem en viss beläggning av radioaktiva ämnen. Den stråldos varje anställd vid kärnkraftverken utsätts för måste därför övervakas noggrant. Man mäter t ex den stråldos varje anställd sammanlagt får. Detta gäller även personal vid utomstående företag som anlitas för reparationsarbeten etc. Strålskyddsinstitutet utfärdar föreskrifter också på detta område och kontrollerar att de följs.



Figur 25. Översiktsbild över en del av Ringhals kärnkraftstation. Till vänster i bilden ligger Ringhals 1, ett kokaraggregat med 760 MW elektrisk effekt. Till höger ligger Ringhals 2, ett tryckvattenaggregat med 820 MW elektrisk effekt. Ytterligare två aggregat, Ringhals 3 och 4, om vardera 900 MW elektrisk effekt är under byggnad utanför bilden.

Foto: Vattenfall

Det utbrända bränslet

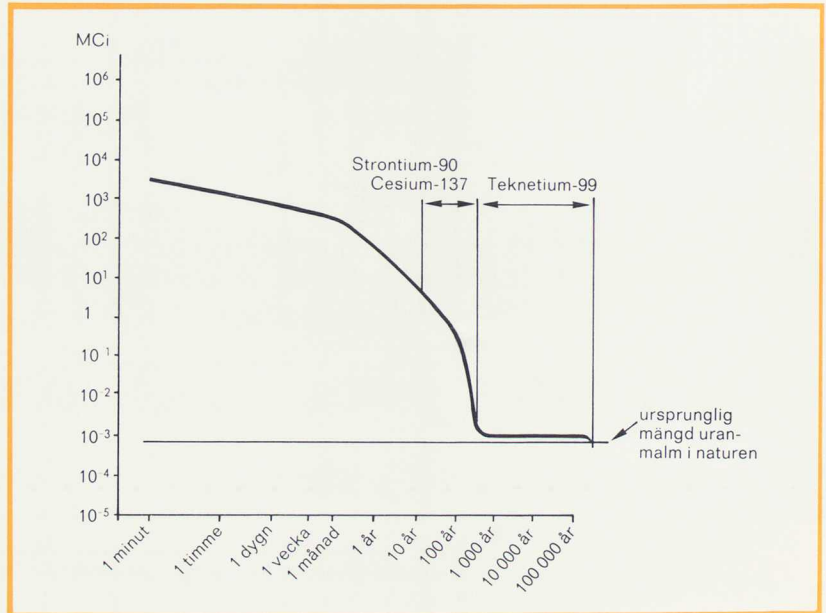
I en kärnreaktor som är igång bildas hela tiden avfallsprodukter som på något sätt måste tas om hand. En reaktor med en elektrisk effekt på 1 000 MW ger varje driftår ca 30 ton utbränt kärnbränsle. Vad dessa 30 ton innehåller framgår av tabell 11.

Tabell 11 Innehållet i en utbränd bränslesats på 30 ton anrikat uran

Ämne	Viktmängd	Procent
Uran	ca 28,8 ton	96
Klyvningsprodukter	ca 900 kg	3
Plutonium	ca 230 kg	8,8
(varav klyvbart plutonium)	(ca 170 kg)	(0,6)
Övriga transuraner	ca 60 kg	0,2

Uran är alltså det ämne som det utbrända kärnbränslet i första hand består av.

Klyvningsprodukter kallas de grundämnen som bildas när uranatomer klyvs (se faktarutan på s 92–93). Många klyvningsprodukter är starkt radioaktiva, men radioaktiviteten avtar med tiden, som figur 26 visar. Efter omkring 500 år har den sjunkit så mycket att klyvningsprodukternas radioaktivitet ungefär överensstämmer med radioaktiviteten hos motsvarande mängd uranmalm ute i naturen.



Figur 26. Minskning av radioaktiviteten hos kärnbränslet i reaktorhärden till ett kärnkraftsaggregat med ca 300 MW elektrisk effekt. Radioaktiviteten hos den mängd uranmalm som bröts för att framställa kärnbränslet har också lagts in.

Källa: Lindell-Löfveberg, Kärnkraften, människan och säkerheten

Transuraner kallas de grundämnen vilkas atomer är tyngre än uranets. De bildas när uranet bestrålas med neutroner inuti reaktorn. I det utbrända kärnbränslet består transuranerna till stor del av plutonium. Transuranerna är, liksom uran, radioaktiva och sönderfaller i flera steg. Slutprodukten är vanligt bly. Sönderfallet går överlag långsammare än för klyvningsprodukterna. Därför kommer transuranerna att vara avgörande för hur radioaktivt det utbrända kärnbränslet är efter några tusen år.

När de radioaktiva ämnena i det utbrända kärnbränslet bryts ned, utvecklas det samtidigt mycket värme (ca 60 kW per ton uran något dygn efter det att reaktorn har stoppats). För att kyla ned det och för att ge ett skydd mot den radioaktiva strålningen lagras kärnbränslet ofta i stora vattenbassänger under något eller några år. Den radioaktivitet som ändå läcker ut tas om hand av stationens filtersystem, som beskrivits tidigare. Efter ett år har radioaktiviteten minskat så mycket, att värmeutvecklingen gått ned till 8 kW per ton uran. Efter fem år är den något mer än 1 kW per ton.

Det utbrända kärnbränslet måste sedan tas om hand på ett sätt som leder fram till en säker slutförvaring av avfallet. I princip har man följande tekniska valmöjligheter:

1. Bränsleelementen förs över till ett centralt lager för använt kärnbränsle, där de kan lagras i vattenbassänger under något tiotal år. Under denna tid hinner radioaktiviteten avta så mycket att den fortsatta hanteringen blir enklare och mindre riskfylld. Efter det kan bränsleelementen antingen upparbetas eller föras över till en form som är lämplig för slutförvaring. Dessa tillvägagångssätt kan tillämpas på bränsleelement från lättvattenreaktorer. Bränsleelement från vissa andra reaktortyper kan inte förvaras under vatten någon längre tid.

2. Det andra alternativet är att bränsleelementen efter några års lagring vid reaktorn sänds direkt till en upparbeitungsanläggning (se nedan). Genom upparbetningen av det utbrända kärnbränslet får man fram nytt råmaterial för kärnbränsle i form av uran och plutonium. Dessutom får man ett högaktivt avfall, som efter en viss tids mellanlagring måste föras över till en form som är lämplig för slutförvaring.

AKA-utredningen har påpekat att de svenska kärnkraftverksstationernas lagringsbassänger kommer att vara fullbelagda i början av 1980-talet om inte Sverige börjar uppbeta det utbrända kärnbränslet eller löser frågan om central lagring på något sätt. Man har också börjat förbereda byggandet av en sådan lagringsanläggning, som troligen kommer att laggas i anslutning till något kärnkraftverk.

Upparbetning

Uran och plutonium är, som ju framgick av tabell 11, två viktiga beståndsdelar i det utbrända kärnbränslet. Det utbrända bränslet innehåller fortfarande väl så mycket av den klyvbara isotopen uran-235 som det uran som finns i naturen trots att två tredjedelar av det uran-235 som fanns i det anrikade bränslet förbrukats i reaktorn.

I en upparbeitungsanläggning kan både uran och plutonium skiljas ut ur det använda bränslet på kemisk väg. På så sätt kan energiinnehållet i uranmalmen bättre tas tillvara, eftersom uranet och plutoniet sedan kan användas för att tillverka nya bränsleelement. AKA-utredningen uppskattade att man på detta sätt kan spara 30–35 procent av det natururan som behövs för att förse en lättvattenreaktor med bränsle.

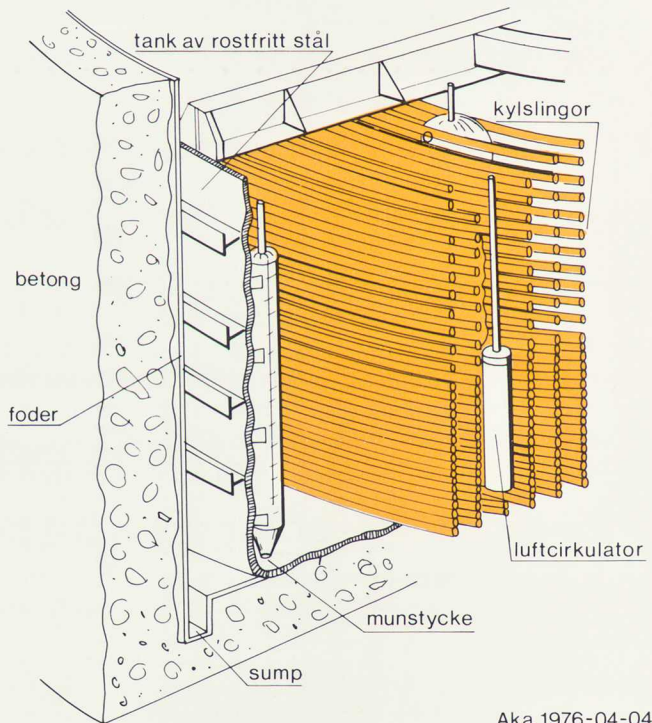
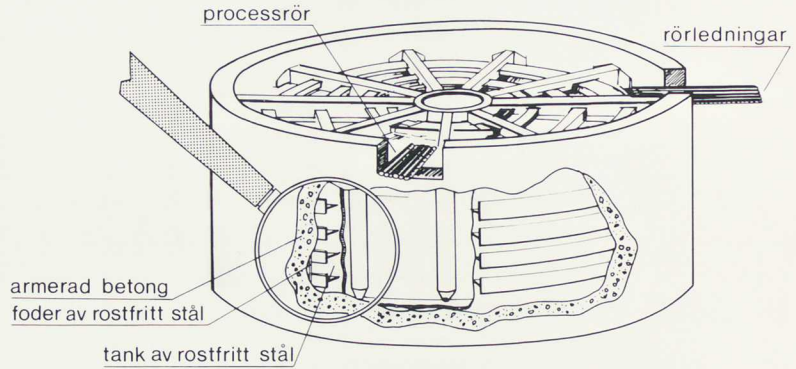
Som återstod efter upparbetningen får man ett högaktivt avfall i form av en syralösning. Detta avfall består av klyvningsprodukter och transuroner samt små restmängder av uran och plutonium. Mängden sådant avfall i syralösning blir 20–25 m³ per driftår för bränslet från ett aggregat på 1 000 MW.

Mellanlagring av avfallet från uppabetning

Det flytande avfallet från uppabetningen lagras i allmänhet i rostfria tankar (se figur 27), för att med tiden föras över till fast form för slutförvaring. Om uppabetningen har skett kort tid efter det att bränslet tagits ur reaktorn, är radioaktiviteten och därmed värmeutvecklingen hög. Det är då troligtvis lämpligast att lagra avfallet i flytande form i åtskilliga år för att radioaktiviteten skall hinna minska. Först efter något eller några

tiotal år för man över avfallet i fast form till slutförvaring. På så sätt minskas kylningsproblemet i slutförvaringens början.

Tekniska, ekonomiska och säkerhetsmässiga problem i samband med uppberedning diskuteras utförligt i AKA-utredningens betänkande.



Aka 1976-04-04

Figur 27. Tank för lagring av högaktivt flytande avfall. En modern tankkonstruktion har tre av varandra oberoende system av kylslingor. Tankarna byggs i grupper. Om det uppstår fel på en tank kan innehållet därför snabbt pumpas över i en tom reservtank som ingår i gruppen. Stora mängder radioaktivt avfall har vid några tillfällen läckt ut ur äldre tankanläggningar utomlands. Sådana läckagerisker anses eliminerade i modernare anläggningar.

Upparbetningsanläggningar

I England (t ex i Windscale) och Frankrike (t ex i La Hague) sker sedan ett tiotal år tillbaka en omfattande upparbetning av metalliskt uranbränsle från kraftproducerande reaktorer av annan typ än de svenska lättvattenreaktorerna. I vissa länder sker också en upparbetning för militära ändamål — man framställer plutonium till kärnvapen.

I Belgien, England, Frankrike och USA har man upparbetat betydande mängder kärnbränsle i form av uranoxid — den typ av kärnbränsle som används i Sverige. Det har då visat sig att det finns behov av att förbättra de nuvarande upparbetningsanläggningarna när det gäller driftssäkerhet, driftekonomi, arbetsmiljö och utsläpp av radioaktiva föreningar. Dessa förbättringar anser man bör vidtas innan man börjar upparbeta oxidbränsle i stor skala.

Av bland andra dessa skäl sker för närvarande ingen nämnvärd upparbetning av oxidbränsle i industriell skala. I England, Frankrike och USA har man dock genomfört eller avser att genomföra en omfattande utbyggnad av upparbetningsanläggningarna. I allmänhet planerar man att ta de nya

Upparbetning

14

I en upparbetningsanläggning kapas först bränslestavarna i mindre bitar. Uranoxiden jämte klyvningsprodukter och transuraner löses upp i kokande salpetersyra. De gasformiga klyvningsprodukter som då frigörs har hittills i allmänhet till betydande del släppts med andra avgaser genom skorstenen. Teknik att skilja av dem finns dock utvecklad. Med hjälp av speciella lösningsmedel avskils uran och plutonium ur syralösningen och renas. Kvar blir en avfallslösning som innehåller klyvningsprodukter och transuraner, däribland små restmängder plutonium.



Anläggningen för upparbetning av använt kärnbränsle i La Hague, Frankrike

anläggningarna i bruk i början av 1980-talet. Man har dock från olika håll — inte minst i USA — ifrågasatt om det är lämpligt och nödvändigt att påbörja en omfattande upparbetning, särskilt innan man tagit ställning till en eventuell framtida användning av bldreaktorer (se s 112).

Utsläpp i luften

En upparbetningsanläggning kan släppa ut betydande mängder flyktiga radioaktiva ämnen i luften, speciellt om utsläppen inte renas effektivt. Viktiga i det här sammanhanget är främst utsläppen av krypton-85, tritium (en väteisotop som släpps ut med vattenånga), jod-129 och kol-14 (som koldioxid).

Några av de ämnen som finns i utsläppen från upparbetning av 30 ton utbränt kärnbränsle redovisas i tabell 12.

Tabell 12 Utsläpp av radioaktiva gaser vid upparbetning av 30 ton förbrukat uranoxidbränsle enligt AKA-utredningen

Isotop	Halverings- tid (år)	Aktivitet i bränsle efter ett års lagring (curie)	Utsläpp utan be- handling (curie)	Beräknat utsläpp efter rening (curie)
Krypton-85	10,7	375 000	375 000	375
Tritium	12,3	26 000	1 300	1,3
Jod-129	15,9 mil- joner	1,1	0,056	56 mil- jondelar
Kol-14	5 730	10—20	(se texten)	

Beräknade utsläpp efter rening avser den typ av upparbetningsanläggning som AKA-utredningen studerade. Mängden 30 ton är vad en 1 000 MW lättvattenreaktor förbrukar ett normalt driftår.

För kol-14 finns för närvarande inga säkra data om hur stor del av aktiviteten som släpps ut. Vid strålriskberäkningarna, redovisade i kapitel 5, har antagits att hela mängden (20 curie) släpps ut. AKA-utredningen redovisade ingen reningsteknik för kol-14. Senare framlagda studier har dock visat att det finns färdigutvecklad teknik som kan användas för att rena utsläppen från koldioxid — den förening som kol-14 ingår i.

Utsläpp i vatten

Utsläppen av radioaktiva föroreningar i vatten, vanligen havet, varierar starkt mellan olika upparbetningsanläggningar. Det beror troligen främst på vad de olika ländernas tillsynsmyndigheter tillåter.

Omfattningen av de radioaktiva utsläppen i framtidens upparbetningsanläggningar är svåra att uppskatta. Bl a de nordiska ländernas strålskyddsmyndigheter anser att utsläppen av radioaktiva ämnen bör begränsas jämfört med tidigare — i vissa fall avsevärt. Det finns också numera utvecklade reningstekniker. Man bör i detta sammanhang inte glömma bort utsläppen från militära upparbetningsanläggningar.

Arbetsmiljö

För att stråldoserna till personalen vid uppberetningsanläggningarna skall hållas inom tillåtna gränser, krävs omfattande strålskyddsåtgärder, detta trots att uppberetningen i allt väsentligt är helautomatiserad och fjärrstyrd.

Särskilt besvärliga från strålskyddssynpunkt är de arbetsmoment då bränsleelementen öppnas, delas och löses upp samt — liksom vid kärnkraftsaggregat — underhåll och reparationer av anläggningar. Det finns också andra yrkesskaderisker, som är typiska för en kemisk processindustri, liksom risk för mindre bränder och explosioner. Närvaron av stora mängder radioaktiva ämnen ökar givetvis skaderiskerna i sådana situationer.

Olycksrisker, m m

Risker för stora olyckor vid uppberetningsanläggningar och risker för att det utvunna plutoniet skulle kunna användas för att tillverka kärnvapen behandlas i kap 8 och 9.

Den slutliga förvaringen av avfallet

De radioaktiva ämnena i det använda bränslet måste förvaras för all framtid på ett sätt som utesluter ökade strålrisker för mänskligt eller annat liv. De tekniska krav som ställs på inkapsling och lagringsplats framgår av AKA-utredningen och andra studier på avfallsområdet.

Till kraven hör bl a att:

- kylningen skall vara tillräckligt god under de första århundradena. Under denna tid sönderfaller huvuddelen av klyvningsprodukterna. Värmeutvecklingen är sedan mycket lägre.
- avfallet måste kapslas in i ett material som inte förändras påtagligt med tiden — inte ens under inverkan av den strålning och de kemiska ämnen som materialet kan utsättas för.
- den mängd radioaktivitet som kan komma ut ur kapseln skall vara ofarligt låg.
- avfallet skall lagras i en geologiskt stabil bergsformation. Därmed avses att man vet att det tilltänkta lagringsutrymmet inte har påverkats av t ex jordbävningar eller istider sedan mycket lång tid tillbaka.

Det finns inte i dag tekniska kunskaper och anläggningar för slutlig förvaring av det högaktiva avfallet färdiga för drift i industriell skala. Både utomlands och i Sverige pågår dock forsknings- och utvecklingsarbete på området. Ett bättre tekniskt underlag för bl a bergförvaring i Sverige torde föreligga under 1977 — bl a pågår arbeten under ledning av programrådet för radioaktivt avfall. Även andra metoder än dem vi redogjort för här undersöks. De befinner sig dock mer på forskningsstadiet ännu. Valet av metod beror bl a på om man uppberetar det använda kärnbränslet eller inte.

Slutförvaring — med uppberetning

Om man väljer uppberetning återanvänds uranet och plutoniet för tillverkning av nya bränsleelement. Omkring en tusendel av uranet och fem

tusendelar av plutoniet i det använda bränslet följer dock med det högaktiva avfallet. Dessa ämnen bidrar till att avfallet blir radioaktivt under mycket lång tid.

Sammansättningen av det från upparbetningen erhållna avfallet beräknas enligt tabell 13 av AKA-utredningen.

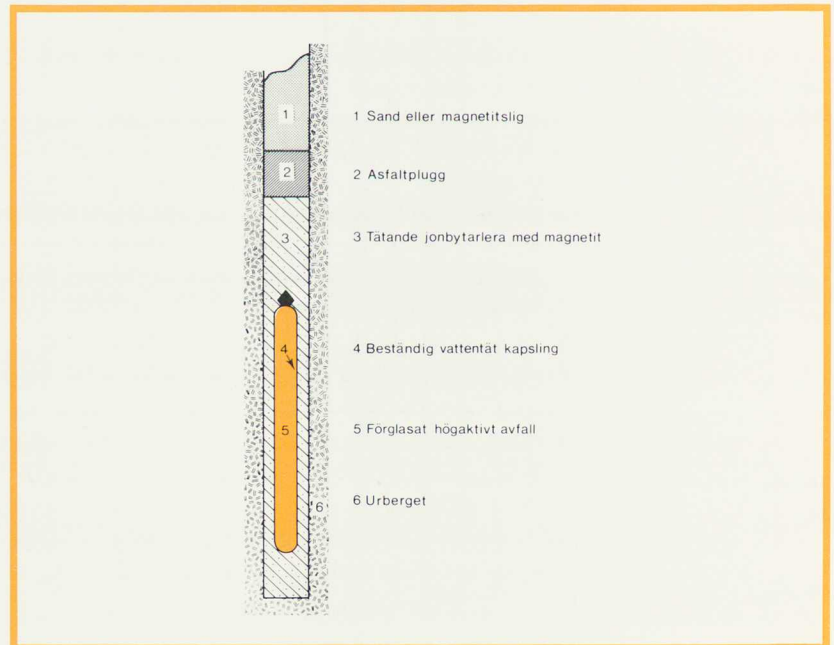
Tabell 13 Sammansättning av det högaktiva avfallet efter uppabetning

Ämne	Viktprocent av avfallet
Uran	3,2
Plutonium	0,2
Övriga transuraner	2,3
Klyvningsprodukter	94,3

Källa: AKA-utredningen

Den totala mängden av dessa ämnen är ungefär ett ton per driftår från en 1 000 MW reaktor.

Den metod för slutförvaring som för närvarande ser ut att ha utvecklats längst är förglasning (figur 28). Avfallet binds i glasstavar och ingår som en del av själva glaset. Glasstavarna placeras sedan några hundra meter eller mer under markytan i stabila berglager. Där omges de med höljen av olika material som ytterligare ett skydd mot att radioaktiva ämnen lakas ut, t ex genom påverkan av grundvattnet. I vissa länder har man möjlighet till torr förvaring i bergsaltsformationer.



Figur 28. Utkast till principutformning av anordning för att förvara förglasat högaktivt avfall i berg.

Källa: AKA-utredningen

Man undersöker också andra ämnen än glas att binda avfallet i. Bland annat är olika keramiska material intressanta, eftersom de har fysikaliska förutsättningar att kunna göras ännu mer beständiga än glas.

Slutförvaring – utan upparbetning

Inom kärnkraftindustrin förefaller man hittills ha utgått från att det använda bränslet skall upparbetas. Det är först på allra senaste tiden som slutförvaring av bränsle utan upparbetning tilldragit sig intresse. Utvecklingen av metoder för detta har därför knappt mer än påbörjats.

Utan upparbetning blir avfallsmängderna omkring 30 gånger större än vid upparbetning av det använda kärnbränslet. I princip är följande metoder tänkbara för att föra över det använda bränslet i en form som lämpar sig för slutförvaring:

- Det använda bränslet binds – efter lämplig kemisk behandling – i glas eller keramiska material på ungefär samma sätt som avfallet efter upparbetning.
- Bränslestavarana placeras som de är i helt slutna behållare av t ex keramiska material.

Slutförvaringen får sedan troligen ske i liknande anläggningar som för det upparbetade avfallet. De tekniska kraven på anläggningarna blir dock högre eftersom det dels handlar om större mängder, dels ingår mer plutonium. Den högre plutoniumhalten gör att den långsiktiga radioaktiviteten hos avfallet blir högre än vid upparbetning. Lagret måste också utformas med hänsyn till att stora mängder klyvbart material, främst plutonium, ingår. Annars finns det en risk för att det uppstår kärnklyvningar genom kedjereaktioner, ungefär som i en reaktor. Många tecken tyder på att en sådan kedjereaktion ägt rum i en naturlig uranmalmkropp i Gabon i Afrika.

Utsläpp från överföringsprocessen. Vid den behandlingsprocess som de använda bränsleelementen måste genomgå för att föra över dem i en form lämplig för slutförvaring kan det ske utsläpp av radioaktiva ämnen. De utsläppen kan för närvarande inte uppskattas närmare eftersom inga sådana processer ännu finns utvecklade. Det förefaller dock osannolikt att utsläppen kan bli högre än från dagens upparbetningsanläggningar. Den bedömningen är då grundad på att det är samma typ och mängd av kärnbränsle som skall behandlas och på att man vid upparbetningsanläggningar hittills släppt ut en huvuddel av de flyktiga radioaktiva ämnen som finns i bränslet.

Övrigt aktivt avfall

Utöver det högaktiva avfallet lämnar en reaktor s k medelaktivt avfall i form av filtermassor, utslitna härdelar osv. Volymen av det medelaktiva avfallet beräknas efter komprimering uppgå till ca 60 m³ per driftår för en 1 000 MW reaktor enligt AKA-utredningen. Radioaktiviteten kommer i huvudsak från klyvningsprodukter som cesium-137 och strontium-90 samt från kobolt-60 som bildas vid neutronbestrålningen av reaktordelar av stål. Efter något tusental år har radioaktiviteten hos dessa ämnen klingat av så att man anser avfallet vara ofarligt från strålnings synpunkt. Vissa härdkomponenter kan dock innehålla mer långlivade radio-

aktiva ämnen. De får då behandlas som högaktivt avfall. Det medelaktiva avfallet gjuts vanligen in i betong eller asfalt, som anses ge en säker inneslutning för de tidsperioder det rör sig om.

Det lågaktiva avfallet består av papper, trasor, skyddskläder, olje- och vattenspill osv, som kan ha blivit förorenat med små mängder radioaktiva ämnen. Efter lämplig behandling beräknas volymen av dessa uppgå till något hundratal m³ per driftår. Kraven på inneslutning är i regel lägre för lågaktivt än för medelaktivt avfall.

Flera länder dumpar låg- och medelaktivt avfall i havet. Detta är tillåtet enligt internationella konventioner, men svensk lag förbjuder sådan dumpning. Svenskt låg- och medelaktivt avfall lagras ovan jord vid reaktoraggregaten och i Studsvik i avvaktan på beslut om ett centralt avfallslager.

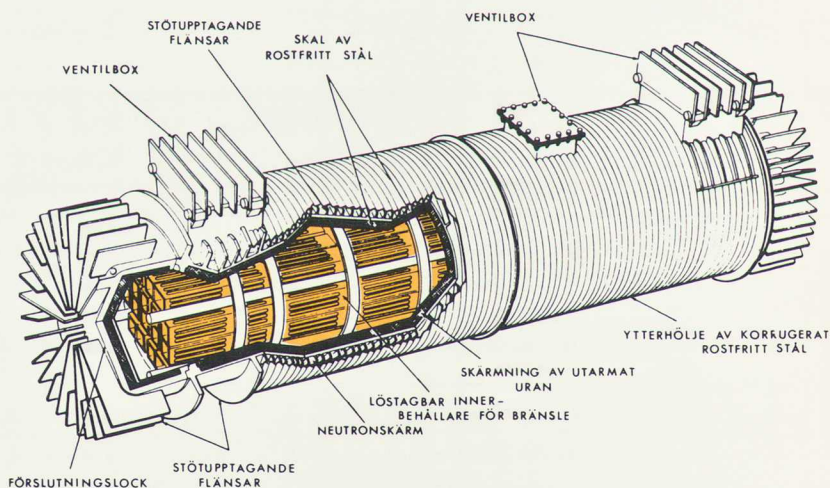
Rivning av ett kärnkraftverk sedan bränslehardnen avlägsnats beräknas ge åtskilliga tusen ton låg- och medelaktivt avfall, i första hand från reaktortanken och dess betonginneslutning.

Arbetsmiljö

Det finns inga erfarenheter om arbetsmiljöriskerna vid en avfallshanteringsanläggning i industriell skala. De blir förmodligen av delvis liknande natur som vid en uppberetningsanläggning, dvs särskilt reparations- och underhållsarbeten kan erbjuda problem från strålskyddssynpunkt.

Transporter

Det använda kärnbränslet fraktas mellan reaktor och uppberetningsan-



Figur 29. Exempel på transportbehållare för använda kärnbränsleelement. Moderna behållare rymmer något eller några ton bränsle. Behållarna väger totalt 30–70 ton. För att tyngodkännas krävs att de vid prov bl a visat sig tåla

- fritt fall på 9 meter mot en oeftergivlig yta
- fritt fall på 1 meter mot änden av en 15 cm tjock vertikal stålstång
- brand under 30 min vid 800° C samt
- nedsänkning i vatten till 15 meters djup

Källa: AKA-utredningen

Radioaktivt avfall uppkommer i alla led i kärnbränslets processkedja samt vid sjukhus, industrier och forskningsinstitutioner, som använder radioaktiva ämnen.

AKA-utredningen fann det svårt att för närvarande ge klara definitioner för olika typer av radioaktivt avfall. Frågan om definitioner diskuteras internationellt. AKA-utredningen använde själv följande indelning:

Högaktivt avfall utgörs främst av de klyvningsprodukter som avskils vid upparbetning av använt kärnbränsle. Om bränslet inte upparbetas får de använda bränsleelementen i sin helhet behandlas som högaktivt avfall. Det högaktiva avfallet måste strålskärmas effektivt och även kylas, åtminstone till en början. Med hänsyn till strålriskerna måste det hållas avskilt från mänskligt och annat liv under mycket lång tid.

Medelaktivt avfall måste strålskärmas men ej kylas. Lågaktivt avfall kan hanteras och lagras i enkla förpackningar. Det kan i vissa fall vara nödvändigt att lagra även låg- och medelaktivt avfall under mycket lång tid. Det beror bl a på vilka radioaktiva ämnen (isotoper) som ingår och hur farliga de är från strålrisksynpunkt.

En särskild grupp bildar avfall som innehåller långlivade isotoper av transuraner såsom plutonium, americium och curium. Denna grupp benämns ofta plutonium-, transuran- eller alfaaktivt avfall.

AKA-utredningen sammanfattade sina uppskattningar av volymerna radioaktivt avfall från ett års drift av en reaktor med 900 MW elektrisk effekt i följande tabell

Typ av avfall	Volym före behand- ling m ³	Volym efter behand- ling m ³
Högaktivt avfall	17	3
Medelaktivt avfall		
Kapslingsavfall	11	2
Jonbytarmassor och indunstar- koncentrat	90	9
Härdkomponenter, höljerör och metalliskt avfall	100	50
Lågaktivt avfall		
Sopor och liknande avfall	800	120

AKA-utredningen har då utgått från att bränslet upparbetas. Uppgifterna om avfallsvolymer efter behandling avser den form som avfallet bedöms ha vid den slutliga förvaringen. I tabellen har avfallsmängderna från brytning och framställning av uran inte inräknats.

Det låg- och medelaktiva avfallet från rivningen av anläggningen kan ge bidrag av samma storleksordning om man slår ut dessa mängder per driftår över anläggningens hela livslängd.

läggning eller avfallslager i särskilda transportbehållare, vilka måste ge både strålskydd och kylning (se figur 29). Behållarna skall också tåla stora påfrestningar vid eventuella olyckor. Transporterna regleras av internationella säkerhetsföreskrifter. Ändå finns det en viss risk att radioaktiva ämnen kommer ut i miljön — framför allt genom direkta sabotage- och terrorhandlingar mot transporterna.

I största möjliga utsträckning bör man undvika att flytta det högaktiva avfallet från lager invid uppberedningsanläggningen innan det överförs i en form som är lämplig för slutlig förvaring. Under inga förhållanden kan man tillåta transportsätt som innebär större risker än transporterna av använt bränsle.

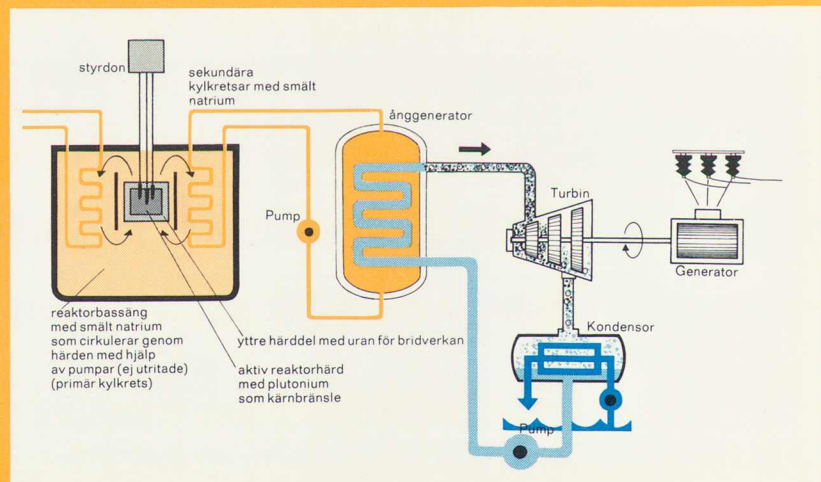
Övriga risker vid transport i kärnkraftens processkedja anses små. Detta är bl a en följd av de förhållandevis små materialmängder som behöver transporteras, särskilt i förhållande till fossila bränslen.

Bridreaktorer

Naturligt uran består till 99,3 % av den svårklyvbara isotopen uran-238 som inte kan användas som kärnbränsle i en kedjereaktion. Om uran-238

Bridreaktorer

De viktigaste huvuddragen i en bridreaktors uppbyggnad framgår av vidstående starkt förenklade bild.



Principskiss av ett kärnkraftsaggregat med bridreaktor

Reaktorhärden i en bridreaktor består liksom i en lättvattenreaktor av ett stort antal bränslestavar. I härdens centrala delar innehåller bränslestavarna plutonium (i en typisk konstruktion 17 % plutoniumoxid). I de ytt-

bestrålas med neutroner kan det dock omvandlas till plutonium-239, en isotop som kan klyvas i en kedjereaktion. I reaktorhärden på en bridreaktor tas de neutroner som frigörs vid kärnklyvningen till vara så effektivt att man kan få ut fler klyvbara plutoniumatomer genom bestrålning av uran-238 än man förbrukar genom klyvning av den ursprungliga bränsleladdningen. En bridreaktor producerar således samtidigt energi och nytt kärnbränsle ur naturligt uran. Man räknar med att på detta sätt få ut omkring 50 gånger mer energi ur samma mängd naturligt uran än om man använder enbart lättvattenreaktorer. Därigenom skulle det också bli lönsamt att bearbeta fyndigheter med mycket låga uranhalter. Tillsammans skulle dessa båda faktorer kunna innebära att världens urantillgångar skulle räcka till en mycket hög energiproduktion under många hundra år eller mer. Av sådana skäl ser bridreaktors förespråkare den som ett naturligt komplement och på sikt som en ersättare för nuvarande lättvattenreaktorer och andra liknande reaktortyper.

En bridreaktor blir på grund av de tekniska förutsättningarna mer komplicerad och dyrbarare än en lättvattenreaktor (se faktaruta). Utsläppen av radioaktiva ämnen från en bridreaktor under normaldrift kan troligen hållas på samma nivåer som från en lättvattenreaktor. Bridreaktorer för-

16

re delarna av härden innehåller stavarna enbart naturligt uran eller utarmat uran som erhållits som rest vid anrikningen av bränsle till lättvattenreaktorer. För att få bridverkan måste härden göras mycket kompakt. Värmeutvecklingen per volymsenhet blir mycket hög — upp till ca 500 kW per liter mot omkring 15 kW per liter i en lättvattenreaktor. Det ställer stora krav på kylningen. Vanligen används smält natrium vid temperaturer upp till 550°C. Eftersom natrium kokar först vid 882°C behöver inte reaktorkärlet sättas under tryck. Om emellertid luft eller vatten kommer i kontakt med natriummetallen leder det vanligen till våldsamma bränder och explosioner. Därför måste reaktorn arbeta i skyddsatmosfär, vanligen av argon. Reaktorhärden är placerad i en stor bassäng av smält natrium. Detta skall säkerställa kylningen även i onormala driftlägen som skulle kunna leda till haverier. De dubbla värmeväxlarna (först natrium — natrium och sedan natrium — ånga) är också motiverade av säkerhetsskäl. Ångan från den sista värmeväxlaren driver en ångturbin med tillhörande elgenerator på vanligt vis. Genom att en bridreaktor arbetar vid högre temperaturer än en lättvattenreaktor räknar man med att nå ungefär samma verkningsgrad som i ett kol- eller oljeeldat kondenskraftaggregat. Det gör att de utsläppta kylvattenmängderna blir mindre än vid ett lättvattenreaktoraggregat med samma elektriska effekt.

Bridreaktorer av olika storlek har byggts och körts i bl a USA, Storbritannien, Frankrike och Sovjet. Utveckling pågår på flera andra håll. Frankrike har f n i samarbete med några andra europeiska länder ett av de mest målmedvetna utvecklingsprogrammen. Demonstrationsanläggningen Phénix om 250 MW elektrisk effekt har varit i drift sedan 1974. Konstruktionsarbetet på en anläggning med 1 200 MW elektrisk effekt är långt framskridet.

utsätter emellertid att stora mängder bränsle upparbetas. Därför blir det särskilt starka krav på att begränsa hittillsvarande utsläpp av radioaktiva ämnen per ton upparbetat bränsle om man går över till bridreaktorer.

Avfallsproblemen blir också annorlunda. De totala avfallsmängderna per använt ton naturligt uran blir väsentligt högre än vid lättvattenreaktorer — man har ju, via omvandlingen till plutonium, kluvit avsevärt fler uranatomer och också utvunnit mer energi. Halten transuraner i avfallet ökar också.

Bridreaktorer torde även innebära annorlunda och möjligen svårare problem när det gäller säkerheten mot haverier. Eftersom bridreaktorer av hittillsvarande typ förutsätter tillverkning och hantering av stora mängder plutonium blir också riskerna sammanhängande med att plutonium kommer i orätta händer mer framträdande. Av bl a dessa skäl har man föreslagit andra typer av bridreaktorer, t ex sådana som bygger på torium och uran-233. I denna reaktortyp anses det vara tekniskt möjligt att göra det klyvbara materialet mycket svårare att komma åt för obehörigt bruk. Än finns det dock inte tillräckligt omfattande kunskaper om sådana reaktortyper för att göra en mer inträngande värdering av deras lämplighet.

Upparbetning och bridreaktorer — olika handlingsvägar

Inte minst under senare år har det uppstått en intensiv diskussion kring olika handlingsvägar vad gäller upparbetning av använt kärnbränsle och utvecklingen av bridreaktorer. Vi kan t ex erinra om rapporten Nuclear Power and the Environment från Royal Commission on Environmental Pollution (den s k Flowerskommissionen) i Storbritannien samt rapporten Nuclear Power Issues and Choices, utarbetad av en grupp amerikanska forskare på uppdrag av Fordstiftelsen.

Bl a dessa rapporter har belyst de samband som finns mellan beslut om att satsa på upparbetning i stor skala och beslut om att satsa på en framtida användning av bridreaktorer. I princip kan man säga att det finns följande alternativ:

- man inriktar sig medvetet på en snar framtida användning av bridreaktorer. Då förefaller det rimligast att redan nu gå in för upparbetning eftersom man bl a måste ha tillräckligt med plutonium tillgängligt för att starta de första bridreaktorerna.
- man vill hålla beredskap att i framtiden snabbt kunna gå över till bridreaktorer. Även i detta fall kan det förefalla rimligt att redan nu gå in för upparbetning.
- man inriktar sig på att åtminstone för lång tid framåt avstå från bridreaktorer. Det har då på senare tid uppstått allt större tveksamhet om det är rimligt att upparbeta bränslet enbart för återanvändning i t ex vanliga lättvattenreaktorer. Man menar bl a att det ekonomiska utbytet är osäkert. Därtill kommer att ökade utsläpp av radioaktiva ämnen knappast kan undvikas liksom en viss ökad risk för kärnvapenspridning. Man kan i stället med fördel välja att försöka finna metoder att förvara det använda kärnbränslet på ett sätt som både är betryggande i det långa tidsperspektivet och ger möjligheter att i en framtid upparbeta det — låt vara med ökade besvär.

läggningar i ett vidare energipolitiskt sammanhang är det betydelsefullt att få sådana samband mellan olika handlingsvägar närmare klarlagda. En sådan analys faller dock utanför vårt uppdrag.

Litteraturhänvisningar utöver underlagsrapporter och bakgrundsdokument (se appendix 2)

Vattenkraft och miljö 3. Betänkande avgivet av utredningen rörande vattenkraftutbyggnad i norra Norrland (SOU 1976:28).

Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall, del 1—2. Betänkanden av AKA-utredningen (SOU 1976:30—31) jämte remissyttranden.

Final Generic Environmental Statement on the Use of Recycle Plutonium in Mixed Oxide Fuel in Light Water Cooled Reactors," (GESMO), NUREG-0002, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., (1976).

Nuclear Power and the Environment. Sixth Report of the Royal Commission on Environmental Pollution (Chairman: Sir Brian Flowers). Cmd 6618, Her Majesty's Stationery Office, London (1976).

Nuclear Power Issues and Choices. Report of the Nuclear Energy Policy Study Group. Ballinger Publ. Co. Cambridge, Mass., (1977).

Olika energikällor har hälso- och miljöverkningar av mycket skilda slag. Verkningarna kan också fördela sig mycket olika mellan olika befolkningsgrupper, mellan olika geografiska områden och över olika tidskeenden.

Vissa verkningar är väl kända och avgränsade, t ex ingreppen i ett älvlopp när man bygger ett kraftverk. Andra verkningar kan bara beskrivas som ofullständigt kända risker, t ex risken för stora olyckor i kärnkraftverk eller inverkan på klimatet från utsläpp av koldioxid. Detta gör det svårt att jämföra olika energislag från hälso- och miljösynpunkt — en jämförelse blir starkt beroende av hur man värderar verkningar med olika fördelning och risker som är ofullständigt kända.

I det här kapitlet berör vi kortfattat några av de metodproblem man möter när man skall beskriva och värdera hälso- och miljöpåverkan från olika energislag.

Verkningarnas fördelning — motstående intressen

Vid en fullständig värdering av olika energislag får man se både till energianvändningens framsida — den nytta man får ut av energin — och dess frånsida, det vill säga såväl de företagsekonomiska kostnaderna för att producera och distribuera energi som skadeverkningar på hälsa och miljö. De senare återspeglas vanligen bara till en ringa del i de företagsekonomiska kostnaderna.

Vårt uppdrag har främst gällt att beskriva hälso- och miljöverkningar vid olika former av elproduktion. Vi har därför inte närmare gått in på nyttan av att använda olika mängder energi, ej heller på de företagsekonomiska kostnaderna för att framställa energi, inklusive kostnader för olika reningsåtgärder, etc.

Vill man i ett vidare sammanhang jämföra nytta, företagsekonomiska kostnader och skadeverkningar på hälsa och miljö är det i många fall rimligt att utgå från användningen av en viss energimängd, i vårt fall närmast en och samma mängd elektrisk energi från olika typer av kraftverk. Vi har valt att arbeta med årsproduktionen vid ett stort värmekraftverk om 1 000 MW som gemensam nämnare. Den energimängden är omkring 6 TWh och motsvarar ungefär elproduktionen från en av de större utbyggnadsnorrlandsälvarna.

Hälso- och miljöverkningarna fördelar sig många gånger efter helt andra mönster än användningen och därmed nyttan av energin. Elenergi som tillförs det gemensamma svenska elnätet kan ha producerats tack vare

vattenkraftutbyggnad i en norrlandsälv. Miljöverkningarna blir samlade till ett litet område, men där är desto mera påtagliga.

Ett annat slags fördelningsproblem uppstår när svavelutsläpp från kol- eller oljeeldning sprids i atmosfären. Svavelföreningarna förs över gränserna till länder som inte får del av energin från bränslet. Det land utsläppen kommer från bär inte hela bördan i form av skador på miljön och kan därigenom komma att undervärdera miljöriskerna med omfattande utsläpp.

Hälsopåverkan från energianvändning kan också många gånger fördelas mellan olika grupper av människor på ett sätt som inte överensstämmer med hur mycket energi de använder. Vissa grupper kan bli särskilt utsatta för risker. Sådana grupper är foster, barn, personer med allergiska besvär, andra kroniskt sjuka och äldre. En del av dem som arbetar inom energiproduktionen utsätter sig för risker som inte berör allmänheten.

Verkningarna fördelas också i tiden så att de inte bara drabbar dem som drar nytta av energitillgångarna. Efterföljande generationer kan drabbas av både hälso- och miljöverkningarna. Utsläpp av vissa metaller lagras upp i naturen för lång tid framåt även om utsläppen är små varje enskilt år. Vissa typer av radioaktivt avfall ger risker som sträcker sig långt fram i tiden och berör hela jordens befolkning.

Inom vattenkraftområdet är begreppet motstående intressen väl känt och använt sedan länge — kraftintresset står mot natur- och miljöintressen. De exempel som här anförts visar att många andra typer av motstående intressen kommer in när man skall väga in hälso- och miljöeffekter av olika energislag i ett vidare energipolitiskt sammanhang. Därför har vi strävat efter att beskriva hälso- och miljöverkningarna så, att dessa fördelningsfrågor belyses.

Vad menas med en risk?

Vissa typer av risker känner man rätt väl och man kan också uttrycka dem i siffror. Man vet t ex att olycksfall i arbetet inträffar i en omfattning som står i ett visst samband med antalet arbetade timmar, mängden utvunnet bränsle i en gruva etc. Man kan inte i förväg säga vem som kommer att drabbas, men man vet att några kommer att göra det och kan ofta uppskatta hur många fall som i genomsnitt kan inträffa per år över en längre tid. Det antalet är en uppskattning av det förväntade antalet fall och kan användas som ett mått på risken.

Vi kommer att använda ordet risk i betydelsen förväntat antal skador i kapitel 6 om hälsorisker i arbetsmiljön, eftersom det finns statistiskt underlag för att uppskatta sådana risker. Vi använder det också om hälsorisker från joniserande strålning, där strålskyddsexperten är förhållandevis ense om hur sannolikheterna för cancer och för ärftliga skador bör uppskattas. När det gäller hälsorisker från luftföroreningar är riskerna i många fall av samma slag, men man kan för närvarande inte uppskatta sannolikheterna eller förväntat antal fall med någon säkerhet.

I några fall har man misstankar som ännu inte bekräftats eller kunnat tillbakavisas, t ex när det gäller sambandet mellan utsläpp av en del kemiska föroreningar och uppkomsten av cancer, ärftliga skador och fosterska-

dor. Då talar vi också om risker, fast strängt taget i en annan betydelse. Det blir närmast fråga om farhågor.

Risker sedda ur energiproduktionens synvinkel

När vi beskriver riskerna genom att ange det förväntade antalet sjukdomsfall eller skadefall för en bestämd mängd producerad energi, ser vi riskerna ur energikällans, eller om man så vill samhällets, synvinkel. Man säger att detta är en källorienterad riskbedömning. Bakom ett förväntat antal fall kan då ligga en liten risk som läggs på många människor eller en större risk som läggs på färre människor, kanske tillhörande en speciell grupp. Inte bara det förväntade antalet fall utan också fördelningen av risker på olika grupper är, som vi tidigare framhållit, en viktig del av riskbeskrivningen.

När man diskuterar risker för mycket stora olyckor, där många människor kan omkomma vid samma tillfälle, visar det förväntade antalet dödsoffer som mått på risken en ytterligare begränsning. Om man uppskattar risken för en stor olycka med tusen omkomna till en på hundratusen år, är det förväntade antalet omkomna en hundradels person per år. Detta kan vara litet i jämförelse med exempelvis risken för yrkesskador. Det är dock knappast meningsfullt att bedöma en sådan olycksrisk enbart med hänsyn till det förväntade antalet omkomna per år taget som ett medelvärde över lång tid. Sannolikheten för olyckor av olika omfattning, de totala skadeverkningarna och hur samhället kan återhämta sig är viktiga faktorer som måste belysas var för sig vid värderingen av risker för stora olyckor.

Risker ur samhällets och individens synvinkel

I föregående avsnitt talade vi om hur risker kan anges ur energikällans — eller om man så vill samhällets — synvinkel. Men samhället består av individer och man kan då fråga sig om olika risker i samhället uppfattas på ett enhetligt sätt, även ur individens synvinkel.

Olika forskare har på senare år börjat ägna stort intresse åt frågan hur olika människor bedömer och värderar risker. De resultat som hittills kommit fram är långt ifrån entydiga. Uppenbarligen kan människor uppleva risker på helt olika sätt utan att det finns klara samband till riskmått som sannolikheter eller förväntat antal skador utslaget över en stor befolkning.

I allmänhet anses individuella risker som är större än omkring en på tusen per år som oacceptabla. Vid risker omkring en på tiotusen per år sätter samhället i allmänhet in åtgärder genom att utfärda föreskrifter eller anslå skattemedel i syfte att minska sannolikheterna och begränsa följdverkningarna. Risken att dö i trafiken eller till följd av yrkesskador är exempel på risker som i genomsnitt ligger i detta område. För risker mellan en på tiotusen och en på hundratusen per år utfärdas varningar medan risker under en på miljonen i allmänhet godtas utan oro.

Bakom sådana riskvärderingar ligger någon form av medvetna eller omedvetna risk-nyttoresonemang — man anser att nyttan eller nöjet av verksamheten överstiger risken, och är därför villig att ta den.

I allmänhet förefaller man vara mer benägen att godta risker som man kan besluta om själv, t ex rökning, än risker som tas genom kollektiva beslut och där den enskilda individen bara i begränsad omfattning kan påverka den risk han eller hon utsätts för. Teoretiskt skulle ett verkligt effektivt filter på en cigarett få kosta omkring fem kronor om man var beredd att betala lika mycket för att få ned cancerriskerna från rökning som samhället kräver när det gäller att skydda individen från joniserande strålning.

En allsidig belysning behövs

Eftersom det finns så stora skillnader mellan hur olika individer uppfattar risker och eftersom skadeverkningarna mätta i t ex förväntat antal dödsfall kan vara så olika fördelade har vi inte funnit det meningsfullt att lägga fram ett enda mätetal som kan ligga till grund för att jämföra hälso- och miljörisker av olika energislag. I stället har vi inriktat oss på att så allsidigt som möjligt belysa vilka skadeverkningarna är, när de inträffar, vilka de drabbar, hur sannolikt det är att de inträffar och hur säkert vi vet allt detta.

Litteraturhänvisningar utöver underlagsrapporter och bakgrundsdokument (se appendix 2)

Riskanalys. IVA-rapport 83, Ingenjörsvetenskapsakademien, Stockholm (1976).

Annual Review of Energy, Vol. 1. Annual Reviews Inc., Palo Alto, Calif. (1976). (Speciellt artiklar av Budnitz och Holden samt av Starr, Putnam och Whipple).

L Sjöberg, T Thedéen m fl. Rapporter från projektet Riskgenerering och riskbedömning i ett samhällligt perspektiv, Kommittén för långsiktso-motiverad forskning, Stockholm (1976, 1977).

Inverkan på befolkningens hälsa under normal drift — olja, kol, naturgas och kärnkraft

I detta kapitel behandlar vi mer detaljerat än i kapitel 1 hur befolkningens hälsa kan påverkas av användningen av olja, kol, naturgas och kärnkraft under normal drift. Till de energislag som i dag spelar en viktig roll hör också vattenkraften. Den ger dock knappast någon hälsopåverkan på befolkningen under normal drift.

Befolkningens hälsa kan påverkas av användningen av olja, kol, naturgas och kärnkraft på många olika sätt. Luftföroreningar från användningen av bränslen kan ge verkningar som sträcker sig allt från lindriga och övergående obehag till ett ökat antal luftvägssjukdomar av svårare natur, inklusive lungcancer. Luftföroreningar från industri, husuppvärmning och trafik torde i de flesta fall innebära betydligt större risker från hälsosynpunkt än utsläppen från t ex oljekraftverk. Hälsoriskerna från utsläpp från kärnkraftverk under normal risk sammanhänger främst med att man kan få ett ökat antal fall av cancer och ärftliga skador till följd av utsläppen av radioaktiva ämnen.

Vid redovisningen av hälsoriskerna har vi använt samma uppläggning som i sammanfattningen i kapitel 1. Vi börjar med den hälsopåverkan som visar sig omedelbart, t ex luftvägsbesvär. Sedan tar vi upp den påverkan som visar sig först efter en tid, t ex risk för ökning av antalet cancerfall. Avslutningsvis behandlar vi hälsorisker på mycket lång sikt, t ex från avfallslager.

Först vill vi dock nämna en påtaglig hälsorisk för allmänheten av annorlunda slag — trafikolyckor till följd av transporter av olja och kol. Risker för mycket stora olyckor behandlas i kapitel 8.

Trafikolyckor

Sverige förbrukar årligen närmare 30 miljoner ton olja och oljeprodukter. Dessa transporteras till största delen med tankbil åtminstone någon del av vägen mellan oljehamn och förbrukare. En mindre del — några miljoner ton — transporteras vissa sträckor med järnväg. Vi har inte försökt uppskatta hur stor andel av trafikolyckorna som faller på oljetransporterna. Det skulle kräva en rätt ingående analys av transportmönster m m.

Olycksriskerna vid transport av kol är något lättare att uppskatta, eftersom kolet i första hand transporteras med järnväg. 20 miljoner ton kol som transporteras 500 km kan kräva 1–2 dödsoffer och ungefär lika många skadade bland allmänheten, i första hand genom korsningsolyckor. Kolmängden motsvarar tio års behov av bränsle för ett 1000 MW kondenskraftverk. Dessa olyckor drabbar befolkningen i kolerporterande länder om trafiksituationen där är jämförbar med den svenska. Om vi i

Sverige använder kol som bränsle i t ex kraftvärmeverk förlagda till inlandet kommer motsvarande risker att drabba även den svenska allmänheten i förhållande till järnvägstransporternas omfattning i Sverige.

Inverkan på hälsan som visar sig förhållandevis snabbt

Under normala driftförhållanden ger kärnkraften inte någon omedelbar hälsopåverkan på befolkningen, vilket däremot användningen av bränslen kan göra. Det gäller främst luftföroreningar från motorfordon och värme pannor samt olje-, kol- eller naturgaseldade kraftverk.

Buller, lukt och damm

Buller från energiproduktion är i första hand ett arbetsmiljöproblem. Allmänheten berörs ibland. Transporter med tankbilar inom tätorter ger sitt bidrag till bullernivån där.

Dålig lukt märks främst i närheten av raffinaderier. Svaveldioxid som luftförorening märks inte på lukten så länge som halten ligger under de normer som gäller i Sverige.

Personer som bor i närheten av kolupplag eller i gruvdistrikt blir utsatta för koldampartiklar som sprids med vinden. Förutom att dammet smutsar ned kan det ge ett bidrag till luftföroreningarna vid sidan av utsläppen genom rökgaser m m.

Luftföroreningar

Det är svårt att lägga skulden för hälsopåverkan på någon eller några bestämda beståndsdelar av luftföroreningarna — svaveldioxid, kväveoxider, kolväten, koloxid och fasta stoftpartiklar. Det beror inte minst på att höga värden på en beståndsdel ofta uppträder samtidigt med höga värden på de andra. Man ser därför bara den sammanlagda verkan. Hittills har många undersökningar byggt på kombinerade mätningar av svaveldioxid och sot. (Se faktaruta 17 på s 120.) Resultat från senare år tyder på att halten kväveoxider, främst kvävedioxid, kan spela en självständig roll.

Hälsopåverkan som ger sig till känna vid tillfällena med höga luftföroreningar går i regel över efter en tid. Om påverkan är kraftig och återkommer ofta, kan man antagligen få mera långvariga, kroniska sjukdomar. Dessa berörs längre fram i kapitlet.

Svaveldioxid och sot — deras inverkan på luftvägarna

Svaveldioxid bildas vid förbränningen av svavlet i stenkolk eller olja. Av svaveldioxiden i stadsluft kommer för närvarande 90 procent från oljeeldning för uppvärmning.

Vid förbränning bildas också sot i form av fina partiklar. En stor del av föroreningarna i partikelform, i tätorter mer än hälften, kommer dock från trafiken, där såväl avgaser som väg- och bromsslitage bidrar.

Medicinsk expertis framhåller att det troligen inte är svaveldioxiden som

ensam skapar hälsoriskerna vid de halter som det här vanligen är fråga om. Halten av svaveldioxid i luften bör mera ses som ett mått på halten av en rad delvis bristfälligt kända föroreningar från rökgaser och andra utsläpp. Man ser också mängden sot i luften som ett sådant mått.

Förorenad luft kan påverka hälsan både tillfälligt och på längre sikt genom att upprepade irritationer så småningom ger kroniska skador. Starkt förorenad luft förvärrar tillståndet vid vissa sjukdomar, särskilt i lungor och hjärta. Under smogperioden i London 1952 avled under en vecka 4 000 fler människor än normalt för befolkningen på åtta miljoner. Halterna av

Hur man anger luftföroreningshalter

17

Svaveldioxid och kvävedioxid är exempel på gasformiga kemiska ämnen med bestämd sammansättning. Med kemiska metoder kan man entydigt bestämma halterna i luften. Dessa och andra föroreningar anges ofta i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mikrogram, eller miljondels gram, per kubikmeter luft). Ännu lägre halter uttrycks i ng/m^3 (nanogram, eller miljarddels gram, per kubikmeter luft).

De finfördelade föroreningarna i fast form är en blandning av olika ämnen, som varierar beroende på ursprunget. Olika sätt att mäta halten kan ge olika resultat. Ett sätt är att filtrera fram föroreningarna ur en stor volym luft och bestämma vikten av de partiklar som fastnar. Man talar då om mängden stoft. Ett annat sätt, som kan vara enklare, är att filtrera en viss mängd luft och mäta svärtningen på filtret. Då säger man i stället att man mäter mängden sot. Man har oftast använt sotmätningar vid undersökningar av luftföroreningar och hälsoproblem.

Vindhastighet och vindriktning varierar. Detta gör att halten av föroreningar växlar från plats till plats och från en tidpunkt till en annan. I en del fall (t ex för andningsbesvär) kan höga, tillfälliga värden vara avgörande, i andra (som när man talar om uppkomsten av cancer) är det snarare den genomsnittliga halten av föroreningar över lång tid som har betydelse. För olika slag av föroreningar anger man därför gärna genomsnitt över en bestämd tid, t ex

- halvtimmes medelvärden
- entimmesmedelvärden
- dygnsmedelvärden
- månadsmedelvärden
- vinterhalvårsmedelvärde

Det medelvärde man mäter över kort tid, t ex en timme, varierar en hel del med när man mäter. Man brukar beskriva variationerna så här:

- omkring hälften av mätningarna ligger på högst $5\mu\text{g}/\text{m}^3$: 50% värde, median
- omkring 99% av mätningarna ligger på högst $15\mu\text{g}/\text{m}^3$: 99:e percentilen
- någon enstaka timme nås $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ i genomsnitt, men aldrig mer: max timvärde

svaveldioxid och sot var då mycket höga. Främst drabbades gamla och sjuka personer.

Den renodlade verkan av svaveldioxid på luftvägarna har man studerat i experiment och i en del arbetsmiljöer. Man har iakttagit hälsopåverkan, men det har då gällt mycket höga halter. Härav kan man inte gärna dra slutsatser för de lägre halter som befolkningen i stort vanligen utsätts för.

En arbetsgrupp inom Världshälsoorganisationen (WHO) har rekommenderat följande normer för luftföroeningar uttryckta som mängden svaveldioxid och sot i luften, mätt i miljondels gram per m³ luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Svaveldioxid	Sot
Dygnsmedelvärde som inte bör överskridas mer än 7 dagar/år ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	120
Dygnsmedelvärde som inte bör överskridas mer än 180 dagar/år ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	55	35

Dessa värden ligger nära de halter som ger påtagliga hälsoeffekter. Man kan nämligen märka en ökad eller förvärrad sjuklighet om svaveldioxidhalten i genomsnitt över något eller några dygn ligger högre än ca 250–500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ och mängden sot är mer än 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Om människor utsätts för förorenad luft under lång tid, räcker lägre halter för att ge ökad sjuklighet. Gränsen ligger omkring 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i årsmedelvärde för halterna av svaveldioxid och sot.

I Stockholms innerstad är det under vinterhalvåret i medeltal ca 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ svaveldioxid i luften och i Göteborgs innerstad 50. Dessa nuvarande värden är mellan hälften och en tredjedel av värdena för tio år sedan. Det beror på att man i mitten av 60-talet satte in åtgärder för att minska utsläppen av svaveldioxid. Luftkvaliteten i svenska städer hade då blivit ett problem och man började se verkningarna av förorening från svavel i miljön. I första hand har man sökt minska utsläppen genom att använda oljesorter med låg svavelhalt. Det finns bestämmelser om att man inte får förbränna olja med högre svavelhalt än 1 procent eller kol med 0,7 procent i länen söder om Mälaren.

Övergången till fjärrvärme på senare tid har också sänkt svavelhalten i stadsluften. Visserligen använder fjärrvärmeverken ibland högsvavlig olja, och de totala svavelutsläppen kan därmed bli minst lika stora som utan fjärrvärme. I och med att värmeverkens skorstenar är höga sprids emellertid föroeningarna bättre. Halterna av svaveldioxid vid marken blir därigenom inte så stora i tätorterna. De metoder för rökgasavsvavling som nämndes i kapitel 3 tillämpas vid några enstaka anläggningar i Sverige.

Tack vare att fjärrvärme införs på allt flera orter väntas utvecklingen framöver bli gynnsam vad gäller halten svaveldioxid i stadsluft. I expertmaterialet i bilagorna har man antagit att utbyggnaden av fjärrvärmearläggningar fortsätter och gjort beräkningar på två "modellstäder" med invånarantal omkring 200 000 respektive 25 000. Medelvärdena för svavel-

dioxid under vintern blir gott och väl under den gräns för svaveldioxidhalt som man har satt upp som mål, nämligen $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Om ett stort kol- eller oljeeldat kraftverk förläggs nära en tätort höjs vintermedelvärdena för svaveldioxid något, men det rör sig bara om några få procent. Dessa förhöjningar, och troligen även tillskotten över kortare perioder, av storleksordningen dygn, kan inte ses som särskilt stora, om man ser dem som ett mått på luftföroreningarna och deras inverkan på hälsan.

Medelvärdet av svaveldioxidhalten över enstaka timmar kan lokalt nå rätt höga värden. Bidraget från ett stort oljeeldat kraftverk utan rening för svaveldioxid skulle i viss väderlek kunna bli avsevärt. Vid enstaka tillfällen kan man få halter som inte kan försummas i jämförelse med de halter där man i experiment har kunnat mäta ett ökat andningsmotstånd. Detta kan inte betraktas som betydelselöst från medicinsk synpunkt.

En del av svaveldioxiden omvandlas till sura sulfater och kan transporteras över stora avstånd. Mycket talar för att dessa föreningar är skadligare än svaveldioxiden, men tillräckliga data finns inte i nuläget för att möjliggöra en riskvärdering. Vissa uppskattningar har uppgivit värden på många tusen sjukdomsfall per år varav tiotals dödsfall som följd av ett 1 000 MW koleldat kraftverk utan rökgasavsvavling, förlagt i närheten av ett storstadsområde. Dessa uppskattningar har utsatts för stark kritik. Andra beräkningar har givit väsentligt lägre siffror. Detta säger något om hur stor osäkerheten är om dessa hälsoeffekter.

Kvävedioxid

Vid förbränning i kraftverk bildas olika kväveoxider, dvs föreningar mellan kväve och syre, ibland kallade nitrösa gaser. De släpps också ut från bilar. Den kväveoxid som har starkast verkan på luftvägarna är kvävedioxid. Andas man in stora mängder kvävedioxid kan man få bestående lungskador. Lukten av kvävedioxid börjar märkas vid halter från 200 till $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mikrogram, dvs miljondels gram, per m^3). Vid experiment har man funnit att halter om $1000\text{--}2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ger andningsbesvär hos människor efter kort tid.

I luften finns en naturlig halt av kvävedioxid på $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, men i tätorter stiger halten ofta till $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I större städer kan värdet bli flera hundra $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på gator med hög trafik när vinden är svag. Av kvävedioxiden i gatuplanet kommer 80—90 procent från bilarnas avgaser.

När det gäller kvävedioxid vet man från experiment att denna gas i sig ger ogynnsamma verkningar på djur och människor. De halter som ibland kan mätas upp på starkt trafikerade gator ligger inte långt under dem som man arbetat med i experimenten och som där visat sig vara skadliga. Däremot finns det knappast några undersökningar på större grupper av befolkningen, där man kunnat studera eventuella skadeverkningar av kvävedioxid som en luftförorening. Rekommendationer om vilka halter av kvävedioxid som kan godtas eller inte har man därför fått göra utifrån resultat från experimenten.

Inom Världshälsoorganisationen (WHO) har en arbetsgrupp rekommenderat att halten kvävedioxid, räknad i genomsnitt över en timme, hålls under $200\text{--}300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tillfälliga högre timmedelvärden kan knappast undvikas, men de bör inte överstiga normen mer en gång i månaden. Re-

kommandationen ger en viss säkerhet mot skador på normalt känsliga individer. Man vet däremot inte hur känsliga grupper som astmatiker reagerar på kväveoxider. Man kan heller inte utesluta långtidsverkningar av relativt låga halter. Hos experimentdjur har mottagligheten för infektioner ökat och tillväxten hämmats då de utsatts för kvävedioxid i låga halter under längre tid.

Om ett kol- eller oljeeldat kraftverk läggs i närheten av en tätort kan röken vid ogynnsamma väderförhållanden slå ned och ge höga tillskott till halten av kväveoxider i tätortsluften. Det skulle kunna röra sig om tillfälliga tillskott av kvävedioxid på några hundra mikrogram per m^3 . Koleldade kraftverk alstrar mera kväveoxider än oljeeldade. I båda fallen kan en hög skorsten motverka dessa lokala och tillfälliga höga halter. Som nämnts i kapitel 3 pekar den tekniska utvecklingen också på möjligheter att begränsa utsläppen även totalt. De tillskott av kvävedioxid till luften i en närliggande stad som kan förväntas från dagens kolkraftverk är i sig tillräckligt stora för att kunna få medicinsk betydelse. Om dessa tillskott läggs till de halter vi har i städerna redan i dag till följd av avgaserna från trafiken kommer det tidvis att medföra förhållanden där risken för medicinska effekter är uppenbar.

I genomsnitt är tillskottet från kraftverken dock mycket lägre. Ett olje drivet kraftverk höjer genomsnittet i omgivningen under vinterhalvåret med $1 \mu g/m^3$ och ett koleldat med $2 \mu g/m^3$. Detta är en liten höjning redan om man jämför med den naturliga bakgrunden om $5 \mu g/m^3$.

Koloxid

Koloxid är en gas som vid höga koncentrationer ger yrsel, huvudvärk och illamående och vid ännu högre halter leder till medvetslöshet eller döden. Koloxid finns i stadsluft och kommer nästan helt från biltrafiken. Från uppvärmning och kraftverk kommer inga bidrag att räkna med. Tobaksrökning ger ett betydande tillskott till rökaren själv.

Koloxiden tas via lungorna upp i blodet och minskar dess förmåga att försörja olika delar av kroppen med syre. Hjärtmuskulerna är starkt beroende av tillräcklig syretillförsel för sin funktion. Personer med sjukliga förändringar i hjärtats kransartärer kan komma i riskzonen redan vid ganska låga koloxidhalter i luften. I det sammanhanget kan bilarnas avgaser innebära en hälsorisk.

Inverkan på hälsan som visar sig efter viss tid

Långvariga (kroniska) sjukliga förändringar i luftvägarna

Om man utsätts för luftföroreningar under lång tid, kan irritationer och besvär, som normalt är tillfälliga, troligen många gånger övergå i långvariga (kroniska) sjukdomstillstånd. De halter av kvävedioxid som blir aktuella från bilar och kraftverk kan tänkas ge sådana förändringar. Svaveldioxidhalterna är rätt låga och det finns inte samma skäl att tro att de skulle ge kroniska skador. I utlandet har dock högre halter av svaveldioxid satts i samband med sådana sjukdomar.

I Sverige har man inte närmare undersökt om svavel- eller kvävedioxid eller sulfater har gett bestående luftvägsskador. Detta kan dock mycket väl ha skett utan att det kan spåras i den reguljära sjuklighets- och dödlighetsstatistiken.

Fördröjd hälsopåverkan genom utspridning och upplagring av olika föroreningar

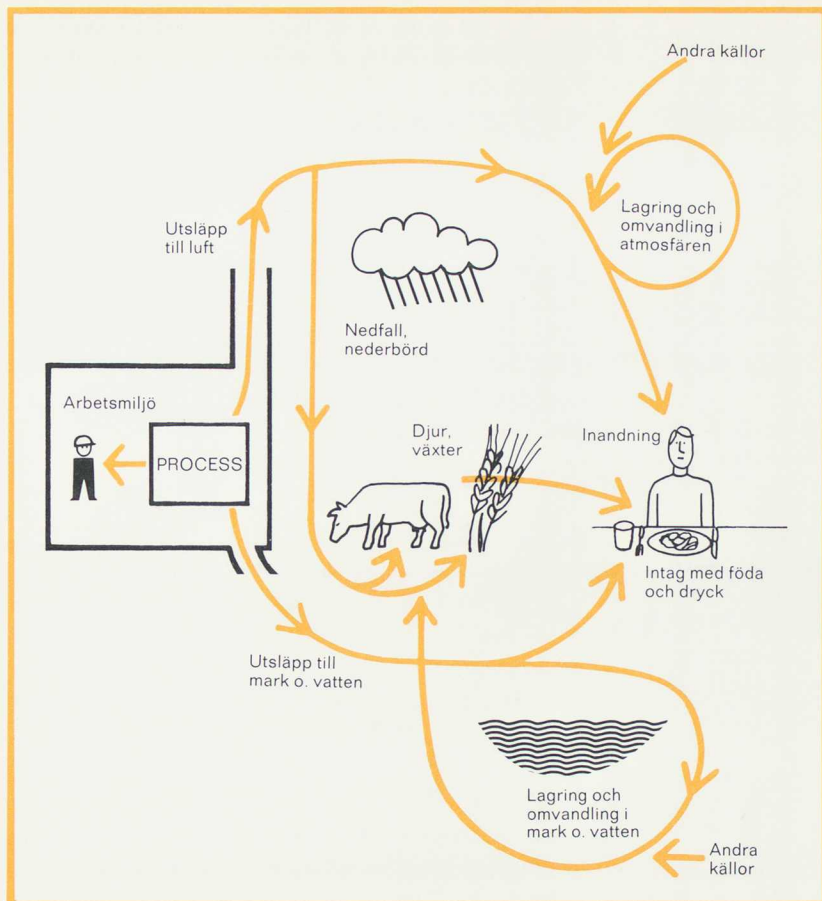
Den omedelbara hälsopåverkan, som vi behandlade i föregående avsnitt, beror på att vi andas in luft med höga halter av olika föroreningar. Man kan få ned de utsläppta mängderna genom reningsanordningar av olika slag. Man kan också späda ut och sprida föroreningarna över stora områden med hjälp av höga skorstenar. Då blir halterna i luften mera sällan så höga att de ger direkt märkbara obehag. Föroreningarna finns dock kvar. De faller ned på mark och vatten, t ex efter att ha tvättats ur av regn. Den vägen kan de tas upp av växter och djur och till sist även av människan genom den mat vi äter och det vatten vi dricker. Föroreningarnas väg från källan till vår kropp, där de kan påverka vår hälsa, blir på detta sätt ofta lång och invecklad. Detta belyses i figur 30.

På sin väg kan ämnena förändras kemiskt. De kan blandas upp med naturligt förekommande mängder av samma ämnen och med föroreningar från andra källor. I många fall kan det vara svårt att säkert fastställa sambandet mellan mängden föroreningar som släpps ut från en viss källa och de mängder som slutligen når vår kropp och kan påverka hälsan.

Även inuti kroppen kan föroreningarna omvandlas kemiskt (metaboliseras) till andra och, i vissa fall, farligare ämnen. Skadorna av ett visst ämne kan också förvärras av närvaron av ett annat ämne. Radioaktiva föroreningar kan spridas och tas upp på liknande sätt. Radioaktiva isotoper av olika grundämnen kan ingå i olika kemiska föreningar som växter, djur och människor får i sig.

Vissa spridningsvägar i figur 30 ger omedelbar hälsopåverkan — främst genom inandning. Andra vägar kan leda till hälsopåverkan efter viss tid, även om föroreningshalterna är låga. Skadliga ämnen som är beständiga under lång tid kan lagras upp i miljön — i marken eller i vattnet. I sådana fall ökar den sammanlagda mängden av ämnet i miljön och i vissa fall även i livsmedel även om de årliga tillskotten är små. Eftersom ökningen är långsam kan det dröja många år innan påverkan på hälsan blir märkbar. Ofta tål vi ämnet så länge halterna i vår kropp håller sig under ett visst tröskelvärde. Överskrids tröskelvärdet kan man få ett stort antal allvarliga förgiftningsskador. Så är fallet med en sådan giftig metall som kadmium. För att förhindra skador måste man kontrollera utsläpp och upplagring av sådana ämnen under lång tid.

Ett annat exempel på fördröjd hälsopåverkan är att människor som utsätts för små mängder joniserande strålning eller vissa kemiska ämnen löper ökad risk att få cancer. I sådana sammanhang antar man att det inte finns några säkra nivåer för föroreningshalterna — en liten ökning av utsläppen av cancerframkallande ämnen — radioaktiva eller kemiska — anses alltid ge en viss ökning av antalet cancerfall. Den ökning man räknar fram på detta sätt kan dock vara liten i förhållande till det totala antalet cancerfall. En begränsning av utsläppen av cancerframkallande ämnen



Figur 30. Principskiss av hur föroreningar från en process kan spridas, lagras, omvandlas och slutligen tas upp av människan. De förlopp som skisseras i figuren gäller i sina huvuddrag både för kemiska föroreningar och radioaktiva ämnen.

får i allmänhet diskuteras med hänsyn till vad som skulle kunna vara en rimligt liten ökning av cancerrisken.

När det gäller att bedöma olika energislags hälsorisker på lång sikt måste man sålunda ta hänsyn till en mångfald spridnings-, upptagnings- och verkningsmekanismer. Problem av detta slag är inte nya. I början av 60-talet insåg man allmänt faran med fortsatta kärnvapenprov i atmosfären. Dessa skulle kunna bygga upp allt högre halter av radioaktiva föroreningar och ge icke godtagbara hälsorisker under lång tid. Bl a mot den bakgrunden kom provstoppsavtalet 1963 till. På liknande grunder har man insett att man måste vara återhållsam med att använda DDT och vissa andra gifter.

Förgiftningsrisker från utsläpp av metaller

Vid eldning med kol sprids flera giftiga metaller. Farligast är kadmium och kvicksilver. Dessutom förekommer bly, mangan, krom och nickel samt halvmetallen arsenik. Även dessa ämnen har satts i samband med

olika sjukdomar. Metallhalterna i kol varierar kraftigt, inte bara mellan olika gruvdistrikt utan också mellan olika gruvor. Halterna kan till och med skifta i olika delar av en gruva.

Även ett oljeeldat kraftverk släpper ut föroreningar i form av metaller. Här rör det sig om nickel och vanadin. Vissa nickelföreningar kan orsaka cancer medan vanadin främst påverkar växtligheten.

Metallutsläppen innebär således såväl miljö- som hälsoproblem. Gifterna kan förorena dricksvattnet. De kan också komma ut i sjöarna och där lagras upp i fisk. Här är väl kvicksilver det mest kända och diskuterade exemplet. Metallerna finns också i luften vi andas. Stoff från kraftverken faller så småningom ned på marken och ämnen som ingått i det kan tas upp genom växternas rötter.

Kadmium

Vi får i oss kadmium genom både föda och inandning. Kadmium finns också i tobaksrök. Att kadmium i luft och mat är ett allvarligt hälsoproblem beror på att det är giftigt samtidigt som det tar mycket lång tid innan metallen lämnar kroppen. Kadmium lagras i njurarna och utsöndras långsamt. Även om tillförseln stoppades helt skulle hälften av kadmiumhalten finnas kvar efter 20—30 år. Därför är även låga halter i födan en hälsorisk på längre sikt. Om våra vanligaste livsmedel, t ex bröd, innehåller 0,3—1 tusendels gram (mg) kadmium per kg kan detta med tiden skada njurarna. Detsamma gäller om luften har en halt av 2—4 miljondels gram per m³ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

I Japan har man fått förgiftningssymtom hos människor som ätit ris med en kadmiumhalt av 0,3 mg/kg. I Sverige har vi 0,05 mg/kg i vete. Den halten är högre än vad man hade i början av 1900-talet. Svenskarna, liksom invånarna i andra industriländer, har redan betydande mängder kadmium i kroppen. Härtill bidrar bl a tobaksrökningen. Hos svenska 50-åringar ligger halterna i medeltal på en åttondel av de halter som ger påvisbara njurskador hos känsliga personer, och i USA ligger halterna ännu högre. Eftersom det rör sig om ett medelvärde kan halterna hos enskilda individer ligga högre. Därför bör ytterligare utsläpp begränsas så mycket som möjligt.

Kadmium som faller ned på jordbruksmark stannar där mycket länge. Små men långvariga utsläpp av kadmium lagras därför upp i marken. Det innebär att kadmiumhalten i t ex brödsäd ökar även om de årliga utsläppen inte ökar. Tillförseln av kadmium till marken genom nedfall från luften kan f n uppskattas till 100—700 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ varje år. Därtill kan komma bidrag från slam och gödningsmedel. Ett kolkraftverk, som eldas med kol med höga metallhalter, kan innebära att denna tillförsel ytterligare ökar. Sådana tillskott kan innebära att halten i maten fortsätter att öka. De japanska erfarenheterna visar att det knappast går att få ner kadmiumhalten inom rimlig tid på annat sätt än att skala av och frakta bort de övre jordskikten.

I Sverige är kadmiumhalten i luften f n låga. Det rör sig om 3 ng/m³ (nanogram, miljarddels gram, per m³) i stadsluft. Högre värden kan givetvis förekomma i närheten av vissa industrier. Man räknar med att först halter uppåt 1000 nanogram per m³ i luft ger verkningar vid inandning under lång tid. Ett koleldat kraftverk beräknas ge tillskott av kadmium till in-

andningsluften som ligger under 0,1 nanogram per m³ i genomsnitt över vinterhalvåret även för kol med höga kadmiumhalter. Sådana halter i luften bedöms ge försumbara hälsorisker från inandningssynpunkt.

Det råder betydande osäkerhet om hur stora kadmiumutsläppen från kol-kraftverk kan bli. Den tekniska utvecklingen, bl a vad gäller rökgasrening, talar för att utsläppen från framtida kolkraftverk kan göras förhållandevis små. Eftersom många människor i Sverige redan nu har förhållandevis höga kadmiumhalter i kroppen anser dock medicinsk expertis att det är ytterst tveksamt om ökade totala kadmiumutsläpp i landet kan godtas utan en ingående kartläggning av hälsoriskerna.

Kvicksilver

Kvicksilver, som förekommer i stenkol och i ringa grad i olja, har hittills inte kunnat avskiljas till någon större del genom rökgasrening. Det släpps till stor del ut i luften. Det faller ned och samlas delvis i sjöar och vattendrag. Där omvandlas kvicksilvret till en del till metylkvicksilver, som är en organisk förening. Det innebär att det lätt kommer in i det biologiska kretsloppet och så småningom lagras i fiskkött. Metylkvicksilver ger nervskador i hjärnan. Skadeverkningarna beror på hur mycket kvicksilver man har i kroppen. Mängden metylkvicksilver i kroppen vid ett visst tillfälle beror på den mängd kvicksilverförorenad mat, t ex fisk, man ätit under de närmast föregående månaderna.

I Japan inträffade under perioden 1953–1960 den s k Minamatakatastrofen där en stor grupp människor kvicksilverförgiftades. I deras kost ingick mycket fisk som hade förgiftats genom industriutsläpp. Människorna drabbades av svåra skador — från känselrubbingar till rörelsesvårigheter, blindhet och dödsfall. I Irak inträffade 1972 en annan svår kvicksilverförgiftning när befolkningen i en nödsituation bakade bröd av kvicksilverbetat utsäde.

Dessa händelser gör att vi vet relativt väl vilka doser metylkvicksilver som ger olika typer av skador i människokroppen. Om mängden är tillräckligt liten blir det inga skador alls, men får man i sig 0,1 milligram per dag finns viss risk för lätta symtom i form av känselrubbingar. Vid högre doser tillkommer balansrubbingar och vid tillräckligt hög dos dör man.

Hälsopåverkan av kvicksilverutsläpp från kolkraftverk är svår att uppskatta, med verkningarna på 10–15 års sikt kan bli stora jämfört med dagens situation. Det gäller även om man använder kol med förhållandevis låga kvicksilverhalter. Kvicksilverutsläppen från ett enda kolkraftverk kan, om kolet är kvicksilverrikt, vara jämförbara med vad som i dag sammanlagt kommer ut från ett stort smältverk, nio kloralkaliindustrier och Sveriges alla sopförbränningsanläggningar. Kvicksilverhalten i fisk i närheten av ett kraftverk torde öka. Hur stor ökningen blir beror inte bara på den utsläppta mängden utan också på faktorer som vattnets surhetsgrad. Under ogynnsamma omständigheter kan ökningen bli upp till 0,4 milligram per kg fiskkött.

Allvarligare hälsoeffekter kan begränsas genom administrativa åtgärder. Fiskevatten "svartlistas" om fisken där har en halt på 1 milligram kvicksilver per kg eller mer. Fisk därifrån får inte säljas. Halter mellan 0,5 och 1,0 milligram per kg leder till "grålistning". Fisk från sådana vatten bör

man inte äta mer än en gång i veckan. Även om fall av förgiftning inte behöver inträffa skulle ett större antal människor än nu komma att äta fisk med kvicksilverhalter strax under gränsvärdena. Det kan innebära risker.

Följden av stora kvicksilverutsläpp från ett kolkraftverk skulle kunna bli att flera fiskevatten i sjöar och vid kusten måste svartlistas. Till en början skulle det gälla vatten i närheten av kraftverket, men med tiden kan det komma att gälla större områden. För fiskenäringen skulle detta innebära ekonomiska problem.

Som nämnts i kapitel 3 kan pågående teknisk utveckling göra det möjligt att skilja av kvicksilver ur rökgaser avsevärt effektivare än i dagens kolkraftverk.

Bly

Bly används som tillsats till bensin. Luften vid en trafikerad gata kan innehålla ett par mikrogram bly per m³. Blyet faller också ned på marken och tas upp i växtligheten längs vägarna.

Bly är skadligt för blodbildningen och nervsystemet. Det kan komma in i kroppen genom både inandning och föda. Blyhalten skiftar i olika delar av kroppen, t ex skelett och blod. Blyhalten i blodet ger dock en uppfattning om riskerna för olika skador. Vid 200—300 mikrogram per liter blod kan blodbildningen påverkas. Nervskador märks i regel inte förrän vid dubbelt så höga halter i blodet, men barn och foster är känsligare.

Blyutsläppen från trafiken kan bli en hälsorisk. Mängden bly i luften på starkt trafikerade gator är tillräckligt stor för att kunna bli en risk i första hand om småbarn får i sig damm eller jord som förorenats av blynedfall. Utsläppen från koleldade kraftverk kan ge bidrag som inte är helt betydelselösa. De behöver dock inte uppmärksammas på samma sätt som utsläppen av kvicksilver och kadmium.

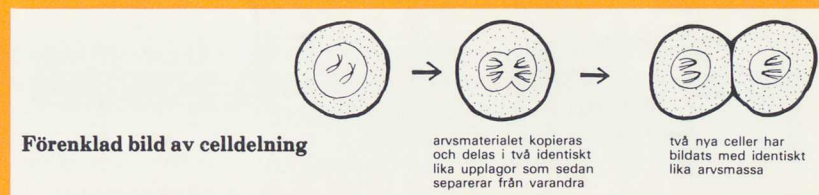
Cancer

Vad är cancer och vad vet vi om dess uppkomst?

Cancer är ett sammanfattande namn på en grupp av sjukdomar med det gemensamt att celler i kroppen slutar följa det normala tillväxtmönstret. Samtidigt fullgör de inte sina normala funktioner i de vävnader där de ingår. Cancer kan uppträda som tumörer (vävnadsmassor i onormal tillväxt). Till cancersjukdomarna hör också leukemi, som innebär onormal produktion av blodkroppar.

Cancer är numera en av de vanligaste dödsorsakerna i utvecklade industriländer som Sverige. Mellan 1958 och 1972 ökade antalet nyttillkomna cancerfall i Sverige från 19 000 per år till över 30 000 per år. Omkring hälften av ökningen anses bero på att vi lever längre, att vi fått säkrare beskrivning av dödsorsakerna och andra liknande faktorer. Till resten av ökningen — omkring 5 000 fall per år — har den medicinska sakkunskapen ingen entydig förklaring. Många forskare, liksom Världshälsoorganisationens organ för cancerforskning i Lyon (IARC), anser att uppemot fyra femtedelar av alla cancerfall är orsakade av människan själv — genom skadliga ämnen i arbetsmiljön, rökning, tillsatser i födan, utsläpp av föroreningar etc. Sådana uppskattningar är dock osäkra.

All information om hur den enskilda cellen skall fungera kemiskt finns lagrad i långa, spiralformade molekyler av ett ämne som kallas deoxiribonukleinsyra, förkortat DNA. DNA-spiralerna har förmågan att verka som mallar för att sätta samman alla de kemiska ämnen cellen behöver för att fungera. Olika delar av en DNA-spiral svarar var och en för sitt ämne. DNA innehåller alltså cellernas ärftliga (genetiska) kod. DNA-molekylerna ingår i större bildningar, kromosomer ("arvsanlagens bärare"), som under celldelningen kan iaktas i mikroskop. När en cell delas (se bild) kopierar först arvs materialet, dvs DNA-molekylerna, sig självt i två identiskt lika upplagor. Dessa går till var sin del av cellen, varefter delningen fullbordas och två nya celler har bildats — var och en med samma DNA-kod för alla cellfunktioner.



Skador på DNA-molekylerna, alltså förändring av deras kemiska mönster, kan få allvarliga följder för cellens funktion. Bl a kan följande hända:

- cellen kan inte dela sig och dör.
- förändringen (mutationen) i den enskilda cellens arvs material medför att celler med onormal delningsförmåga bildas. Man får en okontrollerad tillväxt av antalet celler i form av en tumörsjukdom.
- förändringen i DNA drabbar en könscell (ägg- eller sädesceller eller de celler i könskörtlarna som bildar dessa). Då kan förändringen föras över till den cell som ger upphov till en ny individ. Den nya individens celler bildas sedan genom delning av ursprungscellen. Det innebär att förändringen i DNA återfinns även i den nya individens könsceller. På detta sätt fortplantas förändringen (mutationen) från generation till generation. Är förändringen skadlig har det uppstått en ärftlig skada.
- förändringen drabbar en cell i ett foster. Det blir då en fosterskada, om den drabbade cellen har en viktig funktion vid anläggningen av något organ eller någon kroppsdel. En sådan skada är dock inte ärftlig om den inte drabbar fostrets anlag till könsceller.

DNA kan skadas på många olika sätt. Skador kan uppstå spontant eller genom påverkan av kemikalier eller joniserande strålning. Kroppen skyddar sig mot detta bl a med hjälp av ämnen som kan reparera skadorna i DNA-materialet. Möjligen kan skador på dessa skyddsfunktioner och på immunförsvaret också bidra till uppkomsten av cancer.

Mycket av vad som sagts ovan rör mekanismer som i dag är ofullständigt kända och som det forskas intensivt kring. Det råder fortfarande vetenskapligt osäkerhet kring sambandet mellan DNA-skador och cancer. Det finns också helt andra mekanismer för uppkomst av fosterskador och med stor sannolikhet även för uppkomst av cancer.

Mekanismerna för uppkomst av cancer är ofullständigt kända. Det kan mycket väl röra sig om många helt olika processer vid olika tillfällen och vid olika typer av cancer. Joniserande strålning, vissa kemiska ämnen och virus kan orsaka en cellförändring som skulle kunna leda till cancer. Man anser att denna cellförändring troligen i många fall har sin grund i skador i de enskilda cellernas arvs massa (se faktaruta 18 s 129). Det är sålunda troligt att det finns vissa samband mellan uppkomsten av cancer, ärftliga skador och vissa typer av fosterskador.

Samverkan och motverkan mellan olika ämnen spelar i vissa fall en stor roll för uppkomsten av cancer. Ett exempel är att rökning — som i sig är cancerframkallande — också ökar risken för cancer vid inandning av sådana ämnen som asbest och den radioaktiva gasen radon.

Man talar om direkt och indirekt cancerframkallande ämnen (cancerogener). Vissa metallföreningar är direkta cancerogener, dvs ämnen som orsakar cancer utan föregående biokemisk omvandling. De flesta organiska cancerogena ämnen verkar dock indirekt. De omvandlas (metaboliseras) i kroppen till ämnen som i sin tur är cancerframkallande. Luftföroreningar innehåller indirekta cancerogener, t ex nitrosaminer och polycykliska kolväten som bens(a)pyren.

Det dröjer i regel många år — ibland flera decennier — från det att en människa utsätts för cancerframkallande påverkan till dess en cancersjukdom kan påvisas. Denna fördröjning kallas latenstid. Orsaken till de långa latenstiderna är inte känd, men redan den tid det tar för en tumör att växa till märkbar storlek kan vara lång.

Allmänt om cancerrisk från joniserande strålning

De cancertyper som kan framkallas av joniserande strålning är framför allt leukemi, sköldkörtelcancer, lungcancer, skelettcancer och bröstkörtelcancer. Det finns ett samband mellan den stråldos människor utsätts för och sannolikheten för att de får cancer. Risken ökar med ökad stråldos. Om 10 000 människor vardera utsätts för en liten stråldos finns det en risk för att ett par individer i gruppen till följd härav får cancer någon gång. Vid en dubbelt så stor dos kan man vänta sig dubbelt så många cancerfall till följd av strålningen. Däremot ändras inte cancerens typ eller svårighetsgrad.

Utsläpp av radioaktiva ämnen från t ex ett kärnkraftverk kan ge en ökning i antalet cancerfall. För att uppskatta riskerna måste man dels veta hur stora stråldoser människorna utsätts för, dels det siffermässiga sambandet mellan stråldos och cancerrisk. Biologiskt likvärdiga stråldoser anges i rem eller bråkdelar därav, såsom millirem = tusendels rem (se faktaruta 19 på detta uppslag).

Sambandet mellan stråldos och cancerrisk

Risken att insjukna i cancer till följd av låga stråldoser är i flertalet fall mycket liten i förhållande till risken att insjukna i cancer av andra orsaker. Därför är det svårt att fastställa precis hur stor den kan vara (se faktaruta s 20 på detta uppslag). Den internationella strålskyddskommissionen (ICRP) och FN:s vetenskapliga strålningskommitté (UNSCEAR) har ställt samman siffror från olika undersökningar av verkningar av större stråldoser. Den totala risken att dö (mortalitetsrisken) i cancer orsakad av

Stråldosen är den strålenergi som tagits upp per kilogram av den bestrålade vävnaden. Stråldoser anges vanligen i rad. En rad betyder att vävnaden tagit upp en strålenergi av en hundradels joule per kilogram. En ny enhet för stråldos enligt SI-systemet är 1 gray = 1 joule per kilogram.

Olika typer av joniserande strålning, t ex gammastrålning och neutroner (se faktaruta 2 s 16) ger olika stor biologisk effekt även om den upptagna energin är lika. För biologiskt likvärdiga stråldoser har man därför infört begreppet dosekvivalent som anges i rem. En dosekvivalent om en rem ger i huvudsak samma biologiska skadeverkan oberoende av vad slags joniserande strålning det är fråga om. Man talar ofta om dos när man egentligen menar dosekvivalent. Vilket begrepp som avses får då i stället framgå av sorten rad eller rem.

Om hela kroppen vid ett tillfälle utsätts för stråldoser på mer än några hundra rem leder det till svåra sjukdomssymtom. Den bestrålade kan dö efter kort tid (se faktaruta 28 s 198). Så stora helkroppsdoser kan uppträda bara vid olyckor och kärnvapenkrig.

Den naturligt förekommande joniserande strålningen (se faktaruta 2 s 17) ger varje människa i genomsnitt en dos på 100 millirem (0,1 rem) per år, med variationer mellan olika individer på flera tiotal millirem per år eller mer.

Svårigheter att fastställa cancerrisk vid små 20 doser

Svårigheterna att fastställa sambandet mellan stråldos och hälsorisk beror på statistiska lagar och kan inte kringgås. Det gäller också för olika ärftliga skador från strålning och för påverkan av kemiska ämnen — i det senare fallet tillkommer dessutom andra grundläggande svårigheter.

I Sverige insjuknar drygt 30 000 personer i cancer varje år. Det är omkring 36 fall per 10 000 innevånare. I en befolkningsgrupp på 5 000 personer kan man alltså normalt förvänta sig omkring 18 cancerfall per år. Om dessa 5 000 personer utsätts för 1 rem joniserande strålning per år, t ex i arbetet, beräknar man att man kan vänta sig något eller några extra fall av cancer. Det tillskottet går inte att upptäcka till följd av de slumpmässiga variationerna kring det förväntade värdet 18 fall per år. Variationer uppåt eller nedåt på, i detta exempel, ca 3—6 fall om året är nämligen vad man måste vänta sig.

Om den genomsnittliga stråldosen till var och en i Sveriges befolkning ökade med 1 millirem per år kan man vänta sig att några fler personer — troligen ett par tre stycken per år — så småningom insjuknar i cancer. Mot bakgrund av den slumpmässiga variationen på 150—200 fall per år bland åtta miljoner personer skulle en sådan ökning inte kunna iakttas.

I samtliga fall har vi räknat med doser utöver den normala bakgrundsstrålningen.

stråldoser kunde i dessa fall uppskattas till mellan en på 5 000 och en på 10 000 per rem. Risken att insjukna i cancer till följd av strålning (morbiditetsrisken) uppskattas i genomsnitt vara omkring dubbelt så stor men varierar mycket mellan olika cancerformer. Det betyder att omkring hälften av cancerfallen är relativt godartade till sin natur eller kan botas genom medicinska åtgärder som strålbehandling. För en detaljerad diskussion av hur man kommit fram till dessa siffror hänvisas till bilagorna. Här ges bara en kort sammanfattning.

Svårigheter att fastställa riskerna

De små stråldoser och risker det är fråga om gör att fallen av cancer framkallade av strålning inte blir möjliga att utskilja i de mänskliga befolkningar som kan studeras. Cancer på grund av strålning skiljer sig inte från andra cancerformer. För att påvisa en ökad cancerfrekvens från stråldoser som är mycket mindre än en rem, måste man studera många miljoner bestrålade individer. Några av dessa statistiska svårigheter belyses i faktaruta 20 på s 131. Av dessa orsaker har cancerriskerna för människor kunnat bestämmas med direkta iakttagelser bara vid relativt höga doser.

De människor som har kunnat studeras är de överlevande från atombombningarna av Hiroshima och Nagasaki. Dessa erfarenheter redovisas

Cancerfrekvensen bland överlevande efter 21 atombomberna över Hiroshima och Nagasaki

Bland de överlevande efter atombombningarna i Hiroshima och Nagasaki märktes först en ökning av leukemi (blodcancer). I en undersökt grupp om 20 000 personer som beräknades ha fått en stråldos på mer än 10 rem från atombomberna förekom fram till 1972 84 leukemifall. Antalet fall utan bestrålning skulle normalt ha varit ca 14. Allt tyder på att leukemirisken var högst år 1955, 10 år efter bestrålningen. Därefter avtog risken gradvis. Detta stämmer med vad som är känt från andra fall av bestrålade människor, bland annat en engelsk grupp av patienter som röntgenbestrålats mot ledsmärtor och ryggåkommor.

Ökningen av antalet leukemifall börjar märkas ett par tre år efter bestrålningen. Den ökade risken kvarstår i ett antal år. Sedan avtar den för att bli ungefär normal igen efter 20—25 år. För andra cancerformer med längre latenstid har man inte kunnat avgöra om risken minskar med tiden.

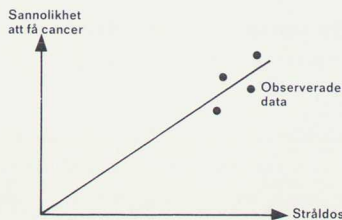
För den undersökta gruppen 20 000 japaner som hade fått mer än 10 rem från atombomberna finns siffror även för andra cancerformer från tiden 1950—1972. Antalet dödsfall i alla andra former av cancer än leukemi var under denna period 1075 jämfört med väntade 918. Mellanskillnaden, 157 fall, kan ha orsakats av strålningen. Det finns inga säkra tecken på att den årliga cancerrisken ännu skulle ha börjat avta inom denna grupp. Medelåldern i gruppen börjar emellertid bli hög. Det verkar därför osannolikt att det totala överskottet kan bli mer än 250 cancerfall även om den årliga risken för de bestrålade aldrig sjunker.

i faktaruta 21 på detta uppslag. Dessutom har man undersökt patienter som fått relativt höga stråldoser vid medicinsk undersökning och behandling samt lysfärgsarbetare och gruvarbetare.

Det s k linjära sambandet vid låga doser

Som vi tidigare sagt bedöms risken att dö i cancer som 1–2 på 10 000 för en dos på en rem. När det gäller relativt höga stråldoser (över omkring 5 rem per person) har man verkligen kunnat iaktta en ökad förekomst av cancer av den storleksordningen. Därifrån är steget långt till att uppskatta hur många cancerfall man kan vänta sig efter en dos på bara någon millirem per år utöver den naturliga bakgrundsstrålningen (cirka 100 millirem per år). Som framgår av faktaruta 20 på s 131 kan man inte belägga så små ökningarna av cancerrisken ur statistiken.

De flesta strålningsexperter anser dock att det är rimligt att göra riskuppskattningar som om det rådde ett linjärt samband mellan cancerrisk och stråldos hela vägen ned till låga doser (se figur 31). I så fall kan man använda samma siffror för cancerrisken per rem för låga doser som för höga. Man anser att man på detta sätt inte gör någon mer betydande underskattning av risken.



Figur 31. En illustration av det linjära sambandet mellan stråldos och sannolikheten (risken) att få cancer: man antar att risken för att få cancer är direkt proportionell mot stråldosen, dvs att risken ökar rätlinjigt från noll, dvs ingen stråldos alls, till de observerade värdena vid höga stråldoser.

Vissa forskare anser att detta kan innebära en överskattning av risken med två till tio gånger, särskilt vid långvarig bestrålning med låga doser. Några forskare betvivlar att det över huvud taget finns någon risk med låga doser. Andra forskare menar att risken underskattas två till tio gånger, särskilt om man fortlöpande utsätts för mycket små doser under lång tid. Med dessa osäkerheter i åtanke använder vi i fortsättningen värdet 1–2 på 10 000 per rem när vi beräknar risker att dö i cancer orsakad av joniserande strålning.

Risksiffran är ett medelvärde

Risksiffran är ett medelvärde för samtliga cancertyper hos en större grupp människor med normal ålders- och könsfördelning. Risksiffrorna för en del former av cancer behandlas utförligare i bilagorna. För några cancertyper ändrar sig troligen risken med ålder och kön. Utifrån undersökningar som gjorts kan man t ex anta att risken för leukemi är 2 på 100 000 per rem för vuxna, 5 på 100 000 per rem för barn, och 25 på 100 000 per rem för bestrålning i fosterstadiet. Riskvärdet för leukemi blir då genomsnittligt 2,5 på 100 000 rem för en befolkning med normal åldersfördelning.

Begreppet kollektivdos

Om man utgår från antagandet att risken beror linjärt på stråldosen kan

man vänta sig lika många cancerfall när 5 000 personer vardera utsätts för 1 rem som om 5 000 000 personer vardera utsätts för 1 millirem. Båda grupperna har fått en kollektivdos på 5 000 manrem. Kollektivdosen är lika med den genomsnittliga stråldosen gånger antalet människor. Kollektivdosen till Sveriges befolkning från den naturliga bakgrundsstrålningen uppgår exempelvis till cirka 800 000 manrem per år.

Med hjälp av begreppet kollektivdos kan risksiffran 1—2 på 10 000 per rem i stället uttryckas som 1—2 förväntade dödsfall i cancer per 10 000 manrem. Det innebär en förenkling när man skall bedöma ökningen av antalet cancerfall i en stor befolkning där människor slumpvis utsatts för olika stråldoser. Man behöver då inte veta stråldosen för varje enskild individ.

Begreppet dosintekning — ett sätt att ta hänsyn till framtiden

Vissa radioaktiva ämnen sönderfaller och försvinner ur miljön mycket långsamt. Det innebär att människor och annat levande kan utsättas för stråldoser från dessa ämnen långt efter det man har upphört släppa ut dem. Fortsätter man å andra sidan utsläppen — utan att därför öka dem per tidsenhet — kommer man att bygga upp allt större mängder av de radioaktiva ämnena. Detta kan ge allt högre årliga stråldoser, genom att dosen från utsläppen det innevarande året läggs till de doser man får från kvarvarande mängder av utsläppen från tidigare år.

Det förväntade antalet cancerfall antas vara direkt proportionellt mot den sammanlagda kollektivdosen. På så sätt kan man uppskatta hälsoriskerna om man vet de totala framtida stråldoserna till befolkningen. På strålskyddssidan har man infört begreppet dosintekning. Dosintekningen anger hur stor den sammanlagda stråldosen över all framtid blir av ett visst utsläpp av radioaktiva ämnen (faktaruta 22 på detta uppslag). Vanligen anges den i form av en kollektiv dosintekning för de befolkningsgrupper som drabbas av strålningen. För vissa långlivade radioaktiva ämnen kommer det att röra sig om hela jordens befolkning.

Sambandet mellan dosintekning och utsläpp

För att kunna uppskatta hälsoriskerna från en viss verksamhet, t ex driften av ett kärnkraftverk, måste man känna sambanden mellan utsläpp och dosintekning. Den kollektiva dosintekningen från ett visst utsläpp av ett radioaktivt ämne kan beräknas om man dels vet hur ämnet sprids i naturen, dels känner till ämnets farlighet från strålskadesynpunkt — radiotoxiciteten. Radiotoxiciteten är uttryck för vilken stråldos per vikt-enhet ett visst ämne ger upphov till. Den beror på en rad faktorer, t ex vilken typ av joniserande strålning ämnet sänder ut, hur mycket strålning som sänds ut per vikt- och tidsenhet samt hur ämnet tas upp i kroppen. Radioaktivt jod lagras t ex i första hand upp i sköldkörteln och radioaktivt strontium i benmärgen. Ett speciellt intresse har knutits till radiotoxiciteten hos plutonium. Faktaruta 23 på s 136 tar upp denna fråga.

Cancerrisker från kärnkraft

När man bedömer vilka cancerrisker kärnkraften för med sig för befolkningen i stort brukar man ställa två frågor:

- Hur stor är cancerrisken för enskilda individer, i första hand dem som bor i närheten av kärnkraftanläggningar? I det fallet är de individuella doserna av intresse.
- Hur många cancerfall kan man totalt vänta sig på grund av utsläppen från t ex ett kärnkraftverk? Då är kollektivdosinteckningen för jordens befolkning av intresse, dvs summan av alla stråldoser nu och i framtiden från dessa utsläpp.

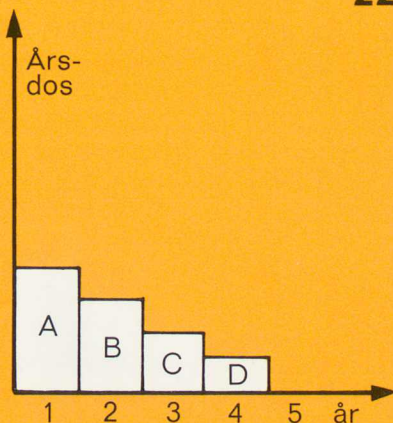
Om man vill jämföra cancerrisken från kärnkraft med riskerna från andra energikällor är det lämpligt att ange kollektivdosinteckningen i förhållande till den producerade energimängden. Ofta anges kollektivdosinteckningen per MWår (megawattår) elektrisk energi. Vi anger den i fortsättningen vanligen per 1 000 MWår vilket motsvarar 8,77 TWh.

Begreppet dosinteckning

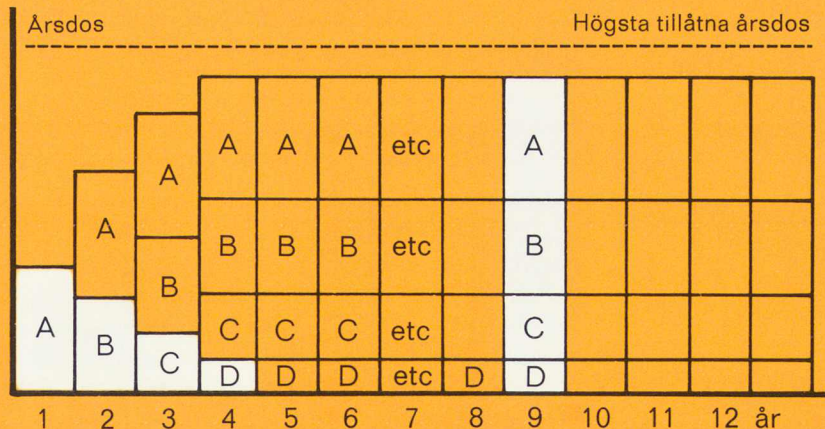
22

Vidstående diagram visar de årliga stråldoserna från ett års utsläpp av ett radioaktivt ämne som sönderfaller och försvinner ur miljön efter fyra år.

Den sammanlagda dosen eller dosinteckningen blir $A+B+C+D$.



Nedanstående diagram visar vad som händer om man fortsätter att släppa ut samma mängder av ämnet varje år. Årsdoserna från olika års utsläpp läggs till varandra och efter en tid nås ett jämviktsvärde. Denna jämvikt har egenskapen att dosen varje år är lika med dosinteckningen av ett årsutsläpp. Om man vill förvissa sig om att den framtida stråldosen aldrig skall överstiga ett visst gränsvärde per år, måste man därför se till att varje årsutsläpp begränsas så att dosinteckningen snarare än den tillfälliga årsdosen understiger gränsvärdet.



Man kan också ange stråldoserna och dosintekningarna per installerad MW elektrisk effekt och år. Detta mått är inte beroende av hur mycket elektrisk energi som faktiskt har producerats. Uttryckssättet är nödvändigt när man vill uppskatta dosintekningarna från planerade anläggningar och när man vill sätta dosgränser som ger en absolut övre gräns för de årliga utsläppen av radioaktiva ämnen, t ex från ett kärnkraftaggregat av viss storlek. De uppmätta utsläppen får då i efterhand jämföras med mängden producerad energi. På så sätt kan man kontrollera att den faktiska dosintekningen per producerad energimängd är rimlig i förhållande till de gränser som satts per installerad effekt och år. Sådana jämförelser görs översiktligt i det följande och mer detaljerat i bilagorna.

Sammanlagda cancerrisker för allmänheten från kärnkraft. För ett stort kärnkraftaggregat, t ex typ Forsmark 1, har strålskyddsinstitutets expertis antagit ett riktvärde för riskberäkningar, nämligen en kollektivdosintekning på 1 000 manrem per 1 000 MW och driftår. Därvid antar man att ca 500 manrem kommer från vardera reaktordrift och upparbetning. Från övriga led i kärnbränslets processkedja anses allmänheten få små doser. Tjugo års drift av en 1 000 MW-reaktor kan med dessa antaganden beräknas ge en risk för 2–4 dödsfall i cancer bland allmänheten om man räknar med upparbetning. Dessa 2–4 cancerfall fördelas troligen över he-

Cancerrisker från utsläpp av plutonium

23

Radiotoxiciteten hos plutonium är inte extremt hög jämfört med många andra ämnen av betydelse i strålskyddssammanhang.

Får vi i oss plutonium-239 och andra plutoniumisotoper via mage och tarm blir stråldoserna mycket lägre än om vi får i oss samma mängd t ex av jod-131. Jod-131 ger i sådana fall nära 5 miljoner gånger så hög stråldos per viktsenhet.

Från cancersynpunkt är plutonium farligast om vi andas in det. I löslig form transporteras det från lungorna till benvävnaden. I olöslig form stannar det i lungorna och kan orsaka lungcancer. Att andas in plutonium ger 5 000–10 000 gånger högre stråldos än att få i sig samma mängder av ämnet med födan. Fortfarande ger dock jod-131 400 gånger så hög stråldos per viktsenhet. Jod samlas emellertid upp i sköldkörteln, som är ett mindre livsviktigt organ än lungorna. Den naturligt förekommande isotopen radon-222 ger via sina dotterprodukter 70 gånger så stor stråldos i lungorna per viktsenhet som plutonium.

Den stora faran med plutonium är inte att det är extremt farligt jämfört med många andra ämnen, utan snarare att man kan behöva hantera mycket stora mängder av ämnet.

Man har frågat sig om inte den mycket höga stråldosen nära en plutoniumpartikel i lungorna skulle kunna ge en mycket högre cancerrisk än om plutoniet vore jämnt fördelat i lungorna och inte i partikelform. Det har gjorts en mängd utredningar om detta, bl a av den brittiska Royal Commission on Environmental Pollution (Flowerskommissionen). Dess slutsats, som överensstämmer med amerikanska expertgruppers, är att risken från plutoniumpartiklar kan bedömas som om plutoniet vore jämnt fördelat i lungorna.

la Europas befolkning under något hundratal år. Till detta skall läggas cancerriskerna för de anställda (s 164) och riskerna för ärftliga skador (s 145).

Utländska riskuppskattningar brukar ange omkring fem gånger fler cancerfall bland allmänheten. Bedömningarna grundar sig på de utsläpp som hittills ägt rum från vissa uppberbetningsanläggningar. Strålskyddsinstitutets antagna riktvärden för doserna gäller också bara under vissa förutsättningar, nämligen att:

- utsläppen av kol-14 och jod-129, som främst kommer från uppberbetningsanläggningar, skärs ned kraftigt i framtiden. Även vissa andra utsläpp begränsas.
- lakrester från uranframställning lagras så att de inte ger högre radonutsläpp än de ursprungliga malmlagren. Man räknar inte heller med oförutsedda läckage från slutdeponerat avfall som överstiger läckage som kunnat ske från de ursprungliga, naturliga uranmalmkropparna.
- risken för olyckor och haverier i kärnkraftanläggningarna är så liten att utsläpp av radioaktiva ämnen från sådana händelser inte ger några nämnvärda bidrag till dosintekningarna, om man ser till medelvärdet över många år.

Vi anser det lämpligt att mer i detalj behandla hållbarheten i dessa förutsättningar, även om en sådan diskussion måste bli rätt teknisk till sin natur. Eventuella stråldoser från lakrester och aktivt avfall samt från haverier och olyckor behandlas i särskilda avsnitt längre fram. Samma sak gäller utsläpp av mycket långlivade radioaktiva ämnen. Här tar vi närmast upp stråldoserna från utsläpp av mer kortlivade ämnen under normal drift av reaktorer och uppberbetningsanläggningar.

Stråldoser från kärnkraftstationer. Kollektivdoserna från de svenska kärnkraftstationerna begränsas av strålskyddsinstitutets villkor. De skall understiga 500 manrem per år per 1 000 MW installerad elektrisk effekt. Det motsvarar ett större kärnkraftverk av typ Forsmark. Kollektivdosen från ett tiotal aggregat skulle i så fall bli mindre än en procent av kollektivdosen från den naturliga bakgrundsstrålningen i Sverige.

Ett annat mål är att de högsta individuella stråldoserna till människor som bor i kraftstationernas närhet håller sig under 10 millirem per år. Det innebär ett tillskott på mindre än tio procent av den naturliga bakgrundsstrålningen.

Erfarenheterna talar hittills för att dessa villkor går att uppfylla. Utsläppen av radioaktiva ämnen från de svenska kärnkraftstationerna mäts fortlöpande. Mätningarna visar att stråldoserna hittills kan ha uppgått till högst någon millirem per år till de mest utsatta personerna i stationernas närhet. Kollektivdoserna från kärnkraftverken har beräknats av AB Atomenergi på uppdrag av strålskyddsinstitutet. Vid beräkningarna som redovisas i bilaga har antagits ett visst läckage från bränslestavarna under ett år. Det är dock ytterst osannolikt att en reaktor med ett så stort läckage som i beräkningarna skulle drivas så länge som ett år utan att läckande stavar byts ut. Även i de sämsta av de redovisade fallen är kollektivdosintekningen ca 200 manrem per 1 000 MW och år.

Om Oskarhamnsverket övergår till det förbättrade avgasreningssystem som de nyare kärnkraftstationerna redan har, kommer kollektivdosin-

teckningen för samtliga stationer att ligga på högst 100 manrem per 1 000 MW och år. Till detta kommer utsläpp av den långlivade radioaktiva isotopen kol-14. Dessa utsläpp beräknas ge en sk ofullständig dosinteckning över 500 år (s 147) om 400 manrem per 1 000 MW och år. Bränsleläckaget ligger för närvarande långt under det antagna. Under sådana förutsättningar kommer den sammanlagda kollektivdosen att ligga under 500 manrem per 1 000 MW och år även med hänsyn till kol-14. Utsläppen av kol-14 kan ändå på sikt behöva begränsas. Dessa problem behandlas närmare i ett följande avsnitt (s 146).

Stråldoser från uppberbningsanläggningar. De utsläpp från olika uppberbningsanläggningar som redovisats varierar starkt mellan olika länder. Det synes främst bero på vilka gränser tillsynsmyndigheterna satt upp och hur de tillämpas. Från den engelska uppberbningsanläggningen i Windscale släpps exempelvis radioaktivt avfall ut i Irländska sjön. För flera ämnen har utsläppen legat på 30—80 procent av de maximalt tillåtna värdena. De engelska myndigheterna har uppskattat att de mest utsatta människorna i den lokala fiskarbefolkningen har kunnat få årliga dostillskott på flera tiotal millirem. Motsvarande utsläpp från den franska anläggningen i La Hague har varit avsevärt lägre. Det är alltså tekniskt möjligt att begränsa denna typ av utsläpp av radioaktivt avfall från uppberbning. Det har även bekräftats av det brittiska uppberbningsföretaget British Nuclear Fuels Ltd.

Uppmärksamheten har i stället alltmer riktats mot långlivade gasformiga radioaktiva ämnen som tritium, kol-14, krypton-85 och jod-129. De har hittills släppts helt fritt till atmosfären från uppberbningsanläggningarna. Dessa radioaktiva föreningar frigörs främst när inkapslingen av bränslet bryts i samband med att de använda bränsleelementen öppnas för uppberbning.

Man har beräknat att tritium och krypton-85 tillsammans ger en kollektivdosinteckning på 230 manrem per 1 000 MWår producerad elektrisk energi, alltså drygt ett års drift av en stor reaktor. Dessa stråldoser kommer att avges under de närmaste tiotalen år. Utsläppen av kol-14 antas ge en ofullständig dosinteckning (se s 147) över 500 år på 2 500 manrem per 1 000 MWår. För utsläppen av jod-129 är motsvarande ofullständiga dosinteckning 50 manrem. Teknik finns utvecklade för att kraftigt begränsa utsläppen av samtliga dessa ämnen. För huvuddelen av de aktuella ämnen framgick detta redan av AKA-utredningen. Senare studier har kompletterat bilden, bl a vad gäller utsläppen av kol-14. Strålskyddsexperter anser också att utsläppen av de nämnda ämnena bör minskas.

Cancerrisker från luftföreningar

I utsläpp från trafik, uppvärmning och kol- eller oljekraftverk finns ett stort antal cancerframkallande ämnen. Det rör sig dels om ämnen i luften, dels om ämnen som blir kvar på marken och i grundvattnet. Riskerna för andra former av cancer än lungcancer är dåligt kända. Vi kommer därför att bara behandla luftföreningar och deras samband med lungcancer.

Luftföreningar och lungcancer. En fråga som har diskuterats mycket är luftföreningarna och deras samband med lungcancer. Lungcancer har

ökat mycket starkt under de senaste årtiondena och är en av de vanligaste cancerformerna i Sverige med ca 2 000 fall om året. Den är sju gånger vanligare hos män än hos kvinnor. Andelen kvinnor har dock ökat under senare år.

Att tobaksrökning är den dominerande orsaken till lungcancer är numera klarlagt av forskarna. Man har beräknat att rökningen orsakar eller bidrar till minst tre fjärdedelar av alla lungcancerfall. Risken att få lungcancer ökar i direkt proportion till hur mycket man röker per dag. Man vet också att lungcancer är vanligare i städer än på landet. Detta har setts som ett tecken på luftföroreningarnas roll i sammanhanget. Det är emellertid inte bara luftföroreningarna som är olika för stadsbor och landsbygdsbor. Man röker olika mycket, men det är också olika mycket stress, olika arbetsmiljö m m. Detta har gjort det svårt att uppskatta luftföroreningarnas eventuella bidrag till cancerrisken.

Vid ett internationellt forskarmöte som Karolinska institutet anordnade på kommitténs uppdrag i mars 1977 var deltagarna överens om att förbränningsprodukter från fossila bränslen har orsakat lungcancer. Man kan enligt dessa forskare räkna med att luftföroreningarna i större tätorter har bidragit till storleksordningen 5—10 extra fall av lungcancer per 100 000 manliga invånare och år, troligen i samverkan med cigarrettrökning. Det faktiska antalet sådana fall under de senaste årtiondena har sannolikt varierat med de lokala förhållandena från plats till plats. Man bör enligt forskarna inte räkna med någon tröskelnivå för halten av föroreningar under vilken cancerrisken är noll, om man inte har sakra bevis härför. Det är rimligt att anta att cancerrisken är proportionell mot mängden luftföroreningar på liknande sätt som cancerrisken antas bero på stråldosen (jfr s 133). Däremot har mängden luftföroreningar ingen betydelse för sjukdomens svårighetsgrad. Antingen får man lungcancer eller också får man det inte.

Slutsatserna från forskarmötet är — även om de har uttryckts försiktigt och betonar osäkerheterna — det bästa underlag vi för närvarande har för att värdera vilka cancerrisker trafik, uppvärmning och elproduktion för med sig. Av dessa slutsatser att döma förklarar luftföroreningarna bara en liten del av det totala antalet lungcancerfall. Ändå kan det röra sig om många fall om året — något eller några hundratal bara i Sverige.

Man vet inte säkert vilket eller vilka ämnen i luftföroreningarna som är skadliga. Bens(a)pyren är väl känt som cancerframkallande ämne och förekommer i sot i stadsluft, men det anses inte ensamt svara för cancer. Bens(a)pyren används dock ofta som ett mått på luftföroreningarna i dessa sammanhang. Ett annat mått är halten av sot.

Som tidigare nämnts har den genomsnittliga sothalten i större svenska städer gått ned under de senaste åren. För närvarande ligger den på några tiotals mikrogram per m³. Mätningar av bens(a)pyrenhalter har gjorts i både svenska och utländska städer. I svenska städer har man mätt upphalter i området 1—10 nanogram per m³ (dvs miljarddels gram per m³), medan man i utländska städer i industriområden ofta har haft mycket högre halter av storleksordningen 50 nanogram per m³. Utanför tätorter ligger i allmänhet värdena betydligt lägre.

Cancerrisker från kraftverk. Kol- eller oljeeldade kraftverk ger ett visst, men förhållandevis litet tillskott till de cancerframkallande luftförore-

ningarna. Vare sig man använder sot- eller bens(a)pyrenhalten som mått på föroreningarna blir ökningen från ett kol- eller oljekraftverk mer än någon procent av värdena i en tätort. Så små tillskott ger inte någon nämnvärd ökning av risken för en invånare i kraftverkets omgivning.

Det är dock inte bara kraftverkets närmaste omgivning som får ett tillskott av extra luftföroreningar. Stoftet och andra föroreningar sprids alltså uttunnat över stora områden. Även om tillskotten är mycket små blir det ett mycket stort antal människor som andas in dem. En grov riskuppskattning efter samma principer som för kärnkraftverk tyder på en risk för något extra cancerfall bland Nordeuropas befolkning per 20 driftår för ett olje- eller koleldat kraftverk om 1 000 MW elektrisk effekt. Man har då använt halten av ett enda ämne, bens(a)pyren, som mått på den cancerframkallande effekten hos utsläppen.

Osäkerheten i denna uppskattning är större än när det gäller kärnkraftverk. För det första varierar de utsläppta mängderna med typen av bränsle och med förbränningstekniken. För det andra antyder nya mätningar att utsläppen av bens(a)pyren från dagens kraftverk kan vara 10–100 gånger större än som antagits i beräkningarna. Tidigare mätningar har gjorts i det heta skorstengasen, där bl a bens(a)pyren mest förekommer i gasform och inte kommer med i mätningen. Om denna felkälla bekräftas i ytterligare undersökningar, måste riskuppskattningarna ovan justeras uppåt. Vidare råder det osäkerhet om föroreningarnas spridning och omvandling i luften samt om intag och verkan i kroppen. För närvarande vet man heller inte mycket om den cancerframkallande verkan hos blandningar av olika ämnen.

Vid det ovan nämnda internationella forskarmötet framhölls som en av slutsatserna, mot bakgrunden av eventuella samverkans effekter, att man måste vara mycket försiktig när man drar slutsatser om luftföroreningarnas cancerframkallande effekt utifrån halten av ett enskilt ämne. Så osäkra siffervärden som uppskattningen ovan ger måste givetvis hanteras med stor försiktighet.

Ärftliga skador och fosterskador

Hur påverkas en befolknings arvs massa

Både joniserande strålning och vissa kemiska ämnen kan ge skador på arvs massan hos den enskilda individen. Detta kan ge upphov till ärftligt betingade sjukdomar som ärvs från generation till generation. Mot den bakgrunden är det naturligt att risken för förändringar i arvs massan skapar oro. Därför har vi valt att behandla detta område förhållandevis utförligt.

Inledningsvis vill vi erinra om att det naturligt sker vissa förändringar i arvs massan. De är förutsättningen för det artrika växt- och djurliv som utvecklas på jorden under hundratals miljoner år.

Arvs massan hos en befolkning påverkas bl a av följande faktorer om man ser över längre tid.

- Antalet förändringar i de enskilda individernas arvs anlag per generation (den s k mutationsfrekvensen).
- De urvalsmekanismer som verkar i befolkningen och som bidrar till att

grupper som bär skadliga anlag får färre barn, dvs anlagen förs så småningom inte vidare.

- Parnings- och flyttningsmönster, som påverkar hur olika anlag sprids i befolkningen.

I det långa loppet råder det balans mellan mutationer och urval. Sjuka och handikappade har mindre utsikter att föra sina arvsanlag vidare. Om det inte skedde några förändringar i individernas arvsanlag (mutationer) skulle därför alla skadliga anlag med tiden slås ut ur befolkningen genom olika urvalsmekanismer (selektion). Vad som är skadligt är dock relativt. Anlag som kanske är till hinder nu kan ha varit nyttiga för många tusen år sedan. Levnadsbetingelserna i naturen kan ändra sig, och för att en art skall kunna anpassa sig måste arvsmassan kunna ändras. Här spelar mutationerna en positiv roll — de gör det möjligt för arten att överleva under ändrade yttre förhållanden. Priset för artens förmåga att anpassa sig är dock individuellt lidande till följd av skadliga mutationer.

Ärftlighetsforskare har påpekat att ändrade parnings- och flyttningsmönster liksom ändrade urvalsmekanismer under de senaste århundradena sannolikt spelat en mycket större roll än förändringar i mutationsfrekvensen om man ser till inverkan på den samlade arvsmassan, t ex på frekvensen av vissa sjukdomsanlag. Rörligheten i befolkningen är mycket större än förr. Vidare förs vissa ärftligt betingade sjukdomar mer än förr vidare till kommande generationer eftersom de kan behandlas framgångsrikt. Denna sammanlagda risk för förändringar i arvsmassan bör vi hålla i minnet när vi diskuterar risker betingade av förändringar i mutationsfrekvensen.

Individens arvs massa. Kromosomavvikelser och mutationer

En vuxen människas kropp består av mer än hundra miljoner miljoner celler. Alla dessa har uppstått genom delning av en enda ursprungscell, den befruktade äggcellen. All den information som skall avgöra att vissa celler skall utvecklas till muskelceller, andra till nervceller osv finns lagrad i äggcellen från modern och sädescellen från fadern. Denna information, individens arvs massa, är lagrad i form av en kemisk kod i jättemolekyler av ett ämne som heter deoxiribonukleinsyra, förkortat DNA (se även faktaruta 18 på s 129). DNA-molekylerna ingår bl a i större bildningar i cellkärnan som kallas kromosomer. Varje ny individ får hälften av sina kromosomer från fadern och hälften av modern. Han eller hon ärver därför egenskaper från båda föräldrarna. Skador på DNA-molekylerna i kromosomerna i könsceller (äggceller och sädesceller) kan vid befruktningen överföras till den nya individen och vidare till dennes avkomma. Så uppstår en ärftlig skada.

Kromosomskador som är så grova att man kan se dem i ett mikroskop brukar kallas kromosomavvikelser eller kromosommutationer. Om en könscell med en sådan skada deltar i en befruktning leder detta oftast till att de befruktade ägget aldrig utvecklas. Skadan kan dock i några fall medge att det utvecklas ett foster och föds ett barn. Detta kommer dock vanligen att lida av flera svåra skador som gör att det oftast inte når mogen ålder. Ett exempel på en sådan svår skada är den utvecklingsrubbing som heter Downs syndrom (förr kallat mongolism). Det kan också hända att skadan gäller bara ett enda anlag. En sådan skada på DNA kal-

las en gen- eller punktmutation. Inträffar en sådan mutation i en könscell kan den föras vidare till avkomman.

Dominanta och recessiva anlag

En mutation kan ge upphov till arvsanlag med olika genomslagskraft. Det hänger samman med att vi ärver anlag för olika egenskaper, t ex ögonfärg, parvis — dvs anlagen finns med i en kromosom från fadern och en från modern. Det innebär att varje anlag finns i dubbel upplaga. Ibland väger det ena anlaget helt över det andra och bestämmer motsvarande egenskaper hos barnet. När det t ex gäller färgen på ögonen väger ett anlag för brunt alltid över ett anlag för blått. Anlaget för brunt är då ett dominant anlag. Anlaget för blått är recessivt. Ett recessivt anlag måste ärvas lika från båda föräldrarna för att slå igenom i individens egenskaper. Det är väsentligen slumpen som avgör hur egenskaperna ärvs och vilka av dem som kommer att föras vidare till nästa generation.

Kromosomavvikelser och mutationer har förekommit i alla tider och hos alla levande organismer. Skador på DNA kan ha många olika orsaker. Hit hör inverkan av värme, vissa kemikalier och joniserande strålning. Med tanke på hur komplicerad DNA-molekylen är och dess centrala roll för fortplantningen, måste man anse det märkligt att allt i regel fungerar väl.

Urvalsmekanismer och arvsmassan

Kromosomavvikelser och dominant mutationer ger sig till känna redan i den första generationen efter den som påverkats. De kommer inte att föras vidare om de är så skadliga att deras bärare ej kan fortplanta sig. Om en mutation leder till ett skadligt recessivt anlag kommer skadan däremot inte till uttryck omedelbart. Det kan ske bara när en bärare av anlaget ärvt samma anlag från båda föräldrarna. Först då kommer skadan till uttryck i form av en sjukdom eller en utvecklingsrubbing.

Man kan fråga sig om inte redan en liten ökning av mutationsfrekvensen kan medföra att skadliga recessiva anlag lagras upp i sådan mängd att det leder till en katastrof i framtiden. Man kan också fråga sig om nyttillkommande skadliga anlag kan sprida sig så att man får ett ständigt ökande antal skador i kommande generationer. Det uttrycks ibland farhågor för att de recessiva anlagen kan ge ett oöverskådligt antal skador i framtiden. Så är emellertid inte fallet. Man kan nämligen redan i dag dra slutsatser av det antal ärftliga skador av olika slag som uppträder.

En ansamling av recessiva anlag under ett stort antal generationer måste inte leda leda till en oviss och mycket hög framtida sjukdomsfrekvens. Den framtida sjukdomsfrekvensen kan beräknas. Den kommer att bestämmas av jämvikten mellan mutation och selektion (urval). Om mutationsfrekvensen höjs med en procent kommer sjukdomsfrekvensen att öka så att också den slutligen är en procent högre än ursprungligen. Slutresultatet i framtiden kan alltså beräknas om man känner nuvarande sjukdomsfrekvens. Det kommer dock inte att uppnås förrän efter lång tid — åtskilliga tiotal generationer.

Om mutationsfrekvensen höjs för all framtid, kommer antalet sjukdomsfall till följd av recessiva mutationer att sakta öka under många generationer efter höjningen, tills den nya jämvikten nås. I princip uppnås den nya jämvikten enligt följande.

Barn med grova, s k obalanserade kromosomskador får ingen avkomma. Ökningen av motsvarande sjukdomar kommer därför att slå igenom redan i den första generationen. Sedan kommer dessa sjukdomar inte att öka i antal.

Svåra skador till följd av dominanta mutationer kommer likaså att märkas redan i den första generationen. Alla som ärver dessa anlag blir inte barnlösa. Skador kommer därför att uppstå i flera generationer till följd av en och samma mutation. Med tiden kommer allt fler generationer att bidra med skadliga anlag. Efter en höjning av mutationsfrekvensen kommer därför antalet skador av detta slag till en början att öka för varje generation. Efter en tid uppnås dock ett tillstånd när antalet inte längre ökar. Då råder jämvikt mellan mutation och selektion. Bärarna av det skadliga anlaget löper större risk att bli utan barn. När bäraren dör utan barn försvinner ett anlag. Vid jämvikt försvinner lika många skadliga anlag per generation som det kommer till nya genom mutation. Motsvarande gäller för de recessiva mutationerna, men där tar det ännu flera generationer att nå jämvikten.

Den höjda mutationsfrekvensen varar kanske å andra sidan bara under några få generationer. I så fall närmar sig antalet sjukdomar från recessiva anlag bara ett litet steg mot det nya jämviktsläget. Sedan minskar det så småningom till det ursprungliga värdet. Detsamma gäller de dominanta mutationerna, även om man där kanske hinner nå det höjda jämviktsvärdet.

Dagens kunskaper tillåter endast rätt grova uppskattningar av det antal skador som normalt förekommer till följd av ärftliga (genetiska) faktorer. Man anser dock att något över 10 procent av alla människor föds med allvarligare handikapp eller anlag till sjukdomar som är helt eller delvis genetiskt betingade. I många fall visar sig dessa först högt upp i åldrarna. I Sverige rör det sig sammanlagt om drygt 10 000 fall per år. För 9 000 av

Tabell 14 Förväntat tillskott av ärftliga skador efter en höjning av mutationsfrekvensen med 1 procent

Utvecklingsrubningar och sjukdomar på grund av	Normal förekomst (procent av antalet födda)	Förväntat tillskott per generation (procent av antalet födda)	
		första generationen	framtida jämvikt
Kromosomavvikelser	0,4	0,004	0,004
Dominanta mutationer	1,0	0,002	0,01
Recessiva mutationer	0,1	0,0001	0,001
Bidrag till sjukdomar med endast delvis genetiskt ur- sprung	0,5 ^a	0,0005	0,005
Totalt		0,0066	0,02

^a Den totala frekvensen vid sådana sjukdomar är ca 9 procent. Man räknar dock med att genetiska faktorer bidrar med bara 0,5 procentenheter (jfr texten).

dessa räknar man med att den genetiska faktorn är en av flera bidragande orsaker och att dess bidrag motsvarar ungefär 450 fall av dessa 9 000.

Tabell 14 visar hur förekomsten av ärftliga skador ändras om mutationsfrekvensen ökar med 1 procent.

Om antalet mutationer ökar med 1 procent kommer alltså den sammanlagda genetiskt betingade sjukdomsfrekvensen att öka från 2 procent till 2,02 procent, räknat på antalet födda. Det beror framför allt på att kromosomavvikelserna ger omedelbara skador, som är begränsade till den första generationen. Frekvensen av sådana skador kommer att vara samma i alla generationer.

De recessiva mutationerna ger dolda sjukdomsanlag som finns kvar under många generationer. Den slutliga förhöjning av frekvensen av sådana sjukdomar som beror på recessiva anslag är dock inte större än 0,001 procent av antalet födda. Det är inte mer än 5 procent av den slutliga ökningen av sjukdomsfrekvensen.

Så länge höjningen av mutationsfrekvensen är liten kan den alltså inte ge framtida generationer särskilt mycket högre frekvens av ärftliga sjukdomar än vad den första generationen fått uppleva. I vårt exempel höjs frekvensen av ärftliga sjukdomar från 2,00 procent av antalet födda till 2,0066 procent redan i första generationen. Det slutliga jämviktsvärdet blir 2,02 procent. Redan i första generationen efter det mutationsfrekvensen har ökat kan man alltså iaktta en tredjedel av den ökning i förekomsten av synliga ärftliga sjukdomar som man får på sikt.

Om mutationsfrekvensen bara är förhöjd under en generation, kommer sjukdomsfrekvensen åter att bli lägre efter ytterligare en generation. Eftersom kromosomavvikelse inte ärvs vidare kommer 0,004 procent av ökningen på 0,0066 procent att försvinna.

Erfarenheten stöder dessa slutsatser. Trots att de recessiva anlag vi bär på kommer från många generationer tillbaka beräknas endast 0,1 procent av alla födda att få sådana sjukdomar. Om de recessiva mutationerna spelade större roll skulle vi redan nu ha fler sjukdomar från dem.

Ärftliga skador skador orsakade av joniserande strålning

Man har länge känt till att joniserande strålning kan åstadkomma mutationer. Redan på 1920-talet gav forskare försöksdjur stora stråldoser för att få fram de mutationer som behövdes för att studera ärftlighetslagarna. Detta gör att man numera anser sig känna sambanden mellan stråldos och mutationsfrekvens rätt väl. Forskningsresultaten tyder på att det krävs en stråldos på minst 100 rad per generation för att fördubbla mutationsfrekvensen hos människor, dvs öka den med 100 procent. Det skulle betyda att 1 rem till varje förälder ökar antalet fall av allvarigare sjukdomar och skador, som är ärftligt betingade, med 1 procent — dvs 0,02 procent eller två tiotusendelar av antalet födda. (Se tabell 14.) I en stor befolkning som inte växer föds det i genomsnitt ett barn per person. Vi får därför i genomsnitt en risk av två tiotusendels fall av ärftlig skada per manrad eller en skada per 5 000 manrad. En del av den kollektiva dosen till en hel befolkning faller på personer som är för gamla för att få barn. Bara hälften av dosen har genetisk betydelse. Överslagsmässigt kan man därför räkna med en risk av ett fall av ärftlig skada per 10 000 manrad. Dessa värden grundas dels på djurförsök, dels på att man inte funnit nå-

got onormalt antal ärftliga skador bland barnen till de människor som ut-sattes för atombomberna i Japan.

Ärftliga skador bland allmänheten från kärnkraftanläggningar

Enligt strålskyddsinstitutets riktvärde (se s 136) bör kollektivdosen till allmänheten kunna hållas under 1 000 manrem per driftår för ett kärnkraftaggregat på 1 000 MW. Hälften skulle då komma från reaktordriften, hälften från upparbetningen. Totalt sett skulle ett svenskt kärnkraft-program på ett tiotal aggregat ge en risk för något enstaka fall av ärftligt betingad skada bland befolkningen per driftår. De cirka 20 skadorna från 20 års drift skulle då spridas ut över många generationer, dvs hundratals år. För att antalet skador skall begränsas till detta måste dock samma förutsättningar vara uppfyllda som vid cancerriskberäkningarna. Detta diskuterade vi på s 137–138. Risken för ärftligt betingade skador bland personalen berörs på s 164 (kap 6).

Fosterskador

Orsakerna till skador på ett foster kan ligga före eller efter befruktningen. I det förra fallet hänger fosterskadorna samman med skador i arvsmassan. Dessa behandlas i föregående avsnitt. Vi begränsar därför begreppet fosterskador till sådana avvikelser som uppstår efter befruktningen.

Man känner till en lång rad faktorer som kan orsaka fosterskador: vissa sjukdomar hos modern, vissa kemiska ämnen (thalidomid är väl det mest kända) och joniserande strålning. Skadorna på fostret beror i mycket hög grad på när under havandeskapet modern utsätts för joniserande strålning eller ett skadligt kemiskt ämne. Grovt sett kan man säga att fostret dör om det påverkas på ett tidigt stadium. Under den tid då organen anläggs kan det uppstå missbildningar. Påverkas organen när de redan är anlagda kan deras tillväxt bli onormal. Om fostret utsätts för joniserande strålning tyder också mycket på att risken för cancer i barnaåren ökar.

Fosterskador från joniserande strålning

Risken för individuella fosterskador av joniserande strålning anses vara mycket liten då stråldoserna är mindre än en rem. Är dosen över 10 rem är risken däremot betydande. Tidpunkten för bestrålningen är av avgörande betydelse. Vissa data tyder på att fostret är som känsligast under havandeskapets första månader. Då skulle stråldoser mellan 1 och 10 rem kunna innebära påtagliga skaderisker.

I närheten av svenska kärnkraftverk får de människor som bor där högst 10 millirem per år. Detta utgör hundradelar eller tusendelar av de doser som kan ge påtaglig risk för fosterskador. Endast vid olyckor med stora utsläpp av radioaktiva ämnen kan risken för fosterskador bli av större omfattning.

Ärftliga skador och fosterskador från användning av fossila bränslen

Det finns inga undersökningar som belägger att luftföroreningar och nedfall från användning av fossila bränslen orsakar skador på arvsmassan el-

ler fosterskador. Sådana verkningar kan mycket väl ha funnits, även om det inte har gett utslag i den statistik över missbildningar som hittills förts.

Djurförsök har visat att en del ämnen som finns i luftföroreningar eller kan bildas av sådana ämnen kan ge ärftliga skador. En del kolväten, bl a sådana av polycyklisk typ (t ex bens(a)pyren) är cancerframkallande och har dessutom framkallat ärftliga skador i laboratorieexperiment. Dessa kolväten uppstår vid förbränning av kol och olja eller bildas indirekt av sådana förbränningsprodukter. Nitrosaminer är en grupp ämnen som också både är cancerframkallande och kan ge skador på arvsmassan. De kan tänkas uppstå genom kemiska reaktioner med kväveoxider. Kväveoxider släpps ut i trafiken och från kol- eller oljeeldade kraftverk. Metallerna mangan och möjligen vanadin från oljekraftverk kan också innebära en risk. Dessutom vet man att alkylbly kan ge ärftliga skador. Alkylbly förekommer i blyhaltig bensin och släpps till en mindre del, 1–5 procent, ut i avgaserna utan att ha omvandlats till oorganiska blyföreningar. Allmänt kan man säga, att de flesta ämnen som visats kunna framkalla cancer också kan ge ärftliga skador.

Dessa laboratorieförsök ger inte tillräcklig klarhet om i vad mån luftföroreningar eller nedfall av metaller ger ärftliga skador. Koncentrationerna är mycket större i experimenten än i miljön. Det är inte givet hur man skall beräkna risken från mycket små doser. För ämnen som indirekt framkallar cancer är det av avgörande betydelse hur de tas upp och omvandlas i kroppen. Här skiljer sig ofta försöksdjur och människor. Detta gäller säkert också ämnen som kan ge ärftliga skador.

Enligt vissa experiment på djur kan ämnen i luftföroreningarna ge fosterskador. Bens(a)pyren hör till dessa ämnen. Arsenik, nickel, krom och kadmium kan enligt försöken också ge fosterskador. Alla dessa finns i nedfall från kolkraftverk. Från oljekraftverk kommer utsläpp av nickel. Man vet dock inte vilka risker människan utsätts för på grund av de halter som finns i luftföroreningar och födoämnen eller hur stora de eventuella riskerna är i jämförelse med dem från strålning.

Hälsorisker på mycket lång sikt

Stråldoser från utsläpp av jod-129 och kol-14.

Ofullständiga dosinteckningar

Utsläppen av isotopen jod-129 kommer nästan helt och hållet från uppdrifts- och reaktor- och kärnkraftverksanläggningar. Halveringstiden för jod-129 är lång, 16 miljoner år. Utsläppen av radioaktivt jod antas så småningom blandas ut i det naturliga jod som bl a finns i havsvatten.

För att uppskatta riskerna från utsläpp av så långlivade isotoper använder FN:s vetenskapliga strålningskommitté (UNSCEAR) en sk ofullständig dosinteckning över 500 år. Den ofullständiga dosinteckningen ger en uppfattning om hur stora de årliga kollektivdoserna till befolkningen blir om man håller på med utsläppen i 500 år. För jod-129 räknar man med en ofullständig dosinteckning om 50 manrem per 1 000 MWår. Det är huvudsakligen sköldkörteln som får stråldoser av jodutsläppen. Vad detta innebär framgår av följande hypotetiska räkneexempel.

Antag att ett världsomfattande kärnkraftprogram skulle omfatta tusen-

tals reaktorer i drift under flera hundra år med upparbetning av kärnbränslet. Doserna från jod-129 som släpps ut vid upparbetningen skulle då sammanlagt ge ett tillskott på någon hundradels procent till den naturliga bakgrundsstrålningen. Detta tillskott kommer att bli bestående under flera tiotal miljoner år. Strålskyddsexperter pekar på hur svårt det är att göra meningsfulla beräkningar av hälsoriskerna från så små dostillskott under så lång tid. Den fullständiga dosinteckningen från jod-129 är ca 2 100 000 manrem per 1 000 MWår. Om man driver ett 1 000 MW kärnkraftaggregat i 20 år och upparbetar bränslet med nuvarande teknik skulle detta teoretiskt kunna ge något fall av sköldkörtelcancer per 10 000 år bland jordens befolkning under tiotals miljoner år framåt. Sköldkörtelcancer beräknas leda till döden i 3—5 procent av fallen. Det rör sig således om försvinnande små risktillskott både för enskilda människor och hela generationer jämfört med alla andra hälsorisker som de möter under sin livstid.

Problemen med långsiktiga risker blir något mer uttalade när det gäller utsläppen av kol-14. Kol-14 har en halveringstid på 5 700 år. Det bildas även naturligt i atmosfären genom den kosmiska strålningens inverkan.

Utsläpp av kol-14 från kärnkraftverk och upparbetningsanläggningar beräknas med nuvarande teknik ge en ofullständig dosintekning över 500 år på omkring 3 000 manrem per 1 000 MWår. Omkring sex sjundedelar kommer från upparbetning och resten från reaktordrift. Ett världsomfattande kärnkraftprogram — samma som antogs i räkneexemplet för jod — skulle kunna ge årliga doser till hela jordens befolkning på någon eller några procent av den naturliga bakgrundsstrålningen.

Den fullständiga dosinteckningen från utsläppen av kol-14 uppskattas till cirka 1 600 manrem per driftår för ett 1 000 MW kärnkraftaggregat plus cirka 10 000 manrem per driftår om man upparbetar bränslet. Det kol-14 som ett 1 000 MW kärnkraftaggregat släpper ut under 20 års drift utan upparbetning skulle teoretiskt ge risk för 3—6 dödsfall i cancer och omkring hälften så många allvarliga, ärftligt betingade skadefall. Dessa skador skulle fördelas över hela jordens befolkning under många tusen år. Vid upparbetning med nuvarande teknik skulle antalet dödsfall och skadefall bli omkring sju gånger större.

Även om de årliga dostillskotten blir förhållandevis små anser strålskyddsexperter att utsläppen av jod-129 och kol-14 bör begränsas kraftigt i framtiden. Detta är tekniskt möjligt. Sådana begränsningar är som nämnts en förutsättning för att man ska kunna hålla sig inom de riktvärden för strålriskerna som strålskyddsinstitutet utgått från i bilagorna.

Strålrisker från lakrester

Uranmalmen innehåller naturligt radioaktiva ämnen som ingår i uranets sönderfallskedja. Naturligt uran-238 med halveringstiden 4,56 miljarder år omvandlas genom radioaktivt sönderfall steg för steg till andra radioaktiva ämnen, bl a radium, torium och radon. Slutprodukten är icke radioaktivt bly. En del av uranet och större delen av dess sönderfallsprodukter stannar kvar i lakresterna som liksom de flesta jordarter avger radon under miljarder år. Från riskbedömningssynpunkt är det främst av intresse om större mängder radon kommer ut i omgivningen genom lakresterna än om uranmalmen förblivit obruten.

Beräkningar som redovisas i bilaga visar att lakrester som inte täcks över effektivt kan höja radonhalten i luften. Halten kan bli så hög att förhållandena blir otillfredsställande från strålskyddssynpunkt för de människor som bor i närheten. Täcks lakresterna över effektivt eller läggs tillbaka i gruvan blir radonläckaget till omgivningen lika lågt som från den naturliga uranmalmen — eller lägre. Radonet hinner då inte tränga ut i luften innan det har sönderfallit. Halveringstiden är 3,8 dygn.

Man har också diskuterat riskerna för att lakrestupplag i händelse av en istid skulle kunna friläggas genom nötning från isen och inte återtäckas. Man kan här jämföra med de strålrisker som kan uppkomma om naturligt förekommande, grunt liggande uranskiffer skulle friläggas av isen utan att återtäckas. Sådana händelser är naturligtvis omöjliga att förutsäga. Läggs resterna tillbaka i gruvan blir riskerna rimligtvis ungefär desamma. Vi anser därför inte att det finns skäl att ta hänsyn till risken för eventuella dostillskott från lakrestupplag. Vissa beräkningar redovisas dock i bilaga.

Det högaktiva avfallet

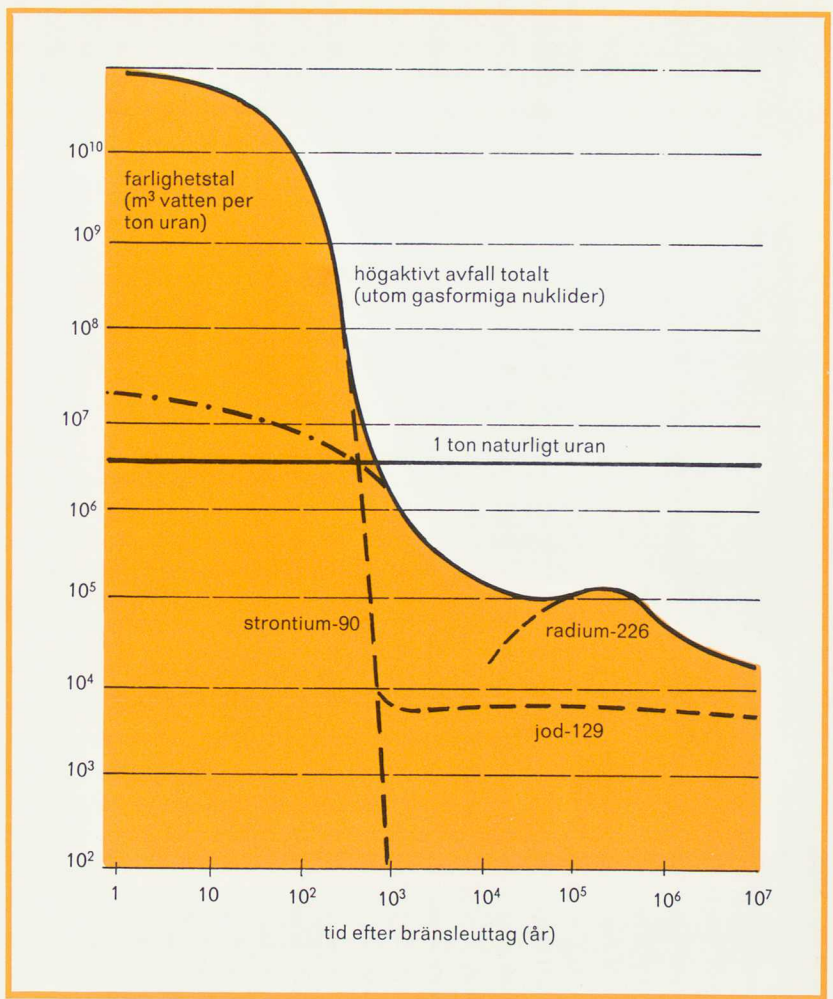
De viktigare tekniska uppgifterna kring avfallsmängder m m redovisades i processbeskrivningarna i kapitel 3. Där diskuterades också de tekniska krav som ställs på slutförvaringen av det aktiva avfallet. Om kraven uppfylls till fullo kommer avfallet inte att orsaka några strålskador på mänskligt eller annat liv. Först om kraven inte uppfylls blir det risk för skador. Avfallsförvaringens risker utgörs alltså i första hand av oförutsedda större läckage av radioaktiva ämnen.

På grund av det tekniska utvecklingsläget och tidsgränsen för vårt arbete har vi inte funnit det rimligt göra en riskvärdering av olika föreslagna metoder att förvara det högaktiva avfallet. Ett mer fördjupat tekniskt underlag för sådana riskprovningar torde föreligga inom det närmaste året som en följd av en rad pågående in- och utländska forsknings- och utvecklingsprojekt. Det går dock att beskriva riskerna i mer allmänna termer utifrån det underlag som nu finns tillgängligt.

För närvarande verkar en av de rimligaste lösningarna för svensk del vara att slutförvara avfallet i geologiskt stabila bergformationer några hundra meter under marken. Den största risken från hälso- och miljösynpunkt förefaller då vara att radioaktiva ämnen kan läcka ut i grundvattnet från avfallet, trots inkapslingen. Därför är det av intresse att studera avfallets relativa farlighet i olika tidsperspektiv om man tänker sig det upplöst i vatten. Detta belyses i figur 32.

Figuren visar att klyvningsprodukterna utgör den största risken under de första århundradena. Under den tiden är det utomordentligt viktigt att förhindra läckage till grundvattnet. Ett räkneexempel visar detta: Om 10 reaktorer drivs i 20 år skulle avfallet behöva spädas ut i en vattenmängd motsvarande en tusendel av världshavens hela volym för att vattnet från radiologisk synpunkt skulle gå att använda som dricksvatten.

För tidsperioder på 500—1 000 år framåt i tiden anser experter att man med hög säkerhet kommer att kunna bedöma stabiliteten hos olika material som avfallet föreslås inneslutas i — förutsatt att materialen visat sig hålla måttet i ett ingående provningsprogram som bl a innefattar sk påskyndad åldring och urlakning. För tidsperioder på 500—1 000 år anser



Figur 32. Farlighetstal för det högaktiva avfallet vid olika tidpunkter efter bränslets uttag ur reaktorn. Förutsättningen är att 99,5 % av allt uran och plutonium i bränslet avlägsnats genom uppärbetning. Farlighetstalet anges här av den mängd vatten (i m³) som skulle krävas för att en lösning av avfallet efter uppärbetningen skulle få en koncentration understigande den högsta tillåtliga koncentration som rekommenderas av ICRP.

Källa: Underlagsrapport från statens strålskyddsinstitut (SOU 1977:69)

experter också att man efter ingående undersökningar bör kunna förutsäga stabiliteten i de geologiska förhållandena på en föreslagen lagringsplats om dessa hittills varit stabila under miljoner år.

I ett långt tidsperspektiv, 1 000 – 1 miljon år, är det svårare att förutsäga stabiliteten hos lagringsplats och inneslutningsmaterial. Kraven på fullständig stabilitet är dock inte lika höga. Om man skiljer av och eventuellt återanvänder plutoniet är avfallet efter omkring 500 år inte mer biologiskt farligt från strålskyddssynpunkt än den ursprungliga mängden naturligt radioaktivt uran (se figur 32). Den totala avfallsbilden vid uppärb-

betning är inte riktigt så gynnsam som figuren antyder. Även om plutoniet återanvänds i lättvattenreaktorer får man en rest av icke klyvbart plutonium och andra transuraner som till sist måste tas om hand. Strålriskerna för den totala avfallsmängden i det långa tidsperspektivet blir därför knappast lägre än för den ursprungliga mängden uran.

Väljer man att slutförvara avfallet utan uppärbetning utnyttjas bränslet sämre och volymen av det som skall slutförvaras blir 30 gånger större. Å andra sidan försvinner riskerna med en plutoniumhantering i stor skala. Radioaktiviteten hos avfallet under de första 500 åren ändras ej nämnvärt eftersom den bestäms av klyvningsprodukterna. Utan uppärbetning finns allt plutonium kvar i avfallet. I det mycket långa tidsperspektivet kan därför avfallet motsvara högst något tiotal gånger de ursprungliga uranmängderna från biologisk strålrisksynpunkt.

Eftersom uranmalmen i naturen kan lakas ur innehåller grundvattnet på många håll ett visst mått av naturligt radioaktiva ämnen. Detta kan innebära strålrisker som kan tas som utgångspunkt för att bedöma risktillskottet från avfallslager. Med den radioaktivitet hos avfallet som redovisades ovan måste urlakningen från avfallslagren i det långa tidsperspektivet bli ungefär lika stort som från de naturliga uranförekomsterna för att dessa strålrisknivåer skall överskridas. Eftersom avfallet avses lagras så att urlakning försvåras — vilket knappast är fallet med många naturliga uranmalmförekomster — verkar detta mycket osannolikt.

Man måste räkna med risken att människan någon gång i framtiden av någon anledning öppnar förvaringsplatserna. Det förutsätter dock att man då inte känner till avfallslagrens existens och strålriskerna därifrån, samtidigt som man har kunskap om djupborrning i berg. Det förefaller föga sannolikt.

Man har också räknat på olika, mycket osannolika katastroffall. Ett sådant är om ett större avfallslager efter några tusen år i samband med en ny istid skulle lösas upp i en ny baltisk issjö. Vattnet i den sjön blir fortfarande drickbart ur radiologisk synvinkel.

Den här redovisade typen av överväganden ligger till grund för att många experter anser att det är möjligt att lösa avfallsfrågan tekniskt. De menar att möjligheterna för läckage av radioaktiva ämnen kan göras små i förhållande till avfallsets farlighet under olika tidsperioder. Risken för strålskador skulle inte bli påtagligt större än motsvarande naturliga risker, t ex på grund av att radioaktiva ämnen kommer ut i grundvattnet genom urlakning av naturliga uranförekomster.

Andra forskare menar att osäkerheterna är mycket stora, bl a när det gäller kapslingsmaterialens beständighet och om hur olika ämnen — om de läcker ut — kan transporteras med grundvattnet. Det senare beror bl a på förhållandena i berggrunden och de kemiska egenskaperna hos olika ämnen i avfallet. Osäkerheten framhålls särskilt när det gäller konstgjorda grundämnen som transuranerna.

Klart är att olika metoder för slutförvaring måste prövas ingående. Det kan dröja något eller några tiotal år innan man kan binda sig för en metod i industriell skala. Under mellantiden måste avfallet lagras på ett sätt som inte är godtagbart på lång sikt. Vi har därmed i samhället en bindning att om något eller några tiotal år tillhandahålla tekniska och ekonomiska resurser för att föra över avfallet till slutförvaring. Den bindningen

finns redan idag genom det befintliga avfallet. Det gäller särskilt kärnvapenmakterna med sina avfallslager från vapentillverkningen.

Avfallshanteringen innebär inte bara tekniska och ekonomiska problem, utan även politiska. I USA diskuteras t ex om och när man skall välja att upparbeta det använda kärnbränslet. Det skapar ovisshet kring vilka tekniker som i första hand kan komma i fråga för slutförvaringen. Köp av kärnbränsle kan vara förknippade med vissa villkor för avfallshanteringen. Det kan påverka handlingsfriheten för ett land som Sverige. Lokalt politiskt motstånd kan också fördröja eller förhindra att avfallsanläggningarna byggs upp på de från säkerhetssynpunkt lämpligaste platserna. Det är inte osannolikt att sådana administrativa och politiska problem kan bli väl så svåra och tidsödande att lösa som de rent tekniska frågorna.

I avvaktan på lösningar av dessa tekniska och politiska problem kan det vara rimligt att mellanlagra det använda kärnbränslet. Strålskyddsexperter har framhållit att det finns fördelar med en sådan mellanlagring. Det ger troligen totalt lägre strålrisker i olika processled än om man upparbetar avfallet tidigt och sedan skall mellanlagra plutonium och flytande, högaktivt avfall.

Kompletterar man lättvattenreaktorer med bridreaktorer blir upparbetning nödvändig och avfallsproblemen annorlunda. Går man över till bridreaktorer kommer man att utvinna mer energi ur varje ton ursprungligt uran eftersom en större andel av uranet kommer att utnyttjas till kärnbränsle. Följden blir att man totalt sett får mycket större avfallsmängder än från lättvattenreaktorer räknat per ton använt, naturligt uran. Halten transuraner i avfallet ökar också. Det gör att riskjämförelsen enligt figur 32 på s 149 inte gäller för bridreaktorer. Dessutom kan man räkna med att ekonomiska skäl kommer att tala för att man med bridreaktorer kommer att använda en större del av jordens sammanlagda urantillgångar än vid lättvattenreaktorer. Även detta kan bidra till avsevärt ökade avfallsmängder vid bridreaktorer.

Radioaktiviteten hos det låg- och medelaktiva avfallet från kärnkraftanläggningar (se kapitel 3, s 107) avklingar under en tidrymd av storleksordningen några hundra år. Trots att volymen är mycket större än det högaktiva avfallets anser strålskyddsexpertis att problemen med förvaring av låg- och medelaktivt avfall är mindre, bl a därför att värmeutvecklingen är låg. Med olika metoder minskar man först så långt möjligt det låg- och medelaktiva avfallets volym. Avfallet förvaras sedan ingjutet t ex i betong eller asfalt. Strålskyddsexpertis anser att tillgängliga förvaringsmetoder ger tillfredsställande säkerhet från strålskyddssynpunkt.

Många länder, dock ej Sverige, dumpar sådant ingjutet låg- och medelaktivt avfall i havet. Det finns internationella överenskommelser som reglerar hur detta får ske.

Långsiktiga hälsorisker från metaller

På s 125 nämnde vi att vissa giftiga metaller i rökgaserna från framför allt kolkraftverk kan lagras i naturen och ge långsiktiga hälsorisker. Kadmium blir t ex kvar i jorden under lång tid. Kommande generationer kan utsättas för hälsorisker därigenom att en del av utrymmet under en rimligt säker nivå för kadmiumhalten i t ex livsmedel redan har tagits i anspråk.

Huvuddelen av de giftiga tungmetaller som fanns i kolet från början hamnar i askan. Askhögar från kolkraftverk kan därför bli långsiktiga hälsorisker. Metallerna lakas ur med regn- eller grundvatten som sipprar genom askhögarna. Stora metallutsläpp kan dock undvikas genom att avrinningen från askhögarna leds bort och renas på ett kontrollerat sätt (s 187). För det finns tekniska lösningar. Läger man upp askhögar binder man sig dock vid att för lång tid framåt se till att de farliga metallerna tas om hand och inte sprids i miljön på ett okontrollerat sätt. Samma mängder av metaller förekommer visserligen i naturen om kolet inte bryts, men då är de bundna i kolflötser under jorden och kan i regel inte bli en risk för människan.

På samma sätt som för långlivade radioaktiva ämnen läggs ett ansvar för övervakning och tillsyn på framtida generationer.

Även lakresterna från urangruvor måste lagras med hänsyn till risken för urlakning av eventuella icke radioaktiva metaller och andra föroreningar.

Litteraturhänvisningar utöver underlagsrapporter och bakgrundsdokument (se appendix 2)

Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall, del 1—2. Betänkande av AKA-utredningen (SOU 1976:30—31) jämte remissyttrande.

Nuclear Power and the Environment. Sixth Report of the Royal Commission on Environmental Pollution (Chairman: Sir Brian Flowers). Cmd 6618, Her Majesty's Stationery Office, London (1976).

Nuclear Power Issues and Choices. Report of the Nuclear Energy Policy Study Group. Ballinger Publ. Co. Cambridge, Mass., (1977).

Arbetsmiljön och dess hälsorisker

Den energi vi använder medför yrkesskador som drabbar dem som arbetar i olika processled på vägen från energiråvara till förbrukare. Yrkesjukdomar kan t ex vara en följd av att de anställda under lång tid inandas koldamm eller utsätts för joniserande strålning. Skadorna kan också vara en följd av olyckor av olika slag som fall, ras, bränder eller explosioner.

I det här kapitlet har vi sökt belysa arbetsmiljöproblemen ur två synvinklar. Den ena avser antalet yrkesskador i förhållande till producerad energimängd, t ex en årsproduktion om 6 TWh elenergi i ett kraftverk. Den andra avser förekomsten av speciellt påfrestande och riskfyllda arbetsmiljöer som drabbar en liten grupp anställda men inte nödvändigtvis ger utslag i skadestatistiken per producerad energimängd.

I uppskattningarna har vi även sökt ta med yrkesskador under anläggningsskedet vad avser arbeten på själva platsen för ett kraftverk. Där emot har vi inte räknat in yrkesskador vid t ex tillverkning av turbiner och generatorer i verkstadsindustrin.

Risksiffrorna som ges bygger på inträffade yrkesskador som påvisats i form av olycksfall eller yrkessjukdomar. Dödsfall är inbegripna och även redovisade för sig. Siffrorna kan användas för jämförelser i den mån man kan anta att skadefallen i genomsnitt är lika svåra i de verksamheter man jämför. Det statistiska underlaget för riskuppskattningarna är av skiftande kvalitet. Bland annat kan yrkessjukdomar förorsakade av kemiska miljöfaktorer i vissa fall ha underskattats, eftersom de är svåra att upptäcka och fastställa. Därför bör man mer se till storleksordningarna än till de exakta siffervärdena.

I kapitel 5 om hälsoeffekter på befolkningen i stort använder vi "ohälsa" i en ganska vid mening. I yrkesskadestatistiken ingår bara skadefall som medför sjukfrånvaro. Lättare symtom kommer inte till synes i statistiken. Av dessa skäl kan man vänta sig att riskerna för yrkesskador och yrkessjukdom underskattas i detta sammanhang, om man jämför med hur hälsoriskerna behandlats i kapitel 5.

Uppskattningen av antalet cancerfall bland de anställda i kärnkraftanläggningar är gjord med samma antaganden om samband mellan stråldos och cancerisk som använts i kapitlet om hälsorisker för befolkningen i stort. Cancerrisken på grund av de kemiska ämnen som kan förekomma i olika arbetsmiljöer har ej gått att uppskatta.

Vattenkraft,

Det krävs inte mycket personal för att hålla ett vattenkraftverk i drift — arbetet består huvudsakligen av övervakning och styrning. Riskerna för



skador är alltså små, även om översyn och liknande kan orsaka olyckor. Statistiken visar på ca sju fall av skador i genomsnitt vid en produktion på 4,8 TWh, vilket är den energimängd man i medeltal har tagit ut under senare år per installerade 1 000 MW elektrisk effekt. Ett kondenskraftverk brukar utnyttjas vid konstant, hög belastning och man tar då ut mer energi per driftår — ca 6,6 TWh. Vattenkraftverk har en större kapacitet i förhållande till den energi som produceras per år, vilket bland annat utnyttjas vid toppar i belastningen. När vi här jämför yrkesskaderiskerna hos vattenkraftverk med dem för andra slag av kraftverk, gör vi det med hänsyn till den utbyggda effekten.

Anläggningsarbetena för ett vattenkraftverk är mer omfattande än för ett kondenskraftverk och medför följaktligen större risker för de anställda. I bygget ingår dammar, kraftverk, tunnlar eller kanaler. Olyckor kan inträffa vid t ex sprängning eller transporter på tillfälliga körvägar ovan eller under jord. Buller, vibrationer och luftföroreningar genom damm och avgaser kan ge yrkessjukdomar. Under jord är arbetet mer påfrestande och riskfyllt än ovan jord. På senare tid har omkring hälften av kraftverken byggts med maskinhall och vattentunnlar i berg.

De skadefall som inträffar under anläggningsarbetet skall slås ut på kraftverkets beräknade livslängd. Om man räknar med 50 år — vattenkraftverk är betydligt mer långlivade än kondenskraftverk — ger de senaste åren statistik omkring 20 skadefall per år, varav 0,15 dödsfall och 0,08 invaliditetsfall. De siffrorna är då omräknade till en utbyggd elektrisk effekt av 1 000 MW. Så stor kapacitet hos ett enda kraftverk förekommer inte i Sverige.

Olyckor genom att fångdammar brister är visserligen ganska osannolika händelser, men de kan få katastrofala följder, bl a genom att stora delar av en byggarbetsplats spolats över av vattenmassorna. Två sådana brott har inträffat vid vattenfallsverkets kraftverksbyggen, senast i Näs i samband med vårfloden 1977. Inga dödsoffer krävdes vid olyckorna, men marginalerna var små.

Det är knappast meningsfullt att använda statistiska uppgifter för att ange riskerna för anställda vid dammolyckor. Den typen av skador har heller inte tagits med i riskuppskattningen här. I stället får den behandlas som andra risker av katastrofnatur, och då med hänsyn till både anställda och allmänheten.

Kol

Brytning

Vid elproduktion i svenska kolkraftverk som antas vara förlagda till kusterna är visserligen hanteringen i Sverige ganska riskfri, men man måste använda importerat kol, och brytningen utomlands utsätter gruvarbetarna där för betydande risker. Brytningsförhållandena — och därmed arbetsmiljö och yrkesrisker — kan variera mellan olika länder.

Figur 33. Brytning av kol under jord är ett exempel på de påfrestande och riskfyllda arbetsmiljöer som följer med användningen av olika energikällor. Bilden är från en kolgruva i Wales.

(Foto: Kjell-Åke Andersson, Frilansgruppen)

Som nämnts i kapitel 3 förekommer stenkol i lager, flötser, som ofta ligger ungefär horisontellt. Om flötserna ligger nära markeytan kan kolet brytas i dagbrott. Många av riskerna och arbetsmiljöproblemen vid underjordsbrytning faller då bort. I Europa bryts bara en mindre del av kolet i dagbrott. Vid underjordsbrytning blir transportleder, ledningar, ventilationsordningar m m inte permanenta, och därför försvåras skyddsverksamheten. Det finns avsevärda risker för såväl olycksfall som yrkessjukdomar. Gruvgas, som främst består av metan, kan strömma ut i så stora mängder att den orsakar akut syrebrist. Explosioner kan uppstå genom gnistbildning där gruvgas samlats eller om koldamm fattar eld. Vid en gruvgasexplosion kan koldamm virvla upp, fatta eld och sprida explosionen vidare. Bränder kan också inträffa i gruvorna.

Ras, som kan uppstå om berget är svagt i vissa delar eller i samband med explosioner, kan drabba ett stort antal arbetare och få katastrofala följder. Även sådana händelser ingår i den statistik som använts för att bedöma riskerna.

Förbättrad kunskap om orsakerna till gruvolyckor har lett till att skyddsföreskrifterna är väl utvecklade. Tack vare en omfattande satsning på arbetarskydd visar olycksstatistiken en positiv utveckling i de flesta industriländer med koltillgångar.

Hälsoriskerna vid kolbrytning är stora, även vid normal drift. Luften innehåller koldamm och annat damm (t ex kvartshaltigt), som kan ge luftvägssjukdomar om man andas in det under lång tid. Olika former av pneumokonios — en grupp lungsjukdomar till vilken bl a silikos hör — var förr en mycket vanlig orsak till invaliditet och för tidig död hos gruvarbetare. Den hör ännu i dag till de vanligaste yrkessjukdomarna i kolgruvor.

Föreningar i gasform kan vara skadliga även i små mängder. De kan antingen komma från inneslutningar i kolet eller från fordon eller sprängningar i gruvan. Riskerna kan minskas genom en ordentlig ventilation. Andra hälsorisker härstammar från vibrationer i motordrivna redskap eller från buller.

Statistik över yrkesskador i samband med kolutvinning finns från USA och EG-länderna, men de olika länderna visar stora skillnader i yrkesskadefrekvens. Det beror bl a på att man lägger olika innebörd i begreppet yrkesskada och på att kolfyndigheter, utvinningsmetoder, skyddspraxis m m varierar. Den största skillnaden finns mellan dagbrott och underjordsbrytning. Av statistiken från USA framgår att det totala antalet yrkesskador vid underjordsbrytning är ungefär tre gånger och dödsfallen ungefär fyra gånger så många som vid brytning av samma mängd kol ovan jord.

Polen är den största kolleverantören till Sverige. Yrkesskadestatistik därifrån skulle varit särskilt intressant men har tyvärr inte varit tillgänglig. I stället väljer vi att redovisa statistik från Västtyskland. Den avser kolutvinning genom brytning under jord. Underlaget är från 1975 och har räknats om till årsbehovet av kol för ett elkraftverk på 1 000 MW.

<u>Olycksfall:</u>	med sjukskrivning 4—20 dagar	394 fall
	med sjukskrivning 21—56 dagar	219 fall
	med sjukskrivning mer än 56 dagar	73 fall
	dödsfall	1,6 fall

<u>Yrkessjukdomar:</u>	ej fullständig invaliditet	42 fall
	eller dödsfall	1,6 fall
	fullständig invaliditet	2 fall
	dödsfall	

Olycksfall med upp till ca två månaders sjukskrivning dominerar, men antalet svåra olycksfall — mer än 56 dagars sjukskrivning — är också stort.

Transporter

Statistik som bara avser koltransporter har inte varit tillgänglig, och därför bygger de riskuppskattningar som gjorts på den allmänna transportstatistiken.

Kolet transporteras med järnväg från gruvdistriktet till en lastningshamn. Det sker i tåg som går i s k systemtransporter — regelbundet kommande tågsätt med enbart kolvagnar — och därför får växling och rangering ingen större omfattning. I flera fall får man räkna med en transportsträcka på ca 500 km.

Det är svårt att uppskatta hur stora riskerna är med koltransporter — på flera sätt skiljer de sig från vanlig godstrafik. Den svenska yrkesskadestatistiken skiljer inte på olika typer av gods. Om man antar att riskerna beror på antalet tonkilometer, kan man räkna med att ca 230 fall av yrkesskador — varav 0,7 dödsfall och 2,5 invaliditetsfall — inträffar i koltransporterna till ett 1 000 MW kolkraftverk under ett år. Den uppskattningen ligger utan tvivel högt. Samma metod skulle t ex ge helt felaktiga uppskattningar för systemtransporterna vid malmbanan i Sverige.

Det finns skäl som talar för att man bör beräkna riskerna efter antalet vagn- eller axelkilometer. Tåg för koltransporter har tyngre lastade vagnar än godståg i allmänhet. Det blir alltså färre vagnkilometer per tonkilometer än genomsnittligt. Därför får man lägre siffror om man räknar efter vagnkilometer: 22 skadefall, varav 0,07 dödsfall och 0,2 fall av invaliditet. Det finns också beräkningar som baseras på antalet tågkilometer. Eftersom koltåg också har flera vagnar än godståg i allmänhet blir riskuppskattningen ännu lägre med den metoden — bara tre skador per driftår. Riskberäkningen för koltransporter måste uppenbarligen betraktas som mycket osäker.

Sjötransporternas yrkesskaderisker har beräknats på liknande sätt. Man har antagit att transporterna sker med 35 000 tons fartyg, som gör 60 turer per år. Antalet turer beror givetvis i hög grad på varifrån man hämtar kolet. Vid transporter till sjöss inträffar bara en bråkdel av det antal olyckor som inträffar vid järnvägstransporter, om man räknar med samma mängd kol och samma färdsträcka. För ett kraftverk på 1 000 MW får man vid sjötransport statistiskt sett sju yrkesskador per år, varav 0,1 dödsfall.

Energiproduktion och avfallshantering

Före förbränningen i ett kraftverk skall kolet transporteras inom kraftverksområdet — eventuellt också torkas och malas till pulver. Koldamm sprids lätt och liksom i gruvor kan det medföra explosions- och hälsoris-

ker. Här är riskerna dock lättare att komma till rätta med, eftersom anläggningarna är permanenta och ligger ovan jord.

I själva energiomvandlingen har man att göra med höga tryck, höga temperaturer och en ganska svårkontrollerad pulverförbränning. Efter hand har omfattande säkerhetsföreskrifter och -anordningar utvecklats. Koldamm och läckande rökgaser skulle kunna utgöra hälsorisker, men erfarenheterna från kraftverk i drift visar att det bara är riskerna för olycksfall som är att räkna med, och även de är statistiskt sett små. Olyckor kan tänkas i samband med störningar i eldningen eller brott på ångledning. Om ett brott skulle uppstå i själva ångpannan kan dock följderna för personalen blir katastrofala.

Rökgasreningen sker oftast med elektrofilter, som samlar upp en stor del av flygaskan. Vid rengöring och byte av filter kan man få i sig stoft eller aska. Avfallshanteringen, liksom vissa moment vid inspektion och översyn, kan innebära att personalen utsätts för skadliga ämnen som finns i askan eller för asbest, som ibland har använts i pannkonstruktionen. Kiseldioxid finns kvar i askan i samma eller ännu skadligare form än i gruvdammet — vid långvarig inandning kan den ge silikos. Askan innehåller dessutom giftiga tungmetaller. Halterna varierar mycket mellan olika kolsorter.

I Sverige har vi vissa erfarenheter av koleldning i kraftverk från Hässelbyverket i Stockholm. Där har inte noterats några dödsfall, invaliditetsfall eller yrkessjukdomar. Verket är dock jämförelsevis litet och eldas bara delvis med kol. Statistiken är inte tillräcklig för att göra några pålitliga riskbedömningar. Det finns ett fylligare statistiskt material från USA, hämtat från flera oberoende källor.

Sammanställning av yrkesskaderisker vid användning av kol

För att ge en uppfattning om riskerna i olika led har uppskattningarna samlats i följande tabell. Siffrorna avser driften av ett kondenskraftverk på 1 000 MW under ett år.

Tabell 15 Yrkesskaderisker vid ett års drift av ett 1 000 MW koleldat kraftverk

Processled	Yrkesskador totalt	därav dödsfall
Utvinning	734	3,6
Transporter	3—237	0—0,8
Elproduktion	4	0,05
Kolcykeln totalt	741—975	3,7—4,5

Om kolet används för kombinerad värme- och elkraftproduktion som i kraftvärmeverk, blir de sammanlagda energimängder man får ut drygt dubbelt så stora. Yrkesskaderisken i relation till mängden nyttiggjord energimängd blir alltså lägre än ovanstående siffror. Om kraftvärmeverken läggs inne i landet tillkommer transportrisker inom Sverige.

Den helt dominerande delen av såväl olycksfalls- som hälsorisker ligger som vi sett i leden utomlands, där kol utvinns och landtransporteras.

Vi påminner om att transportriskerna i statistiken är beräknade indirekt och mycket osäkra. Talen för övriga led bygger på direkt observerad statistik och bör vara representativa för den teknik som används i dag och kan komma att användas i den närmaste framtiden.

Yrkesskadorna vid utvinning är helt beräknade på brytning under jord, eftersom den stenkol vi importerar till Sverige för det mesta utvinns på det sättet. Yrkesskadorna vid utvinning i dagbrott blir avsevärt färre och lindrigare.

Olja

Olja är det andra huvudalternativet bland de fossila bränslena. Liksom vid kol är riskerna störst vid utvinning och transporter och drabbar därför i första hand utländska arbetare. Olycksriskerna dominerar över andra hälsorisker — någon motsvarighet till ett sådant problem som koldamet i gruvorna finns inte.

Många oljekällor som upptäckts på senare år ligger under havsbotten, och till havs är utvinningen både svårare och mer riskfylld än på land. Vår framtida oljeimport kommer troligen både från utvinning på land (t ex från Mellanöstern) och till havs (t ex från Nordsjön). Båda alternativen bör alltså beaktas.

Borring för prospektering och för utvinning

I prospekterings inledande skede söker man, bl a med fotografiska och geofysiska metoder, efter områden som är lämpliga för provborring. Prospekteringsarbetet utförs många gånger i oländiga trakter och innebär risker, t ex i samband med transporter.

Provborringen utförs med samma teknik som används när man utvinner olja — en teknik som kan vara både farlig och besvärlig. För att få en uppfattning om olycksriskerna vid prospektering kan man alltså se till den statistik som gäller utvinning. Däremot är det inte särskilt meningsfullt att försöka fördela riskerna vid prospektering på den utvunna mängden olja, eftersom den relativa fördelningen av arbetsinsatser mellan prospektering och utvinning varierar kraftigt mellan olika fyndigheter.

När man hittat olja vid provborring tar man reda på fyndigheternas storlek och utsträckning genom att borra på flera ställen i omgivningen. Borrhålen används sedan vid utvinningen. Olycksriskerna är störst vid själva borringen — dels inträffar sådana olycksfall som förekommer vid alla tyngre anläggningsarbeten, dels finns det en viss risk för brand och explosion när olja och gas börjar tränga upp genom hålet.

När man väl fått ett borrhål färdigt och anslutit det till en central anläggning för vidaretransport av råoljan, dras personalinsatsen ner. Den fortsatta utvinningen sker rutinmässigt och under mindre risker.

Borring till havs — såväl för prospektering som för utvinning — är mer riskfylld än på land på grund av besvärligare transporter, omständligare arbetsrutiner, försvårad räddningstjänst och undervattensarbeten. Tek-

niskt är borrningen svårare eftersom man arbetar från en plattform vid ytan på ett många gånger oroligt hav, medan själva borrningen sker från botten på kanske hundra meters djup.

I de flesta länders olycksstatistik för oljeborrning anges olycksfall per miljon arbetade timmar. Prospektering och utvinning slås samman, liksom utvinning av gas och olja. Borrning på land och till havs redovisas också tillsammans, och därför är det svårt att beräkna olycksriskerna per producerad mängd olja.

I en amerikansk studie, som använts för sammanställningen i slutet av detta avsnitt, har riskerna beräknats för att försörja ett kraftverk på 1 000 MW elektrisk effekt med olja under ett år. Studien bygger på att oljan till stor del utvinns på land — olyckstalet skulle troligen bli högre om en stor del av oljan hämtas från t ex Nordsjön.

Arbetsmiljön vid oljeborrning är besvärande med bl a buller och vibrationer, men vi har inte kunnat uppskatta frekvensen av skador eller sjukdomar till följd av andra arbetsmiljörisker än olyckor.

Transport och raffinering

Olycksriskerna vid sjötransporter av olja är uppskattade med hjälp av svensk statistik över yrkesskador på tankfartyg och med rimliga antaganden om transportsträcka, lastförmåga och antal turer per år.

Vid raffineringen måste man handskas med mycket lättantändliga produkter under övertryck och vid temperaturer upp till flera hundra grader. Flera katastrofartade olyckor har förekommit vid europeiska raffinaderier. Efter hand har också säkerhetsföreskrifter och skyddsanordningar förbättrats.

Det finns även andra hälsorisker och arbetsmiljöproblem under raffineringen: hög bullernivå, utsläpp av kolväten, användning av farliga kemikalier och lösningsmedel. Den giftiga gasen svavelväte uppstår i vissa processled. När man producerar motorbensin hanterar man alkylblyföreningar som är starkt giftiga. Statistik från svenska raffinaderier visar emellertid att det skvårhetstalet för olyckor i arbetet är lägre än för industrin i genomsnitt.

Råolja och olika raffinerade produkter lagras i cisterner eller i bergsrumsanläggningar. En brand i anläggningarna kan naturligtvis få ödesdigra konsekvenser, men med de säkerhetsanordningar som efter hand utvecklats är bränder med svåra följder sällsynta. Själva byggandet av bergsrum innebär också vissa risker som tagits med i uppskattningen nedan. Det förväntade antalet olyckor har fördelats över 30 år, en antagen driftperiod för en lagringsanläggning.

När man transporterar brännolja från raffinaderi till kraftverk per båt är olycksfrekvensen låg. Vid järnvägstransporter är den förmodligen större och har uppskattats på samma sätt som för koltransporter.

Energiomvandling och avfallshantering

Ett oljeeldat kraftverk fungerar i stort sett på samma sätt som ett koleldat. Läckande rökgaser skulle kunna innebära hälsorisker på samma sätt som vid koleldning, men tillgänglig statistik tyder på att de inte har nå-

gon betydelse. Förbränningen av olja är lättare att kontrollera än kolpulvereldning — på den punkten är riskerna följaktligen mindre.

Vid oljeeldning blir mängden aska mindre än vid koleldning. Det mesta hamnar i rökgasreningens elektrofilter som med jämna mellanrum måste rensas, ett arbete som ger betydande hälsoproblem. Askan innehåller både höga halter av vanadin, som är en giftig tungmetall, och andra metaller som medför förgiftningsrisker.

I Sverige har vi flera oljeeldade kraftverk och en egen olycksfallsstatistik för dem. Verket i Karlshamn är av storleksordningen 1 000 MW och är därför lämpligt som jämförelsematerial. Statistiken för olycksfall därför har kompletterats med utländsk statistik för de sällsynta dödsfallen.

Sammanställning av yrkesskaderisker vid användning av olja

För att i siffror ge en uppfattning av riskerna i olika led har uppskattningarna samlats i följande tabell. Siffrorna avser driften av ett kondenskraftverk på 1 000 MW under ett år.

Yrkesskadorna drabbar till omkring tre fjärdedelar arbetare i utlandet.

Tabell 16 Yrkesskaderisker vid ett års drift av ett 1 000 MW oljeeldat kraftverk

Processled	Yrkesskador totalt	därav dödsfall
Utvinning	21	0,2
Transport av råolja	15	0,3
Raffinering	5	0,02
Transport, eldningsolja	2	0,04
Elproduktion	4	0,03
Oljecykeln totalt	47	0,6

Naturgas

För det mesta utvinner man naturgas och olja samtidigt, och därför påminner också yrkesskaderiskerna om varandra.

Transporterna ger totalt lägre yrkesskaderisker för naturgas, särskilt om de sker i rörledningar.

Kraftverksdriften ger ungefär samma risker som vid olja, även om risken för bränder och explosioner till följd av gasläckor rimligen är något större.

Om man räknar över alla processleden vid driften av ett naturgaseldat kondenskraftverk på 1 000 MW uppgår antalet yrkesskador på ett år till ca 25, varav 0,3 dödsfall. Vid utvinning av naturgas till havs kan man räkna med något högre siffror. Ca 85 procent av yrkesskadorna drabbar arbetare i utlandet.

Kärnkraft

Kärnkraftsindustrins yrkesskaderisker skiljer sig på flera sätt från dem på kol- och oljesidan — främst gäller det strålningsriskerna. Vid normal drift ligger stråldoserna till de anställda på en låg nivå och kan kontrolleras nog, men arbetet vid mindre driftstörningar, reparationer osv kan försvåras av strålriskerna. Sådana arbeten får anses normalt återkommande i driften. Vissa arbetsmoment måste utföras under stor tidspress och med användning av skyddsutrustning, allt för att hålla stråldoserna nere.

Vad som skulle hända vid en större olycka berör inte bara de anställda, utan också allmänheten. Det behandlas i kapitel 8.

Kärnbränslet ger mycket mer energi per ton än olja och kol. En årsförbrukning på 160 ton naturligt uran för ett kärnkraftsaggregat motsvaras av ca en och en halv miljon ton olja eller ca två miljoner ton kol. Visserligen behöver man bryta omkring 100 000 ton uranmalm eller 700 000 ton uranskiffer för att täcka ett årsbehov av uran, men eftersom detta i allmänhet utvinns i direkt anslutning till gruvan behöver man inte transportera stora mängder malm långa vägar. Därför minskar också kraftigt en typ av yrkesskaderisker som betyder mycket för olja och kol om man räknar per mängd framställd energi.

Hälsorisker av strålning i arbetsmiljön

Yrkesskaderiskerna av strålning begränsas av de rekommendationer om högsta tillåtna individuella stråldoser som olika internationella strålskyddsorgan enats om.

Enligt den internationella strålskyddskommissionen (ICRP) bör den årliga individuella dosen ej ligga över 5 rem per år. I ett typiskt arbete med strålrisker som FN:s vetenskapliga strålningskommitté beskriver det ligger medeldosen till de anställda kring 0,5 rem per person och år.

För att ställa de totala strålriskerna för de anställda i relation till hur mycket energi som produceras är det naturligt att räkna med kollektivdoser på samma sätt som gjordes i kapitel 5.

Gruvdrift

Utländska erfarenheter visar att kollektivdosen f_n kan uppskattas till 100–200 manrem per 1 000 MWår producerad elektrisk energi. Vi har i denna siffra vägt in dosen till luftvägarnas ytvävnader, som härrör från radongasens sönderfallsprodukter. Den dosen var tidigare avsevärt högre, men den förbättrade gruvventilationen gör det nu möjligt att hålla de fastställda individuella gränsvärdena. Vid uranbrytning i Ranstad i Bilingen, om den kommer till stånd, räknar man med att kunna minska doserna ytterligare tack vare de gynnsamma lokala förutsättningarna.

Anrikning och tillverkning av bränsleelement

De individuella medeldoserna ligger i regel under en halv rem per år i brittiska rapporter och vid eller något över en halv rem per år i amerikanska rapporter. Utifrån dessa erfarenheter kan kollektivdosen uppskattas till omkring 200 manrem per 1 000 MWår.

Reaktordrift, underhåll och lokal avfallshantering

De individuella årsmedel doserna till personalen vid svenska kärnkraftverk har hittills inte överskridit 0,33 rem något år. Vid amerikanska och brittiska kärnkraftverk har de varierat mellan 0,1 och 1,2 rem per år.

Följande tabell visar kollektivdoser till personalen (inklusive entreprenörer) vid svenska kärnkraftverk.

Tabell 17 Kollektivdoser till personalen vid svenska kärnkraftverk

Station/år	manrem per 1 000 MWår producerad energi	manrem per 1 000 installerade MW och år
Oskarshamn		
1971	380	10
1972	60	20
1973	90	50
1974	710	130
1975	130	80
1976	510	320
Ringhals		
1974	60	0
1975	320	110
1976	260	130
Barsebäck		
1975	50	20
1976	200	150

Eftersom avfallshanteringen huvudsakligen varit begränsad till kärnkraftstationerna har stråldoserna därifrån också räknats in.

I Oskarshamnsverket nådde kollektivdosen 1976 320 manrem per 1 000 MW installerad effekt och år. Det skedde i samband med reparations- och översynsarbeten. Stråldoserna per 1 000 MWår producerad energi varierar från låga värden upp till 710 manrem. Värdena blir högst de år som stora underhålls- och reparationsarbeten ger höga kollektivdoser samtidigt som kraftproduktionen ligger nere.

Amerikanska siffror för 1969—1974 visar ett medelvärde på 1 300 manrem per 1 000 MWår producerad energi. Dosen per 1 000 installerade MW och år blir lägre — mindre än 1 000 manrem, vilket kan jämföras med högsta årliga dosen vid svenska kraftverk, 320 manrem. I USA fanns under denna period ingen begränsning av kollektivdosen. Därför var det möjligt att fördela arbetet och stråldosen på många arbetare, t ex för reparationsarbeten, så länge de individuella dosgränserna inte överskreds.

Svenska strålskyddsinstitutet har för närvarande som mål att begränsa kollektivdosen till personalen till högst 200 manrem per 1 000 MW installerad effekt och år, men dess experter är själva osäkra om detta krav kan uppfyllas i längden. Det är t ex möjligt att kollektivdosen från översyn

och reparationer ökar när anläggningarna blir äldre. Exempelvis har korrosionsproblem börjat uppträda i ånggeneratorerna till vissa tryckvattenreaktorer. Underhåll och reparationer av dessa generatorer kan medföra förhållandevis stora kollektivdoser. Om säkerhetsinspektionerna ökar — vilket det har uttryckts önskemål om — kommer också kollektivdoserna att öka. Därför, och på grund av utländska erfarenheter, har strålskyddsinstitutet använt ett värde på 500 manrem per 1 000 MW installerad effekt och år vid sina riskuppskattningar.

Upparbetning av använt kärnbränsle

Medelvärdena för helkroppsdosen till personalen vid den brittiska upp-
arbetningsanläggningen i Windscale varierade 1971—1975 mellan 1,9 och 1,27 rem per år. Vid de franska anläggningarna (Marcoule och La Hague) har de individuella medeldoserna legat på 0,4 rem per år. De mest utsatta arbetarna har fått i genomsnitt drygt 3 rem per år, enligt siffror som publicerats av de fackliga organisationerna.

De utländska erfarenheterna visar att kollektivdoserna kan ligga på 300—1 250 manrem per 1 000 MWår producerad elektrisk energi. Den högre siffran gäller anläggningen i Windscale och kan bero på det höga antalet anställda och den förhållandevis låga utbränningsgraden på det upparbetade bränslet. Vid större upp-
arbetningsanläggningar — där man än så länge saknar driftserfarenhet — skall mer bränsle upparbetas per år i förhållande till antalet anställda. Eftersom de individuella stråldoserna knappast kan tillåtas öka visar beräkningar i bilagorna att det med nuvarande skyddskrav inte blir möjligt att upparbeta bränsle i större anläggningar vid en kollektivdos på mer än ca 100 manrem per 1 000 MWår. Strålskyddsinstitutets expertis har dock för upp-
arbetningen och den avfallshantering som följer därav räknat med högst 200 manrem per 1 000 MWår.

Sammanlagd strålskaderisk för personal inom kärnkraftindustrin

De anställda inom kärnkraftens alla processled skulle, med de doser vi redovisat ovan, få en sammanlagd kollektivdos på 1 000 manrem per 1 000 MWår producerad energi. Internationella uppskattningar ligger på 3 000 manrem per 1 000 MWår. Då räknar man dels med ett större bidrag från kärnkraftstationerna, dels med över 1 000 manrem per 1 000 MWår från upp-
arbetning. Det senare värdet anser strålskyddsinstitutets experter vara orealistiskt för framtida anläggningar.

Ett kärnkraftaggregat på 1 000 MW kommer efter någon tid att leda till en risk för 3—6 extra cancerfall per tio driftår bland personalen vid anläggningarna i processkedjan. Den exakta siffran beror på vilken kollektivdos som läggs till grund för riskberäkningarna. Siffran kan vara något för hög, eftersom cancerrisken för vuxna män — som utgör huvuddelen av personalen — är mindre än för hela befolkningen. Den kollektivdos som har betydelse för att beräkna de genetiska riskerna kan på motsvarande sätt uppskattas till 250—750 manrem per driftår. Det innebär att varje driftperiod på tjugo år medför en risk på totalt ett till tre fall av svårare ärftlig skada bland de anställdas avkomma. En tredjedel av dessa skadefall uppträder i nästkommande generation och två tredjedelar i senare generationer. Med enbart kärnkraftverk i Sverige — och inga andra process-

led, bortsett från tillverkning av bränsleelement — minskas riskerna för personal inom landet till omkring en femtedel.

Övriga yrkesskaderisker

Utvinning av uran

För gruvdriften har vi gjort ett försök att uppskatta yrkesskaderisken vid den typ av skifferbrytning som studerats för Ranstad. Eftersom man på det hela taget kan jämföra arbetsmiljön med den i andra slags gruvor — bortsett från kolgruvor — har riskuppskattningen för uranbrytning gjorts genom att se på statistiken för hälsorisker och olycksfallsrisker i svenska gruvor överlag.

Arbetsförhållandena i Ranstad kan bli förhållandevis gynnsamma jämfört med en del utländska urangruvor. En viss del av brytningen föreslås ske ovan jord.

Eftersom metangas frigörs från skiffern när man borrar och spränger måste ventilationen vara så kraftig att gaserna inte kan ge risk för explosioner. Tack vare den ventilationen kommer också halten av radongas att ligga långt under föreskrivna normer — strålskaderisken hålls alltså nere.

Anrikning av uran

Vid anrikningen förekommer mycket farliga kemikalier (frätande fluor och giftiga uranföreningar) och höga temperaturer. Eftersom hela processen sker slutet och fjärrstyrt kommer den normala driften troligen inte att utsätta de anställda för några påtagliga risker. Bara vid översyn, reparationer och eventuella haverier kan personalen i någon större utsträckning komma att utsättas för kemikalier eller strålningsrisker.

För närvarande har vi ingen anrikning i Sverige, men erfarenheterna från främst USA är tillräckligt omfattande för att man skall kunna uppskatta riskerna. Siffrorna visar att anrikningen inte ger nämnvärda bidrag till yrkesskaderiskerna vid framställning av kärnbränsle.

Vid utvinning och anrikning för ett års behov av kärnbränsle till ett 1 000 MW aggregat finns risk för 13 fall av yrkesskador, varav 0,05 med dödlig utgång och 0,5 invaliditetsfall. Den helt övervägande delen faller på gruvdrift med tillhörande lakverk.

Tillverkning av bränsleelement

Tillverkningen av bränslepatroner är i stort sett jämförbar med vanligt verkstadsmekaniskt arbete. Uranoxiden som används är giftig och radioaktiv, och därför måste hanteringen ske under särskilda försiktighetsåtgärder. Bränsleelement tillverkas i Sverige av Asea-Atom. Erfarenheterna därifrån har utnyttjats vid bedömningen. Yrkesskaderisken uppskattas till tre olycksfall — inget med dödlig utgång — per årsbehov av bränsle till en reaktor.

Reaktordrift

De svenska kärnkraftsaggregatens driftsstatistik har använts för att uppskatta de genomsnittliga riskerna för olycksfall. Vid uppskattningen

har anläggningsarbetena och monteringen av aggregaten också tagits med.

Om man fördelar olycksbelastningen över 25 driftår, blir den sammanlagda risken för yrkesskador för ett 1 000 MW kraftverk uppskattningsvis 22 skadefall per år, varav 0,03 med dödlig utgång. Hälften av skadorna, inklusive dödsfallen, inträffar vid anläggningsskedet.

Upparbetning

Upparbetning av kärnbränsle är en komplicerad process där giftiga, frätande och starkt radioaktiva ämnen ingår. Liksom vid anrikningen kännetecknas anläggningarna av långt driven automatisering och fjärrstyrning. Vid översyn, driftstörningar och reparationer kan personalen framför allt utsättas för strålrisker. Sådana arbeten blir också påfrestande på grund av de skyddsdräkter man måste använda.

Ingen upparbetning äger rum i Sverige, men utomlands har anläggningarna varit i drift så länge att man har statistik på riskerna. Denna har använts i våra beräkningar. Ett "normalt" ingrepp i processen vid driftstörningar ingår i underlaget. Siffrorna tyder på en risk för ett fall av yrkesskada per tio års behov av bränsle — inget med dödlig utgång. Om man återför det uran och plutonium som erhålls ur upparbetningen till nytt kärnbränsle, minskar behovet att bryta uranmalm. Vid full återanvändning skulle då yrkesskadorna vid gruvbrytningen minska med uppemot en tredjedel. Med hänsyn till strålskaderisken kan dock upparbetning ändå öka de totala yrkesskaderisken per årsbehov av kärnbränsle till en reaktor.

Slutförvaring av högaktivt avfall och transporter

Det är ännu oklart hur en anläggning för slutförvaring av högaktivt avfall skall utformas. Inget av de alternativ som har diskuterats har bedömts ge så stora arbetsmiljöproblem genom olycksrisker att de skulle påverka totalbilden för kärnbränslecykeln. Samma sak gäller alla transporter mellan de olika leden i processkedjan.

Sammanställning av yrkesskaderisker vid användning av kärnkraft

Genom att lägga samman alla risksiffror vi gett ovan, får man fram en sammanlagd yrkesskaderisk för ett års produktion av energi från ett 1 000 MW kärnkraftaggregat. Den risken blir ca 40 olycksfall per år, varav ett fall på tio år med dödlig utgång. De flesta olycksfallen inträffar vid uranbrytningen och när kraftverket byggs.

Till detta kommer något fall av svårare ärftlig skada och 1–2 dödsfall i cancer per tio års drift enligt strålskyddsinstitutets uppskattningar.

Med redovisning på de olika processleden får man följande tabell:

Tabell 18 Yrkesskaderisker vid ett års drift av ett 1 000 MW kärnkraftaggregat

Processled	Antal yrkesskadefall	därav dödsfall	Dödsfall i cancer eller fall av svår, ärftlig skada till följd av strålning
Utvinning	13	0,05	0,06—0,09
Anrikning	0,2	0,001	—
Bränsletillverkning	3	0	—
Elproduktion	22	0,03	0,1 —0,15
Upparbetning	0,09	0,0001	0,04—0,06
Slutförvaring	0,2	0,0003	—
Transporter, totalt	0,045	0,002	—
Alla processled	39	0,08	0,2—0,3

Litteraturhänvisningar utöver underlagsrapporter och bakgrundsdokument (se appendix 2)

Säkerhetstjänsten 1975, Statens Järnvägar.

När man använder vattenkraft, kol, olja eller kärnkraft för att framställa elektricitet eller värme, gör man samtidigt ingrepp i miljön. Landskapsbilden förändras av själva kraftverket, dammanläggningen, gruvan eller oljeborrtnet. Ett kolkraftverk kräver dessutom mark för förvaring av aska och i förekommande fall avsvavlingsslam.

Dammanläggningarna för ett vattenkraftverk inverkar på växt- och djurliv. Även varmvattenutsläpp från kondenskraftverk påverkar miljön i de omgivande vattnen. Vid oljehantering förekommer ett visst oljespill.

Fossileldade kraftverk förorenar luften. Deras svavelutsläpp leder till försurning av mark och vattendrag. På sikt kan även jordens klimat komma att påverkas.

Olje- och kolkraftverk kan dessutom släppa ut avsevärda mängder metaller, som lagras i naturen. Med tiden kan halterna i mark och vatten bli så höga att växt- och djurliv påverkas.

Vid beskrivning av miljöpåverkan har vi följt samma uppläggning som för hälsoeffekterna. Vi börjar med den påverkan som sker omedelbart och påtagligt, t ex ingrepp i landskapet, och som också i många fall blir bestående under överskådlig tid. Därefter tar vi upp den inverkan på miljön som visar sig först i ett längre tidsperspektiv.

Vi har funnit det lämpligast att behandla vattenkraftens miljöpåverkan i ett särskilt avsnitt. Olja, gas, kol och kärnkraft behandlas däremot gemensamt i avsnitt som tar upp olika typer av miljöpåverkan.

Utbyggnad av vattenkraft

Människan har gjort ingrepp i älvdalarna sedan urminnes tid. Älvar och vattendrag var förr ofta de enda tillgängliga transportlederna, och älvdalarna erbjöd också många andra fördelar från bosättnings- och odlingsynpunkt. Även industrin sökte sig dit för att utnyttja det strömmande vattnet som transportled och energikälla. Det är dock den moderna vattenkraftutbyggnaden som har medfört verkligt stora ingrepp.

Den naturliga älven med forsar, fall och selsträckor har omvandlats till en serie dämningsområden. Dessutom har dammar, kraftverk, torrlagda älvräckor, tunnlar, kanaler, schaktmassor m.m. förändrat landskapsbilden påtagligt. Vattenföring och vattenstånd som förändras kan orsaka skador på växt- och djurliv. Klimatet kan påverkas lokalt. Vissa av verkningarna visar sig omedelbart, andra först på längre sikt. Å andra sidan är en del av de skador som direkt hänger samman med själva anläggningsarbetena bara tillfälliga.

Förändringar i naturen

För naturvården innebär en vattenkraftutbyggnad alltid skadeverkningar, i synnerhet om man bygger ut välreglerad kraft i en tidigare orörd älv.

Genom dammar och kraftverk förändras eller avbryts den naturliga transporten av näring mellan strömmar, sel och sjöar. Det gör ofta att fisken inte kan vandra. I sjö- och älvmagasinen uppstår ofta erosion (jordlagren nöts bort) i markområden som tidigare varit opåverkade, och detta kan utlösa ras. Djurlivet i strömmen kan påverkas, men också det i närliggande vatten och ibland t o m djurlivet på land. Detta beror på samspelet mellan strömmar och lugnvattensträckor i en älv.

När en älv regleras förändras den naturliga vattenföringen — de höga vårflödena avlöses t ex av höga vinterflöden. Vattnet kommer därför att påverka stränder m m på ett annorlunda sätt. Även växt- och djurlivet påverkas, eftersom de är känsliga för ändrade vattenföringar. En reglering rycker undan förutsättningarna för den artrikedom som ofta finns utmed de naturliga stränderna. Det beror främst på att det naturliga högvattnet under våren och försommaren har en gödslande funktion samtidigt som det är kortvarigt, medan det konstgjorda högvattnet uppträder under andra tider på året.

Inverkan på fisket och på fiskens fortplantning

När en älv byggs ut skadas främst den s.k. ädelfisken, som är beroende av strömmande vatten. Dessa arter, framför allt laxen, har också störst ekonomisk betydelse. Genom utbyggnad av vattenkraft har laxens naturliga fortplantning gjorts omöjlig i de flesta svenska älvar. Det är bara i Kalix och Torne älvar som förutsättningarna nu är någorlunda goda. I övriga älvar upprätthålls laxbestånden huvudsakligen genom odling och utsättning. Av det totala antalet laxungar, s k smolt, som är färdiga för utvandring, kommer ungefär en tredjedel från svenska odlingar, en tredjedel från älvarna genom naturlig fortplantning och den återstående tredjedelen från övriga östersjöländer. Trots att man i Sverige nått mycket goda resultat när det gäller laxodling får man inte bortse från att den sker i en skyddad miljö. Där klarar sig yngel som skulle ha slagits ut i den naturliga miljön. På lång sikt riskerar man följaktligen att få sämre laxbestånd och det är därför viktigt att den naturliga fortplantningen finns kvar för att underhålla en s k genbank.

Genom att sätta ut fisk och andra näringsdjur i älv- och sjömagasin har man under lång tid försökt kompensera skadorna på fisket. Flera fiskarter, framför allt öringen, har ändå svårt att klara regleringsförhållandena.

Inverkan på turism och friluftsliv

Utbyggnaden av våra älvar påverkar en av de mest uppskattade fritidsysselsättningarna — sportfisket. Den dominerande negativa effekten för turism och friluftsliv är ändå förlusten av forsar och fall. Vid ytterligare utbyggnad kommer starka intressen att stå mot varandra, eftersom de forsar som är värdefullast för kraftproduktion samtidigt är de som har störst värde för turism och friluftsliv, och eftersom så få utbyggda, större forsar finns kvar.

Uppfattningarna om en utbyggnads för- och nackdelar för turism och friluftsliv är ofta starkt delade. Det finns de som hävdar att den opåverkade naturen inte kan ersättas, medan andra menar att verkningarna vid en utbyggnad inte är så allvarliga, och att bygden då kan få medel till turist- och fritidsanläggningar som troligen aldrig hade kommit till annars.

Kulturminnesvård

Kulturminnesvårdens intressen kommer ofta att stå i motsättning till en vattenkraftutbyggnad. Å andra sidan finns åtskilliga miljöer som i dag är utbyggda, men trots det hör till landets förnämsta kulturbygder — exempelvis områdena kring Siljan och Storsjön samt Ljusnans dalgång vid Järvsö.

Vissa typer av värdefulla kulturminnen — t.ex. lämningar som tillhör fångstmiljön — är dock mycket känsliga, eftersom de ligger alldeles intill stränderna.

Den gamla bondebebyggelsen och många värdefulla lämningar av äldre samekultur ligger också oftast vid stränder av sjöar och vattendrag.

Det bör dessutom understrykas att det inte bara är fråga om övergivna lämningar. Både i bondebygd och samebygd är många anläggningar av stort kulturhistoriskt värde fortfarande i bruk.

Inverkan på rennäring

Renskötselformen är anpassad till att utnyttja de naturliga förutsättningar som finns i ett område. Konflikten mellan kraftintresset och rennäringens intressen blir därför ofta stark.

De påtagliga effekterna av en utbyggnad är överdämning av betesmark, flyttningsvägar och tekniska anläggningar. Det är emellertid svårt att i detalj förutsäga vilken effekt en utbyggnad får då renen är ett bara delvis tämjdt djur och renhjordarnas beteende kan variera från år till år beroende på bl.a. väderförhållandena.

I åtskilliga fall är skadeverkningarna av vattenkraftutbyggnad små jämförda med andra intrång, t ex gruvdrift, vägbyggnad, turism och skogsbruk.

Inverkan på jord- och skogsbruk

En utbyggnad av vattenkraft kan på olika sätt påverka jordbruket i älvdalarna. Direkta skador uppstår när odlad mark, anläggningar och vägar däms över. Detta kan också försvåra en rationell skötsel av återstående mark.

Jordbruksmarken kan dessutom bli svårbrukad genom att torrläggningens möjligheter försvåras. Rubbningar av grundvattennivån kan skada vattenförsörjningen.

I vissa fall kan en utbyggnad få positiva följder för jordbruket. Till exempel kan en utbyggnad av Råneälven ge jämnare vattenförling året runt. Stora områden skulle då kunna brukas säkrare och mer intensivt.

Om produktiv skogsmark blir överdämd minskar naturligtvis virkespro-

duktionen. Dessutom kan även angränsande marker påverkas genom förändrade grundvattenförhållanden. Flottleder, skogsvägar etc kan behöva ersättas.

Erfarenheterna har hittills dock visat att det är andra faktorer än vattenkraftutbyggnad som avgör om flottningen i en älv läggs ned.

Inverkan på klimatet

De vattenregleringar som är aktuella i Sverige kan inte ha någon effekt på klimatet i stort, men de kan ofta märkbart ändra de lokala klimatförhållandena.

Verkningarna av förändringar i temperatur och luftfuktighet är i regel små. Den viktigaste följden av en vattenkraftutbyggnad är att det blir dimmigare på vintern, framför allt nedströms vattenmagasin där vattnet blir isfritt. Enligt Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) kan dimfrekvensen öka med sju dagar per vintermånad. Dimman gör att det bildas is på barmarken, vilket försvårar betet för renar och andra djur.

Inverkan på samhällen och befolkningens levnadsmönster

Utbyggnad av vattenkraft kan påverka många människors bostads-, arbets- och fritidsmiljö. Lokalbefolkningens intressen har starkt stöd i lagstiftningen — en utbyggnad får inte komma till stånd om t ex befolkningen får sina levnadsvillkor väsentligt försämrade, eller om den skulle minska trivseln väsentligt för de människor som bor i närheten. Dessutom ersätts överdämda hus, ägor och vägar. Det går dock inte att komma ifrån att en utbyggnad avsevärt kan påverka många människors levnadsmönster i både positiv och negativ riktning. Det gäller också utbyggnader i fjälltrakter där det inte finns bofast befolkning men där det finns en levande samisk kultur.

Under utbyggnadstiden sysselsätter stora vattenkraftprojekt många människor. Undersökningar visar att många av dem bor inom länet. Omkring hälften bor så att de dagpendlar. När anläggningen är färdig kan bara ett fåtal få arbete vid vattenkraftverket. Dessa svängningar i sysselsättningen återverkar, på gott och ont, både på de enskilda människorna och på utvecklingen i de samhällen som berörs.

Svängningarna i sysselsättningen är inte unika för vattenkraften. De förekommer också vid stora anläggningsarbeten i anknytning till exempelvis raffinaderier och kärnkraftverk. Verkningarna kan dock bli mer påtagliga i Norrlandskommunerna, där arbetsmarknaden oftast är starkt begränsad i övrigt.

Inverkan på miljön vid olika projekt och utbyggnadsnivåer

Vi har i de föregående avsnitten försökt beskriva vilka skador som allmänt kan uppstå vid en vattenkraftutbyggnad.

Såväl miljöpåverkan som energiutbytet varierar starkt mellan olika projekt, vilket också framgår av exemplen i faktaruta 24 på nästa uppslag. Det finns ofta ett samband mellan energiutbyte och skador på miljön. Å

andra sidan kan man i regel satsa mer på skadeförebyggande åtgärder vid ett större projekt än vid ett mindre.

För ett stort antal vattendrag har miljöpåverkan av en eventuell utbyggnad utretts, dels i betänkandet Vattenkraft och miljö (SOU 1974:22), dels i betänkandet Vattenkraft och miljö 3 (SOU 1976:28). De behandlar tillsammans drygt hälften av den vattenkraft som i dag bedöms vara ekonomiskt värd att bygga ut, eller 19 av 34 TWh per år. Torne älv, Pite älv och Vindelälven, som tillsammans skulle kunna ge ett energitillskott på ca 12,5 TWh per år, berördes inte av dessa utredningar.

Möjligheterna till utbyggnad har fördelats på klasser enligt tabell 19.

De olika klasserna innebär i korthet följande:

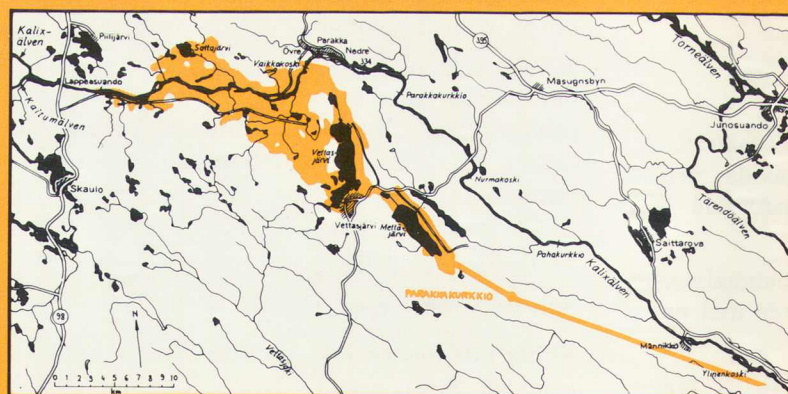
Klass 0 omfattar om- och tillbyggnader av de kraftstationer som finns i dag. Klass 1 är projekt som bedöms medföra små eller måttliga verkningar för miljön. Klass 2 omfattar ett stort antal projekt där de flesta skulle ge måttliga skador. Där ingår också projekt som skulle medföra stora skador men samtidigt är värdefulla från kraftsynpunkt. Klass 3a är projekt som skulle medföra mycket stora skador men samtidigt är myc-

Exempel på älvutbyggnader

Parakkakurkkio i Kalix älv

Om Parakkakurkkio byggdes ut skulle det bli det mest betydelsefulla projektet i Kalix älv med en årsproduktion på drygt 1 TWh. Vid en utbyggnad skulle man skapa ett stort magasin på ca 120 km². Ca 0,5 km² åker och 4,7 km² skogsmark skulle dämras över. Utan skadeförebyggande åtgärder skulle ca sex mil av Kalixälven torrläggas, sånär som på lokal tillrinning.

Skador skulle bli uppstå på Parakkakurkkios klippkanjon och selet vid Nedre Parakka med dess ovanligt välutbildade älvförgreningar, öar, levéer



Parakkakurkkioprojektet

Källa: Vattenkraft och miljö 3 (SOU 1976:28).

Tabell 19 Vattenkraftsresursernas fördelning på klasser i betänkanterna Vattenkraft och miljö 1-3

Klass	Södra Norrland o norra Svealand TWh/år	Norra Norrland TWh/år	Totalt TWh/år
4	1.8	5.7	7.5
3b	1.0	1.4	2.4
3a	1.1	2.8	3.9
2	0.8	2.0	2.8
1	0.7	0.3	1.0
0	0.9	0.3	1.2
Summa	6.3	12.5	18.8

ket värdefulla från kraftsynpunkt. Klass 3b innehåller projekt som skulle ge mycket stora skador, samtidigt som kraftnyttan i allmänhet inte är av samma storlek som i klass 3a. Klass 4, slutligen, innehåller älvsträckor av

och bankbildningar. Sjön Vettasjärvi, som skulle däckas upp, har en mycket säregen vattenflora och även myrstränderna visar märkliga inslag. Området är ett vildmarksområde med sällsynta djurarter som utter, björn och lo. Strömfisket skulle totalskadade på en älvsträcka på ca sju mil, vilken även är ett värdefullt reproduktionsområde för fisken.

Landskapet kring Parakka har kulturhistoriskt värde och inom projektets däckningsområden finns en levande samisk kultur. För Laevas sameby är vinterbetet den begränsande faktorn för renantalet. Genom en utbyggnad skulle en tredjedel av det naturliga sammanhängande betesområdet söder om Kalixälven försvinna.

Sölvbacka i Ljungan

En utbyggnad av Sölvbacka skulle omfatta ca en mil av Ljungans övre del — från den reglerade Härjedalens Storsjö ned till regleringsmagasinet Flåsjön-Grucken. Energiproduktionen har uppskattats till 0,077 TWh per år.

Älvsträckan ligger avskilt och har till en del vildmarkskaraktär. Den föreslagna utbyggnaden skulle medföra att Ljungans ca sex km långa lopp mellan Sölvbackaan och sjön Övre Grucken blir torrlagt under större delen av året. Övre Grucken skulle sänkas ca sex meter och dess vattenareal skulle därigenom minska till hälften av vad den är i dag. Den blottlagda sjöbotten skulle starkt förfäda landskapet.

I samband med den föreslagna utbyggnaden får man torrläggning av älvfåror och omfattande rensningsarbeten. Därigenom förstörs bl a den frodiga växtlighet som finns på strandängar utmed älven. Vidare totalskadade allt strömfiske.

sådan betydelse från miljösynpunkt att någon utbyggnad inte bör komma i fråga.

Av de projekt som belyses i faktaruta 24 har Parakkakurkkioprojektet placerats i klass 3a och Sölvbacka i Ljungan i klass 2. Andra delar av Kalix älv är placerade i klass 4. Kalix älv, den huvudälv som är helt opåverkad av kraftutbyggnad, svarar ensam för 4,5 TWh per år i möjlig utbyggnad.

Rangordningarna är i första hand ett sätt att karaktärisera olika grupper av projekt och inte ett utbyggnadsprogram för vattenkraften. Klass 2 omfattar exempelvis ett stort antal ofta små projekt som i flera fall skulle skada viktiga miljövärden. Även om varje enskilt projekt inte är starkt kontroversiellt, skulle det samlade ingreppet vid en total utbyggnad av klass 2 bli betydande. För att undvika det kan man i stället välja att i första hand bygga ut ett mer begränsat antal större projekt, dels i klass 2, dels i klass 3. Det kan vara bättre från såväl bevarande- som kraftsynpunkt.

Grovt sammanfattat kan man säga att dessa utredningar kommit fram till att på sin höjd omkring 5 TWh per år av den återstående vattenkraften kan byggas ut med förhållandevis måttliga skadeverkningar. Det utesluter naturligtvis inte att de lokala skadorna upplevs som stora av de närmast berörda.

Ingrepp i landskapet vid användning av olja, gas, kol och kärnkraft

Olje- och gasfält

I stora oljefält domineras landskapet av borrhorn, ledningar och eventuella lagringsanläggningar. När produktionen väl är igång går det dock att minska påverkan genom landskapsvårdande åtgärder. Detta är inte möjligt vid kust- och havsbaserad utvinning, där man inte kan undvika att plattformarna dominerar synfältet. Till havs, t ex i Nordsjön, innebär plattformarna vissa ökade risker för sjöfart och fiske.

Många oljefält ligger i otillgängliga öken- och vildmarksområden dit få människor tidigare sökt sig. Anläggning av stora oljefält och långa oljeledningar i arktiska områden har ändå blivit en omdebatterad fråga i t ex Alaska och Kanada. Frågan är hur ingreppen kan påverka den känsliga balansen i det arktiska växt- och djurlivet.

Brytning av kol, oljeskiffer, uranskiffer och uranmalm

Dagbrytning av kol, oljeskiffer och uranskiffer innebär i mångt och mycket likartade ingrepp i naturen. Hur mycket som behöver brytas för att en viss mängd energi skall utvinnas varierar dock starkt. För att producera ca 6 TWh elenergi i ett kondenskraftverk, eller 15—18 TWh värmeenergi, behöver man bryta:

- drygt 2 miljoner ton kol,
- omkring 7 miljoner ton oljeskiffer eller
- omkring 0,7 miljoner ton uranskiffer av Billigentyp.

Förr lämnades dagbrott ofta som stora öppna sår i landskapet. Numera

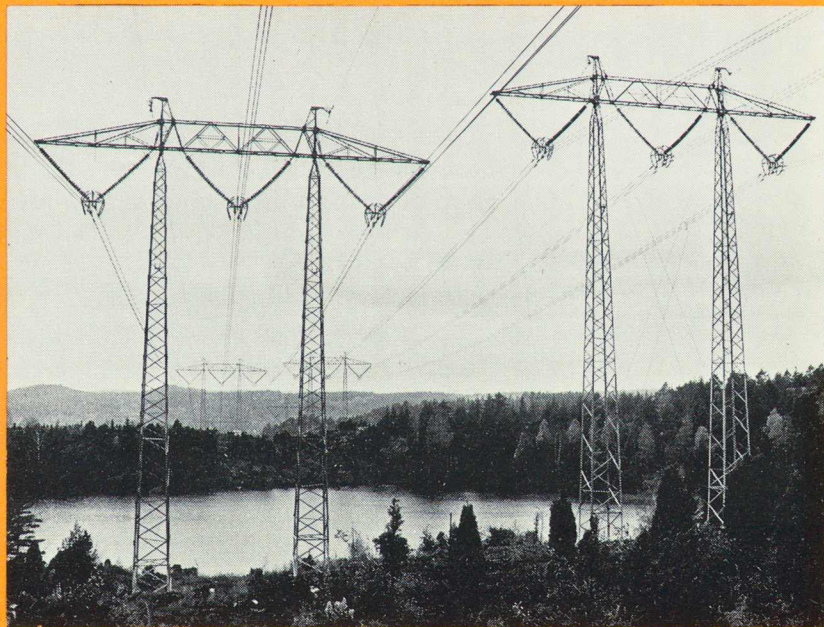
I det svenska elnätet ingår ett stort antal kraftledningar av varierande storlek. De största kraftledningarna, stamnätet, omfattar bl a ett antal ledningar på 400 kilovolt (1 kilovolt = 1 kV = 1000 volt) som förbinder kraftverken i Norrland med förbrukningsområdena i södra Sverige. Man överväger en utbyggnad av stamnätet i södra Sverige med 800-kilovoltsledningar som bl a knyter samman kärnkraftverken.

Kraftledningarna dimensioneras på följande sätt:

Spänning	Stolphöjd	Byggnadsfritt område
400 kV	24 m	40 m
800 kV	34 m	70 m

Kraftledningsgator innebär intrång i produktiv skogsmark. När kraftledningarna går genom jordbruksbygd kan marken fortfarande utnyttjas till allra största delen.

För högre spänningar blir markintrånget mycket mindre i förhållande till överförd energimängd. Samtidigt syns kraftledningen mer i landskapet eftersom stolparna är högre.



Kraftledningar med driftspänningen 400 kilovolt, ingående i det svenska stamnätet.

Foto: Vattenfall.



Figur 34. Befintligt dagbrott för uranskiffer i Ranstad. Själva skifferbrytningen sker i den smala zonen i mitten. Längst till höger ligger det orörda landskapet. Till vänster återfylls med schaktmassor varefter landskapet återställs så långt möjligt genom återtäckning med jord och plantering (se även faktaruta 26 på s 180. Bilden belyser allmänt den typ av ingrepp i naturen som uppkommer vid dagbrytning av energiråvaror som skiffer och kol. Ingreppens storlek i förhållande till den utvunna energimängden varierar dock avsevärt (se texten).

Foto: LKAB.

kräver man i allmänhet att landskapet återställs så långt möjligt. Hålen skall fyllas med schaktmassor, i vissa fall också slagg eller lakrester, och sedan täckas över med de ursprungliga jordlagren. Ändå kan det ursprungliga landskapet sällan återställas helt. Vid återfyllnaden är materialet mera skrymmande, och den nya marknivån kan skilja sig med åtskilliga meter från den ursprungliga.

I vissa avseenden ger kolbrytning mindre problem än skifferbrytning. Återfyllnadsmassorna är inte kemiskt påverkade i samma grad som slagg och lakrester från olje- respektive uranskifferfyndigheter. Särskilt i de senare fallen måste återfyllnaden utformas omsorgsfullt, så att en framtida urlakning av föroreningar kan hållas inom rimliga gränser.

Dagbrott innebär ofta bestående förändringar i grundvattenförhållandena över stora områden. Detta kan i hög grad påverka den naturliga växtligheten.

Grund- och dagvattnet från själva brytningsfronten blir ofta starkt förorenat. Detsamma gäller processvatten från t ex sovrings- och lakverk. Detta vatten måste renas grundligt innan det släpps ut i vattendragen.

De anläggningar som hör till gruvorna kräver ofta stora markytor. De blir också i ögonenfallande inslag i landskapet. Till kolgruvor hör vanligen

kross- och sovrings- eller anrikningsverk samt järnvägsanslutningar med anordningar för utlastning. För uranverk är det fråga om krossverk och lakverk och för oljeskiffer om tung kemisk processindustri för utvinning av flytande och gasformiga bränslen.

Faktaruta 26 på nästa uppslag belyser ingreppen i naturen vid det föreslagna "Mineralprojekt Ranstad". Det omfattar en brytning av ca en miljon ton skiffer per år i dagbrott, vilket skulle ge omkring 200 ton uran per år och betydande mängder andra mineralprodukter.

I tidigare planer har en brytning på ca sex miljoner ton per år diskuterats, dvs tillräckligt för att försörja ett tiotal kärnkraftaggregat med bränsle. Denna brytning skulle även innefatta en underjordsgruva under Sydbillingen och dess utlöpare.

Underjordsbrytning av kol och uran

Underjordsbrytning av kol och uran ger inte alltid lika stora direkta ingrepp i landskapet som brytning ovan jord. Kolgruvor orsakar dock ofta marksättningar över stora områden, vilket begränsar möjligheten att använda marken. Två miljoner ton kol ger i typiska fall närmare en miljon ton icke brännbart brytningsavfall. Det måste läggas upp ovan jord om det inte kan användas vid byggnads- eller anläggningsarbeten. Lakresterna från uranutvinningen läggs i allmänhet också upp ovan jord. De är olämpliga till byggnadsmaterial och liknande på grund av sin radioaktivitet (se s 147). Högvärdiga uranmalmer ger dock avsevärt mindre volymer lakrester än låghaltiga skiffrar.

Även underjordsbrytning medför i allmänhet bestående förändringar av grundvattnet. Vid underjordsbrytning har man samma problem med förorenat process- och dräneringsvatten som vid dagbrytning. Samma typer av processanläggningar förekommer också i närheten av gruvan.

Raffinaderier

För ett stort raffinaderi krävs mark på en eller ett par kvadratkilometer. Runt anläggningen krävs en skyddszon på åtskilliga hundra meter för att kringboende inte skall drabbas allt för mycket av dålig lukt, buller etc. Med sina skorstenar på upp till 200 meters höjd, mellan tio och tjugo stycken destillationskolonner som är 20—30 meter höga, och eventuellt 20—25 meter höga ovanjordscisterner blir raffinaderiet ett markant inslag i landskapsbilden (jämför figur 16, s 70).

Numera ställs höga krav på rening av process- och dräneringsvatten. Ändå kan lokala olägenheter uppstå genom att små mängder olja och andra ämnen passerar reningsanläggningarna.

Kraftverk

Ett stort kondenskraftverk omfattar — vare sig det drivs med kol, olja, naturgas eller uran — i allmänhet 2—4 aggregat på vardera ca 1 000 MW elektrisk effekt. Ett sådant kraftverk med tillhörande ställverk, men utan eventuella bränsle- och avfallslager, kräver ett markområde på ett par kvadratkilometer. För oljekraftverk tillkommer främst eventuella cisterner ovan jord för lagring av olja. För ett 1 000 MW kolkraftaggregat tar

lagring av ett års bränslebehov drygt en halv kvadratkilometer i anspråk. Lagring av aska och avsvavlings slam diskuteras i ett särskilt avsnitt längre fram.

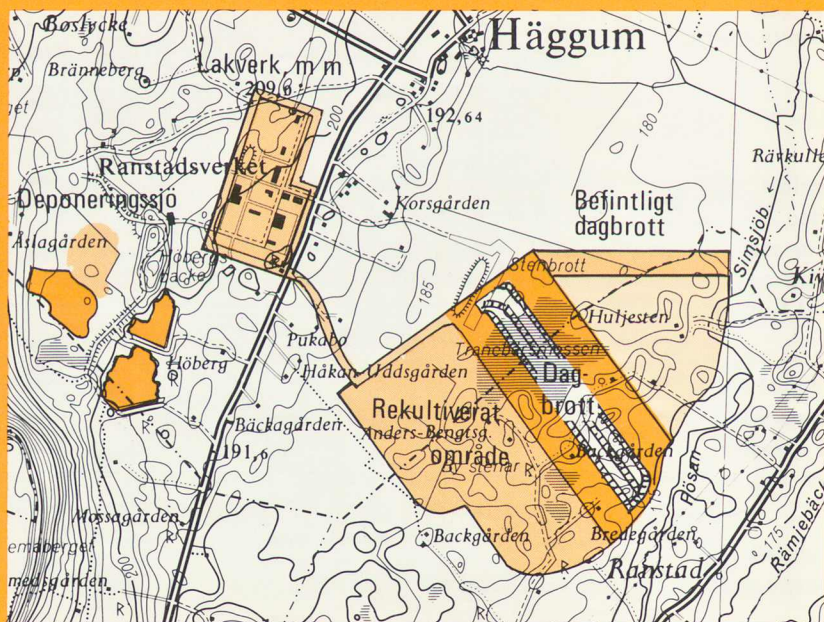
Vid kärnkraftverk gäller av säkerhetsskäl förbud mot nybyggnad närmare än två kilometer från anläggningen.

Uranutvinning i Ranstad

LKAB:s "Mineralprojekt Ranstad" syftar till att klarlägga förutsättningarna för att utvinna huvuddelen av alunskifferns värdefulla beståndsdelar. Projektet omfattar brytning av en miljon ton skiffer per år i dagbrott. Det totala brytningsområdet över en tioårsperiod beräknas bli ca 2 km². De processanläggningar som finns i dag skall användas med vissa kompletteringar och modifieringar.

Enligt tidigare planer skulle en brytning i större skala omfatta ca 6 miljoner ton skiffer per år, varav 2–3 miljoner ton per år från dagbrott i 15 år och resten från gruvor under jord. Det område som berörs av dagbrottet skulle då bli 6 km² stort. Brytningsområdet för gruvan uppskattades till ca 14 km².

Tekniken i Mineralprojekt Ranstad är av samma typ som skulle användas vid brytning i större skala. Den innebär att en ca 500 meter bred arbetszon gradvis förskjuts genom området (se figurer). Jord och kalksten



Översiktskarta över "Mineralprojekt Ranstad". Kartan visar bl a det område som totalt skulle beröras av brytningen jämte arbetszonens läge omkring 8 år efter brytningens början.

Särtryck ur Topografiska kartan från statens lantmäteriverk. Publiceringstillstånd nr 9177, LiberKartor, Stockholm.

Alla typer av kraftverk kommer genom sin storlek att sätta sin prägel på landskapsbilden, bl a eftersom de har 100—300 meter höga skorstenar och 60—70 meter höga pannhus eller reaktorbyggnader (jämför figur 25, s 99).

Hur utsläpp av olika slag inverkar på naturen diskuterar vi i avsnitt längre fram.

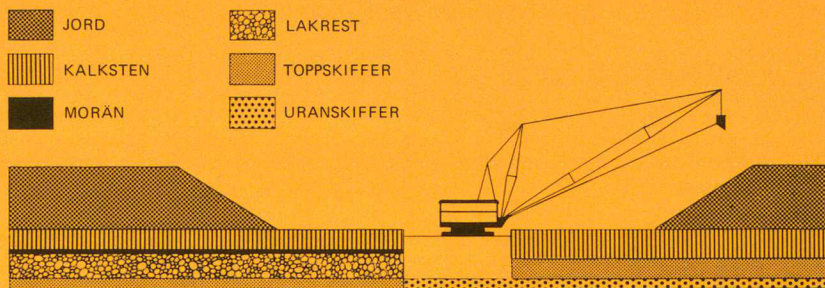
tas undan och används för återfyllning och återställning av området bakom själva brytningszonen. Dagbrottsöppningen fylls med toppskiffer, lakrester, morän och kalksten i nämnd ordning för att minska riskerna att förorenat grundvatten läcker ut. Därigenom förhindrar man också att den radioaktiva gasen radon från lakresterna når ytan i större omfattning än från det ursprungliga skifferlagret. Omloppstiden från det att marken tas i anspråk tills den är återställd beräknas till 4—5 år. Markhöjningen efter återställningen blir omkring fem meter. I dag finns nivåskillnader på ca 15 meter inom området.

I det tidigare nämnda "6 miljoner ton per år"-projektet skulle dagbrotten användas för deponering av en del av lakresterna från underjordsbrytningen. Det skulle ge en betydligt större landhöjning — några tiotal meter.

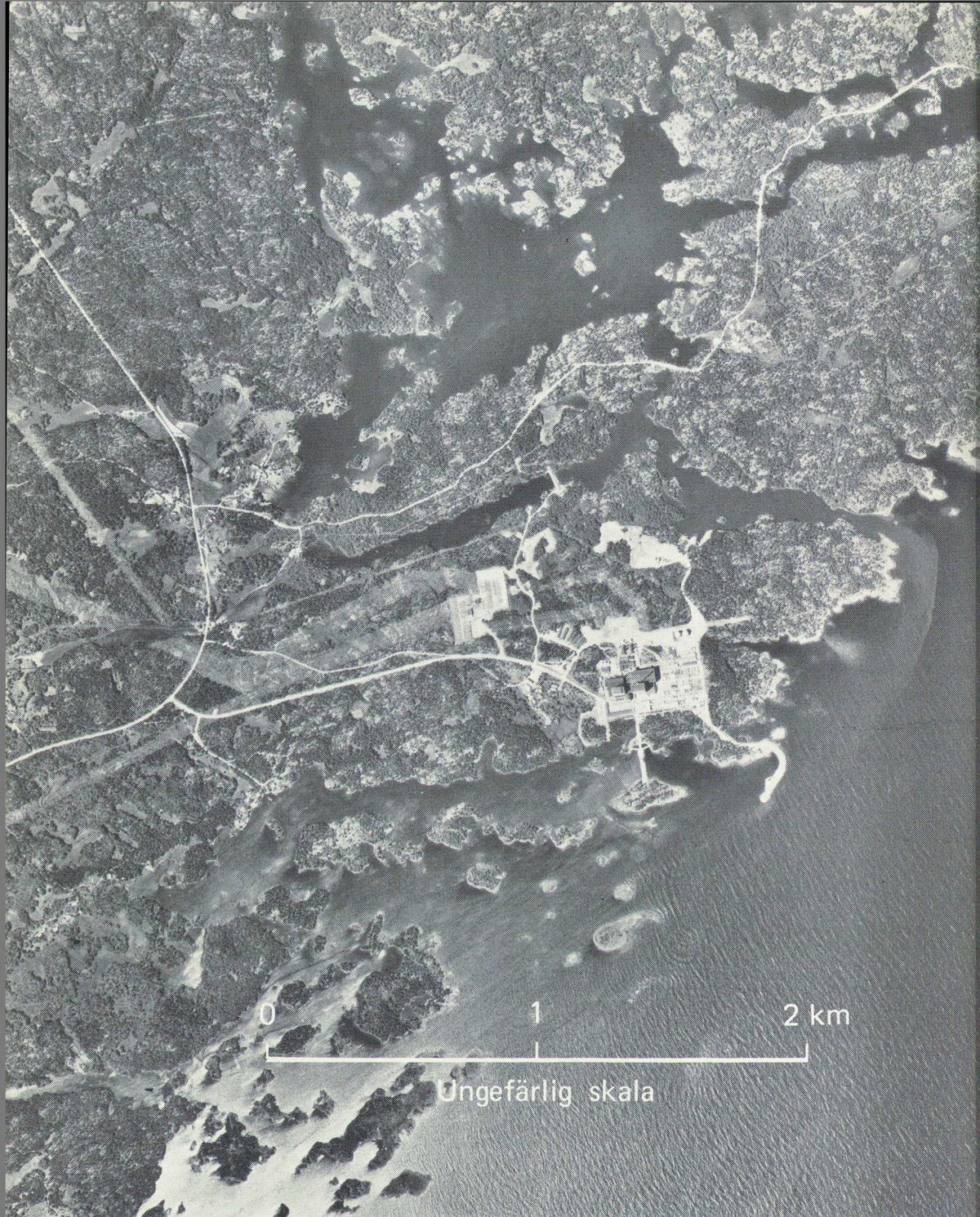
Dagbrottet beräknas under drifttiden sänka grundvattennivån i ett område högst 700 meter från själva brytningsområdet.

Enligt naturvårdsverket skulle en brytning i större skala under jord enligt tidigare planer kunna få svåra följder för grundvattenförhållandena i berörda områden och bl a leda till förändringar i växtlivet.

I mineralprojektet är det meningen att dränerings- och processvatten från anläggningen skall renas höggradigt, bl a till följd av den kritik som framfördes vid diskussionen av det större projektet. Vissa utsläpp av bl a metallsalter kommer visserligen att ske till bl a Hornborgaån, men tillskotten bedöms av LKAB kunna hållas låga i förhållande till de naturliga haltarna.



Principskiss av ett tvärsnitt genom arbetszonen. Arbetszonen förflyttas åt höger i bilden.



Figur 35. En stor kondenskraftstation med tillhörande vägar, hamnanläggningar, ställverk och kraftledningar tar betydande markområden i anspråk. Bilden visar Simpvarps kärnkraftstation utanför Oskarshamn. Inom ett avstånd av 2 km från stationen råder förbud mot ny bebyggelse.

Flygfoto: Rikets allmänna kartverk år 1973. Godkänd för reproduktion och spridning av statens lantmäteriverk 1977-09-22.

Anrikningsanläggningar, uppberbetningsanläggningar och lager för radioaktivt avfall

Anrikning

I dag anrikas uran huvudsakligen vid ett fåtal mycket stora sk gasdiffusionsanläggningar. Anläggningarna är stora och kräver mycket mark — flera kvadratkilometer — men i övrigt medför de knappast några speciella ingrepp i naturen. De avger dock betydande mängder spillvärme (åtskilliga TWh per år).

Uppberbetning

Enligt AKA-utredningen skulle en svensk uppberbetningsanläggning kräva ett markområde på några kvadratkilometer. Troligen bör man också här räkna med byggnadsförbud på upp till två kilometer från anläggningen. Eftersom kraven på rening av alla utsläpp är höga blir inverkan på naturen liten, bortsett från markbehovet och de stora byggnaderna.

Avfallslager

Anläggningar för att mellanlagra använda kärnbränsleelement placeras i första hand i anslutning till kärnkraftverken. Därför ökar de inte intrånget i naturen nämnvärt.

Även förvaring av högaktivt avfall i berg kan förväntas ge ganska små intrång i naturen ovan jord.

Utsläpp av varmvatten

Alla kondenskraftverk — vare sig de baseras på kärnkraft, kol, naturgas eller olja — måste kylas. Kylningen kan ske med hjälp av luft i kyltorn eller med vatten. Vattenkylning har hittills använts i Sverige. Vattnet leds i tunnlar till och från kraftverket och släpps sedan ut i ett större vatten (recipienten). I Sverige används havet som recipient för kraftverken. En och en halv till två gånger mer energi lämnar kraftverket som värme i kylvatten än som elektrisk ström.

Ett fossileldat kraftverk av storleken 1 000 MW elektrisk effekt omsätter 33 m³ kylvatten per sekund om man låter det värmas upp 10°. Ett kärnkraftverk av lättvattentyp med samma elektriska effekt omsätter mera, ca 50 m³ kylvatten per sekund, på grund av sin lägre verkningsgrad.

Där kylvatten släpps ut får man temperaturhöjningar inom ett stort område, flera tiotal kvadratkilometer. Inom detta område kan det inträffa förändringar i växt- och djurlivet. De kan indirekt spridas även längre bort.

De biologiska processerna (både uppbyggnad och nedbrytning av organiskt material) går överlag snabbare i varmare miljö. Detta kan ha såväl positiva som negativa effekter.

En effekt är att fiskbeståndets sammansättning ändras. Laxfiskar och liknande arter trivs sämre i det varmare vattnet. I stället kommer karpfiskar som mört och braxen. Fiskproduktionen kan komma att öka för de arter som trivs i den högre temperaturen.

En annan effekt är att parasitsjukdomar hos fisk kan spridas lättare och giftverkan av bl a metaller blir ett större problem.

Utsläpp av svavelföreningar

Vid förbränning av svavelhaltig olja eller stenkolk bildas svaveldioxid som helt eller delvis släpps ut i luften. Ett 1 000 MW oljekondenskraftverk, som eldas med olja med 1 procent svavel, släpper ut 28 000 ton svaveldioxid om året. Den totala årssiffran för Sverige 1975 var 800 000 ton. Omkring 600 000 ton kom från förbränning av olja och resten från industriutsläpp. Målet för nuvarande lagstiftning är att bringa ned utsläppen år 1985 till samma nivå som man hade i början av 1950-talet, dvs omkring 400 000 ton per år.

I atmosfären omvandlas svaveldioxiden i viss utsträckning till andra svavelföreningar. Dessa faller delvis ned i torr form, och delvis tvättas de ur av nederbörden. I medeltal är det fråga om någon vecka innan svavelutsläppet når marken. Under tiden transporteras svavlet långa sträckor med vindarna.

De svenska utsläppen förs till en del med luftströmmarna över gränserna, men ungefär lika mycket som vi exporterar tar vi emot från utlandet. I genomsnitt svarar de svenska utsläppen för 25–50 procent av det totala nedfallet i Sverige. Våra egna bidrag överväger sällan mer än lokalt. Det svavelregn vi har fått i Sverige beror till stor del på utsläpp i de industrialiserade delarna av Europa. Inget annat enskilt land bidrar dock mer till svavelnedfallet än vi själva.

Inverkan på växtligheten

Svaveldioxiden i luften omkring kraftverken är inte bara ett hälsoproblem för människan. Den kan också skada växtligheten. Ett exempel är att lavar ofta har slutat växa i tätorterna. Barrträd får bestående skador om de några gånger utsätts för höga halter, ca 700–800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mikrogram per m^3) under några timmars tid. Så hög kan halten bara vara vid enstaka tillfällen i tätorter eller i omgivningen till industrier och kraftverk utan rökgasavsvavling.

Skador uppstår också om medelhalten av svaveldioxid ligger omkring 30–60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ över en längre tid.

Försurning av mark och vatten

Förhållandena i mark och vattendrag påverkas av svavelnedfallet och den åtföljande försurningen. Försurningen samverkar med nedfallet av metaller och gör det skadligare. Även kväveoxider kan bidra till försurningen, men deras effekt är troligen mindre än svavlets. Utredningen har inte haft underlag för att värdera kväveoxidernas bidrag ur denna synvinkel.

I sjöarna kan försurningen få drastiska följder. Surheten mäts med pH-värdet, en skala där lägre värden innebär surare vatten. Rent vatten har $\text{pH}=7$, och de starkaste syrorna har nedåt $\text{pH}=1$. Omkring $\text{pH}=5$ går en gräns för vad fisk och övrigt liv, t ex kräftor, i en sjö kan klara av. För många fiskarter blir romkläckningen sämre eller uteblir, om pH går under

5,5—5,0. Går surheten i en sjö under pH=5 för en längre tid, dör så småningom fisken och huvuddelen av växterna ut.

Olika sjöar är olika känsliga för försurning. I områden med kalk i jorden går försurningen långsammare. Områden med motståndskraftiga sjöar finns bl a i Skåne, Östergötland och Uppland. I övriga Svealand, på västkusten och på sydsvenska höglandet är sjöarna mera känsliga. Samtidigt tar dessa områden emot en stor del av nedfallet från utsläppen i Europa.

Försurningen av mark och vatten påverkas i betydande grad av hur mycket kol och olja Sverige använder för elproduktionen. Samtidigt är svavelutsläppen i Europa en avgörande faktor. Vad man gör utomlands i fråga om val mellan olja/kol och kärnkraft, investeringar i avsvavling, användning av lågsvavliga kol- och oljesorter — dvs den totala energiproduktionens utveckling — antas i bilagorna kunna ge skillnader i utsläpp därifrån som kan slå uppåt eller nedåt med 25 procent i förhållande till nuläget. Vi skall visa verkningarna av sådana ytterlighetsalternativ med några exempel.

Om den antagna ökningen av elproduktionen i Sverige sker genom utbyggnad av kärnkraft enligt 1975 års energipolitiska beslut får man ett läge med förhållandevis låga svenska utsläpp av svaveldioxid. Om utsläppen i Europa samtidigt minskar med 25 procent av de nuvarande, förbättras situationen överlag i Sverige. Många av de försurade sjöarna i Götaland, Svealand och sydvästra Norrland kan så småningom tillfriskna, även om de sedan kommer att vara mer känsliga än förut. Risken minskar också för att skogens tillväxt skall störas.

Ökar däremot utsläppen i Europa med 25 procent förvärras situationen i Sveriges södra och västra delar trots de relativt låga utsläppen i Sverige. De sjöar som redan är utsatta för försurning kommer snabbt att försämrats ytterligare. Skogsproduktionen kan komma att minska.

Om elproduktionen i Sverige antas öka genom utbyggnad av kol- eller oljeeldade kraftverk, blir de svenska utsläppen av svaveldioxid relativt höga. Vi har i ett exempel antagit att sådana kraftverk med en sammanlagd elektrisk effekt av 6 000 MW förläggs längs kusterna i södra Sverige. Om utsläppen i Europa minskar med 25 procent blir förändringen övervägande positiv. Sjöarna i norra Sverige kommer att undgå skador. Sjöarna i södra Sverige kommer inte att få värre skador än de har nu. Samma förhållanden gäller för skogstillväxten. Ökar däremot utsläppen i Europa samtidigt förvärras dock skadorna överlag på grund av påspädningen från svenska olje- eller kolkraftverk. Sjöar kommer att slås ut genom försurning i Sydsverige, västra Svealand och sydvästra Norrland. Skogsproduktionen kan påverkas, särskilt i Sydsverige.

I de här exemplen har svavelhalten i de svenska anläggningarna beräknats vara 0,7 procent för kol och 1,0 procent för olja. Som tidigare nämnts kan det bli svårt att få tillgång till sådana kvaliteter under alla förhållanden. Genom rökgasavsvavling skulle dock utsläppen t o m bli mindre än vad som antagits här.

Försurningen av mark och vatten i Sverige påverkas i princip också av var vi lägger kraftverken. Två olika exempel för förläggning av fossileldade kraftverk har undersökts. De ger något olika fördelning av försurningen. I det ena alternativet ligger tre 1 000 MW kraftverk på västkusten och tre på ostkusten. I det andra flyttas två verk från västkusten och läggs

samman med två ostkustverk. Skillnaderna i försurning är inte särskilt utpräglade.

Oljespill

Omkring 80—90 procent av all olja som kommer ut i miljön härrör från normal drift eller små utsläpp vid transporter — avsiktliga eller oavsiktliga. Uppskattningsvis 0,16 procent av den mängd olja som totalt transporteras läcker ut och kan leda till lokalt svåra skador på växt- och djurliv.

På land kan oljeutsläpp tränga ned i marken och förstöra grundvattnet för lång tid framåt. Oljedepåer och liknande är försedda med säkerhetsanordningar för att undvika skador. Olyckor och förbiseenden kan ändå ge omfattande spill. Utsläpp kan också ske vid tankbilsolyckor.

Oljeutsläppen till sjöss kan förstöra stränderna, skada sjöfågel och förgifta växt- och djurliv i vattnet. Råoljans lättflyktiga beståndsdelar är giftigast men de ger skador under en begränsad tid. De svårflyktiga delarna är inte lika giftiga. De brukar bilda klumpar som så småningom blir be vuxna med olika organismer.

Ämnena i oljan kan komma in i näringskedjan genom att större djur äter mindre djur och växter. En del av dessa ämnen anrikas och ger då större risker för förgiftningar.

De stora oljeutsläppen från olyckor med tankfartyg och borrhorn till havs är dramatiska händelser som vållar stora skador i miljön. Följderna av stora oljeutsläpp i samband med olyckor berörs i kapitel 8. Sådana utsläpp svarar dock bara för omkring en tiondel av det totala oljespillet.

Utsläpp av radioaktiva ämnen

Med kylvattnet från ett kärnkraftverk följer små utsläpp av radioaktiva ämnen. En del av dessa ämnen kan spåras i t ex musslor och fisk i havet utanför kraftverket men mängderna är för små för att kunna påverka växt- och djurlivet.

Vissa uppberetningsanläggningar, såsom Windscale har som nämnts släppt ut förhållandevis större mängder radioaktiva ämnen i havet, vilka bl a tagits upp i fisk. Detta har dock i första hand krävt uppmärksamhet med hänsyn till hälsoriskerna för människor som äter mycket fisk från berörda vatten (se kap 5, s 138).

Utsläpp av kolväten och metaller

Som vi redan nämnt kan särskilt det finkorniga stoftet som släpps ut från fossileldade kraftverk spridas långa vägar. Det för då med sig en mängd föroreningar i form av kolväten och metaller. Mätningar av nedfall av kolväten i Norge har visat att föroreningarna med hänsyn till vindriktningarna måste ha kommit från England eller andra delar av Västeuropa. Grövre partiklar faller dock ned nära källan. Exempelvis faller ca 10 pro-

cent av allt vanadin som släpps ut från oljekraftverket i Karlshamn ned inom 10–12 km radie. Kolväten och kvicksilver släpps även ut i gasform.

Som vi redovisat i kapitel 5 kan utsläppen av kolväten och metaller innebära hälsorisker för människan, dels genom inandning av luftföroreningar, dels genom att föroreningarna tas upp av växter och djur och den vägen kommer in i livsmedel. Även om hälsoriskerna i allmänhet blir styrande för begränsning av utsläppen av kolväten och metaller kan dessa i vissa fall ge skador på växt- och djurliv.

Osäkerheten är — som vi tidigare redovisat — stor om metallutsläppen från fossileldade kraftverk, främst kolkraftverk. Metallhalterna varierar mycket mellan olika kolsorter. Allt bättre teknik blir också tillgänglig för att avskilja olika metaller ur rökgaserna. Exempelvis har man visat att kadmium kan avskiljas omkring tio gånger effektivare än som antagits i bilagorna. Även kvicksilver kan troligen avskiljas effektivare. Utsläppen av kolväten som bens(a)pyren kan å andra sidan ha underskattats.

Osäkerheterna gör att följande redovisning mest får ses som exempel på skador som kan inträffa såvida inte utsläppen av framför allt metaller hålls på en låg nivå.

Kolväten

Man vet att cancerframkallande kolväten som bens(a)pyren tas upp i bl a växter, fisk och skaldjur. Det går idag inte att säga om utsläppen från kraftverk kan ge så höga halter att det leder till skador på växt- eller djurliv.

Kvicksilver

Kvicksilver släpps ut som ånga och inte i partikelform som de flesta andra metaller. Det gör att endast en mindre del avskiljs vid de idag vanligaste typerna av rökgasrening.

Väl ute i naturen omvandlas en liten del av kvicksilvret till metylkvicksilver, som är en organisk förening. Från miljösynpunkt är det den farligaste formen av kvicksilver eftersom den är mycket giftig och anrikas så lätt i levande organismer.

Kvicksilverutsläppen kommer in i näringskedjan som metylkvicksilver. Det samlas i alger och smådjur och anrikas i fiskar. Fisk i förorenade vatten kan innehålla 1 mg kvicksilver eller mer per kg. Sjö- och rovfågel som lever på sådan fisk är det led i näringskedjan som förutom människan ytterst blir utsatt för risker från kvicksilver.

Kvicksilverutsläppen var, vid sidan av DDT och PCB, tidigare ett stort problem. Då var det framför allt kvicksilverbetat utsäde som var orsaken till att kvicksilver kom ut i naturen. Sedan det uppmärksammades på 60-talet har kvicksilverproblemet kunnat hållas under kontroll. Koleldade kraftverk kan dock släppa ut kvicksilver i sådana mängder att de skulle aktualisera problemet igen.

En ökning av kvicksilverhalten i fisk med upp till 0,4 mg per kg skulle kunna bli följden i området kring ett kraftverk, om det kol som används innehåller mycket kvicksilver. Området kan vidgas med tiden. Man kan räkna med att ett antal sjöar kommer att "svartlistas".

Det är svårt att ge siffror på de skador som skulle kunna uppstå, då riskerna varierar med surhetsgraden i sjöarna.

Kadmium

Kadmium binds i jordbruksmark och tas upp i växter t ex brödsäd. Dess medicinska verkan behandlades i kapitel 5. Det finns skäl att anta att kadmiumhalten i svenskt vete har ökat betydligt under de senaste åren. Detta skulle kunna bero på den ökade industrialiseringen och bränsleförbrukningen.

Liksom människan lagrar även djur upp kadmium i kroppen, bl a i njurarna. Genom att kadmium hör till de allra giftigaste metallerna och dessutom anrikas i näringskedjor finns det risk för att vissa växter och djurarter kan slås ut i av kadmium förorenade områden. Ytterligare kadmiumutsläpp kan ha särskilt stor verkan i många sjöar i Syd- och Mellansverige där kadmiumhalten redan nu är höga.

Vanadin

Nedfall av metallen vanadin kan ge verkningar i naturen, som kan få stor ekonomisk betydelse bl a genom minskad skogstillväxt. Nya data har här kommit fram under utredningsarbetets gång. Vanadin förekommer i både olja och kol. De olika alternativen för elproduktion ger alla ungefär samma mängd utsläpp i medeltal över Götaland, Svealand och södra Norrland. Lokalt nära ett oljeeldat kraftverk utan rökgasrening eller nära ett kolkraftverk, särskilt om vanadinhalten är hög, kan man få mycket kraftiga nedfall.

Genom att dra slutsatser från laboratorieförsök och koppla ihop dem med uppskattade framtida nedfall kan man dra vissa slutsatser, som även har bekräftats av undersökningar som gjorts kring oljekraftverket i Karlshamn.

Vanadin påverkar vissa processer i marken, så att växterna får svårare att hämta näring i form av oorganiskt fosfor som kan tas upp av växtrötterna. Fosfor överförs till oorganiska föreningar genom att döda växter och djur bryts ned. Vanadin har här en hämmande verkan. Skogens tillväxt kan därför minska om vanadinhalten i marken ökar.

Man kan räkna med en fördubblad vanadinhalt i mark på 10–12 år och en tredubblad på 25 år om dagens utsläpp fortsätter i oförändrad utsträckning. Detta kan leda till att de årliga virkesuttagen ur skogen måste minska på längre sikt.

Liknande hämningseffekter kan erhållas även med en lång rad andra metaller, t ex kvicksilver och koppar, om inte utsläppen begränsas.

Bly

Utsläppen av bly från kolkraftverk är inte uppseendeväckande stora i sig. Tillsammans med det bly som kommer ut i miljön via bilarnas blyhaltiga bensin kan kolkraftverkens utsläpp ändå bli av betydelse. Blyet från kolkraftverket förekommer i oorganisk form medan bilarnas utsläpp till en viss del, 1–5 procent, kommer i organisk form som alkylbly. Det organiska blyet medför större risker från förgiftningssynpunkt.

Bly lagras upp i såväl växter som djur om blyhalten i omgivningen är hög. Det är den t ex i närheten av trafikleder, där kanske hälften av allt utsläppt bly faller ned. Cirka en tredjedel sprids över större områden. Det tar lång tid för bly att försvinna ur marken — flera årtionden för att hälften av blyet skall urlakas. Därför ökar för närvarande blyhalten i marken fortlöpande på grund av de stora utsläppen från trafiken.

Det finns inga undersökningar som visar att blyet ännu har orsakat rubbningar i växt- och djurlivets balans. Dess allmänt giftiga egenskaper, tillsammans med en fortsatt upplagring i marken, gör dock att man kan be fara sådana effekter om utsläppen fortsätter.

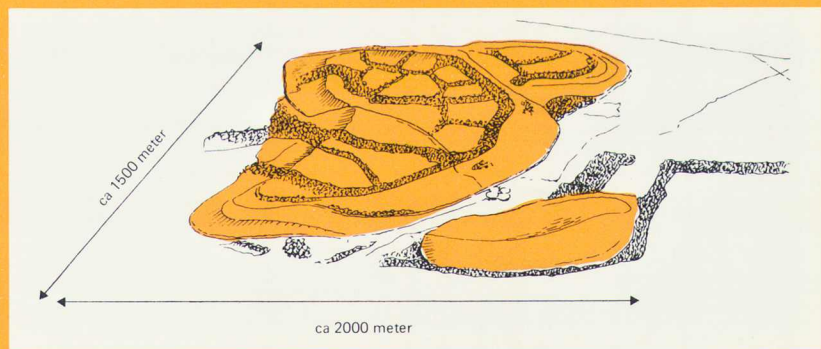
Aska och avsvavlings slam

Ett kolkraftverk ger stora mängder aska, dels från själva eldstaden, dels i form av flygaska som samlas i rökgasfiltren. Tio procent eller mer av kolmängden måste tas om hand som aska. För att få en uppfattning om förvaringsproblemets omfattning utgår vi som tidigare från ett kondenskraftverk på 1000 MW. Askmängden blir då 230 000 — 350 000 ton per år. För att kunna förvara denna mängd aska måste man reservera mark som fyller vissa krav på belägenhet och jordtyp. Om man lagrar askan i ett 6—10 meter högt lager går det åt tre till fem hektar mark per år. För tjugo års drift blir det en kvadratkilometer som måste reserveras. Genom att täckas med jord kan askan bli en del av landskapet. Asklagret kan också göras högre och formas till kuperad terräng (faktaruta 27).

Ett problem är att större delen av de metaller som finns i kolet är samlade i askan. Regnvattnet som tränger genom askan löser upp metallerna till

Exempel på askupplag

27



Skiss av askdeponeringsområdet Gale Common i Yorkshire, England, sådant området skall te sig i färdigt skick. Området har bedömts obrukbart till andra ändamål på grund av marksättningar till följd av kolbrytning i underliggande gruvor. Kullarna som besås och planteras når slutligen en höjd på omkring 50 m över omgivande landskap.

Anläggningen tar emot aska från två koleldade kraftstationer på sammanlagt 4000 MW elektrisk effekt. Dessutom deponeras en del gruvavfall.

Källa: Central Electricity Generating Board, England.

en del och kan förorena grundvattnet. Om nederbörden är sur urlakas de flesta miljöfarliga metallerna lättare. Den effekten motverkas dock av att askan i sig neutraliserar syror.

Det vatten som sipprar genom askan måste sålunda dräneras, samlas upp och renas med kemiska fällningsmedel. Man kan räkna med drygt 50 000 m³ lakvatten per år från ett asklager som byggts upp under tio års drift. Genom att reningen kan göras effektiv torde dock bara 5–10 kg metaller släppas ut i vattendragen varje år. En annan möjlighet, så länge kraftverket är i drift, är att cirkulera lakvattnet, om kraftverket har rökgasskrubber.

Lägger man upp asklager innebär det att man binder sig för att hålla reningsverket igång under mycket lång tid — i princip så länge att huvuddelen av de farliga metallerna kan tas om hand på ett betryggande sätt. Det finns annars risk för att metallerna sprids okontrollerat i miljön för all framtid.

Från oljeeldade kraftverk kommer en mycket mindre mängd aska, 500 ton per år för ett verk på 1000 MW. Dessa förhållandevis små mängder behöver inte innebära några förvaringsproblem, även om askan innehåller höga halter av giftigt nickel och vanadin.

Både kol- och oljeeldade kraftverk kan som nämnts i kapitel 3 utrustas med rökgasavsvavling. Tekniken bygger på att rökgaserna tvättas med kalk- eller kalkstensslam som tar upp svavelföreningar ur röken. När man tvättar rökgaserna får man stora mängder slam att ta hand om. Ett kraftverk på 1 000 MW ger närmare en halv miljon ton slam per driftår om bränslet innehåller tre till fyra procent svavel. Om svavelfattigare bränsle används minskar avfallsslammet i proportion därtill.

Problemet med hanteringen av avsvavlingsslam är inte i första hand urlakningen av metallerna utan tillgången på lämplig mark. Om slammet läggs upp i ett fyra meter högt lager behövs det en areal av omkring tio hektar för varje driftår. Ett alternativ är att slammet blandas med askan och kalk så att det får fast form. Upplaget kan då göras högre och efter avslutad deponering täckas och besås. Kraven på deponering från grund- och ytvattensynpunkt blir dock strängare och samma som för deponering av enbart aska.

Inverkan på klimatet

Klimatförhållandena har en grundläggande betydelse för livsbetingelserna på jorden. Man har nu börjat inse att vår alltmer omfattande energianvändning kan inverka på klimatet. Vad som kan påverkas är inte bara medeltemperaturen utan också vädrets växlingar över året och inte minst nederbördens fördelning i tid och rum.

Energiflödet vid uppvärmning, elproduktion, transporter m m är försvinnande litet i förhållande till den energi som strålar från solen in till jorden. I områden med intensiv förbrukning av energi, t ex storstadsområden, är dock människans eget tillskott tillräckligt för att påverka klimatet lokalt, bli i form av en liten höjning av medeltemperaturen.

Viktigare än sådana lokala effekter är dock att en del biprodukter vid förbränning — koldioxid, stoft och kväveoxider — kan påverka balansen mellan energiflödet från solen till jorden och energiflödet från jorden ut i världsrymden.

Koldioxid och stoft

Vid förbränning av kol, olja eller naturgas bildas koldioxid. Ett ton stenkol ger mer än tre ton koldioxid. I luften finns en naturlig halt av 0,03 procent koldioxid, dvs 300 miljondelar, som har en mycket viktig funktion. För det första tas koldioxiden upp och används när gröna växter bygger upp organiska ämnen. För det andra har den betydelse för klimatet genom sin sk drivhuseffekt. Normalt tränger en stor del av solens strålar i form av synligt ljus ganska obehindrat igenom atmosfären. Marken värms upp och sänder i sin tur ut värmestrålning. Koldioxiden ligger då som ett filter, som hindrar värmen från att stråla ut i rymden. Följden blir en uppvärmning av jorden.

Även om stora mängder koldioxid omsätts varje år mellan luft och växter har det visat sig att dessa processer inte kan ta hand om hur mycket koldioxid som helst från utsläppen. Den stora mängd fossila bränslen som används ökar därför koldioxidhalten i luften över hela jorden.

Under 1900-talet har halten gått upp från cirka 300 till nuvarande 325 miljondelar. Om man fortsätter att förbränna kol och olja i samma takt som nu, fördubblas koldioxidhalten på 200–250 år. Ökas förbränningen med två procent om året fördubblas koldioxidhalten på omkring 100 år. Ökas den med fem procent per år fördubblas halten på 50 år.

De kolyndigheter som finns räcker för att mångdubbla koldioxidhalten. När halten väl är höjd tar det mycket lång tid innan den kan återgå till den tidigare nivån igen. Det sker genom att havsvattnet tar upp koldioxid eller genom att denna binds i växtligheten. Återgången beräknas ta hundratals eller tusentals år.

Klimatet kan påverkas om koldioxidhalten stiger kraftigt. I första hand skulle det bli varmare eftersom mer värme stannar kvar vid jorden. Därvid ökar mängden vattenånga i luften. Då ökar också molnigheten som hindrar solens strålar från att nå jorden, och detta dämpar temperaturhöjningen. Hur stor förändring det kan bli är mycket svårt att förutsäga. Det är inte bara temperaturförändringarna som är betydelsefulla för klimatet utan också hur nederbörden fördelar sig över olika områden. Även detta är det ytterst vanskligt att säga något om.

Från värmepannor och från industrier släpps stoft ut i atmosfären. Vid förbränning i ett kraftverk bildas också stoft som till en viss del släpps ut, även om en stor del avskils i rökgasreningen. De större partiklarna faller ned till marken relativt snabbt, men finare stoft kan hålla sig svävande i månader. Huvuddelen av allt stoft i luften kring jorden är dock av naturlig ursprung. Stoftet skärmar av solstrålningen och kan möjligen bidra till att sänka medeltemperaturen på jorden.

En liten höjning av medeltemperaturen i atmosfären kan få stora återverkningar. Havens yta kan höjas med flera meter som en följd av att delar av isarna på Grönland och i Antarktis smälter. Det rör sig om en utveckling som kan ta hundratals eller tusentals år.

Övrigt

Ozonlagret. Ytterligare en faktor att nämna i det här sammanhanget är kväveoxidernas inverkan på ozonskiktet i de högre luftlagren. Tack vare ozonförekomsten på 20—40 km höjd — ozon är en form av syre — hindras större delen av solens ultravioletta strålar att nå till marken. Om det finns kväveoxider i dessa luftlager, kan man befara att de reagerar med ozonet och förstör detta skydd. Om den ultravioletta strålningen når jorden mer än nu kan det öka förekomsten av hudcancer. Förutom denna negativa hälsoeffekt har de ultravioletta strålarna också effekter på klimatet genom att de bidrar till uppvärmning av marken. De kväveoxider som släpps ut vid förbränning av kol eller olja i kraftverk kan dock inte nå upp till ozonlagrens höjd, utan de kväveoxidutsläpp som kan vara av betydelse är de från flygplan på höga höjder, vanligen överljudsplan.

Man har också varnat för att utsläpp av skv freoner kan påverka ozonskiktet. Freoner används bl a i många typer av värmepumpar. Vid reparationer och skrotning släpps gasen vanligen ut i atmosfären.

Elektrisk ledningsförmåga hos luften. Några forskare har på senare tid varnat för att utsläpp av krypton-85 från uppdriftsanläggningar skulle kunna innebära en miljöfara. Denna isotop skulle genom sin joniserande strålning påverka luftens elektriska ledningsförmåga vilket i sin tur kan påverka vädret. Hittills gjorda utsläpp av krypton-85 bedöms knappast ha påverkat ledningsförmågan men fortsatta och ökande utsläpp skulle kunna få en märkbar effekt på den. Om utsläppen upphör tar det sedan några tiotal år innan effekten försvinner genom att kryptonet sönderfallit. Osäkerheten är dock stor om i vad mån klimatet kan påverkas av sådana förändringar i de elektriska förhållandena. Dessa förhållanden kan för övrigt även påverkas av kemiska föreningar. Forskning pågår.

Litteraturhänvisningar utöver underlagsrapporter och bakgrundsdokument (se appendix 2)

Vattenkraft och miljö. Betänkande avgivet av utredningen rörande vattenkraftutbyggnader i södra Norrland och norra Svealand (SOU 1974:22).

Vattenkraft och miljö 3. Betänkande avgivet av utredningen rörande vattenkraftutbyggnad i norra Norrland (SOU 1976:28).

Mineralprojekt Ranstad. LKAB:s ansökan av den 16 maj 1977 till Regeringen enligt 136 a § byggnadslagen.

Billingen. 4 exempel. Betänkande av Billingen-utredningen (SOU 1977:47).

W L Boeck, Meteorological Consequences of Atmospheric Krypton-85. Science. Vol 193, sid. 195—198 (juli 1976) (refererad i Forskning och framsteg No 5, 1976).

Haverier — olyckor — katastrofer

Ordet katastrof är värdeladdat och betydelsen är ofta oklar. Tio omkomna i en järnvägsolycka anses vara en katastrof. Det anses däremot inte tio omkomna i vägtrafiken över ett veckoslut vara — annat än för de närmast drabbade.

Vi skulle inte godta att det inträffade två olyckor i veckan med vardera omkring 10 dödsoffer inom tåg- och tunnelbanetrafiiken i Sverige. Ändå vet vi att lika många människor under samma tid omkommer i vägtrafiken.

Dessa starkt förenklade exempel belyser att människors värderingar av risker sällan grundas på något enkelt riskmått, t.ex. det genomsnittliga antalet omkomna och skadade per tidsenhet. Detta är något som riskforskare alltmer har börjat kartlägga under senare år. Ett särskilt intresse tilldrar sig vissa typer av olycksrisker där sannolikheten för att en olycka inträffar är mycket låg men följdverkningarna kan bli mycket stora.

Olika människor kan ha helt olika uppfattning om hur man skall värdera olycksrisker av denna typ. Därför har vi i detta kapitel inte heller eftersträvat en riskvärdering med hjälp av något visst, enhetligt riskmått. I stället har vi inriktat oss på att kortfattat beskriva de olyckor som kan inträffa vid användning av de idag viktigaste energislagen: vattenkraft, olja, gas, kol och kärnkraft. Vi har också försökt ge en ungefärlig uppfattning om sannolikheten för olyckor av olika omfattning, liksom osäkerheten i riskuppskattningarna. Till sist ger vi några exempel på hur man kan använda riskuppskattningarna vid värdering och jämförelse med andra typer av risker i samhället.

Vattenkraft

Brott på fyllda kraftverks- och reglerdammar kan frigöra mycket stora energimängder — storleksordningen TWh — inom loppet av några dygn. Det är sålunda fråga om samma energimängder som frigörs vid förbränning av omkring 100 000 ton olja eller detonation av omkring 1 miljon ton trotyl — även om häftighet och verkan givetvis inte kan jämföras.

Under de senaste årtiondena har åtskilliga stora olyckor inträffat utomlands. Flera har krävt hundratals dödsoffer och orsakat materiella skador för miljardtals kronor. I ett fall (Vaiont, Italien 1963) krävdes 2 000 dödsoffer. Det skedde när ett ras ner i ett vattenmagasin fick dammen att flöda över.

Man kan inte dra slutsatser om riskerna för dammolyckor i Sverige från vad som inträffat utomlands. Dels är berggrunden vanligen stabilare i Sverige, dels har det vid de stora olyckorna ofta varit fråga om höga betongdammar inspända mellan bergväggar. De svenska dammarna är i all-

Tusentals hemlösa när damm brast

Dagens Nyheter
den 8 juni 1976

IDAHO FALLS, måndag.

Minst sex människor dödades och tusentals blev hemlösa när en nybyggd damm i Idaho, USA, brast på lördagen. En fem meter hög flodvåg sköljde nedför Snake River och förvandlade dalar till en stor, hittills rapporterad dödssiffra kommer

Miljövännen har kritiserat anläggningen som skapa på flera kvadratkilometer

Dagens Nyheter
den 24 april 1977

Norska katastrofen:

Tusentals ton olja driver mot kusterna

Från Dagens Nyheter utående medarbetare Björn Lundquist

STAVANGER, lördag

Haveriet på den norska oljeplattformen "Bravo" mitt i Nordsjön på fredagskvällen har utvecklats till en miljökatastrof. 4 000 ton olja sprutas driver mot Norges, Svec-

Gruvras i Rhodesia 467 dödsoffer befäras

Från Dagens Nyheter korrespondent Torsten Ehrenmark

LONDON, tisdag.

468 män blev instängda vid en explosion som inträffade i en av världens största kolgruvor i Rhodesia på tisdagsförmiddagen. En kraftig explosion, av allt att döma förorsakad av metangas, i Wankiefältet kl 10 på tisdagen lokal tid. r kritiskt — och tre döda har återfunnits

Explosionen var så häftig att fyra gruvarbetare som befann sig på parkytan skadades och måste föras till sjukhus. Man befäras att de 464 gruv-

knappast röra sig om nån en explosion av metangas. Gruvan har haft flera metangas tidigare, och bara 5-15 procent



Dagens Nyheter
den 7 juni 1972

Katastrofhot i kärnkraftverk Säkerhetssystemet eldhärjat

Från SDS korrespondent

NEW YORK. Hur nära en katastrof med radioaktivt utfall var Tennessee-dalen förra lördagen? Världens största kärnkraftverk vid Browns Ferry tre mil nordväst om den lilla staden Athens i norra Alabama totalhavererade sedan en elektriker av misstag satt eld på elektriska kablar. Säkerhetssystemet sattes ur funktion när kablarna brann upp.



Sydsvenska Dagbladet
den 27 mars 1975

Figur 36. Dessa tidningsrubriker — alla från 1970-talet — återspeglar några av de risker för stora olyckor som är förknippade med användningen av olika energislag. Händelserna behandlas även i texten till kapitel 8.

mänhet lägre s.k. jord- och stenfyllnadsdammar. Vidare ligger de stora svenska dammarna i utpräglad glesbygd. Det har dock utomlands inträffat allvarliga brott även på moderna jord- och stenfyllnadsdammar. Vid en sådan olycka i juni 1976 i Idaho, USA, omkom 10 personer medan 30 000 personer i hotade områden måste evakueras.

I Sverige har i ett par fall enstaka dödsoffer krävts vid dammolyckor. I första hand verkar det finnas risk för dammbrott vid vissa äldre dammar i mindre vattendrag. Dessa dammar är ibland bristfälligt underhållna, t.ex. på grund av att det är oklart vem som har ägaransvaret. Dessutom har några tillbud inträffat vid första dämning av nya dammar.

Brott på de stora kraftverks- och reglerdammarna i Sverige anses i huvudsak kunna inträffa endast i krigstid. Det krävs då fientliga anfall med specialkonstruerade sprängladdningar. För sådana fall har följdverkningarna av eventuella dammbrott uppskattats. Det visar sig att verkningarna skulle bli mycket olika i skilda älvsystem, bl.a. beroende på om det finns större sjöar och slättpartier som kan fungera som "buffer-tar" för frigjorda vattenmassor. I vissa fall kan dock ett dammbrott ge mycket stora skador längs större delen av älvsräckan nedströms. Tiotals till hundratals dödsoffer kan krävas om förvarning och utrymning fungerar dåligt. Förvarningstiden innan flodvågen når mer tätbefolkade områden är dock i allmänhet rätt lång — upp till tiotals timmar.

Sannolikheten för ett sådant dammbrott i fredstid är enligt statens vattenfallsverk utomordentligt liten och i praktiken helt försumbar. Man pekar bl.a. på att de stora kraftverks- och reglerdammarna kontrolleras mycket noggrant både under byggnadstiden och efteråt. Modelförsök har också visat att om ett dammbrott skall kunna utlösas ens av sprängladdningar måste vattennivån i dammen ligga nära övre dämningssgränsen. Så höga vattennivåer har man i genomsnitt bara ett fåtal dagar per år i de flesta dammar. Någon mer ingående, siffermässig uppskattning av riskerna för dammbrott i Sverige i fredstid föreligger inte för närvarande men en studie pågår på uppdrag av energikommissionen.

I detta sammanhang kan nämnas att de holländska nordsjödammarna är konstruerade för att risken för ett allvarligare dammbrott skall vara mindre än ca 1 på 10 000 år. Dessa dammar utsätts dock — i motsats till svenska dammar — för påfrestningar i form av kombinationer av högt tidvatten och hårt väder som ej kan kontrolleras, även om de i viss mån kan förutses.

Olja

Oljehanteringen kan medföra olyckor med katastrofartade följder för både människor och natur. Olyckor där många personer skadas kan inträffa vid borning och utvinning, under transport i tankfartyg och vid raffinaderierna. När man vid borningen kommer ned i de lager, där det finns olja och gas, kan trycket plötsligt öka och olja och gas kastas upp genom borrhålet. Om detta inträffar är risken för explosion överhängande. Minsta gnista, som kan bildas t.ex. då metallföremål stöter mot varandra, kan antända den utströmmande oljan och gasen, som sedan fortsätter att brinna. En sådan brand är mycket svår att släcka. Flera olika metoder finns. Ett sätt är att borra ett snett hål vid sidan av det första och den vägen av-

leda oljan utan att den fattar eld. Man kan också försöka skilja lågan från den utsprutande oljan med en sprängladdning. Släckningsarbetet kan ta veckor eller månader.

En blowout, som den okontrollerade utströmningen kallas, kan inträffa både vid oljeutvinning till lands och till havs. Det är svårare att bemästra en blowout till havs. Även räddningsarbetet blir svårare. Vid brand på en plattform till havs kan många personer sväva i fara. Vid ett och samma tillfälle brukar två arbetslag om ca 15 man finnas på en borrhplattform. Ibland finns avsevärt fler, både på plattformen och närliggande försörjningsfartyg.

Transporter av olja med tankfartyg kan innebära risker för dem ombord. Omkring en tredjedel av olyckorna med större tankfartyg har samband med bränder. Det är framför allt dessa som ger risker för hela besättningen, som kan uppgå till ca 30 personer. Ännu värre olyckor med hänsyn till personskador är givetvis tänkbara, nämligen kollision mellan tankfartyg och passagerarfartyg.

I raffinaderier och lager av oljeprodukter finns risk för att brand eller explosion leder till ett stort antal personskador. I Rio de Janeiro dödades 21 människor och skadades 48 vid en olycka 1972. I Rotterdam dödades två och skadades 85 allvarligt vid en explosion i ett raffinaderi 1968.

Raffinaderier ligger ofta i tätbefolkade områden. En större explosion kan därför skada både byggnader och människor utanför själva anläggningen. Vid olyckan i Rotterdam skadades flera tusen personer i omgivningen mer eller mindre allvarligt av glassplitter. Byggnader på flera kilometers håll skadades.

Med hjälp av statistik från olika länder kan man uppskatta riskerna för olyckor med omfattande personskador i samband med oljehantering i samtliga processled för ett kraftverk. Om man driver ett oljekraftverk om 1 000 MW elektrisk effekt i 20 år skulle sålunda risken för en olycka med 20 eller fler omkomna uppgå till 1,4–2,7 procent enligt än så länge preliminära siffror från en norsk studie. Risken för större olyckor — mer än 100 omkomna — skulle enligt samma studie och under samma förutsättningar kunna uppgå till 0,2–0,3 procent. Uppskattningen måste betraktas som mycket osäker särskilt för de större olyckorna. Riskerna kan ha över-skattats, bl a eftersom större olyckor är så sällsynta. Man kan vidare vänta sig att riskerna kan vara olika stora i olika länder och anläggningar, bl a med hänsyn till hur moderna anläggningarna är. Risksiffrorna går därför inte att direkt tillämpa på svenska förhållanden.

Vid olyckor inom oljehantering kan man vänta sig att det i första hand är de anställda som drabbas. Dödsoffer bland allmänheten ingår dock i de angivna siffrorna.

Risker för miljöskador

En stor blowout från en borrhplattform till havs leder till att olja rinner ut på havsytan, skadar sjöfågel samt förgiftar fisk och andra organismer. Ofta förstörs också stränder över stora områden. Man har uppskattat att det är risk för att ett borrhål av 500 blåser ut okontrollerat vid borrhning till havs.

Olyckan vid Bravoplattformen våren 1977, då drygt 20 000 ton olja kom

ut i Nordsjön, var statistiskt sett inte oväntad. I en officiell engelsk rapport från 1976 har man räknat med 80% risk för åtminstone en blowout i Nordsjön under de följande fem åren. Högst en på tio blowouts uppskattas ge nämnvärda oljeutsläpp. Det största utsläppet till havs hittills skedde 1969 utanför Santa Barbara i Kalifornien, där mer än 300 000 ton läckte ut under en tid av flera månader.

Miljöskadorna från ett stort oljespill kan vara av många slag — skador på djur- och växtliv, skador på fiske- och rekreationsområden. Skadorna kan bara till en del mätas i pengar. En uppskattning av de mest direkta kostnaderna ger ändå en uppfattning om hur stora skador det kan bli fråga om. Om det skulle ske ett mycket stort utsläpp i Nordsjön — 10 000 ton per dag i hundra dagar — och en tiondel härav drev mot svenska kusten skulle det i Sverige kunna bli skador för 300—400 miljoner kr. Sanering av stränder svarar för de största kostnaderna, men fiske och turistnäring skulle också drabbas ekonomiskt i betydande grad.

Tankerolyckor kan medföra mycket stora oljeutsläpp. Förlisningen av tankfartyget Torrey Canyon utanför sydvästra England 1967 ledde till att 95 000 ton olja kom ut i havet. En blowout och en tankerolycka kan vara jämförbara till utsläppets storlek. Tankerolyckan kan dock inträffa intill kusten och medför då ett mera omedelbart hot mot stränderna än en blowout i Nordsjön. Kollision eller grundstötning är de vanligaste orsakerna till stora tankerolyckor.

Läckor på rörledningar för olja är ytterligare en orsak till utsläpp. En utmattad svetsfog kan brista och ge ett stort utsläpp. Tryckfallet som följer på läckaget registreras visserligen snabbt och ledningen stängs då automatiskt av. Innan dess kan dock upp till en tiondel av all olja i ledningen rinna ut. Det kan röra sig om 10 000—20 000 ton. Om en läcka är liten och inte leder till rörbrott kan någon procent av flödet i ledningen läcka ut utan att det märks i kontrollanordningarna. Det kan röra sig om 1 000—2 000 ton per dygn. Om ledningen ligger på havsbotten, flyter oljan upp till ytan, och stora skador kan hinna uppstå innan läckan upptäcks.

Som framgår av kapitel 7 (s 184) svarar dock större olyckor bara för omkring en tiondel av all olja som spills ut i havet.

Naturgas

Naturgas utvinns på liknande sätt som olja. Många oljekällor producerar gas samtidigt med oljan, men det finns också fält med enbart gas. Riskerna för blow-out och antändning är minst lika stora vid borrning efter gas som vid borrning efter olja. En skillnad är att man inte får några bestående skador på miljön vid olyckor då enbart naturgas släpps ut. Riskerna för förluster av människoliv vid en borrolycka är av samma slag som vid oljeborrning.

Naturgas transporteras i rörledningar eller nedkyld till vätskeform (LNG) i särskilda tankfartyg till den plats där den används eller lagras. Transport i rörledning anses vara relativt riskfri, särskilt om man undviker att dra ledningen genom tätbebyggda områden.

Transport i tankfartyg ger risker vid t ex kollision eller grundstötning. Ett tankfartyg för flytande naturgas är annorlunda byggt än en oljetan-

ker. Gasen, som skall hållas kallare än -162°C , finns i cisterner med mertjock isolering av exempelvis cellplast. Utanför isoleringen kommer ytterligare ett hölje av plåt. Dessa cisternheter monteras med stödåordningar i fartygets skrov. Konstruktionen skyddar inte bara mot gasförluster genom uppvärmning och avdunstning utan cisternerna blir också bättre skyddade mot läckage vid kollisioner och grundstötningar än lastutrymmena i en oljetanker. I början av 1977 fanns det 35 tankfartyg för transport av flytande gas med en genomsnittlig lastförmåga på 46 000 kubikmeter flytande naturgas. På land lagras flytande gas i väl värmeisolerade cisterner som kan rymma omkring 100 000 kubikmeter.

Brott på en cistern med flytande naturgas i ett fartyg eller på land kan leda till att stora mängder gas snabbt sprids över stora ytor. Även om gasen inte antänds kan själva omvandlingen från vätska till gas i vissa fall ske plötsligt och explosionsartat. Antändning genom gnistbildning eller dylikt kan dock sällan undvikas och resultatet blir omfattande bränder och i vissa fall explosioner. Vid en olycka i Cleveland, USA, 1944 omkom 128 personer när en lagringstank för flytande naturgas brast och den utströmmande gasen nådde bebyggelse och antändes. Tankbrottet berodde på att man använt en stålsort som blev spröd vid låga temperaturer. Tanken hade heller ingen invallning som kunde förhindra att gasen spreds över stora områden. Olyckan ledde till kraftigt skärpta säkerhetsbestämmelser.

Den statistik som finns över yrkesskador visar att de genomsnittliga riskerna vid hantering av flytande naturgas numera är ungefär lika stora som vid arbete med andra petroleumprodukter. Vi har inte haft tillgång till några siffermässiga uppskattningar av risken för stora olyckor. Det står dock klart att transport av flytande naturgas i närheten av tätbebyggda områden innebär en liten risk för olyckor av stor omfattning.

Den tidigare nämnda norska studien har utifrån befintlig statistik uppskattat riskerna sammanhängande med utvinning, direkt rörtransport och elkraftproduktion i ett gaseldat aggregat utan omvandling till flytande gas eller lagring. Om man driver ett sådant gaseldat kraftverk om 1 000 MW elektrisk effekt i 20 år skulle sannolikheten för en olycka med 20 eller fler omkomna uppgå till 0,7–1,3 procent och för en olycka med 100 eller fler omkomna till 0,1–0,2 procent, allt enligt än så länge preliminära siffror från den norska studien. Liksom i oljefallet är osäkerheten stor i riskuppskattningen, särskilt för mycket stora olyckor. Uppskattningen gäller ett specifikt kraftverksläge i Norge varför det är osäkert hur den kan tillämpas på svenska förhållanden. Risksiffrorna går dock att jämföra med de risksiffror för olja och kol som hämtats ur samma norska studie. Studier av risker vid hantering av naturgas pågår genom energikommissionens försorg.

Kol

Svåra olyckor i kolgruvor har krävt hundratals dödsoffer även under senare år. Ofta orsakas de svåra olyckorna av explosioner i blandningar av luft och brännbar gas eller koldamm. När man bryter loss kolet ur en flötskan s k gruvgas som huvudsakligen består av metan, frigöras. En gnista kan medföra att gruvgasen exploderar och virvlar upp koldamm som sedan för explosionen och branden vidare. Säkerhetsåtgärderna i kolgruvor

inriktas till stor del på att förebygga sådana explosioner. God ventilation skall förhindra att farliga mängder gruvgas samlas. Andra åtgärder skall förhindra att koldamm kan virvla upp och antändas.

Ras (med eller utan samband med explosion), plötsliga inbrott av vatten och hisshaverier kan också kräva många offer i en enda olycka.

Säkerheten i kolgruvor i industriländerna har gradvis förbättrats. Åren 1870—1920 omkom 8 000 personer i brittiska kolgruvor enbart genom explosioner. Under perioden 1924—1974 omkom drygt 2 000 personer av samma orsak, varav endast 10 under perioden 1964—1974. I EG-länderna (utom Storbritannien) inträffade åren 1960—1964 11 större olyckor med totalt 387 dödsfall, 1965—1969 9 större olyckor med totalt 90 dödsfall och 1970—1974 8 större olyckor med totalt 92 dödsfall. Utvecklingen i USA är likartad.

På andra håll i världen har gruvolyckor av betydligt större omfattning förekommit under senare år. I Wankie i Rhodesia omkom exempelvis 400 personer 1972.

Jämsides med ansträngningarna att minska risken för en olycka har man också sökt begränsa följderna av de olyckor som trots allt inträffar. En sådan åtgärd är t ex att tillåta att högst 50 personer vistas samtidigt i samma ventilationsområde i en gruva.

Det kan också inträffa stora olyckor i andra led av kolhanteringen än i gruvbrytningen. I Aberfan i Storbritannien kom 1966 ett askupplag i rörelse och begravnade bl a en skola. Totalt omkom 144 personer. I Buffalo Creek i USA rasade 1972 en damm för avloppsvatten från kolgruvor. Dammen var byggd av gruvavfall. Över 100 personer omkom och flera tusen blev hemlösa.

Eftersom säkerheten i gruvor har förbättrats under senare år, åtminstone i de utvecklade industriländerna, underskattar man inte riskerna om man bygger på tidigare statistik. Flera uppskattningar av risken för stora olyckor har publicerats. De bygger på olika antaganden och är svåra att jämföra direkt med varandra. Det stora antalet små olyckor i kolgruvor svarar dock i genomsnitt för mer än 90 procent av dödsfallen.

Enligt en uppskattning skulle det i genomsnitt inträffa en större olycka (mer än 5 omkomna) per 200 miljoner ton utvunnet stenkol. Det kan innebära ett riskbidrag på omkring ett tiondels dödsfall per driftår för ett 1 000 MW kraftverk. Totalt inträffar i genomsnitt ca 4 dödsfall på grund av yrkesskador i olika processled, räknat per driftår för ett sådant kraftverk.

Enligt än så länge preliminära siffror från den tidigare citerade norska studien skulle sannolikheten för en olycka med 20 eller flera omkomna uppgå till 5,5—7,6 procent och för en olycka med mer än 100 omkomna till 1,3—2,2 procent, allt räknat för det fall man driver ett koleldat kraftverk om 1 000 MW elektrisk effekt i 20 år.

Kärnkraft

Olycksrisker vid lättvattenreaktorer

Den samlade drifterfarenheten från kärnkraftverk med lättvattenreaktorer uppgår f n till omkring 700 reaktordriftår. Hittills har ingen olycka inträffat som medfört otillåtna utsläpp av radioaktiva ämnen till omgiv-

ningen. Inte heller har det förekommit dödsoffer bland vare sig anställda eller allmänhet till följd av direkta strålskador. Vid kärnkraft kan således beskrivningar av olycksförlopp och riskuppskattningar inte bygga på vad man vet från redan inträffade stora olyckor, vilket är fallet vid vattenkraft, olja, naturgas och kol.

Frånvaron av större olyckor under ca 700 driftår ger inte en statistiskt tillfredsställande grund för att uppskatta risken för stora olyckor. Istället får man försöka analysera möjliga olycksförlopp på teoretisk väg och uppskatta sannolikheten för olika händelser.

Eftersom en stor olycka i ett kärnkraftverk kan få mycket omfattande följdverkningar — kanske tusentals dödsfall — spelar olycksrisken en framträdande roll i kärnkraftdebatten. Därför har vi också valt att redovisa dessa frågor relativt utförligt.

Akuta strålskador

Vid stråldoser på omkring 200 rad eller mer till hela kroppen finns risk för att den bestrålade dör till följd av skador på benmärgens blodbildande funktion. Vid en dos på ca 200 rad når antalet livsviktiga blodkroppar ett minimum efter 30 dygn. Vid lägre stråldoser är skadorna på de blodbildande organen inte livshotande. Den som fortfarande lever sex veckor efter att ha fått en hög helkroppsdos har goda utsikter att klara sig helt. Med god medicinsk vård har man 50 procent chans att överleva en stråldos på 300 rad till hela kroppen.

Om stråldosen överstiger 500 rad har man inte stora möjligheter att överleva. Vid doser mellan 500 och 2 000 rad är det framför allt skador på matsmältningsorganen som leder till döden. Delar av tarmvävnaden förstörs och kroppen kan inte ta upp vätska och näring. Vid doser över 1 000 rad leder skadorna till döden inom tre till fjorton dygn. Om stråldosen är mycket hög — större än 2 000 rad — skadas det centrala nervsystemet. Stråldoser över 5 000 rad leder med visshet till dessa skador. Döden inträffar i så fall inom ett dygn.

Figuren belyser risken för olika skador och död till följd av stråldoser som drabbar hela kroppen inom en kort tidsrymd.

Om strålningen bara träffar delar av kroppen blir skadorna annorlunda. Vid bestrålning av huden med doser från 300 till 1 000 rad uppstår alltifrån rodnader och håravfall till svårläkta sår, beroende på stråldosens storlek. Vid 2 000 rad läker hälften av skadorna inom ett par månader.

Radioaktiv jod samlas i sköldkörteln och förstör denna helt om stråldosen uppgår till 5 000—10 000 rad i körteln.

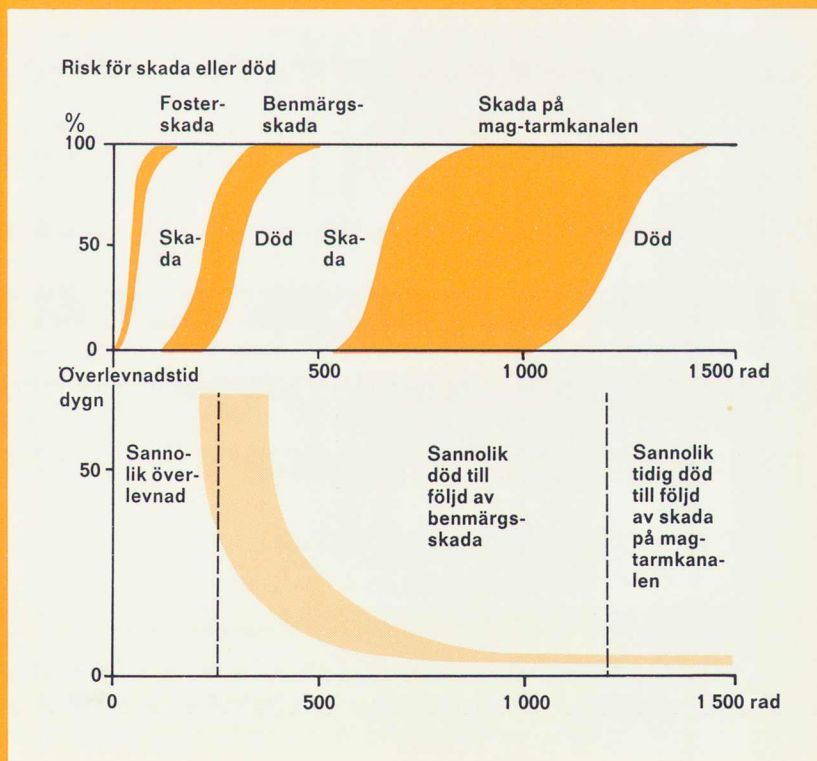
Om man delar upp en stråldos på flera bestrålningsstillfällen blir skadorna mindre än om personen i fråga utsätts för samma dos på en enda gång. Fördelas dosen över tio dygn krävs exempelvis dubbelt så stor sammanlagd stråldos som vid ett bestrålningsstillfälle för att åstadkomma samma skada. Fördelas bestrålningen över flera månader, behövs ca tre gånger så stor sammanlagd dos. Det beror på att kroppen hinner nybilda en del celler och ersätta de skadade mellan varje bestrålningsstillfälle. Trots det kan

Fysikaliskt möjliga haveriförlopp som kan leda till stora olyckor

De svåraste haveriförlopp som är fysikaliskt möjliga i en lättvattenreaktor leder samtliga till förlust av det kylvatten som omger reaktorhärden. I lättvattenreaktorn fungerar kylvattnet samtidigt som moderator, dvs vattnet bromsar neutronerna till lagom hastighet för att uranatomerna skall kunna klyvas i en kedjereaktion (se faktaruta 12, s 92). Om kylvattnet försvinner stoppas således kärnklyvningen och därmed huvuddelen av energiutvecklingen i reaktorhärden. En lättvattenreaktor kan därför aldrig explodera som en kärnladdning, dvs genom att mycket stora mängder kärnenergi plötsligt frigörs. Däremot utvecklar sönderfallet av klyvningsprodukterna i härden så mycket värme att kärnbränslet smälter ned när det inte kyls. Härdsmlätningen kan medföra att en avsevärd del av de stora mängderna radioaktiva ämnen i reaktorhärden slipper ut i omgivningen. Förlusten av kylvattnet i reaktortanken kan — liksom i alla ång-

28

skador kvarstå som inte syns utåt. Det betyder att ett antal förhållandevis höga stråldoser som var för sig inte åstadkommer någon synlig skada, tillsammans kan förstöra ett tillräckligt antal celler för att ge en strålskada av samma slag som vid en kraftig engångsbestrålning.



Övre diagrammet: Risken för skada och död efter akut helkroppsbestrålning med olika stråldoser.

Undre diagrammet: Överlevnadstid efter akut helkroppsbestrålning.

panneanläggningar — vara förknippad med våldsamma ångexplosioner som kan skada reaktorbyggnaden och på annat sätt bidra till att de radioaktiva ämnena i härden sprids till omgivningen.

Möjliga skadeverkningar vid en stor olycka

Följderna av ett utsläpp av radioaktiva ämnen blir starkt beroende av de väderförhållanden som råder vid tillfället. Det värsta som kan hända är att vädret är sådant att de utströmmande radioaktiva ämnena förs längs marken mot närliggande tätbebyggda områden. Under vissa antaganden om mängden utsläppta ämnen och väderförhållanden kan då stråldoserna till befolkningen uppskattas. Sådana beräkningar har utförts för en rad utländska reaktorlägen. Beräkningar för svenska reaktorlägen pågår genom kärnkraftinspektionens och energikommissionens försorg. Några preliminära resultat redovisas i strålskyddsinstitutets underlagsrapporter. Uppskattningarna avser Barsebäck. Resultaten liknar dem som erhållits för studier av utländska reaktorlägen.

Enligt uppskattningarna skulle en mycket svår olycka i Barsebäck under ogynnsamma väderförhållanden kunna ge befolkningsdoser av storleksordningen många miljoner manrem. Detta skulle kunna medföra att många tusen människor insjuknar i en eller annan form av cancer. Cancerfallen kommer att fördelas över flera tiotal år, dvs i en befolkningsgrupp om en miljon skulle nuvarande antal cancerfall per år öka med något tiotal procent. Det totala antalet ärftliga skador över kommande generationer skulle troligen bli avsevärt mindre än antalet cancerfall (se faktaruta 29 på nästa sida). Antalet dödsfall till följd av akuta strålskador blir också troligen mindre än antalet cancerfall. Ändå kan det bli fråga om att något eller några tusental människor drabbas av stråldoser som leder till döden inom någon månad efter en mycket stor olycka om reaktorn ligger nära stora tätorter. Vid en stor olycka kan man knappast räkna med att det går att rymma ut stora tätorter på kort tid.

Beläggning av mycket stora områden i vindriktningen med radioaktiv jod kommer att göra mjölken därifrån odrickbar under någon månad eller två om olyckan sker under betessäsongen. Beläggning med cesium-137 kan begränsa markanvändningen under betydligt längre tid och kräva omfattande saneringsåtgärder. De områden som berörs av beläggningarna kan röra sig om tiotals till tusentals km². Man vet litet om de sociala följderna av att man behöver utrymma så stora områden under lång tid. I Barsebäcksfallet kan exempelvis både stora städer och jordbruksbygd beröras.

Säkerhetssystem.

Skyddet mot reaktorolyckor är omfattande och bygger på följande grupper av åtgärder

- Kvalitetssäkring (quality assurance) i alla led vad gäller konstruktion, byggnad, drift och underhåll av en kärnreaktor. Kontrollen skall utövas av organ som är fristående i förhållande till dem som bygger och driver kärnreaktorn. Till denna grupp av åtgärder kan även räknas urval och utbildning av driftspersonal.
- Haveriförhindrande system som hindrar att avvikelser från normala driftförhållanden leder till haveri. Hit hör bl a system som automa-

tiskt snabbstoppas reaktorn när driftvärdena avviker från de normala i kritisk omfattning.

- Skadebegränsande system som begränsar följdverkningarna om ett haveri skulle inträffa. Hit hör bl a nödkylsystem som skall förhindra härdsmlätning vid förlust av kylvattnet samt en reaktorbyggnad som skall klara stora påkänningar vid ett haveri utan att radioaktiva ämnen läcker ut till omgivningen.

I största möjliga utsträckning förser man en reaktor med flera av varandra oberoende säkerhetssystem, som skall kunna ta hand om uppkommande fel. En olycka skall kunna förhindras eller begränsas även om inte alla system fungerar. Det kan t ex räcka om ett av tre eller två av fyra av de oberoende säkerhetssystemen träder i funktion om det uppstår ett fel. Man säger att säkerhetssystemen är uppbyggda med redundans. Även det normala driftsystemet är delvis uppbyggt på det här sättet. Det gör att driften kan fortgå normalt även om någon del av kontrollutrustningen inte fungerar.

Riskuppskattningar

För att man skall få ett reaktorhaveri som leder till en olycka med ett stort antal offer måste följande kedja av händelser inträffa:

- reaktorn råkar ut för ett tekniskt fel eller ett mänskligt felgrepp som skapar en onormal driftsituation.
- alla berörda haveriförhindrande system fungerar bristfälligt så att ett haveri inträffar
- alla berörda skadebegränsande system fungerar bristfälligt så att större mängder radioaktiva ämnen släpps ut till omgivningen.
- väderförhållandena vid haveritillfället är sådana att de radioaktiva ämnena når närliggande, tätbefolkade områden.

Ärftliga skador från en stor reaktorolycka 29

Räknat i antal människoliv vore det en mycket stor olycka om ett reaktorhaveri skulle ge upphov till 1 000 fall av ärftliga skador. Av dessa skulle ca 300 inträffa i den första generationen, dvs bland barnen till dem som drabbats av stråldoserna. Från befolkningsgenetisk synpunkt skulle stråldoserna ändå innebära en obetydlig och övergående ökning av mutationsfrekvensen. Utslaget över hela Sveriges befolkning motsvarar de 1 000 fallen en ökning av antalet mutationer under en generation med 1,7 procent.

För att förorsaka 1 000 fall av ärftliga skador krävs 5 miljoner manrem av genetisk betydelse. Det innebär en kollektiv stråldos till allmänheten på mer än 10 miljoner manrem. Om en så stor kollektiv stråldos fördelas på 30 000 människor kommer omkring hälften av dessa att dö av akuta strålskador. Fördelas denna kollektiva stråldos någorlunda jämnt över en miljon människor kan man inte vänta sig några dödsfall på grund av akuta strålskador. Däremot kan man vänta sig att totalt omkring 5 000 fler människor än normalt kommer att insjukna i cancer under de närmaste årtiondena efter bestrålningen. De ärftliga skadorna skulle alltså inte innebära den största belastningen vid en sådan mycket stor olycka.

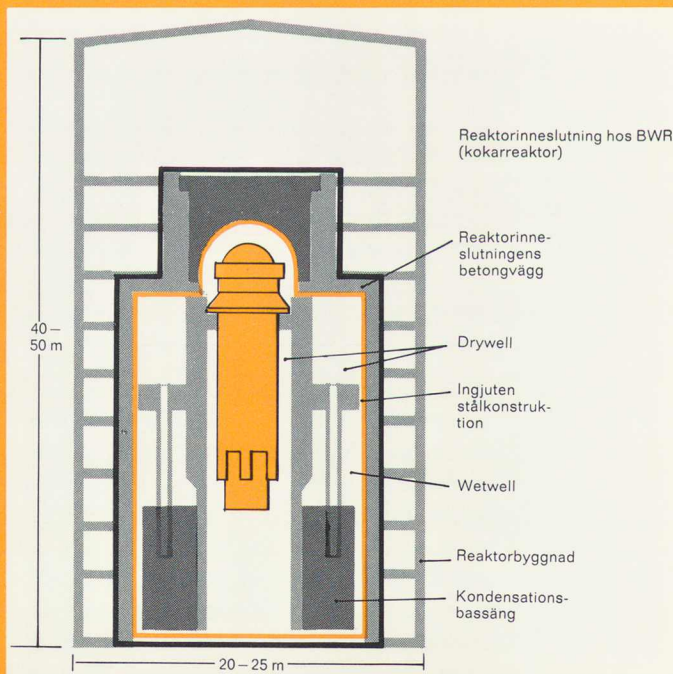
Vid en så kallad riskanalys studerar man sådana tänkbara händelseutvecklingar och söker dela upp dem i ett stort antal delhändelser. Sannolikheten för vissa av dessa delhändelser kan ofta uppskattas förhållandevis väl. Det kan exempelvis gälla felfunktion hos ventiler, reläer etc. Också risken för ogynnsamma väder- och vindförhållanden kan uppskattas ur meteorologiska data. Med hjälp av de uppskattade riskerna för olika delhändelser kan man göra en uppskattning av den totala sannolikheten för olyckor av olika omfattning när det gäller stråldoser till allmänheten. En sådan uppskattning blir dock mycket osäker.

En av de mer omfattande riskanalyserna av denna typ redovisas i den så kallade Rasmussenstudien. I den analyseras två kärnkraftverk med lättvattenreaktorer av liknande typ som vi har i Sverige. Med utgångspunkt i dessa analyser görs en bedömning av den totala risken från 100 amerikanska kärnkraftverk. Rasmussenstudien har kritiserats i flera avseenden. Bland invändningarna kan nämnas

Reaktorinneslutningar

Reaktorinneslutningen har en viktig skadebegränsande funktion vid ett eventuellt reaktorhaveri. Den skall förhindra omfattande läckage av radioaktiva ämnen till omgivningen. Reaktorinneslutningen är en tryckbärande och gastät byggnad. Den är dimensionerad för tryck upp till omkring fem gånger det vanliga lufttrycket.

Inneslutningen i en kokareaktor (BWR) omfattar bara reaktorn och huvudcirkulationskretsar. Den ånga som frigörs vid ett rörbrott leds genom nedblåsningsrör till en vattenbassäng. Där kondenseras ångan. Inneslutningen är fylld med kvävgas för att förhindra knallgasexplosion från eventuell vätgas som kan bildas vid ett haveri.

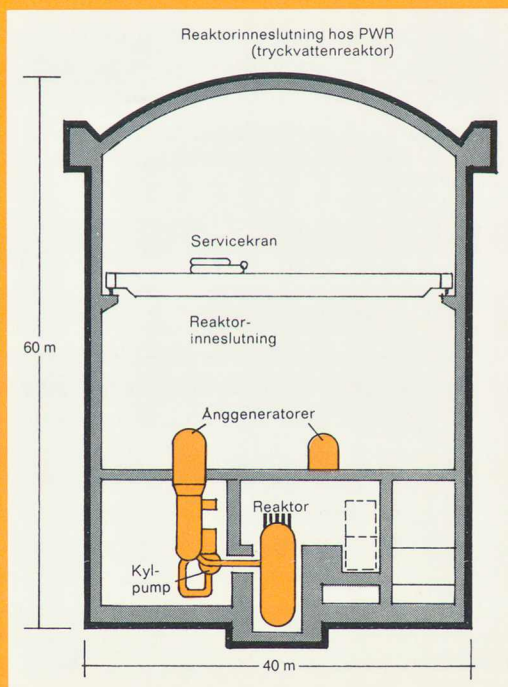


- de teoretiska sannolikhetsuppskattningarna blir osäkra, bl a genom att man kan förbise fel som samtidigt sätter ett antal säkerhetssystem ur spel, t ex bränder och mänskliga felgrepp
- man har undervärderat sannolikheten för att man får mer omfattande utsläpp av vissa isotoper och därmed sammanhängande skador, om ett omfattande reaktorhaveri inträffar
- man har undervärderat risken för cancer och andra skador som visar sig en längre tid efter olyckan. Bl a har man kritiserat de samband mellan dos och cancerrisk som använts i studien. Beroende på de närmare omständigheterna vid ett eventuellt haveri skulle dessa sena skador kunna bli 10 till 100 gånger fler än de dödsfall som inträffar inom någon månad efter en olycka.

Kritiker har också ifrågasatt Rasmussenstudiens bedömning av risken för en stor olycka orsakad av att själva reaktortanken brister. De skadebegränsande systemen i reaktorer av den typ som studeras är nämligen

30

Reaktorinneslutningen i en tryckvattenreaktor (PWR) omfattar hela primärsystemet, dvs reaktorn, cirkulationskretsar och ånggeneratorer. Den inneslutning är fylld med luft. Volymen är så stor att eventuell vätgas späds ut så, att den inte kan antändas.



Man studerar även möjligheterna att förlägga stora reaktorer i berggrum för att ytterligare förbättra inneslutningen. Berggrumsförläggning har använts i Sverige för ett mindre kraftvärmeaggregat (Ågestareaktorn).

byggda så att de normalt skall kunna klara ett brott på de stora rörledningarna som leder till reaktortanken men inte ett brott på själva tanken. Ett tankbrott kan leda till stora radioaktiva utsläpp. Ansvariga säkerhetsmyndigheter har bedömt att sannolikheten för ett sådant tankbrott kan hållas så låg genom fortlöpande kontroll av tankarna att det inte påverkar den totala riskbilden i avgörande grad. I Tyska förbundsrepubliken har man dock rest krav på att skadebegränsande system såsom reaktorinneslutningen skall klara även ett stort tankbrott.

Enligt Rasmussenstudien är sannolikheten omkring en på sju miljoner driftår för en olycka som ger omkring 100 dödsfall i direkta strålskador. Enligt kritiken från bl a den amerikanska miljöförvaltningsmyndigheten EPA bör man vid en sådan olycka dessutom räkna med något eller några tusental cancerfall. Flowerskommissionen redovisar brittiska studier som ger sannolikheter på mellan en på hundratusen och en på en miljon driftår för en olycka som medför allvarliga utsläpp av radioaktivitet. Därtill kommer sannolikheten för ogynnsam vind i förhållande till tätorter. Statistiker har påpekat att det vanligen är föga meningsfullt att räkna med sannolikheter för stora haverier som är lägre än omkring en på hundratusen per driftår eftersom osäkerheten i riskanalyserna är så stora.

En amerikansk forskargrupp har i en nyligen publicerad rapport sökt uppskatta en rimlig övre gräns för osäkerheten i riskbegränsningar av denna typ på grundval av en starkt kritisk granskning av Rasmussenstudien. Under deras som de själva säger ytterst pessimistiska antaganden skulle en övre gräns för sannolikheten för en ytterst allvarlig olycka kunna uppskattas till omkring fem på hundratusen driftår. De har då räknat med en sannolikhet om en på tusen driftår för härdsmältning som medför avsevärda utsläpp, bl a under antagande att nödkylsystemet ej fungerar. De har vidare räknat med en genomsnittlig sannolikhet om 5 procent över ett stort antal reaktorlägen för att väderförhållandena leder till att utsläppen förs mot stora befolkningscentra. Om tio reaktorer drivs i 20 år ger detta en övre gräns på 1 procent för sannolikheten för en ytterst allvarlig olycka. Detta skall då inte tolkas så att sannolikheten är så stor utan som en pessimistisk övre gräns för osäkerheten i riskuppskattningarna.

Med en ytterst allvarlig olycka avses i de amerikanska studierna ett haveri med stora utsläpp av radioaktiva ämnen under ogynnsamma väderförhållanden vid någon av de reaktorer som ligger nära stora befolkningscentra i USA. De uppskattningar av sannolikheter och följdverkningar som gjorts för amerikanska reaktorer får givetvis tillämpas med stor försiktighet på svenska förhållanden. Det är dock rimligt att anta att de befolkningsdoser om många miljoner manrem som uppskattats för Barsebäcks-Köpenhamnsfallet kan tas som exempel på en ytterst allvarlig olycka vid nuvarande svenska reaktorlägen. Enligt en dansk studie är sannolikheten för ogynnsamma väderförhållanden för det speciella fallet Barsebäck-Köpenhamn under 2 procent. För mer ingående riskuppskattningar för svenska reaktorlägen får vi hänvisa till pågående studier genom kärnkraftinspektionens och energikommissionens försorg.

Tillbud

Kärnkraftinspektionen har gjort en utförlig sammanställning av olika händelser vid lättvattenreaktorer i Sverige och utomlands där säkerhets-

systemen satts på prov. Ett stort antal sådana händelser har rapporterats. Vid mycket få av dessa var säkerheten påverkad i mer betydande grad enligt tillsynsmyndigheterna. Endast två från säkerhetssynpunkt mer allvarliga haverier har hittills drabbat moderna, stora lättvattenreaktorer (Würgassen, Västtyskland, 1972 och Browns Ferry, USA, 1975). Inget av dessa medförde kylvattenförlust eller härdsmältning. I båda fallen var mänskliga felgrepp av avgörande betydelse. Haveriet i Browns Ferry var troligen allvarligast från säkerhetssynpunkt eftersom en del av den säkerhetsutrustning som behövde fungera för att avvärja ett större haveri sattes ur funktion.

Vad som inträffade i Browns Ferry var att en elektriker provade tätheten i några kabelgenomföringar med lågan från ett ljus. Isoleringen fattade eld, ett stort antal kontrollkablar förstördes och ett antal ventiler, pumpar och fläktar som ingick i säkerhetssystemen blev utan manöverström. Tillräckligt mycket av utrustningen förblev dock manöverduglig under händelseförloppet för att reaktorerna skulle kunna ställas av.

Under några korta perioder av händelseförloppet var viktiga säkerhetssystem för bl a härdkylningen ur funktion. De åtgärder som vidtogs gav dock en säker kylning och det fanns hela tiden viss reservkapacitet tillgänglig. Sannolikheten för att haveriet gått vidare så långt som till härdsmältning uppskattades i Rasmussenstudien till högst en på hundra.

Browns Ferry-branden är ett allvarligt exempel på en händelse som samtidigt sätter normalt oberoende säkerhetssystem ur funktion (s k common mode failure). Den har också lett till att en rad åtgärder vidtagits vid befintliga installationer för att förhindra sådana händelseförlopp i framtiden.

Statistiskt sett säger dock vare sig Browns Ferry-branden eller andra säkerhetsrelaterade händelser något om rimligheten i de tidigare redovisade risksiffrorna för stora olyckor. Därtill är den sammanlagda drifttiden för stora lättvattenreaktorer fortfarande för kort.

Olycksrisker vid upparbetningsanläggningar och därtill knutna avfallslager

Upparbetning av kärnbränsle

Vi har, bl a av tidsskäl, inte funnit det möjligt att närmare studera katastrofriskerna vid någon speciell typ av upparbetningsanläggning. I själva upparbetningsprocessen cirkulerar ungefär lika mycket radioaktiva ämnen som det finns i en reaktor men vid lägre tryck och temperatur. Jämfört med en reaktor finns det därför gynnsammare tekniska förutsättningar att minska risken för en omfattande och okontrollerad spridning av radioaktiva ämnen utanför fabriksbyggnaderna.

Lagring av flytande avfall

Vid en upparbetningsanläggning kan det bli nödvändigt att lagra högaktivt avfall i form av en syralösning som måste kylas under åtskilliga år. Avfallet, som främst innehåller klyvningsprodukter, lagras i underjordiska tankanläggningar. I några fall har stora läckage förekommit från tankar av äldre typ, främst innehållande avfall från militära reaktorer. Moderna tankanläggningar har avsevärt förbättrade skyddsanordningar (jfr figur 27 på sid 102). De risker som fortfarande finns torde närmast vara

förknippade med grovt slarv eller sabotage. Skadeverkningarna av ett omfattande läckage kan dock bli allvarliga eftersom stora mängder radioaktiva ämnen då kan komma ut i mark och grundvatten. I dessa avseenden innebär det troligen mindre risker att lagra de använda bränsleelementen från lättvattenreaktorer sådana de är. Från risksynpunkt kan det alltså vara lämpligt att vänta med att upparbeta kärnbränslet tills det högaktiva avfallet i stort sett direkt kan föras över till en form som lämpar sig för slutförvaring.

Plutoniumhantering

Katastrofriskerna vid hanteringen av det plutonium som erhålls vid uppbyggnaden är av två helt skilda slag — dels olycksrisker till följd av oavsiktliga felgrepp vid plutoniumhanteringen, dels risker förknippade med terror, sabotage och okontrollerad spridning av klyvbart material för kärnladdningar. Densare gruppen av risker berör vi kortfattat i kapitel 9.

Olycksriskerna finns såväl i själva plutoniumlagret som i därtill knutna anläggningar, t ex för framställning av bränsleelement. Risken för katastrofartade skadeverkningar är främst förknippad med olyckor som kan leda till att större mängder plutonium sprids ut i atmosfären, framför allt om plutonet når tätbefolkade områden innan det spätts ut tillräckligt. Den farligaste plutoniumisotopen ger svåra skador redan vid inandning av något miljondels gram. Detta gäller plutonium-238. För andra isotoper som plutonium-239 behövs det mer plutonium för att ge samma skaderisk — omkring något tusendels gram. För att ge samma skaderisk om man får i sig plutonium med födan behövs det tusen gånger större mängder. Med den blandning av plutoniumisotoper som finns i det använda kärnbränslet blir plutonium-238 den huvudsakliga riskkällan på kort sikt. Omkring 3 600 kg plutonium-239 har hittills spritts i atmosfären genom kärnvapenprov.

Olyckor vid plutoniumhantering som leder till utspridning kan dels vara av traditionell typ som bränder etc, dels ta formen av skärkärnsolyckor. De senare inträffar om plutonium oavsiktligt sammanföres i tillräcklig mängd, koncentration och geometrisk form för att en kedjereaktion skall uppstå. Härigenom kan stora energimängder frigöras som leder till utspridning av plutonet. För att man skall få så våldsam energiutveckling som i en kärnladdning måste dock sammanföringen ske på några miljondels sekunder. Det kräver omsorgsfullt utformade sprängladdningar.

Såväl kärnolyckor som bränder etc kan förebyggas med hög grad av säkerhet genom väl kända tekniska åtgärder. Man har här erfarenheter att bygga på från den omfattande plutoniumhanteringen för militära ändamål.

De risker som ändå finns kan minskas ytterligare genom att hanteringen av plutonium och plutoniumföreningar i förhållandevis ren och koncentrerad form begränsas till uppbyggnadsanläggningens område, bl a för att undvika annat än absolut nödvändiga transporter. Om man väljer att upparbeta kan och bör det plutonium som erhålls direkt återanvändas som kärnbränsle. Även då får man vissa restmängder av plutonium och andra transuroner att ta hand om tillsammans med det högaktiva avfallet (s 106).

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att föreliggande underlag inte ger

möjlighet till någon mer inträngande värdering av risken för stora olyckor vid upparbetning av kärnbränsle och den hantering av plutonium och mellanlagring av högaktivt avfall som sker i anslutning till upparbetningen. Vi har dock kunnat konstatera att andra studier av riskerna i dessa processled i allmänhet fäst större vikt vid annat än rent tekniska risker vid anläggningarna. Man pekar sålunda i första hand på risken för kärnvapenspridning och risken för att plutonium kan användas i terrorysyfte. När det gäller de tekniska riskerna har man främst sett till de stora lagren av högaktivt avfall i flytande form.

Olycksrisker vid bldreaktorer

Vi har ansett det motiverat att kort beröra haveririskerna vid bldreaktorer. Ett skäl härtill är att bldreaktorns förespråkare ser den som ett naturligt komplement och på sikt ersättare till nuvarande reaktortyper. På grund av skillnaderna i konstruktion kan man vänta sig annorlunda typer av haveririsker vid bldreaktorer än vid lättvattenreaktorer. Det finns dock ej anledning att här gå in på en mer ingående diskussion om dessa haveririsker. Vi hänvisar i denna fråga till Flowerskommissionen. Den konstaterade bl a att nuvarande försöksprogram först om några år torde ge väsentligt förbättrade kunskaper om vissa kritiska frågor rörande bldreaktorernas säkerhet. Hit hör främst möjligheterna att behärska händelseförlopp som skulle kunna leda till en okontrollerad kedjereaktion i reaktorhärden och till att bldreaktorhärden helt eller delvis förångas. En sådan händelse innebär risk för avsevärt allvarligare skador än härdsmältning i en lättvattenreaktor, eftersom en bldreaktor innehåller flera gånger mer plutonium och andra transuraner än en lättvattenreaktor av motsvarande storlek. Flowerskommissionen uppger att skadorna vid ett stort bldreaktorhaveri skulle kunna bli tio till hundra gånger större än vid ett stort haveri i en lättvattenreaktor. Därför menar man att bldreaktorer knappast kan komma i fråga för omfattande kommersiellt bruk om man inte mycket övertygande visat att dessa säkerhetsfrågor har lösts.

Exempel på riskvärderingar

De föregående avsnitten har visat att användningen av alla energislagen — vattenkraft, olja, naturgas, kol och kärnkraft — är förknippad med risker för mycket stora olyckor av ett eller annat slag. Osäkerheten i riskuppskattningarna är stor. Bl a kommer avsiktligt eller oavsiktligt mänskligt felhandlande, t ex vid tillverkning och kontroll av olika säkerhetsanordningar, in som en svårbedömbär riskfaktor. Det är dock sannolikast att händelsekedjor som man förbisett i riskuppskattningen i första hand visar sig i form av olyckor med förhållandevis begränsade följdverkningar. Denna bedömning stöder sig på att statistik över olika olyckstyper visar att det allmänt är långt sannolikare med små tillbud än stora olyckor. Det går också ofta att bedöma vilken betydelse ej förutsedda typer av tillbud kan ha från risksynpunkt eftersom slutleden i de händelseförlopp som kan leda till stora skador, t ex oljebränder, utsläpp av radioaktiva ämnen, i allmänhet är någorlunda väl kända.

I inledningen till kapitlet framhöll vi att det knappast finns någon allmänt godtagen metod för att värdera och jämföra risker av typ mycket små och osäkra sannolikheter för stora skadeverkningar. Olika människor

kan ha helt olika uppfattning. Sättet att presentera och jämföra risker kan också skapa helt olika intryck. Detta visar exemplen i nedanstående faktaruta som alla bygger på tidigare redovisade risksiffror från kärnkraftområdet. Bl a mot bakgrund av dessa exempel anser vi det väsentligt med en allsidig diskussion kring olycksrisker, där fakta, osäkerheter och värderingar redovisas klart.

Vi har inte funnit det motiverat att gå in på en egen värdering av vad som är rimliga risker för svenskt vidkommande, bl a med hänsyn till de ytterligare riskuppskattningar som håller på att tas fram genom energikommissionens försorg. Vi avslutar i stället detta kapitel med att redovisa

Olika sätt att presentera i stort sett samma olycksrisker

31

Denna faktaruta avser endast belysa hur olika sätt att presentera och jämföra risker kan skapa helt olika intryck och hur vanskligt det kan vara att jämföra risker av helt olika typ.

- Sannolikheten för en stor olycka i en kärnreaktor är mindre än en på en miljon år. — Denna sannolikhet framstår onekligen som liten i jämförelse med sannolikheten för de flesta andra olyckor. Samtidigt måste vi komma ihåg att sannolikheten en på en miljon år inte innebär att olyckan troligen inträffar först om en miljon år. Drivs reaktorn i 20 år är det troligast att det inte inträffar någon olycka. Om en olycka faktiskt skulle inträffa är det dock i stort sett lika troligt att den sker under vilket som helst av dessa 20 år.
- Om vi driver 10 kärnkraftaggregat kommer riskbidraget från olyckor att sannolikt understiga ett dödsfall i genomsnitt per år. — Detta bidrag framstår onekligen som mycket litet jämfört med vad andra olyckor i t ex vägtrafiken kräver per år.
- Ett kärnkraftaggregat kan ge upphov till en olycka med många tusen dödsoffer. — Den maximala omfattningen av en kärnkraftolycka framstår onekligen som stor i jämförelse med de flesta andra olyckor, t ex flygolyckor eller bränder.
- Om vi driver 10 kärnkraftaggregat i 20 år har sannolikheten uppskattats vara ca en tusendels procent för en ytterst allvarlig olycka med många tusen dödsoffer. Flertalet dödsoffer vid en sådan olycka krävs troligen i form av en ökning av antalet cancerfall med något eller några hundratal per år under några tiotal år. En ytterst pessimistisk övre gräns för osäkerheten i riskuppskattningen utgörs av en sannolikhet på en procent för en sådan olycka under dessa 20 år. Omfattningen av en sådan olycka framstår fortfarande som stor. Fördelningen av skadeverkningarna över tiden framgår dock klarare i denna beskrivning, liksom osäkerheten i riskuppskattningarna. Detta kan ha betydelse om man t ex vill jämföra med "säkert" kända risker i samhället. I Sverige är t ex sannolikheten nära 100 procent för att vi får ca 2 000 fall per år av lungcancer, varav troligen minst 1 500 från rökning, och ca 1 000 omkomna per år i trafiken.

några riskvärderingar som lagts fram i ett par uppmärksammade utländska studier.

Den första återfinns i rapporten Nuclear Power and the Environment, utgiven av den s k Flowerskommissionen i Storbritannien. Kommissionen konstaterade bl.a.

”Det föreligger sålunda motstridiga uppfattningar om reaktorsäkerhet. Det finns de som tror att man kan finna tekniska lösningar som säkerställer att riskerna för allvarliga olyckor nedbringas till godtagbara och försumbara nivåer. Det finns andra som tror att en godtagbar säkerhet aldrig kan garanteras därför att de tänkbara skadeverkningsarna är så stora och därför att det aldrig går att bortse från att människor kan begå fel när de skall utforma säkerhetssystem som klarar varje tillbud. Det är svårt att se hur dessa synsätt skall kunna ensas a priori. De kontakter som vi har haft med kärnkraftindustrin under vår utredning har inte lämnat oss i något tvivel om att största skicklighet och uppmärksamhet ägnas åt säkerheten när det gäller att konstruera, bygga och driva reaktorer. Det är emellertid en vardaglig erfarenhet att inte alla tänkbara händelser kan förutses ens när de strängaste försiktighetsåtgärder har vidtagits.”

Kommissionen ger några exempel på sådana händelser, bl.a. branden i Browns Ferry-anläggningen, och fortsätter:

”Det är förvisso klart att de oväntade riskerna inte nödvändigtvis är små.

Inte desto mindre måste man ta ställning i denna fråga. Argumentet om den mänskliga benägenheten att fela skulle, om det pressas för långt, sätta en godtycklig och otillbörligt återhållande gräns för teknisk utveckling. Det är ett absolut krav att man även i fortsättningen har den mest stränga tillämpning av säkerhetsteknik vid konstruktion och drift av reaktorer. Med hänsyn till den tyngd säkerhetsfrågorna har inom kärnkraftområdet, den måttfulla och försiktiga inställningen till fortsatt utveckling, och omfattning av de försiktighetsåtgärder som vidtas vid konstruktionen för att begränsa följdverkningsarna av möjliga fel, tvivlar vi inte på att risken för en allvarlig olycka i en enskild reaktor är ytterligt liten. De skaderisker som reaktorolyckor ger upphov till förefaller oss förvisso inte unika till omfattningen och av sådant slag att det finns skäl att föreslå att kärnkraften skulle avskaffas enbart av detta skäl, ehuru de möjliga verkningsarna av tänkbara olyckor och de osäkerheter som är förknippade med att uppskatta och värdera riskerna helt klart är faktorer som bör vägas in vid beslut om kärnkraften, liksom för vilken annan teknisk utveckling som helst. Vi noterar här att i och med att antalet reaktorer som är installerade på olika håll i världen ökar så ökar också risken. En större olycka som leder till exempelvis flera hundra döda och materiella skador för miljarder kronor skulle förvisso gå att återhämta sig från även om den innebär en nationell katastrof, men den skulle kunna ha förödande följder för kärnkraftindustrin. Det förefaller troligare att sådana olyckor inträffar i mindre utvecklade länder som har föga av teknisk infrastruktur eller tradition, men återverkningsarna i Storbritannien och på andra håll skulle fortfarande kunna bli avsevärda. Detta är en synpunkt som behöver tas i beaktande när man överväger en strategi inom kärnkraftområdet.”

Den andra riskvärderingen återfinns i den tidigare citerade rapporten Nuclear Power Issues and Choices från en amerikansk forskargrupp. De skriver

”Vid en sammanvägning har vi kommit till den slutsatsen att riskerna förknippade med kärnkraftolyckor kan godtas därför

att det uppskattade, genomsnittliga antalet skadefall per år är fördelaktigt i jämförelse med motsvarande antal skador förknippade med konkurrerande teknik som bygger på fossila bränslen

att följdverkningarna av en ytterst allvarlig olycka inte ligger utom ramen för andra fredstida katastrofer som vårt samhälle har kunnat hantera

att en övre gräns som inte i sig är oacceptabel kan sättas för sannolikheten att ytterst allvarliga kärnkraftolyckor inträffar.

Emellertid kan man vänta sig att antalet reaktorer ökar. Även om den nytta vi drar av kärnkraften ökar i motsvarande grad bör sannolikheten för en ytterst allvarlig olycka inte tillåtas öka lika mycket. Därför bör det göras fortlöpande insatser för att förbättra den verkliga reaktorsäkerheten. Det är inte nog med att bara visa att befintliga reaktorkonstruktioner uppfyller de föreskrifter som kan utfärdas i framtiden och att kraftfullt se till att befintliga bestämmelser efterlevs.”

Både Flowerskommissionen och den amerikanska forskargruppen anser sålunda att man genom en kombination av teknik, organisation och utbildning — som ständigt förbättras — kan hålla olycksriskerna vid kärnkraftverk nere på en rimligt låg nivå. Troligen går här en skiljelinje gentemot andra värderingar — en skiljelinje som inte går att lösa upp med allmer exakta riskuppskattningar. Som bl a framgår av det redovisade uttalandet av Flowerskommissionen finns det de som anser att den enda rimligt säkra vägen är att helt avstå från kärnkraft och annan lika komplicerad storskalig teknik. Samhällets förmåga att undvika stora olyckor bör enligt dem som företräder denna uppfattning inte vara beroende av kunnandet och kvalitetsmedvetandet hos ett litet antal kvalificerade tekniker och arbetare inom ett visst område, t ex kärnkraftindustrin. Därmed blir det för många med denna uppfattning fråga om ett i flera avseenden annorlunda samhälle än det vi har i dag.

Litteraturhänvisningar utöver underlagsrapporter och bakgrundsdokument (se appendix 2)

Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, WASH-1400 (NUREG 751014), U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington D.C. (1975).

Reactor Safety Study (WASH-1400): A Review of the Final Report, EPA-520/3-76-009, U.S. Environment Protection Agency, Washington, D.C., (1976).

Accidental Oil Pollution of the Sea, Pollution Paper No 8, Department of the Environment, Central Unit on Environmental Pollution, Her Majesty's Stationery Office, London (1976).

Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall, del 1—2.

Betänkanden av AKA-utredningen (SOU 1976:30—31) jämte remissyttranden.

Nuclear Power and the Environment. Sixth Report of the Royal Commission on Environmental Pollution (Chairman: Sir Brian Flowers). Cmd 6618, Her Majesty's Stationery Office, London (1976).

Nuclear Power Issues and Choices. Report of the Nuclear Energy Policy Study Group. Ballinger Publ. Co. Cambridge, Mass., (1977).

E Drake, R C Reid, The Importation of Liquefied Natural Gas, Scientific American, Vol 236, No 4, sid. 22—29 (april 1977).

Uhellsrisiko. Preliminär rapport utarbetad av Det Norske Veritas på uppdrag av Kjernekraftutvalget.

Reaktorsäkerhetsstudie Del 1—2.

Statens kärnkraftinspektion, Stockholm (juni 1977).

Spridning av kärnladdningar Terrorism

Risken för att allt fler nationer skaffar sig egna kärnladdningar och risken för att kärnladdningar utnyttjas i terroryfte av enskilda grupper är två skilda problem. Därför behandlas de lämpligen var för sig. En ingående analys av dessa frågor faller utanför ramen för vårt uppdrag. För fullständighetens skull redovisar vi dock en mycket översiktlig bild av dessa problemområden.

Risker för terror, sabotage och utpressning

Det plutonium som normalt erhålls vid upparbetning av kärnbränsle från kraftproducerande lättvattenreaktorer är av en typ som inte lämpar sig särskilt väl för användning i kärnladdningar. Primitiva laddningar med en sprängverkan motsvarande något tusental ton trotyl kan dock framställas enligt bedömningar av kärnladdningsexperten. I det använda kärnbränslet förekommer emellertid plutoniet tillsammans med de starkt radioaktiva klyvningsprodukterna. Detta gör plutoniet mycket svåråtkomligt. Först efter upparbetning kommer det att finnas tillgång till plutonium i förhållandevis ren form, åtminstone inom upparbetningsanläggningen. Det kommer att ligga i alla staters intresse — även deras som har eller vill skaffa sig kärnvapen — att ha en lika hård kontroll över detta plutonium som över militära kärnladdningar och de typer av klyvbart material som används för att framställa sådana laddningar.

Mot den bakgrunden menar många bedömare att det inte kommer att vara svårare att bemäktiga sig färdiga militära kärnladdningar eller råvaran till dessa, vilket bör vara mer lockande för terrorgrupper. Visserligen är principerna för att konstruera kärnladdningar rätt allmänt tillgängliga. Man bör dock inte underskatta de praktiska svårigheterna för en liten grupp som vill framställa kärnladdningar i det fördolda. Om gruppen måste arbeta med förhållandevis primitiv utrustning är det stor risk för olyckor som i första hand drabbar gruppen själv. Man hänvisar också till det arbete på bättre bevakning och fysiskt skydd av klyvbart material som pågår inom ramen för det internationella atomenergiorganet i Wien (IAEA).

Andra bedömare menar att riskerna för att klyvbart material används i terroryfte ändå ökar, särskilt ifall plutoniumhaltigt, icke bestrålat kärnbränsle i en framtid skulle bli en energiråvara, föremål för omfattande internationell handel och transport. Man hänvisar till att en världsomfattande utbyggnad av kärnkraften med upparbetning av bränslet kommer att leda till att hundratals ton plutonium måste tas om hand varje år medan det bara krävs något eller några tiotal kilo för en kärnladdning.

Vissa bedömare har också pekat på att kärnkraftanläggningar allmänt

ökar samhällets sårbarhet för utpressning och terror. Detta skulle i sin tur ha icke önskvärda sociala följder bl a i form av behov av ökad kontroll av den enskilda individen. Andra bedömare menar att kärnkraftanläggningar inte i unik eller avgörande grad påverkar det moderna samhällets sårbarhet — det finns så många enklare sätt för grupper och enskilda att utöva hot och terror, som i så fall är styrande för behovet av kontroll. Dessa bedömare pekar också på att flera länder nu i årtionden hanterat klyvbart material och kärnladdningar för militärt bruk utan att detta haft någon påvisbar följd för samhällsutvecklingen.

Risker för att fler länder skaffar sig kärnladdningar

Det uran som finns i kärnbränslet till en lättvattenreaktor kan inte användas till kärnladdningar. För sådana ändamål måste uranet anrikas till en avsevärt högre halt av den klyvbara isotopen uran-235. I reaktorn bildas emellertid som nämnts också plutonium som kan användas till kärnladdningar, om det utvinns ur det använda kärnbränslet genom upparbetning.

De mest kritiska stegen i kärnbränslets processkedja är sålunda anrikningen av uran och upparbetningen av kärnbränsle. Den stat som förfogar över egna sådana anläggningar av endera typen har skaffat sig teknisk handlingsfrihet att på förhållandevis kort tid skaffa egna kärnladdningar. Därför har det också — bl a som ett led i den nya amerikanska energipolitiken — rests krav på förbud mot export till enskilda stater av sådana anläggningar liksom av tekniskt kunnande kring processerna. Man förordar i stället en internationalisering av anläggningar för anrikning och upparbetning av kärnbränsle för civila kraftreaktorer.

Det anses vidare troligt att en stat som beslutat skaffa sig kärnladdningar i första hand vill använda s k vapenplutonium och inte det plutonium som normalt erhålls ur kraftproducerande lättvattenreaktorer. Vapenplutonium kan visserligen i princip framställas i en kraftreaktor av kommersiell typ men det blir i allmänhet både enklare och billigare för en stat att bygga en särskild reaktor för ändamålet. Det kan också ske minst lika obemärkt — reaktorn kan ju t ex betecknas som forskningsreaktor som var fallet i Indien. Under alla förhållanden krävs som redan nämnts åtminstone en liten upparbetningsanläggning.

För att en stat avsevärt skall öka sina möjligheter att skaffa sig kärnladdningar krävs således medvetna politiska beslut som antingen skulle starkt påverka den tekniska utformningen av ett civilt kärnkraftprogram eller ta formen av ett särskilt militärt program. Många menar därför att enbart tillgången till kraftproducerande reaktorer av kommersiell typ inte nämnvärt ökar en stats möjlighet eller benägenhet att skaffa sig kärnladdningar. Tvärtom ökar det möjligheterna till internationell insyn och kontroll på grund av att bränsleförsörjningen måste ske utifrån. Andra menar att ett totalstopp för civil kärnkraft är nödvändigt för att undvika en omfattande spridning av kärnladdningar, särskilt om inte de internationella förhandlingarna om nedrustning skulle minska det politiska intresset för en rad stater att skaffa sig sådana laddningar.

rande internationella läge vad gäller kärnvapenrustningar finns starka skäl för en avsevärt skärpt internationell kontroll av klyvbart material för civila ändamål, samt starkt förbättrad bevakning och fysiskt skydd av sådant material. Därtill har det framförts önskemål om att kärnvapenmakterna förbättrar bevakningen av sina kärnladdningar.

Vidare föreligger behov av ökad anslutning till icke-spridningsavtalet (NPT= Non Proliferation Treaty) liksom av kompletterande bestämmelser om kontroll, bevakning och exportvillkor.

Litteraturhänvisningar utöver underlagsrapporter och bakgrundsdokument (se appendix 2)

Jan Prawitz, Is Nuclear Power Compatible with Peace? i Facing up to Nuclear Power, St Andrew Press, Edinburgh (1976).

Nuclear Power and the Environment. Sixth Report on the Royal Commission of Environmental Pollution (Chairman: Sir Brian Flowers). Cmd 6618, Her Majesty's Stationery Office, London (1976).

Nuclear Power Issues and Choices. Report of the Nuclear Energy Policy Study Group. Ballinger Publ. Co. Cambridge, Mass., (1977).

Hälso- och miljöverkningar av övriga energislag

I detta kapitel skall vi gå igenom energislagen torv, ved och energiskogar, oljeskiffer, jordvärme, solenergi, vindenergi och vattenkraft. Hur fungerar de tekniskt? Vilka blir hälso- och miljöeffekterna när man använder dem? Några av de uppräknade energikällorna är på ett idé- eller inledande forskningsstadium. Andra befinner sig under utveckling. För några av dessa finns erfarenheter av drift i större skala. För många av dessa energislag är det i dag svårt att uppskatta vilka hälso- och miljöeffekter de har.

För genomgången i det här kapitlet kan vi inte använda samma enhetliga metod som vi använt på kärnkraft, kol, olja, gas och vattenkraft, där verkningarna på hälsa och miljö hänfördes till ett kraftverk på 1 000 MW elektrisk energi. Medan t ex torv kan tänkas användas som bränsle i stora kraftverk, kan energiskogar och oljeskiffer användas för att få fram andra typer av bränslen. Dessa blir värdefullast som drivmedel för exempelvis bilar. Solenergi och jordvärme utnyttjas för lokaluppvärmning — inte för elproduktion till det allmänna nätet.

För de energikällor som bäst används enbart för uppvärmning kan vi jämföra med den värmemängd man kan få ut ur ett årsbehov bränsle för ett olje- eller koleldat kondenskraftverk på 1 000 MW, dvs ca 15 TWh värmeenergi. Som jämförelse kan nämnas att uppvärmningen av hela Storstockholmsområdet år 1985 beräknas kräva 17–19 TWh per år. På detta sätt kan man bilda sig en uppfattning om i vilken grad inverkan på hälsa och miljö förändras om man värmer upp hus med t ex solfångare i stället för olja eller el.

Torv

Ett torveldat kraft- eller värmeverk skiljer sig tekniskt inte mycket från ett koleldat, bortsett från vissa anordningar för bränslehanteringen. Torveldade kraft- och värmeverk finns också i drift på flera håll utomlands.

Så stora anläggningar som 1 000 MW kan knappast bli aktuella för Sveriges del, men det kan ändå vara intressant att jämföra med en årsproduktion på ca 15 TWh värmeenergi.

Torvutvinning

För att framställa 15 TWh värme per år går det åt 20–25 miljoner m³ torv i löst mått. Man kan bara utvinna en viss mängd torv per hektar varje år, eftersom torven skall hinna rinna av och torka. Därför måste stora ytor av torvmossar bearbetas samtidigt. För 15 TWh värme per år rör det sig om 200 km². En sådan areal förbrukas på 10–15 år.

Med en normal livslängd på kraft- eller värmeverken, och med 15 TWh värme per år, får man räkna med att 500 km² mossmark måste exploateras. Eftersom återväxten är ca en mm per år, innebär det ett bestående ingrepp i naturen. Torven måste hämtas i ett koncentrerat område nära kraft- eller värmeverkan — längre transporter är omkring 10 mil för ett så skrymmande ämne som torv vill man undvika.

Verkningarna för djur- och växtliv blir stora av ett sådant ingrepp. Dessutom påverkas yt- och grundvatten och förmodligen även det lokala klimatet.

Rökgaser och aska

I flera avseenden kan man jämföra rökgasutsläppen från torvkraftverk med utsläppen från kolkraftverk. En skillnad är att torv inte innehåller mycket svavel, varför man inte behöver avsvavla rökgasen. Däremot behöver man stoftavskiljare, eftersom askmängderna blir stora. Totalt får man ungefär lika mycket aska från torv som från kol — en kvarts miljon ton per 15 TWh värme.

Metallhalten är i regel låg i torv, men det finns undantag. Lokalt kan metallhalten bli hög eftersom metaller kan anrikas i torv efter att ha lakats ut ur mark och berggrund.

Arbetsmiljö

Några speciella sjukdomsrisker är inte knutna till utvinning och användning av torv. Antalet yrkesskador kan dock bli högt eftersom stora materialmängder skall hanteras. För en årsproduktion på 15 TWh värme kan antalet skadefall uppskattas till 20—250, varav något dödsfall. Osäkerheten i riskuppskattningen är liksom vid kol främst knuten till transportererna. Liksom vid andra bränslen får man räkna med att transportererna innebär en inte helt försumbar risk för skador bland allmänheten till följd av trafikolyckor (se kapitel 5).

Ved och energiskogar

För 15 TWh värme går det åt omkring 4,5 milj ton lufttorr brännved eller ca nio milj m³ skog. Det forskas för närvarande kring snabbväxande sälg eller poppel som energiråvara. Sådana "minirotations-skogsbruk" skulle bedrivas på myr- och våtmarker och nedlagd jordbruksmark. Bl a med hänsyn till uppodlings- och tillväxttiden kan de knappast spela någon större roll förrän tidigast på 1990-talet.

Förmodligen krävs ca 2 000 km² sådana odlingar för att ge ca 15 TWh värmeenergi per år. I Sverige beräknas omkring 10 000 km² mark vara tillgänglig för den här typen av odlingar. Det behövs fortsatt forskning för att bedöma odlingarnas inverkan på växt- och djurliv, jordmån, grundvatten m m, inte minst med tanke på att det krävs förhållandevis kraftig konstgödsling som bl a kan ge hög halt av nitrater i grundvattnet.

Rökgasutsläpp

Vid vanlig förbränning av ved eller skogsbiomassa från energiskogar är pro-

blemen med rökgas och aska ungefär samma som för torv. I rökgasen förekommer polycykliska kolväten som bens(a)pyren, men liksom vid eldning med fossila bränslen är osäkerheten stor om hur mycket som släpps ut i luften. Det är troligt att biomassan i viss utsträckning används till miljövänligare, gasformiga eller flytande bränslen och inte direkt som bränsle.

Förbränning av ved och biomassa ger på lång sikt inget tillskott av koldioxid till atmosfären — koldioxiden tas nämligen upp igen vid återväxten.

Arbetsmiljö

Skogsavverkning med traditionella metoder innebär stora risker för yrkesskador. Att avverka ved för 15 TWh värme kan väntas medföra uppåt 1 300 yrkesskador, varav omkring tre dödsfall. Energiskogar måste troligen avverkas med speciella maskiner, vilket sannolikt minskar skaderisikerna — hur mycket är svårt att uppskatta.

Oljeskiffer

Oljeskifferar finns i Sverige främst i Västergötland, Östergötland, Närke och på Öland. Totalt uppskattas energiinnehållet motsvara tre miljarder ton olja. Det är svårt att utnyttja denna energi, eftersom mycket stora skiffermängder måste brytas.

Om oljeskiffers värmevärde utnyttjas helt, måste omkring sju miljoner ton skiffer brytas för att utvinna 15 TWh värme. Det är förmodligen inte lönsamt att använda skiffern bara som bränsleråvara. Man bör också ta tillvara de metaller som finns i skiffern — uran, aluminium, molybden och vanadin. Faktaruta 26 på s 178 beskriver miljöeffekterna vid skifferbrytning närmare.

Skiffers värmevärde kan utnyttjas antingen genom direkt förbränning eller genom att man utvinnet flytande och gasformiga bränslen. Problemen med luftföroreningar beror på vilken teknik som används, men under alla förhållanden behövs omfattande reningsåtgärder. Ett av de största problemen är att skiffern innehåller 6—7 procent svavel — en relativt hög halt.

Hanteringen av aska och andra restprodukter kan också innebära stora problem genom att metaller och andra föroreningar förhållandevis lätt lakas ur. Eftersom svensk skiffer ofta innehåller uran bör askan med hänsyn till strålriskerna inte användas som byggnadsmaterial.

Arbetsmiljöproblemen vid skifferbrytning beskrivs på s 165. I övrigt liknar arbetsmiljöproblemen dem som finns vid kolkraftverk och tung kemisk industri.

Jordvärme

Även om vissa inledande studier gjorts, vet man mycket litet om tillgången på jordvärme i Sverige. Det är troligt att den lämpligaste tekniken skulle vara att cirkulera vatten genom borrhål och sprickor i varma partier i berget. Sådan värme används bäst till uppvärmning av lokaler och

liknande. På detta sätt skulle det möjligen gå att utvinna några TWh per år på 1900-talet — men då behövs troligen flera hundra anläggningar. Osäkerheten i denna uppskattning är mycket stor.

För att få korta rörledningar vill man troligen borra hålen i bebyggda områden. Det rör sig om många, flera tusen meter djupa borrhål, oftast i hårda bergarter. Det ger olägenheter, främst buller, under anläggningskedet. Teknik för sådan borrning är ej heller utprovad.

Under normal drift cirkulerar vatten i berggrunden i ett slutet system med värmeväxlare som värmekälla till ett distributionssystem för uppvärmning. Man får nämligen räkna med att vattnet kan ta upp salter och gaser, t ex svavelväte, och även radioaktiva ämnen som radon från berget. Dessa ämnen bör av både tekniska och miljömässiga skäl inte släppas vidare i fjärrvärmesystemet.

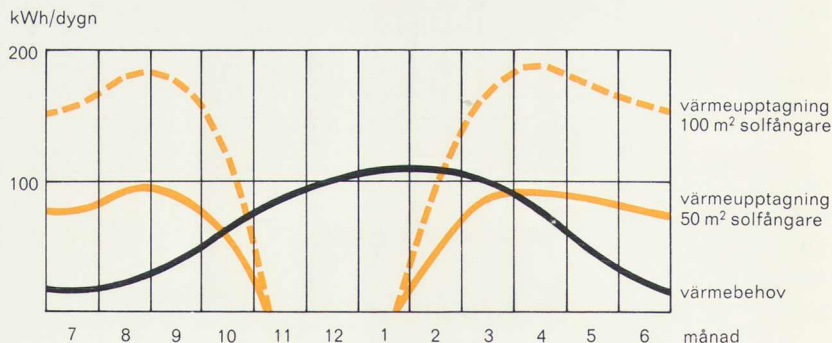
Vid brott i rörledningar skulle det eventuellt förorenade vattnet dock kunna komma ut och skada yt- och grundvatten eller förorena luften. Hur mycket salter och gaser som löses ut i vattnet beror på berggrunden och varierar från fall till fall. I vissa fall kan också utvinningen av jordvärme ge risk för sättningar i marken. Totalt sett verkar ändå jordvärme ge små hälso- och miljöeffekter under normal drift jämfört med t ex bränslen.

Solenergi

Ett sätt att ta till vara solenergi är att använda en solugn. I denna samlas solljuset med hjälp av speglar. Värmet i ugnen får alstra ånga som i sin tur kan driva en turbogenerator som ger elkraft. Solugnen är knappast lämpad för svenska väderförhållanden. Det är ofta molnigt, och man måste kunna ta till vara diffust solljus. Energi härifrån kan användas för uppvärmning av bostäder och andra lokaler. Så kallade solfångare ligger närmast till hands att användas i Sverige. Fotoelektriska celler av halvledartyp kan också utnyttja diffust solljus. De omvandlar solljusets energi direkt till elenergi.

Solfångare för uppvärmning

Principen för en solfångare förklaras i faktaruta 32. Solfångare av den ty-



Figur 37. Infångad solenergi för vertikal, södervänd solfångaranläggning i Stockholmsområdet jämfört värmebehov för "normalvilla".

Källa: E Isfält: Förutsättningar för solvärmesystem. Inst för uppvärmning och ventilation, medd. nr 62, Stockholm 1975.

pen finns i handeln. Det pågår också en ganska omfattande försöksverksamhet om hur man kan använda solfångare i olika typer av hus. Figur 37 visar hur mycket värme en solfångare beräknas ta till vara under olika delar av året.

Figur 37 visar också att det är möjligt att klara värmebehovet hos en normalvilla under ett år med hjälp av en måttligt stor solfångare — förutsatt att man kan lagra värme från sommar till vinter. Med den teknik och de energipriser man har i dag är detta inte ekonomiskt möjligt för enskilda småhus. Det är tänkbart att kostnaderna kan bli rimliga om man gör mycket stora lager, gemensamma för många hus.

Solvärme för bostadsuppvärmning och varmvattenproduktion kan i framtiden ge stora möjligheter till besparingar — särskilt i kombination med bättre isolering. Uppskattningsvis skulle utrymmet för bränslebesparing genom solfångare vara 29 TWh per år i mitten av 1980-talet. Om man med hjälp av säsongslagring skulle kunna klara hela värmebehovet, även för

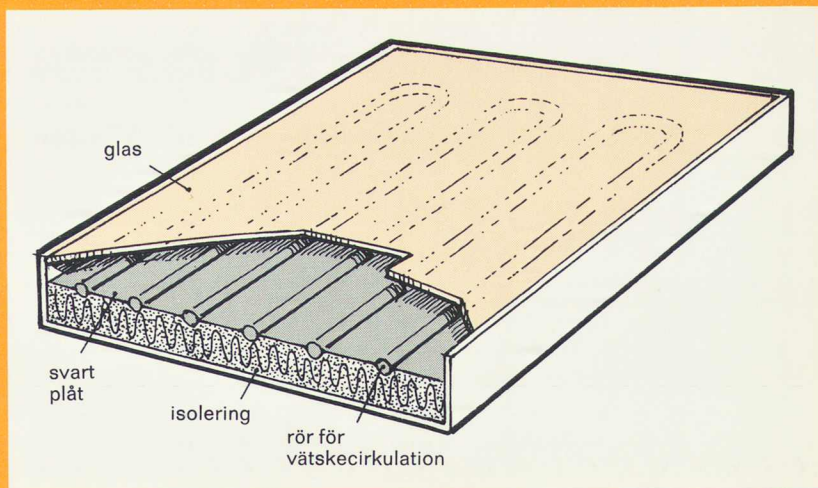
Solfångare

32

En solfångare består av ett eller flera fönsterglas som vardera släpper igenom ca 90 proc av solstrålningen. Under glaset finns en svart plåt som blir varm och sänder ut värmestrålning.

Glasrutan ovanför plåten hindrar 90 proc av värmestrålningen från att slippa ut. Under plåten finns isoleringsmaterial som stoppar värmeförluster den vägen. I plåten sitter rör där värmets tas tillvara genom att man låter vatten eller någon annan vätska cirkulera genom dem.

Den här typen av solfångare fungerar både för riktad och spridd strålning. Grundprincipen har utvecklats på många sätt och med många förbättringar.



Principiell uppbyggnad av solfångare.

varmvatten, skulle besparingsmöjligheterna kunna vara avsevärt högre — en uppskattning ligger på 76 TWh per år. Dessa beräkningar visar bara vad som vore möjligt, inte vad som vore ekonomiskt försvarligt — det kommer att bero på prisutvecklingen på solfångare och på bränslen. En del av värmebehovet kan också komma att sparas in på annat sätt, t ex genom bättre värmeisolering av hus.

Om vi skulle gå över till att värma upp de svenska hushållen med hjälp av solfångare, måste naturligtvis bostäderna byggas om. Det gör det svårt att få överblick över kostnaderna, men det är inte osannolikt att solfångare kan bli ganska konkurrenskraftiga med tanke på stigande kostnader för andra alternativ för uppvärmning (t ex olja) i framtiden.

Solfångaren är en ren vinst från hälso- och miljösynpunkt. Föroreningarna från värme- och kraftverk kan minskas samtidigt som solfångaren i sig innebär en miljö- och hälsovänlig teknik. Den kan också göras arkitektoniskt tilltalande, särskilt om den byggs in i nya hus. En möjlig risk skulle kunna ligga i tillsatser i vätskan som värmen tas upp i.

Yrkesskaderiskerna för tillverkning och installation kan jämföras med andra arbeten inom verkstads- och byggnadsindustrin. Vid underhåll av takmonterade solfångare finns det risk för olycksfall, som dock är svåra att uppskatta.

Solceller

Solcellen är ett halvledarelement. Cellen avger elektrisk ström när den träffas av ljus. På grund av vissa tekniska begränsningar kan man i allmänhet inte räkna med att mer än 15—20 procent av solenergin förvandlas till elektrisk energi. I Sverige skulle man kunna få fram 200 kWh per m² solcellyta varje år. Försvarliga mängder energi skulle alltså kunna framställas på det här sättet, men det är oklart hur mycket det kommer att kosta. I dag är halvledarelementen mycket dyra, men många räknar med att tillverkningskostnaderna kan pressas ned drastiskt på sikt.

Tekniken är hälso- och miljövänlig, jämförbar med solfångarna. I vissa typer av solceller kan det dock finnas giftiga ämnen som kadmiumsulfid. Det ställer krav på arbetarskydd vid både tillverkningen och skrotningen. Kadmium får inte spridas okontrollerat i miljön.

När solstrålningen är låg måste energibortfallet ersättas på något sätt. Det innebär att solcellen måste kompletteras med andra anläggningar. Detta måste tas med i bilden. Kostnaderna härför, liksom hälso- och miljöeffekterna, diskuteras närmare under rubriken vindenergi.

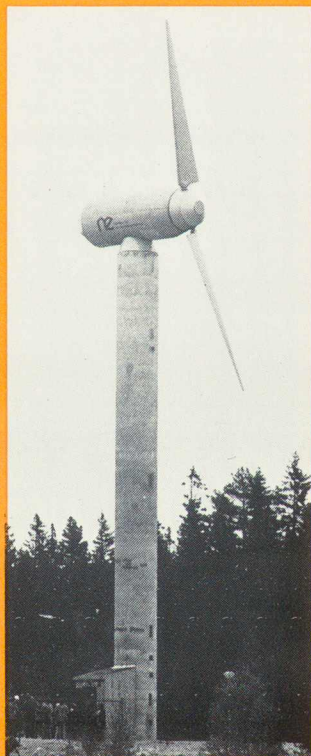
Vindenergi

Vindenergin tillvaratar man genom att bromsa upp vinden i en vindturbin. Den kan utformas så att den liknar en stor propeller med vågrät axel (se bild i faktaruta 33). Man brukar använda ordet propeller enbart för framdrivningsanordningar medan turbin är en anordning som tar upp energi. Det finns också andra typer. De sk Darrieusrotorerna har t ex lodrät axel. I en vindturbin kan man teoretiskt fånga upp högst 60 procent av vindens rörelseenergi. I praktiken har de bästa anläggningarna hittills kunnat ta ut 30—40 procent av vindenergin.

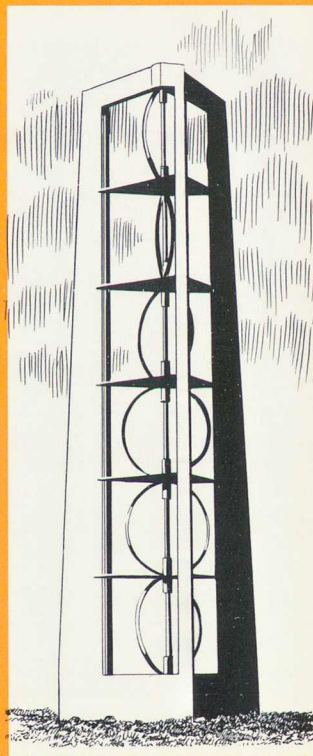
Den konventionella vindturbinen med horisontell turbinaxel är idag bäst utvecklad. Det försöksaggregat som finns i norra Uppland har två slanka turbinblad med 18 meters diameter. Trots att bladen bara täcker tre procent av den svepta ytan får man ut 70–80 procent av den teoretiskt utvinningsbara energin.

Om turbinen har flera blad blir den något effektivare, men normalt lönar det sig inte att sätta på fler blad. Vinden kostar inte pengar, men bladen står för en stor del av kostnaderna vid ett vindkraftaggregat. Man får då se till att få ut en viss mängd energi till lägsta möjliga totala kostnad.

Till andra typer av vindturbiner verkar det idag gå åt mer material än till den modell vi har beskrivit här. Anläggningskostnaderna blir förmodligen högre, och därmed höjs också kostnaderna per utvunnen kilowattimme. Det är möjligt att ett fortsatt utvecklingsarbete kan ändra den bedömningen.



Nämndens för energiproduktionsforskning 50 kW försöksaggregat, byggt av Saab Scania. Anläggningen som ligger i norra Uppland togs i drift 1977.



Idéskiss till vindkraftverk med 6 st s k Darrieusrotorer på en lodrät axel. Anläggningen skulle bli 60 m hög.

Det är viktigt att välja blåsiga platser för vindkraftaggregaten eftersom vindenergin ökar snabbt då vinden ökar, nämligen med kuben på vindhastigheten. Det betyder att man får ut åtta gånger mer energi om vindstyrkan fördubblas från sex meter per sekund (frisk bris) till tolv meter per sekund (hård bris). Det lönar sig vidare att placera vindturbinerna högt. Vid kusterna t ex är vindenergin i allmänhet drygt tre gånger så stor på hundrars meters höjd som på tio meters höjd.

Möjligheter att använda vindkraft

För att få så mycket energi som möjligt av de vindkraftaggregat man bygger bör dessa placeras i de blåsiga områdena. Sådana trakter är västkusten, Skåne, norra Uppland, Öland och Gotland samt ett område öster om Vättern. Där blåser det på 100 meters höjd 7 meter per sekund eller mer under halva året. I dessa områden räknar man med att kunna få ut omkring 1 500 kWh per m² svept yta och år. (Svept yta är den yta, vinkelrät mot vindriktningen, som turbinbladen sveper över.)

Vindkraftaggregat utvecklas på många håll i världen och det finns i dag ganska omfattande erfarenheter. I Sverige finns det en försöksanläggning på 50 kW i norra Uppland (se bild i faktaruta 33 på s 221). Den ingår i det utvecklingsprogram som bedrivs av nämnden för energiproduktionsforskning.

Det verkar finnas förhållandevis goda möjligheter att utveckla den här typen av vindturbiner så att det lönar sig att ansluta dem till kraftnätet. I första hand skulle dessa vindkraftverk få en nominell effekt på 1–5 MW om turbinerna har en diameter på 50–100 meter och sitter på ungefär lika höga master eller torn. På detta sätt skulle man, enligt nämnden för energiproduktionsforskning, kunna få en vindkraftproduktion på 10–30 TWh per år vid sekelskiftet.

Möjligheterna att använda vindkraft kommer, liksom för solenergin, att vara beroende av väderförhållandena. När vinden är så svag eller så stark att vindkraftaggregatet inte kan användas måste man kunna sätta in andra anläggningar. För Sveriges del är det därför speciellt intressant att stora delar av vattenkraften kan korttidsregleras. Enligt preliminära uppskattningar kan man med hjälp av vattenkraften balansera en vindkraftproduktion på 7,5–12,5 TWh per år till måttlig kostnad.

Hälso- och miljöpåverkan

Med vindkraftverk på 1–5 MW nominell effekt skulle det behövas 330–1700 aggregat för att få 5 TWh elektrisk energi från vindkraft per år. Det är något mindre än vad ett kondenskraftverk på 1 000 MW ger.

Med vindkraftaggregat med 100 m turbindiameter och 4 MW generatoreffekt skulle det behövas ca 600 aggregat för att få 6 TWh/år (samma energimängd som ett 1 000 MW kondenskraftverk ger vid full drift).

Vindkraftaggregaten bör stå på en halv till en kilometers avstånd från varandra för att inte bakomvarande aggregat skall "skuggas" alltför mycket. Om man dessutom tar hänsyn till realistiska begränsningar på grund av bebyggelse, vägar etc i Syd- och Mellansverige finner man att de 600 aggregaten måste spridas utöver en total yta av ca 1 000 km². Inom det området påverkas naturligtvis landskapsbilden av aggregaten (fi-



Figur 38. Teckning av 1000 kW vindkraftaggregat inplacerade i ett kustlandskap. Läggt märke till bilen vid foten av det vänstra aggregatet.

Källa: Saab-Scania.

gur 38). Däremot krävs endast omkring 2 ha per aggregat, dvs omkring en hundradel av den totala ytan, för aggregattomter, vägar och ledningar. I övrigt kan tidigare markanvändning fortgå.

Lokaliseringen av vindkraftaggregaten måste anpassas till bebyggelse och annan markanvändning liksom även till kända planer så att inte konflikter uppstår på grund av anläggningarnas industriella karaktär och på grund av den olycksrisk som man åtminstone än så länge bör räkna med i närheten av anläggningarna. Vid ett svårartat haveri kan ett lossnat blad slå ner flera hundra meter från anläggningen. Under speciella väderleksförhållanden kan is bildas på bladen. Om denna is lossnar i större stycken kan dessa ge upphov till olycksfallsrisker för personer i omgivningen. Om så krävs kan aggregaten utrustas med avisningssystem för bladen, som hindrar att större isstycken bildas. Efter vad man kan bedöma förefaller olycksrisker på grund av haverier eller iskastning i närheten av vindkraftaggregat vara mycket små jämfört med andra individuella olycksrisker.

Bullret från vindkraftaggregaten bedöms knappast att bli något större problem, men det, liksom vissa andra miljöfrågor, måste studeras mer.

Yrkesskaderiskerna när man utnyttjar vindkraft är främst knutna till byggnads- och underhållsarbeten på hög höjd, men det är svårt att ange några siffervärden. Troligen går riskerna att jämföra med vad som gäller för vattenkraftverk. Vid mycket små vindkraftaggregat kan bl a isbildning på rotorbladen bli ett problem. Detta kan påverka driftsäkerhet och underhållsbehov och därigenom även yrkesskaderisker.

Vindkraften framstår som en hälso- och miljövänlig energikälla. Det är — liksom fallet är vid vattenkraft — i första hand landskapsbilden som påverkas. Ingreppen är dock inte bestående på samma sätt som vid vattenkraft — när kraftverken rivits är landskapet återställt.

Vätekraft (fusion)

Vätekraften skiljer sig från övriga i detta kapitel beskrivna energislag. För det första är det långt osäkrare om och när det går att bygga vätekraftverk. För det andra pekar mycket på att vätekraft bara kan utvinna i anläggningar som blir större och tekniskt mer invecklade än dagens uranreaktorer. Tillgången på energiråvara är dock praktiskt taget obegränsad. Därför satsas varje år stora belopp på forskning och utveckling, framför allt i Sovjet, USA och EG-länderna.

Vad är fusion?

I ett vanligt kärnkraftsaggreat utvinns energi genom att tunga atomkärnor som uran och plutonium klyvs i lättare delar (fission). Det är också möjligt att utvinna energi genom att slå samman lätta atomkärnor (fusion). Fusionsreaktioner i solens inre är t ex källan till all den energi solen utstrålar. Sådana kärnreaktioner som i solen kan emellertid inte användas på jorden. Den fusionsreaktion som anses lättast att använda tekniskt är den så kallade D-T-reaktionen. I denna slås en atom av deuterium, en väteisotop med atomvikten två, ihop med en atom av tritium, en väteisotop med atomvikten tre. Ur ett kilo av denna bränsleblandning kan man teoretiskt utvinna tio miljoner gånger mer energi än ur ett kilo olja. Som en biprodukt vid fusionsreaktionen bildas helium. För att starta fusionsreaktioner krävs dock stora energimängder. Bränsleblandningen måste uppvärmas till minst 50 miljoner grader. Vid denna temperatur befinner sig blandningen i ett tillstånd som kallas plasma — den består av atomkärnor och fria elektroner.

Bränsletillgång

Vanligt vatten innehåller 0,003 procent deuterium. Det betyder att en liter vanligt vatten i princip kan ge lika mycket energi som hundratals liter bensin. Tritium framställs i själva fusionsreaktorn genom bestrålning av litium, ett mer sällsynt ämne än deuterium. Ändå har enbart USA:s tillgångar av litium uppskattats motsvara större energimängder än jordens samlade tillgångar av olja, kol och naturgas.

Utvecklingsläge

Fusionsforskning har pågått sedan 1950-talet. Några praktiska bevis på att processen är användbar finns dock inte ännu — man räknar med att möjligen kunna visa detta mot mitten av 1980-talet. En första fusionsreaktor för kommersiell produktion av elkraft skulle då kunna komma i gång vid sekelskiftet.

Det centrala problem som återstår att lösa är hur man under tillräckligt lång tid skall lyckas hålla den temperatur och den täthet hos deuterium-tritiumplasmata som krävs för att man skall få ut mer energi än den som går åt för uppvärmning och inneslutning av plasmata.

Storlek och kostnad

Alla uppskattningar av fusionsreaktorernas storlek och kostnad är osäkra. Förstudier pekar på att enheterna för att bli ekonomiska bör byggas

upp till fem gånger större än de nuvarande lättvattenreaktorerna på 1 000 MW. Därmed blir de svåra att infoga i det svenska kraftnätet.

Risker vid normal drift och vid haverier

De största riskerna med en fusionsreaktor under normaldrift sammanhänger med utsläpp av tritium. Man menar emellertid att utsläppen kan hållas på en sådan nivå att riskerna för skador inte blir större än vid dagens kärnkraftverk.

Litium ger liksom natrium risk för bränder och explosioner. Litium kommer troligen att finnas i stora mängder i en fusionsreaktor — dels som kylmedel, dels för framställning av tritium.

I de starka magnetfälten i vissa typer av fusionsreaktorer finns energi lagrad som motsvarar ända upp till hundratals ton trotyl. En okontrollerad utlösning av den energin kan orsaka stora skador på fusionsreaktorn. I värsta fall kan ett stort haveri i en fusionsreaktor medföra att hela tritiummängden kommer ut i atmosfären. Dödliga skador kan då uppstå inom några kilometers avstånd från reaktorn. Därtill kommer ett ökat antal cancerfall, som kan uppträda tiotals år efter olyckan.

Tritiet späds dock snabbt ut bland allt vanligt väte som förekommer i vatten och andra kemiska föreningar. Det har ingen tendens att anrikas i växter eller djur och försvinner med en halveringstid på 12,5 år.

De totala skadorna av ett katastrofartat haveri i en fusionsreaktor bedöms alltså som avsevärt mindre än för lättvattenreaktorerna. Någon realistisk bedömning av sannolikheten för ett haveri i en fusionsreaktor har man ännu ringa möjligheter att göra.

Arbetsmiljö

En fusionsreaktor ger vid drift en intensivare neutronstrålning än en lättvattenreaktor av samma effekt. Detta gör att radioaktiva ämnen bildas i konstruktionsmaterialen i reaktorn. Neutronstrålningen påverkar också hållfastheten så att radioaktiva reaktordelar måste bytas med jämna mellanrum. Drift och underhåll av en fusionsreaktor ger därför troligen liknande strålskyddsproblem för personalen som en lättvattenreaktor.

Därtill kan komma speciella yrkesskaderisker, knutna till t ex kylmedels-hantering och förekomst av starka elektromagnetiska strålningsfält.

Miljöpåverkan

De typer av fusionsreaktor som nu förefaller troligast behöver lika mycket kylvatten per alstrad mängd energi som andra kondenskraftverk. Med aggregatstorlekar på flera tusen megawatt blir givetvis värmepåverkan på omgivningen hög. En fusionsreaktor innebär ungefär lika stora ingrepp i landskapsbildningen som andra kärnkraftstationer av motsvarande storlek.

Deuterium utvinns ur vanligt vatten och ger inga miljöproblem vid framställningen. Litium utvinns från genom lakning av litiumhaltiga mineraler som bryts i gruvor. I framtiden kan det bli ekonomiskt lönsamt att utvinna även litium ur havsvatten.

Avfall

Neutronbestrålningen av olika reaktordelar som sedan måste bytas ut ger upphov till radioaktivt skrot. Detta anses närmast jämförbart med det s k medelaktiva avfallet från uranreaktorer vad gäller förvaringsproblemet. Skrotmängden har i en studie uppskattats till omkring 750 ton per år från en fusionsreaktor på 1 500 MW. Den samlade biologiska risken från avfallet har uppskattats bli av storleksordningen tusendelar av riskerna från avfallet från uranreaktorer för samma mängd producerad energi.

Hybridreaktorer

Det intensiva neutronflödet i en fusionsreaktor kan användas för att omvandla uran till klyvbart plutonium. Det kan sedan användas som bränsle i t ex lättvattenreaktorer. Ersatte man vissa reaktorer med den här typen av s k hybridreaktorer skulle man enligt en del studier kunna förbättra energiekonomin avsevärt.

Men med hybridreaktorer följer också alla de problem som är förknippade med plutoniumhantering i stor skala. Det gäller arbetsmiljö, avfallsfrågor och risk för att klyvbart material kommer i orätta händer.

Övrigt

Flera andra typer av så kallade förnyelsebara energikällor är i ett tidigt utvecklingsstadium eller bara skisserade. Att försöka bedöma deras miljö- och hälsoeffekter blir därför i hög grad spekulationer, även om man i de flesta fall inte har anledning att vänta sig någon omfattande miljöpåverkan. För flera av dem saknar Sverige dessutom naturliga förutsättningar.

På bl a dessa grunder avstår vi här från en värdering av miljöeffekterna för t ex vågenergi, saltgradientenergi, temperaturgradientenergi, solkraftverk utanför atmosfären m fl.

Appendix 1 Utredningsuppdraget — direktiv och genomförande

Utredningens direktiv

Regeringen bemyndigade den 5 februari 1976 chefen för jordbruksdepartementet att tillkalla sju sakkunniga med uppdrag att ge en översiktlig och lättillgänglig redovisning av hälso- och miljöeffekterna vid användning av olika energikällor. Därvid anförde chefen för jordbruksdepartementet, statsrådet Lundkvist, följande:

”Riksdagen fattade under våren 1975 en rad beslut om den framtida energipolitiken (prop. 1975:30, NU 1975:30, rskr 1975:202). Besluten syftar bl.a. till att dämpa ökningen av energiförbrukningen. Möjligheterna att fr.o.m. början av 1990-talet hålla konsumtionen på en oförändrad nivå skall vidare prövas. För att dessa mål skall kunna nås har bl.a. en kraftig satsning på sparåtgärder och ett omfattande forsknings- och utvecklingsarbete påbörjats. Riksdagens beslut innebär också att åtgärder skall vidtas för att säkerställa oljeförsörjningen och att en försiktig utbyggnad av kärnkraft och vattenkraft skall ske för att trygga elkraftsförsörjningen i första hand under den närmaste tioårsperioden. Förslag rörande energihushållningen för senare delen av 1980-talet avses läggas fram för riksdagen år 1978.

Utnyttjandet av energi ger upphov till skilda hälso- och miljöeffekter. Detta gäller vid utvinning av energiråvaror, vid omvandling och transport av energi i olika former samt vid konsumtion av energi. Sveriges ökade energibehov väntas, åtminstone under den närmaste tioårsperioden, i första hand komma att tillgodoses genom användning av olja, kärnkraft, vattenkraft och kol. Användningen av dessa energikällor kan på olika sätt påverka hälsa eller miljö.

Frågor rörande hälso- och miljöeffekter av skilda slag av energiproduktion har behandlats eller behandlas av olika utredningar eller myndigheter. Närförläggningens utredningen har i sitt slutbetänkande (SOU

1974:56) Närförläggning av kärnkraftverk redovisat visst underlag vad gäller effekter av radioaktiva utsläpp. Ytterligare material när det gäller kärnkraften finns i den s.k. AKA-utredningens (I 1972:08) lägesrapport (Ds I 1974:6) Kärnkraftens högaktiva avfall. Vidare har statens kärnkraftinspektion fått i uppdrag att utreda kärnkraftens säkerhetsfrågor. Frågor rörande åtgärder för att motverka de negativa effekterna av svavelutsläpp behandlas av särskilda sakkunniga (Jo 1975:03) som jag tillkallade år 1975. Miljöeffekter vid utbyggnad av vattenkraften har behandlats av utredningen (C 1972:02) rörande vattenkraftutbyggnader i södra Norrland och norra Svealand i betänkandet (SOU 1974:22) Vattenkraft och miljö. Motsvarande arbete utförs av utredningen (B 1974:01) rörande vattenkraftutbyggnader i norra Norrland, som i oktober 1974 har avgett lägesrapporten (Ds B 1974:4) Vattenkraft och miljö 2.

Även internationellt bedrivs ett omfattande arbete för att belysa olika hälso- och miljöeffekter av energiproduktion. Inom miljökommittén vid Organisationen för ekonomiskt samarbete och utveckling (OECD) behandlas frågor om utsläpp, transport och effekter av luftföroreningar, framför allt svavel, över Väst-Europa liksom frågor om kylvattenutsläpp från kraftverk. En särskild expertgrupp har tillsatts för att studera energiproduktionens och energikonsumtionens effekter på miljön. Vidare bedriver OECD:s kärnenergiorgan (NEA) en omfattande verksamhet vad gäller omgivningspåverkan av kärnkraftanläggningar. På detta område verkar även internationella atomenergiorganet (IAEA) liksom FN:s vetenskapliga strålningskommitté (UNSCEAR). Risken för globala effekter på klimatet behandlas inom Meteorologiska världsorganisationen (WMO) och FN:s miljöprogram (UNEP). Inom UNEP utförs f.n. en energistudie i vilken

också miljö- och hälsoaspekter skall behandlas. Frågor om utsläpp och spridning av luftföroreningar över Europa har tagits upp av FN:s ekonomiska kommission för Europa (ECE). Olika luftföroreningars hälsoeffekter behandlas av Världshälsoorganisationen (WHO).

En bedömning av riskerna för negativa effekter på människors hälsa och på miljön vid produktion och konsumtion av energi är av central betydelse vid beslut om vår framtida energihushållning. Som jag här har redovisat pågår ett omfattande arbete såväl i vårt land som internationellt för att på olika sätt belysa sådana risker. Det material som föreligger rörande dessa frågor är emellertid i betydande delar svårtillgängligt och delvis också ofullständigt, särskilt vad gäller fossila bränslen. Det är därför angeläget att en sammanställning, komplettering och utvärdering av ifrågavarande material nu kommer till stånd. Av betydelse är därvid att ett samlat underlag för bedömning av här berörda frågor föreligger i god tid före år 1978, då som jag tidigare har nämnt nya energipolitiska överväganden skall göras. Särskilda sakkunniga bör tillkallas för detta ändamål.

Utgångspunkten för de sakkunnigas arbete bör vara att ge en översiktlig och lätt-tillgänglig redovisning av hälso- och miljöeffekterna vid användningen av olika energi-

källor. Framför allt föreligger ett stort behov av belysning av de långsiktiga hälsoriskerna vid användning av såväl fossila bränslen som kärnkraft. I detta sammanhang bör också arbetarskyddsaspekter beaktas. Olika risker och effekter bör så långt det är möjligt beskrivas på ett jämförbart sätt.

De sakkunnigas redovisning bör i första hand koncentreras på för landet särskilt aktuella energikällor såsom olja, kärnkraft, vattenkraft och kol. Av speciellt intresse med hänsyn till aktuella energipolitiska beslut är de olika energikällor som kan komma i fråga för elproduktion dvs. i första hand olja och kärnkraft. De led i energiomvandlingsprocessen som kan medföra större hälso- och miljöproblem inom landet bör behandlas i första hand. De sakkunniga bör utnyttja resultaten av det utredningsarbete som har utförts eller pågår i Sverige och utomlands samt inventera och sammanfatta pågående utredningsarbete på området. Härvid bör de sakkunniga uppmärksamma behovet av eventuella kompletteringar av pågående forsknings- och utredningsverksamhet.

De sakkunniga bör presentera resultatet av sitt arbete dels i en kortfattad, lättillgänglig översikt, dels i form av underlagsrapporter i den utsträckning sådana anses erforderliga."

Utredningsarbetets bedrivande

Studiebesök m.m.

Kommitténs ledamöter fick under våren, sommaren och hösten 1976 en allmän översikt över problemområdet genom föredragningar och studiebesök inom Sverige. Sålunda har kommittén besökt oljehamnen och BP:s oljeraffinaderi i Göteborg, det oljeeldade kondenskraftverket i Stenungsund och det likaledes oljeeldade kraftvärmeverket i Uppsala, vidare Ringhals kärnkraftstation och anläggningsarbeten för kärnkraftstationen i Forsmark samt AB Atomenergis anläggningar i Studsvik.

I månadsskiftet januari—februari 1977 besökte kommittén Storbritannien. I programmet ingick besök i kolgruva och kolkraftverk med tillhörande askupplag, samt vid forsk-

ningsinstitutioner inriktade på arbetsmiljöproblem i kolgruvor. Vidare hade kommittén överläggningar med företrädare för brittiska tillsynsmyndigheter tillhörande Health and Safety Executive, med företrädare för de statliga kol- och elkraftstyrelserna (National Coal Board och Central Electricity Generating Board) samt med företrädare för det brittiska kärnbränslebolaget (British Nuclear Fuels Ltd). Kommitténs ordförande och sekretariat fick också tillfälle att med av-
gående ordföranden i Royal Commission on Environmental Pollution, sir Brian Flowers, och andra företrädare för kommissionen diskutera kommissionens sjätte rapport "Nuclear Power and the Environment".

Uppdrag beträffande underlagsrapporter

Under sommaren 1976 lade kommittén ut uppdrag på strålskyddsinstitutet, naturvårdsverket och fristående konsulter att ta fram sammanställningar över befintligt tekniskt och vetenskapligt kunskapsunderlag beträffande hälso- och miljöverknings av olika energislag.

Uppdragen formulerades så att myndigheterna ställde personal till förfogande för sammanställningsarbetet, dvs. underlagsrapporterna band inte myndigheterna inför ett eventuellt senare remissförfarande. Uppdragen avsåg följande områden.

1. Hälso- och miljöverknings vid användning av fossila bränslen. En expertgrupp inom naturvårdsverket har svarat för detta uppdrag. Uppdragsledare har varit chefen för verkets omgivningshygieniska avdelning, professor Lars Friberg, tillika expert i kommittén. Underlaget beträffande utsläpp av föroreningar och miljöpåverkan har utarbetats inom verkets tekniska avdelning under ledning av byråchef Lars Lindau.
2. Hälso- och miljöverknings vid användning av kärnkraft. En expertgrupp inom strålskyddsinstitutet har svarat för detta uppdrag. Uppdragsledare har varit institutets chef, professor Bo Lindell, tillika expert i kommittén.
3. Arbetsmiljö vid energiproduktion. För detta uppdrag har svarat dåvarande överingenjören vid arbetarskyddsstyrelsen, Yngve Hagerman, tillika expert i kommittén.
4. Hälso- och miljöverknings vid användning av övriga energislag. Uppdraget avsåg att översiktligt belysa hälso- och miljöverknings av vissa energikällor som kan komma ifråga för framtida bruk. Hit hör i första hand vindkraft, jordvärme, solenergi, våg- och tidvattenenergi samt väteenergi (fusionsenergi). För detta uppdrag har som konsult svarat civilingenjör Staffan Engström.
5. Vattenkraftens miljöverknings. Uppdraget avsåg väsentligen att sammanfatta de utredningar som framlagts under senare år inom området vattenkraft och miljö (SOU

1974:22, SOU 1976:28). För detta uppdrag har som konsult svarat arkitekt Bengt Anefall, tidigare biträdande sekreterare i den senaste utredningen om vattenkraft och miljö.

6. Olycksrisker vid oljehantering. Uppdraget avsåg att utifrån befintlig statistik belysa vissa olycksrisker vid utvinning och transport av olja och oljeprodukter. För detta uppdrag har som konsulter anlitats en forskargrupp vid institutet för försäkringsmatematik och matematisk statistik vid Stockholms universitet under ledning av professorn vid institutet, Bengt von Bahr.

För att möjliggöra kritik och kommentarer offentliggjordes preliminära versioner av underlagsrapporterna i april 1977 med undantag för rapporten om vattenkraft eftersom den senare sammanfattade utredningar som redan framlagts och remissbehandlats.

Behandling av vissa vetenskapliga frågor

Säkerheten i det vetenskapliga underlaget för att bedöma inverkan på hälsan av luftföroreningar och radioaktiva föroreningar har varit av central betydelse för utredningsarbetet.

Kommittén kunde tidigt konstatera att det råder en relativt stor enighet bland strålskyddsexperten om metoderna att beräkna inverkan på hälsan av radioaktiva föroreningar. För att fastställa säkerhetsnormer för normaldriftutsläpp från kärnkraftverk uppskattas sålunda de sammanlagda verkningsarna av utsläppen på jordens befolkning över mycket lång tid.

Det finns emellertid mer delade meningar om vilken vetenskaplig grundval det för närvarande finns för att beräkna inverkan på hälsan av användningen av fossila bränslen. Den metodik som används för säkerhetsnormer vid kärnkraftverk är knappast möjlig att direkt överföra på luftföroreningar från fossila bränslen — inte därför att riskerna bedöms vara mindre utan främst för att mekanismerna för hur utsläpp av kemiska föroreningar når och påverkar människan är mindre utforskade. Särskilt verkningsarna som uppträder först efter lång tid är svåra att bestämma. Man kommer här snabbt in på problem som ligger i den s.k. forskningsfronten, t.ex. mekanismer för uppkomst av cancer.

Möjligheterna att på ett likvärdigt sätt uppskatta inverkan på hälsan av kärnkraft och fossila bränslen har varit av central betydelse för kommittén. Därför fann vi det angeläget att få en så allsidig belysning som möjligt av mer grundläggande vetenskapliga problem som hänger samman med dessa riskuppskattningar. Kommittén har därför vid flera tillfällen inhämtat synpunkter från en grupp svenska forskare verksamma inom fackområden av särskilt intresse i detta sammanhang. I denna forskargrupp har ingått

professor Maths Berlin, Lund (hygien)
professor Lars Ehrenberg, Stockholm (strålningsbiologi)
professor Jerzy Einhorn, Stockholm (radioterapi)
professor Lars-Gunnar Larsson, Umeå (radioterapi)
professor Kurt Lidén, Lund (medicinsk radiofysik)
professor Jan Lindsten, Stockholm (medicinsk genetik)
professor Karl Gustav Luning, Stockholm (ärfvlighetslära)
professor Ragnar Rylander, Göteborg (hygien, särskilt omgivningshygien)
bitr. professor Bernhard Tribukait, Stockholm (medicinsk radiobiologi)
forskningschef Gunnar Walinder, Stockholm (radiobiologi)
professor Torbjörn Westermark, Stockholm (kärnkemi)

Denna forskargrupp har bl.a. biträtt med granskningar av underlagsmaterialet från vetenskaplig synpunkt.

För att få en så ingående vetenskaplig belysning som möjligt av sambandet mellan luftföroreningar och cancer anordnade Karolinska institutet ett internationellt forskarmöte på kommitténs uppdrag den 8–11 mars 1977.

Till mötet inbjöds ett tjugotal utländska forskare från Kanada, Storbritannien, Förenta Staterna, Sverige, Sovjet och Västtyskland, samt representanter från Världshälsorganisationen (WHO) och Förenta Nationernas miljöprogram (UNEP). Urvalet av deltagare skedde efter förslag från bl.a. WHO:s

huvudkontor i Genève. En förteckning över deltagarna återfinns i bilagan om hälso- och miljöverknningar vid användning av fossila bränslen.

Syftet med mötet var att samla internationellt namnkunniga experter på verkningar av radioaktiv strålning och luftföroreningar för att diskutera i vilken utsträckning erfarenheter inom det ena området kunde tillämpas inom det andra. I en sammanfattande slutrapport från mötet enades de deltagande forskarna om att man från riskbedömnings-synpunkt bör tillämpa samma synsätt när det gäller cancerframkallande luftföroreningar som för radioaktiva ämnen. Det innebär att även små tillskott av cancerframkallande ämnen till omgivningsluften kan ge ett litet tillskott till antalet cancerfall utslaget över en stor befolkning och över lång tid. Tidigare har det knappast rått en så bred enighet om det vetenskapligt berättigade i ett sådant synsätt.

Det internationella forskarmötet gav därmed ett viktigt bidrag till kommitténs bedömningar av olika hälsorisker. Den fullständiga vetenskapliga rapporten från mötet publiceras i tidskriften *Environmental Health Perspectives* i februari 1978.

Övriga kontakter med myndigheter, verk och organisationer.

Kommittén har tagit kontakt med energikommissionen under utredningsarbetets gång, bl.a. för att samordna arbetsplaneringen. I samråd med energikommissionen anordnades den 17 maj 1977 en offentlig discussionsdag kring en preliminär utgåva av kommitténs underlagsrapporter. Till discussionsdagen inbjöds företrädare för miljö-vårdsorganisationer, kraftindustrin och vissa fackmyndigheter. Vidare har kontakter med det norska Kjernekraftutvalget och vissa brittiska myndigheter och verk gett värdefull teknisk-vetenskaplig information.

Av denna redovisning för utredningsarbetets bedrivande framgår att ett stort antal organisationer, företag och myndigheter samt enskilda forskare och experter bidragit med underlag och synpunkter — ofta under stort tidspress. Dessa bidrag har varit av stort värde för kommitténs arbete.

Sammanträden och avgivna yttranden

Kommittén har hållit 24 sammanträden.

Efter remiss har utredningen avgivit yttranden över följande betänkanden och förslag.

Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall (SOU 1976:30—31) Betänkande avgivet av AKA-utredningen.

Tätorternas och den tunga industrins energiförsörjning (SIND 1976:3) Utredning av statens industriverk.

Kommunal energiplanering (SOU 1976:55) Betänkande avgivet av utredningen om kommunal energiplanering.

Appendix 2 Förteckning över underlagsrapporter och bakgrundsdokument

Bilagor

1. Energi, hälsa, miljö: Hälsa- och miljöverkningar vid användning av fossila bränslen. Underlagsrapport till energi- och miljökommittén utarbetad inom statens naturvårdsverk (SOU 1977:68)
2. Energi, hälsa, miljö: Hälsa- och miljöverkningar vid användning av kärnkraft. Underlagsrapport till energi- och miljökommittén utarbetad inom statens strålskyddsinstitut (SOU 1977:69)
3. Energi, hälsa, miljö: Arbetsmiljö vid energiproduktion. Underlagsrapport till energi- och miljökommittén utarbetad av överingenjör Yngve Hagerman (SOU 1977:70)

Övriga underlagsrapporter och bakgrundsdokument

Tommy André, Bengt von Bahr, Ulla Wallin, Institutet för försäkringsmatematik och matematisk statistik vid Stockholms universitet: Vissa olycksrisker vid olja som energikälla (Energi- och miljökommittén, stencil)

Bengt Anefall: Vattenkraftens miljöverkningar (Energi- och miljökommittén, stencil)

Staffan Engström: Hälsa- och miljöverkningar vid användning av övriga energislag (Energi- och miljökommittén, stencil)

Air Pollution and Cancer — Risk Assessment Methodology and Epidemiological Evidence. Report from an International

Symposium at the Karolinska Institute, Stockholm, March 8—11, 1977 (Environmental Health Perspectives, Vol 22, February 1978, under tryckning)

Bakgrundsdokument utgivna av statens strålskyddsinstitut:

1. Risker och detriment
2. Grundbegrepp
3. Akuta skador
4. Cancerrisker
5. Genetik
6. Expositionsdata
7. Olyckor

Appendix 3 Forskning om energianvändningens skadliga hälsoeffekter, särskilt s k epidemiologisk forskning. Några synpunkter på behov och organisation m m

Då man skall fatta beslut om val av energislag för framtida energiförsörjning är det självfallet önskvärt att förfoga över kunskap från olika områden. En del av detta önskvärda beslutsunderlag är kunskap om vilka skadliga effekter på människans hälsa som man måste räkna med som en mer eller mindre betydande risk i de olika leden av produktion och användning av energi — en bit av energiens "debetsida".

I ett totalt energi- och hälsopolitiskt perspektiv måste man givetvis göra en avvägning mot och därför ha kunskap också om energiens nyttoeffekter för befolkningens hälsa: att riklig och lättillgänglig energi i

många avseenden är en bas även för vår sociala och hälsomässiga välfärd. Denna "kreditsida" är i regel ganska påtaglig och kräver knappast några mera sofistikerade forskningsinsatser för att med tillräcklig säkerhet kunna vägas in i besluten.

Debetsidan däremot erbjuder, som föreliggande betänkande visar, många svårforcerade problem och exempel på områden där vår kunskap är mycket otillfredsställande. När denna önskvärda kunskap i nuläget uppenbarligen inte står till förfogande finns det — om man vill skaffa sig den — bara en väg att nå fram dit: genom att skapa ny kunskap, dvs genom forskning.

Vilka typer av medicinsk forskning behövs?

Praktiskt taget all tillämpad medicinsk forskning, som syftar till att lösa praktiska medicinska problem, har som sin plattform den kunskap om fundamentala mänskliga livsprocesser under hälsa och sjukdom som skapas genom bl a den medicinska grundforskningen.

De faktiska och tänkbara skadliga hälsoeffekterna av energianvändning spänner över ett brett spektrum från ganska subtila "psykofysiska" sensationer (t ex lukt- och bullerstörningar) via övergående sjukdomsytttringar (t ex akut luftrörsinflammation) och olycksfall till kroniska, ofta dödligt förlöpande sjukdomar såsom förgiftningar och cancer. Det är därför självklart att nästan all medicinsk grundforskning kan hävdas ha betydelse för den speciella och målinriktade forskningen om energianvändningens skadliga hälsoeffekter.

Ett framträdande exempel på grundforskningens betydelse i sammanhanget är att cancerforskningen — cancer är en hälsoeffekt som med hög sannolikhet kan förorsakas av föroreningar från energianvändning — till stor del hör hemma inom ganska avancerad grundforskning såsom cellbiologi och molekylarbiologi.

I gränsområdet mellan grund- och tillämpad forskning återfinns toxikologin, dvs det forskningsområde som studerar mekanismerna för giftiga kemiska ämnens skadliga effekter. Eftersom så mycket av de fastlagda och möjliga skadliga effekterna av föroreningar från energianvändningen kan hänföras till inverkan från kemiska substanser blir givetvis toxikologin en disciplin av stor betydelse i sammanhanget.

Bland de mera tillämpade medicinska disciplinerna är det främst den s k omgivningshygien ("miljömedicin") och arbetsmedicinen vars forskningsresultat till stor del kan vara av betydelse för bedömningen av hälso-risker med användning av olika energislag.

Detta appendix är utarbetat av kommitténs expert, Lennart Rinder

När det gäller joniserande strålning har discipliner som radiofysik och radiobiologi stor betydelse. Eftersom bl a åtskillig olycksfallsforskning bedrivs inom socialmedicinen blir bl a av detta skäl denna disciplin av betydelse. — Åtskilligt av den omgivningshygieniska, arbetsmedicinska och socialmedicinska forskningen kan sammanfattas i den mera övergripande vetenskapen och disciplin epidemiologi, som närmare berörs i det följande.

Den egentliga kliniska forskningen, dvs den medicinska forskning som främst avser diagnostik och behandling av sjukdom och utförs med sjuka patienter som omedelbart objekt, torde vara av mindre direkt betydelse när det gäller vår kunskap om energianvändningens skadliga effekter på hälsan. Många forskningsuppslag, som senare bearbetas inom andra discipliner, utgår dock

Samband med miljöforskningen

De skadliga hälsoeffekterna av energianvändningen drabbar oss i såväl den "yttre" (allmänna) som den "inre" (arbets-) miljön och förmedlas alltså via nästan alla de miljöer vi vistas i. Det finns därför ett nära samband mellan olika typer av miljöforskning och den medicinska forskningen om energianvändningens negativa inverkan på människans hälsa.

Arbetsmedicinen kan ses som en del av den totala arbetsvetenskapen. Traditionellt har arbets(yrkes)medicinen själv i stor utsträckning stått för den kvalitativa och kvantitativa kartläggningen av arbetsmiljöernas kemiska och fysikaliska faktorer. Sedan nu särskilda arbetsvetenskapliga sektorer etablerats vid tekniska högskolor kommer arbetsmedicinen i ökande utsträckning att för sin egen forskning bli beroende av kunskap som tas fram inom andra delar av den samlade arbetsmiljöforskningen. Detta gäller kanske alldeles särskilt den epidemiologiska forskningen som till stor del bygger på att man har information om såväl vad och hur mycket man utsätts för av miljöfaktorer ("exponering") som vad man drabbas av ("effekt") och analyserar dessa samband.

När det gäller den yttre, allmänna miljön kan de skadliga ämnena och faktorerna nå

från iakttagelser gjorda i den kliniska forskningen. Den kliniska forskningen tenderar också att utvidgas utanför sina traditionella områden och aktivt engagera sig i problemställningar kring sjukdomars och skadors "yttre" och "yttersta" orsaker.

Det är således knappast möjligt att helt utesluta någon medicinsk vetenskapsgren eller disciplin från den forskning som har betydelse för att ge oss ny och förbättrad kunskap om energianvändningens skadliga hälsoeffekter. Det måste också framhållas att man inte kan göra någon begränsning till vad som formellt hör till de medicinska fakulteterna. Åtskillig forskning av betydelse i sammanhanget är av tvärvetenskaplig natur och inbegriper annan både natur- och samhällsvetenskaplig forskning vars materiella objekt direkt eller indirekt är människan.

den mänskliga organismen via mark, vatten och luft. Det sker som föroreningar av markskikt som kan tas upp i växande gröda och som livsmedel när människan, som vattenförorening och t ex som dryck eller efter upptag i fisk är ett hot mot vår hälsa eller som luftförorening med risk för skador på lungor och andra organ etc efter inandning.

Det finns därför ett tydligt samband mellan miljöforskningen i vad avser den yttre miljön och den medicinska forskning, särskilt den epidemiologiska, som studerar energianvändningens skadliga effekter på hälsotillståndet hos befolkningen i allmänhet, oavsett yrkestillhörighet. Särskilt sådan miljöforskning som innebär kartläggning av förekomst och spridning av föroreningar är av betydelse i detta sammanhang. Den av naturvårdsverkets forskningsnämnd stödda forskningen vid framför allt universitet och högskolor har här en central plats. Miljödatanämndens verksamhet har inneburit ett väsentligt tillskott och förbättrad tillgänglighet av kunskap av betydelse för den medicinska forskningen om energianvändningens skadliga hälsoeffekter. Institutet för vatten- och luftvårdsforskning (IVL) och många andra organ utför också i sammanhanget viktig forskning.

Vad är epidemiologi?

Självva ordet epidemiologi härleds ur grekiskans epi (= på, bland), demos (= befolkningen) och logos (= lära), dvs läran om något som finns utbrett hos befolkningen. Detta "något" är underförstått "sjukligheten".

Epidemiologi kan helt enkelt definieras som "vetenskapen om förekomsten av sjukdom". En något mera utvecklade definition är "studiet av utbredningen av sjukdom i en befolkningsgrupp och de bestämmande faktorerna (determinanterna) härför".

Begreppet "epidemi" förbinder man i Sverige vanligen bara med det plötsliga utbrottet av en smittsam sjukdom, t ex en influensaepidemi. Alla sjukdomar och skador är dock "epidemiska" och har sin epidemiologi i den meningen att de varierar i frekvens från ort till ort och från en tidpunkt till en annan. Internationellt har också begreppet epidemiologi sedan länge haft en långt vidare innebörd än denna association till uteslutande smitt-

samma sjukdomar. I framför allt USA och England men också i flera andra länder finns således sedan många år självständiga institutioner för epidemiologi med uppgift att vetenskapligt studera utbredningen av alla typer av sjukdomar och skador oavsett orsak. I regel hör dessa institutioner för epidemiologi hemma i de särskilda högskolor för "Public Health" som arbetar parallellt med det medicinska högskoleväsendet i övrigt och delvis riktar sig till en internationell krets av studenter och forskare. I Sverige har den högre medicinska utbildningen och forskningen nästan helt koncentrerats till de sammanhållna medicinska fakulteterna. Några fristående enheter för "allmän hälsovård" har inte utvecklats på ett bestående sätt¹. På gemensam nordisk bas har vi emellertid sedan mitten av 1950-talet den nordiska hälsovårdshögskolan i Göteborg, som kan ses som en motsvarighet till de internationella "Public Health"-skolorna.

Epidemiologiens arbetsområden och arbetssätt

Karaktäristiskt för epidemiologien är att man studerar befolkningsgrupper (populationer), t ex en viss yrkeskategori, i motsats till den kliniska medicinen som ägnar sig åt den enskilde patienten med särskild inriktning på diagnostik och behandling. Epidemiologien benämns därför ibland "populationsmedicin" som kontrast mot den individinriktade kliniska medicinen. Man kan säga att epidemiologien har hela samhället som patient och ställer diagnos och föreslår behandlingsåtgärder som berör hela eller avsevärda delar av samhället.

Det är vanligt att dela in epidemiologiens arbetsområden i tre "nivåer", nämligen den beskrivande (deskriptiva) epidemiologien, den orsakssökande (etiologiska) och den som studerar effekter av insatta åtgärder (interventiva).

(1) Den deskriptiva epidemiologien beskriver hur en sjukdom är utbredd hos den studerade befolkningsgruppen och relaterar detta

endast till "enklare" karaktäristika hos befolkningsgruppen, såsom ålder, kön och bostättningsort samt hur sjukdomen varierar med tiden, t ex från år till år. Den traditionella vitalstatistiken — t ex med avseende på spädbarnsdödlighet och allmän dödlighet i olika sjukdomar — är en form av deskriptiv epidemiologi. Det väsentliga i sammanhanget är att man inriktar intresset uteslutande på att beskriva hälsoeffekten som sådan och inte dess orsaker eller inverkan av åtgärder mot effekten i fråga. Rutinmässig deskriptiv epidemiologi betraktas i regel, i motsats till de övriga två nivåerna, inte som forskningsverksamhet.

(2) Den etiologiska epidemiologien inriktar sig på att söka orsakerna till en viss hälsoeffekt. Härför krävs kännedom inte endast om förekomsten av hälsoeffekten som sådan (t ex lungcancerens utbredning i olika åldersgrupper från år till år) utan också mera detaljerad information om vilka yttre faktorer som befolkningsgruppen utsatts för, dvs exponeringen. Karaktäristiskt för den etiologiska epidemiologien är således att man

¹Statens institut för folkhälsan upphörde 1971.

kopplar samman information om hälsoeffekt och exponering och analyserar eventuella samband.

(3) Den interventiva epidemiologien studerar effekten av en på en hel befolkningsgrupp insatt åtgärd i syfte att minska förekomsten av en viss sjukdom eller skada. Exempel på sådana åtgärder kan vara vaccination i stor skala mot polio eller mässling eller att man inför obligatoriskt bilbälte. Detta förutsätter att man genom etiologisk epidemiologi har skaffat sig hållbar kunskap om orsaksmönstret till en viss sjukdom eller skada och att man genom deskriptiv epidemiologi har ett fast grepp om sjukdomens respektive skadans förekomst såväl före som efter åtgärden i fråga.

Eftersom en epidemiologisk studie i regel omfattar en befolkningsgrupp av avsevärd storlek (kanske hela den nationella befolkningen) bildas stora och svåröverskådliga primära informationsmängder som för att bli hanterliga måste reduceras med tillämpning av statistiska metoder. Vid analysen av samband mellan exponering eller intervention och effekt är man likaledes beroende av ofta avancerade statistiska metoder. Det statistiska tänkandet måste komma in redan vid formuleringen av problemställningen och planläggningen av en epidemiologisk undersökning. Statistiken har därför en central ställning inom epidemiologien.

Det pågår en löpande diskussion om epidemiologiens "egenart" och "självständighet". Somliga hävdar att epidemiologien är en genuin vetenskap inom ramen för den "totala" medicinen. Dess uppgift är då att ge de allmängiltiga vetenskapliga reglerna för studiet av sjukdomars utbredning och orsaker i abstrakt form som sedan kan tillämpas på ett konkret problem. Andra hävdar att epidemiologien inte har karaktär av genuin vetenskap utan är en praktisk disciplin som uteslutande tillämpar av andra vetenskaper, bl a den matematiska statistiken, givna generella grundsatser och regler. Ytterligare andra hävdar att epidemiologien är ett led i och därigenom underordnad verksamheten inom de skilda kliniska disciplinerna (dvs kirurgien bedriver sin epidemiologi och invärtesmedicinen sin etc). Dessa skilda synsätt kan förklara varför epidemiologien organisa-

toriskt har utvecklats så olika i skilda länder.

Vid epidemiologiska undersökningar vill man i regel nå fram till utsagor om vilka individkaraktäristika (t ex ålder, kön, kroppsvikt etc) och exponeringsförhållanden (t ex cigarettbruk, kemiska ämnen i arbetsmiljön, den allmänna luftföroreningen etc) som utgör riskindikatorer för en ökad risk att insjukna i en viss sjukdom och vilka av dessa riskindikatorer som är kausala riskfaktorer, dvs är sjukdomens "sanna" orsak. Den rent statistiska analysen ger mått på styrkan hos ett studerat samband men förmår inte i sig själv ange om sambandet är av orsaksnatur eller inte. För att nå vidare därvidlag måste analysen fördjupas. Den slutliga analysen av resultaten av en epidemiologisk undersökning innehåller därför moment av "icke-statistisk" natur och är ytterst ganska subjektiv. Den innehåller bl a en diskussion av resultaten i jämförelse med tidigare studier, djurexperimentella och kliniska undersökningar och "humanbiologisk rimlighet". Betydelsen av dessa senare moment, som innebär krav på allsidig medicinsk kompetens hos epidemiologen eller den epidemiologiska forskargruppen, torde vara huvudmotivet för att man i regel betraktar epidemiologien som en gren av medicinen.

Epidemiologiska undersökningar karaktäriseras av att de i regel kräver stora informationsvolymerna från många individer, att statistiska metoder har en central plats i analysen, att de ofta kräver långa observationstider och att de därför är starkt resurskrävande och mödosamma att genomföra. Uthållighet är därför en av flera nödvändiga egenskaper hos epidemiologen.

Det "epidemiologiska sättet" att skaffa sig kunskap kritiseras ibland för att det endast skulle ge "historisk" kunskap om förhållanden som redan har inträffat och därför saknar aktualitet för rådande och framtida förhållanden. Detta är dock en felsyn. Epidemiologien ger oss uppgifter om den sjukdomsfrekvens som faktiskt uppkommit ("rater", "ratios" etc) samt om s k dos-effekt och dos-responssamband (dvs sambanden mellan graden av hälsopåverkan och "mängden" av det ämne eller den faktor som man utsatts för). Med utgångspunkt häri kan man fastställa "risker" vid en viss given exponeringsnivå.

Därefter kan man föra in antaganden om framtida exponeringsförhållanden och därur beräkna även framtida risker.

Epidemiologiens stora styrka är att den studerar den mänskliga och faktiska verklighe-

ten och man undviker de principiella svårigheter som alltid ligger i att försöka direkt överföra resultat från experiment på cellsystem eller från djurförsök till människa.

Epidemiologiens roll inom och utom hälsovårdssektorn

Den kunskap som epidemiologien i den allmänna betydelse som här diskuterats, kan tillhandahålla är fundamental för verksamheten inom hälso- och sjukvårdssektorn, bl a som en hörnsten för hälso- och sjukvårdsplanningen.

Men epidemiologien har förmåga att generellt, oavsett ursprung, utpeka orsaker till sjukdomar och skador. I stor utsträckning återfaller dessa på faktorer utanför individens personliga och direkta kontroll och utanför den medicinska sektorns traditionella egna åtgärdsarsenal. Om man vill undanröja eller reducera sådana orsaker till skadliga hälsoeffekter måste åtgärder vidtas inom andra sektorer än den egentliga hälso-

och sjukvårdssektorn, t ex inom bostads-, trafik-, miljövårds- och livsmedelssektorerna eller som ett led i den övergripande samhällsplaneringen.

Epidemiologien bidrar här med en del av det beslutsunderlag som behövs för en samlad nytto-risk-kostnadsavvägning. Epidemiologien förmår dock inte att ensam stå för hela det medicinska beslutsunderlaget. Detta måste innefatta också tillgänglig medicinskteoretisk, djurexperimentell och humanexperimentell kunskap samt klinisk erfarenhet. Å andra sidan bör väl genomförda epidemiologiska undersökningar i analysen av resultaten beakta den samlade kunskapen i sammanhanget.

Resurser för epidemiologisk rutinverksamhet, forskning och utbildning

En löpande verksamhet av deskriptivt (beskrivande) epidemiologisk karaktär bedrivs på flera håll inom och utom hälso- och sjukvårdssystemet. På central nivå samlas och bearbetas denna information hos bl a följande organ:

- Statistiska centralbyrån: allmän vitalstatistik och dödsorsaksstatistik m m
- Riksförsäkringsverket: den "försäkringsmedicinska" sjukligheten
- Privata försäkringsbolag
- Socialstyrelsen: löpande diagnosstatistik från den slutna sjukhusvården och delar av den öppna vården, specialregister för cancersjukdomar, missbildningar m m
- Statens bakteriologiska laboratorium: statistik beträffande vissa smittsamma sjukdomar

- Arbetskyddsstyrelsen: viss statistik beträffande arbetsmiljöbetingade sjukdomar och skador.

Denna rutinverksamhet är en etablerad funktion hos de centrala myndigheterna och kan inte rubriceras som forskning. I regel har den heller inte karaktär av etiologisk eller interventiv epidemiologi. Uppgifterna i registren kan användas för olika forskningsändamål. Socialstyrelsen har nyligen fått ökade resurser i form av en föredragande läkare i epidemiologi i syfte att möjliggöra fördjupade analyser av bl a data i cancerregistret. Också arbetskyddsstyrelsens analyser har delvis epidemiologisk forskningskaraktär; dess arbetsmedicinska avdelning har forskning och utbildning som huvuduppgifter.

Huvuddelen av den egentliga epidemiologiska forskningen i landet torde bedrivas inom ramen för de medicinska fakulteternas verksamhet. Det finns dock inga speciella institutioner för epidemiologi och inte heller fasta forskar- eller lärarbefattningar som är exklusivt avsedda för epidemiologi. Traditionellt utgör epidemiologisk forskning en avsevärd del av verksamheten vid de medicinska fakulteternas institutioner för hygien och socialmedicin. De yrkesmedicinska kliniker-
na och institutionerna bedriver, i samverkan med bl a lokala företagshälsovårdsorganisationer, epidemiologisk forskning. — Åtskilliga kliniska institutioner har engagerat sig i delvis omfattande epidemiologiska projekt, t ex de invärtesmedicinska kliniker som studerar hjärtinfarktsjukdomens utbredning och förebyggande ("preventiv kardiologi").

En särställning i sammanhanget intar hygieninstitutionen vid Karolinska institutet genom sin samverkan med den till naturvårdsverket provisoriskt knutna omgivningshygieniska avdelningen (OHA). Professorerna i hygien (egentligen hälsovårdslära) är nämligen samtidigt chef för OHA. OHA har i huvudsak forskningsutförande uppgifter inom omgivningshygien och har kompetens inom epidemiologin med en särskild enhet härför. OHA bildades år 1972 som ett provisorium vid upplösningen av statens institut för folkhälsan. En särskild utredning¹ föreslog att OHA skulle bilda stommen i ett fristående institut för miljömedicin med bl a en epidemiologisk enhet. Förslaget överlämnades jämte remissynpunkterna till arbetsmiljöutredningen som i sitt betänkande (SOU 1976:1) föreslog att OHA skulle bilda ett miljömedicinskt laboratorium med socialstyrelsen som cheffmyndighet. Denna fråga bereds för närvarande inom regeringskansliet.

Statens medicinska forskningsråd har inrättat en tidsbegränsad forskningsprofessur med huvudinriktning på epidemiologi.

¹Utredningen om samordning av laboratorieresurser vid arbetarskyddsstyrelsen och naturvårdsverket (LABAN) (Ds A 1974:3).

Nordiska hälsovårdshögskolan med säte i Göteborg omorganiserades från 1978 varvid också forskning kommer att ingå i verksamheten. Bl a har redan utlysts en professur i biostatistik och epidemiologi.

Enskilda epidemiologiska forskningsprojekt torde i huvudsak finansieras genom anslag från främst statens medicinska forskningsråd, Riksföreningen mot cancer, arbetarskyddsfonden och naturvårdsverkets forskningsnämnd samt Tobaksbolaget. Omfattningen av utbildningen i epidemiologi på grundutbildningsnivå är svår att kvantifiera till följd av de olika synsätt på karaktären och omfattningen hos begreppet epidemiologi som ovan redovisats. Någon speciell kurs i epidemiologi ges emellertid inte inom den grundläggande läkarutbildningen. Under kurserna i socialmedicin och hygien ges viss översiktlig undervisning. I stort sett måste dock utbildningen i epidemiologi karaktäriseras som obetydlig.

Inom ramen för vidareutbildningen och fortbildningen av läkare kan nämnas kursen i biostatistik och epidemiologi (två månader) vid Nordiska hälsovårdshögskolan. Utbildningen i företagshälsovård vid arbetarskyddsstyrelsen innehåller epidemiologi. Enskilda institutioner har organiserat kortare ad hoc-kurser i epidemiologi med såväl vidareutbildnings- som forskarutbildningssyfte. Några svenskar har deltagit i av WHO stödda internationella kurser i epidemiologi i Finland under senare år. Några få har skaffat sig längre utbildning i England eller USA.

Viss forskarutbildning i epidemiologi bedrivs vid de institutioner som har epidemiologisk forskning på sitt program. Den har dock inte systematisk och permanent karaktär.

Forskning och rutinverksamhet av epidemiologisk natur bedrivs således inom många olika organ. Verksamhetens volym är ganska avsevärd. Emellertid finns inte någon institution eller speciell akademisk befattning med uppgift att ansvara för epidemiologiens utveckling som generell vetenskap och därför heller inte någon mekanism som garanterar den kvalitetsmässiga utvecklingen av epidemiologin. Utbildningen i epidemiologi är svagt utvecklad på alla nivåer, bl a beroende på att ett entydigt institutionellt ansvar härför saknas.

Hur skall forskningen om energianvändningens skadliga hälsoeffekter organiseras?

Den samlade redovisningen i energi- och miljökommitténs betänkande är baserad på många olika typer av forsknings- och utredningsmaterial. För belysningen av hälsofrågorna har emellertid resultat från epidemiologiska undersökningar varit av central betydelse. I själva verket utgör underlagsrapporterna i stora delar en sammanställning och analys av utförda epidemiologiska studier. Betänkandet pekar på många både allmänna forskningsområden och konkreta frågeställningar där vår kunskap är otillräcklig — ibland intill obefintlighet.

Organisationen av den mera grundläggande och allmänna medicinska forskningen av betydelse i sammanhanget kan knappast i högre grad styras av just behoven från energipolitisk synvinkel. Men betydelsen av förbättrad praktisk kunskap om energianvändningens skadliga hälsoeffekter har uppenbarligen sådan tyngd att forskningsverksamhet av epidemiologisk karaktär på ett väsentligt sätt från statsmakternas sida måste styras och organiseras med utgångspunkt i sådana behov. Vad det praktiskt handlar om är framför allt hälsoeffekter hänförliga till kemisk och fysikalisk luftförorening, vattenförorening, upptag i näringskedjor och olycksfallsforskning.

Det är dock orimligt att en liten nation själv skall kunna fullständigt täcka forskningsbehoven i detta sammanhang. Frågeställningarna bearbetas på många håll i världen, delvis i internationellt samarbete och under medverkan av internationella organ som WHO och UNEP. Vad som framför allt efterfrådas för svenskt vidkommande är

- (1) mekanismer för att uppmärksamt kunna följa och kritiskt värdera den internationella forskningen om energianvändningens skadliga hälsoeffekter av epidemiologisk natur
- (2) mekanismer för att kunna delta i internationellt forskningssamarbete
- (3) mekanismer för att komplettera med nödvändiga nationella studier.

I avsevärd utsträckning torde dessa mål, särskilt momenten 2 och 3, kunna uppnås inom ramen för forskningen vid de reguljära

universitetsinstitutionerna, främst de medicinska fakulteterna och deras institutioner för hygien och socialmedicin, i samverkan med sjukvårdshuvudmännen (landstingen), regionala statliga organ såsom länsläkarorganisationerna och yrkesinspektionen och de fackliga organen.

Epidemiologisk forskning är i regel mycket resurskrävande och har ofta en långsiktig inriktning. Problemställningarna har hög samhällsrelevans men kan ha begränsad inomvetenskaplig betydelse. För den enskilde forskaren kan "lönsamheten" från karriärsynpunkt etc te sig alltför begränsad. Många studier kan ge i och för sig intressanta men "negativa" resultat, dvs inget samband mellan exponering och effekt. Detta betraktas ofta som vetenskapligt mindre intressant. Tiden mellan planläggning och publicering av en studie kan handla om åtskilliga år. Det finns därför en risk för att enbart den reguljära universitetsforskningen är en i och för sig nödvändig men otillräcklig mekanism för att garantera en önskvärd forskning om energianvändningens skadliga hälsoeffekter. Mot denna bakgrund måste staten säkerställa ovan nämnda mekanismer genom att de delvis förläggs till organ som har sådan verksamhet som särskild uppgift och speciala resurser härför.

Forskning som berör olika aspekter av hälsoeffekter till följd av användning av joniserande strålning bedrivs inom många delar av universitetsväsendet. Ett övergripande ansvar, särskilt beträffande de ovan nämnda mekanismerna (1) och (2) samt en viss forskningssponsorerande uppgift åvilar dock statens strålskyddsinstitut (SSI), som bl a genom sin lokalisering och historiskt har ett mycket väl utvecklat samarbete med bl a olika institutioner vid Karolinska institutet. Behov att ändra denna struktur torde knappast föreligga. SSI behöver dock resursförstärkning för att kunna etablera en permanent epidemiologisk funktion.

En stor del av resurserna för den arbetsmiljöforskning som är relaterad till energianvändningens skadliga hälsoeffekter finns hos arbetarskyddsstyrelsen och dess arbetsme-

dicinska avdelning med förgreningar till Karolinska sjukhuset och till Umeå. Man har naturligen överblick över och kan samordna sin verksamhet med den forskning som bedrivs vid de yrkesmedicinska enheterna i landet och inom företagshälsovården, och man har livliga internationella kontakter, bl a med ILO. Någon anledning att ändra på denna organisation, som är ganska nyetable-rad, finns knappast. Arbetsmiljöutredningen har föreslagit resursförstärkningar, bl a epidemiologbefattning hos arbetareskyddsstyrelsen. Detta ter sig mycket angeläget med hänsyn till behovet av forskning om energianvändningens hälsoeffekter i arbetslivet.

En del av den forskning som gäller livsmedel som bärare av skadliga föroreningar från energianvändning faller naturligen under statens livsmedelsverk, som har resurser för bl a viss toxikologisk forskning.

När det gäller forskning om energianvändningens hälsoeffekter på befolkningen i allmänhet, särskilt för att tillgodose mekanismerna (1) och (2), är det lämpligast att nuvarande omgivningshygieniska avdelningen, dvs det föreslagna miljömedicinska laboratoriet hos socialstyrelsen, ges ett huvudansvar härför. Redan i nuläget är denna dubbelinstitution (samverkan med Karolinska institutets hygieninstitution) s k "collaborating centre" med WHO och har därför långt utvecklade internationella kontakter. En nära kontakt med cancerregisterfunktionen hos socialstyrelsen är mycket betydelsefull eftersom cancersjukdom är en potentiell hälsoeffekt av central betydelse i sammanhanget. Också styrelsens övriga registerfunktioner, t ex missbildningsregistret, är en viktig informationskälla för den aktuella forskningen. Uppgiften att överblicka och bedriva forskning om energianvändningens skadliga hälsoeffekter måste framgå av laboratoriets instruktion liksom nödvändigheten av samverkan med andra organ. En särskild enhet för epidemiologi bör inrättas, inte

minst med tanke på forskarutbildningens behov.

Finansieringen av den aktuella forskningen sker, som ovan antytts, genom flera mekanismer och anslagstilldelande organ. En sådan pluralistisk ordning är nödvändig med hänsyn bl a till att ett forskningsprojekt om energianvändningens skadliga hälsoeffekter kan falla inom många olika intressesfärer. Behovet av en långsiktig medelstilldelning måste dock betonas. Utöver de traditionella formerna för medelstilldelning kan man också väcka tanken på att medel skulle kunna anvisas från de nyinrättade organen för energiforskning, så att dessa medel används också för att skapa kunskap om energiproduktionens och energianvändningens skadliga effekter på hälsa och miljö.

För den epidemiologiska forskning som har en så central plats inom forskningen om energianvändningens skadliga hälsoeffekter är dock utbildningsfrågan den mest angelägna att lösa, eftersom ingen bra forskning någonsin kan bedrivas utan välutbildade epidemiologer. Detta gäller såväl grund-, vidare- som forskarutbildningsnivåerna inom högskoleväsendet och försörjningen med epidemiologer för många sektorer på lokal, regional och central nivå. Därför bör inom universitetsväsendet skapas basinstitutioner för allmän epidemiologi och epidemiologiens utveckling som vetenskap. Detta är den nödvändiga basen för utvecklingen av mera målriktade epidemiologiska discipliner som kan generera påtagligt samhällsnyttiga forskningsresultat och förränta det nedlagda utbildningskapitalet.

Ökade resurser för utbildning och forskning inom det epidemiologiska fältet är nödvändiga. Därutöver är det också angeläget med en ökad samverkan och samordning, bl a på departemental nivå, av såväl myndighetsanknuten rutinbetonad epidemiologisk verksamhet som universitetsanknuten forskning och utbildning.

Några skrifter om epidemiologi

Arbetsmarknadsdepartementet: Konferens om epidemiologi, stencil 1976

Axelsson, Olav och Ulander, Arne: Epidemiologi (efter föreläsningar av O.S. Miettinen) 1975

Ds A 1976:3: Informationskällor om arbetsmiljöbetingad ohälsa m m (bilaga till SOU 1976:17), 1976

Friberg, Lars och Rylander, Ragnar: Avsnitt i lärobok i miljömedicin, 1976

Inghe, Gunnar: Avsnitt i lärobok i socialmedicin, del 1, 1975

Miljödatanämnden: Epidemiologiska undersökningar och miljövårdens informationssystem (MI), 1976

Hälsa- och miljöaspekter på uppförande och drift av kraftanläggningar behandlas i ett antal skilda författningar och av flera olika tillstånds- och kontrollorgan.

Av författningar med generell giltighet kan nämnas miljöskyddslagen (1969:387). Denna är tillämplig på miljöfarlig verksamhet. Härmed avses exempelvis att släppa ut avloppsvatten, fast ämne eller gas i vattenområde samt att orsaka störningar för omgivningen genom luftförorening, buller eller dylikt. Frågor om miljöfarlig verksamhet prövas av koncessionsnämnden för miljöskydd och statens naturvårdsverk. Tillsyn över efterlevnaden av miljöskyddslagen utövas förutom av naturvårdsverket av länsstyrelsen. Lagen ses f n över av utredningen (Jo 1976:06) om översyn av miljöskyddslagstiftningen.

Hälsovården på det lokala planet regleras i hälsovårdsstadgan (1958:663). Enligt denna skall i varje kommun finnas en hälsovårdsnämnd, som har att utöva det närmaste in-seendet över den allmänna hälsovården i kommunen. Hälsovårdsnämnden skall tillse att åtgärder vidtas för att motverka vattenförorening, luftförorening, buller och andra sådana störningar inom kommunen.

Enligt förordningen (1976:1055) om svavelhaltigt bränsle som har utfärdats med stöd av lagen (1976:1054) om svavelhaltigt bränsle får eldningsolja med högre svavelhalt än 1 viktprocent inte förbrännas i hela södra Sverige upp till Mälardalen-Värmland. Inom övriga delar av landet gäller att eldningsolja med högre svavelhalt än 2,5 viktprocent inte får förbrännas. Nu angivna begränsningar gäller också annat fossilt bränsle. Om särskilda skäl föreligger får länsstyrelsen bevilja undantag från bestämmelserna. Kommun

Detta appendix är utarbetat av kommitténs expert, Olof Molin

kan besluta om ytterligare begränsningar av svavelhalten, om det behövs för att minska svavelutsläpp inom viss ort. Tillsyn över efterlevnaden utövas av naturvårdsverket, länsstyrelsen och hälsovårdsnämnden.

Arbeterskyddslagen ger grund för föreskrifter rörande arbetarskydd. Tillsynsmyndighet är arbetarskyddsstyrelsen (ASS) som genom yrkesinspektionen utför tillsynsarbete på plats. ASS utfärdar normer och anvisningar för produkter och arbeten (t ex montage). Speciellt viktiga för värmekraftanläggningar är de normer och anvisningar som rör tryckkärl och lyftanordningar.

Enligt vattenlagen krävs tillstånd av vattendomstol för att anlägga en vattenkraftstation eller genomföra en vattenreglering. Vidare krävs tillstånd för exempelvis intag av vatten till värmekraftverk och för byggande av kylvattenkanaler till en sådan anläggning. Tillstånd förutsätter att nyttan av åtgärden står i viss gynnsam relation till värdet av skada och intrång som kan åsamkas annans egendom. Om tillstånd lämnas beslutar vattendomstolen om ersättning för skadorna. I vissa fall skall prövningen av tillståndsfrågan hänskjutas till regeringen.

För uppförande och drift av kärnkraftanläggningar, tillverkning av kärnbränsle, hantering och transport av använt kärnbränsle och plutonium samt hantering av radioaktivt avfall gäller dessutom särskilda författningar. De viktigaste av dessa är atomenergilagen (1956:306) och strålskyddslagen (1958:110). Atomenergilagen föreskriver bl a att

- tillstånd av regeringen eller av regeringen utsedd myndighet krävs för den som vill förvärva, inneha, överlåta, bearbeta eller på annat sätt ta befattning med bränsle för utvinning av atomenergi
- tillstånd av regeringen eller av regeringen

utsedd myndighet krävs för den som vill uppföra, inneha eller driva atomreaktor eller anläggning för bearbetning av atombränsle

- tillstånd av regeringen eller av regeringen utsedd myndighet krävs för den som vill föra atombränsle och viss utrustning för bearbetning, användning eller framställning av atombränsle ur landet.

Dessa tillstånd kan tidsbegränsas och villkor kan uppställas i samband med tillståndet liksom senare under tillståndets giltighetstid. En av regeringen utsedd tillståndsmyndighet — statens kärnkraftinspektion (SKI) — kan efter regeringens bemyndigande uppställa sådana villkor. Tillståndsmyndigheten har att övervaka efterlevnaden av lagen samt uppställda villkor.

Strålskyddslagen innehåller bestämmelser för verksamhet där joniserande strålning förekommer. Tillstånd för sådan verksamhet krävs av tillsynsmyndigheten, statens strålskyddsinstitut (SSI). Vid tillståndsgivning meddelar SSI de villkor och föreskrifter som skall gälla. Dessa kan ändras om det behövs.

Då tillstånd har meddelats enligt atomenergilagen fordras som regel inte särskilt tillstånd enligt strålskyddslagen. Innan tillstånd ges enligt atomenergilagen, skall dock SSI ha granskat och godkänt anläggningen från strålskyddssynpunkt. Därvid meddelar SSI de föreskrifter som erfordras med hänsyn till kontinuerlig övervakning av strålmiljön i och omkring anläggningen under normal drift.

SSI svarar vidare för strålskyddsmässiga aspekter på avfallshandlingen inklusive frågor om omgivningsskydd och lämnar föreskrifter för hantering och omhändertagande av radioaktivt avfall.

SSI utövar tillsyn av att givna föreskrifter efterlevs.

SKI och SSI har således båda myndighetsansvar i fråga om kärnkraftanläggningar. Ansvaret fördelas dem emellan enligt följande.

SKI:s uppgifter innefattar en produktkontroll vid uppförande och drift av kärnenergianläggningar, vid tillverkning och hantering

av kärnbränsle och vid hantering och lagring av aktivt avfall från kärnenergianläggningar. Produktkontrollen innebär kontroll av skyddet mot olika slags olyckor som skulle kunna leda till skada på människor och miljö och kontroll av skyddet mot otillåten användning av nukleärt material.

SSI:s tillsyn omfattar all verksamhet där joniserande strålning kan förekomma. För en kärnenergianläggning innebär denna tillsyn kontroll av det interna strålskyddet för personal i anläggningen, det externa strålskyddet för allmänheten i dess närhet och för befolkningen i dess helhet genom kontroll av utsläpp av aktivitet i luft och vatten från anläggningen.

Uppförande och drift av ett kärnkraftverk granskas alltså av både SKI och SSI men ur olika aspekter. SKI granskar dess tekniska säkerhet under normal drift och vid olika slags driftstörningar och fastställer från säkerhetssynpunkt nödvändiga föreskrifter för driften. SSI granskar anläggningens strålningsmiljö och funktion från strålskyddssynpunkt och fastställer nödvändiga föreskrifter för strålskydd och aktivitetsutsläpp i omgivningen.

I dette sammanhang bör även nämnas lagen (1960:331) om skyddsåtgärder vid olyckor i atomanläggningar m.m. I lagen föreskrivs vilka skyddsåtgärder som skall vidtagas för att minska följderna av en olycka i en atomanläggning. Bl.a. åläggs länsstyrelse som regeringen bestämmer att upprätta en organisationsplan som syftar till att skydda allmänheten mot radioaktiva ämnen. När det påkallas från strålskyddssynpunkt får länsstyrelsen vidta olika åtgärder såsom att meddela föreskrifter om evakuering av befolkning, skydd av djur och livsmedel samt inskränkning av nyttjandet av mark, vatten, naturprodukter och egendom. SSI har regeringens uppdrag att ge länsstyrelserna råd och anvisningar om hur beredskapsplanerna skall utformas. SSI biträds i detta arbete av ett rådgivande expertorgan, beredskapsnämnden mot atomolyckor.

Lagen(1977:140) om särskilt tillstånd att tillföra kärnreaktor kärnbränsle m m har behandlats i kapitel 2.

- AKA-utredningen 102, 113
 aktivitet (curie, becquerel) 94
 alfastrålning 16
 alkylbly 146
 anrikning av uran 93
 arbetsskador, se yrkesskador
 arvs massa, inverkan på 140
 aska från kolkraftverk 87
 aska från kolkraftverk, långsik-
 tiga hälsorisker 152
 askupplag, miljöverkningar 187
 avfall från brytareaktorer 26
 högaktivt från kärnkraft-
 verk 24
 radioaktivt 109
 avsvavling av olja och rökga-
 ser 75
 avsvavlingsslam 78
 avsvavlingsslam, miljöverkning-
 ar 188
- becquerel (Bq) 94
 bens(a)pyren och cancer 139
 betastrålning 16
 bilar, utsläpp från 74, 78
 biomassa från energiskogar 216
 blowout 193
 bly, hälsorisker 128
 bly, risker för växt- och djur-
 liv 30, 186
 brytareprocessen 92
 brytareaktorer 110
 högaktivt avfall från 151
 risker för stora olyckor 207
 Browns ferry, brand i kontroll-
 system 205
 bränsleelement till reaktorer 94
 buller 119
 BWR (kokareaktor) 95
- cancer 128
 antal fall i Sverige 20, 128
 och fossila bränslen 22
 och kärnkraft 21, 134
 och luftföroreningar 138
 samverkans effekter 130
 cancerogener 130
 cancerrisker från kol- och oljeel-
 dade kraftverk 139
- för personal inom kärnkraftin-
 dustrin 164
 celledning 129
 curie (Ci) 94
- dagbrott 176, 178
 damm från kolhögar m m 119
 dammolyckor 191
 darriusrotor 220
 deoxiribonukleinsyra
 (DNA) 129
 deuterium 224
 DNA (deoxiribonukleinsyra) 129
 dominanta anlag 142
 dosekvivalent 131
 dosinteckning 134
 ofullständig 146
- effektmått 13
 effektutbyggnad 65
 elektrofilter 84
 elkraftproduktion i Sverige 50
 energibalans, Sveriges 12
 energibesparande åtgärder, sam-
 manfattande bedömning 43
 energiförbrukning, Sveriges 51
 världens 47
 energikommissionen 55
 energimått 13
 energipolitiskt beslut 1975 53
 energiprognos, Sverige 1985 52
 energiskogar 216
 energitillförsel till Sverige 50
 energitillgångar, världens 46
- fiske, inverkan av vattenkraftut-
 byggnad 169
 flytande högaktivt avfall 102
 FN:s vetenskapliga strålnings-
 kommitté (UNSCEAR) 21,
 130
 forskningsbehov 44
 fossila bränslen, tillgång på 49
 fosterskador 24, 129, 145
 fusion 224
 förbränning 72
 förnyelsebara energikällor, sam-
 manfattande bedömning 43
 föroreningar, spridning och upp-
 lagring 124
- försurning av mark och vat-
 ten 29, 182
 inverkan av utländska svavel-
 utsläpp 183
- gammastrålning 16
 gaseldat kraftverk, utsläpp från
 80
 gasfält, ingrepp i naturen 174
 genetisk kod 129, 141
 gray 131
- halveringstid 94
 haveritillbud vid kärnkraftag-
 gregat 204
 hybridreaktorer 226
 hälso- och miljöverkningar, för-
 delning av 114
 härds mätning 199
 högaktivt avfall, hälsorisker 148
 mellanlagring av 101
 politiska frågor 151
 sammansättning av 106
 slutförvaring av 105, 148
- ICRP (internationella strål-
 skyddskommisionen) 21, 130
 ingrepp i naturen, sammanställ-
 ning 27
 internationella frågor, samman-
 fattande bedömning 45
 internationella strålskyddskom-
 missionen (ICRP) 21, 130
 isotop 92
- jod-129, hälsorisker 26, 146
 joniserande strålning 16
 cancerrisker 130
 och fosterskador 145
 och ärftliga skador 144
 jordbruk och vattenkraft 170
 jordvärme 217
- kadmium, hälsorisker 20, 126
 upplagring i jordbruks-
 mark 126, 186
 Kalix älv, Parakkakurkkiopro-
 jektet 172

- kedjereaktion 92
 klimatet, inverkan på 31, 188
 klyvningsprodukter 100
 kokarreaktor 95
 kol, arbetsmiljö 33
 bedömd teknisk utveckling 90
 dagbrytning 174
 förbränning 83
 gas och flytande bränslen från 89
 hur det bildades 82
 risker för stora olyckor 35, 196
 sammanfattande bedömning 39
 sammanställning av yrkesskador 158
 transport och lagring 82
 tungmetaller i 86
 kol-14, hälsorisker 26, 147
 kolbrytning 80
 koldioxid och klimat 31, 189
 kolets processkedja 81
 kolgruvor, arbetsmiljö 155
 miljöverkningar 177
 kolkraftverk 84
 aska och slagg från 87
 cancerrisk från 139
 markbehov m m 85, 177
 utsläpp från 86, 88
 kollektivdos 133
 koloxid, hälsorisker 123
 koltransporter, yrkesskaderisker 157
 kondensor 74, 95
 korttidsreglering 63
 kraftledningsgator 175
 kriticitetsolyckor 206
 kromosomavvikelser 141
 kromosomer 129, 141
 kroniska besvär och sjukdomar i andningsvägarna 19, 123
 krypton-85 och klimat 32, 190
 stråldoser från uppberedning 138
 kvicksilver, hälsorisker 20, 127
 inverkan på djurliv 30, 185
 svartlistning av fiskevatten 127
 kvävedioxid, hälsorisker 18, 122
 kvävedioxidhalter i svenska städer 122
 bidrag från kraftverk 123
 WHO-normer 122
 kärnbränsle, utbränt 99
 utbränt, transporter av 108
 kärnklyvning 92
 kärnkraft och cancer 21, 134
 arbetsmiljö 33
 arbetsmiljö (ej strålning) 165
 cancerrisker för personal 164
 risker för stora olyckor 36, 197
 sammanfattande bedömning 41
 sammanställning av yrkesskador 166
 strålning i arbetsmiljön 162
 kärnkraftsaggregat 94
 haveritillbud 204
 riskanalyser 201
 stråldoser från 137
 svenska (tabell) 97
 säkerhetssystem 200
 utsläpp från 97
 kärnkraftens processkedja 91
 kärnkraftverk, markbehov m m 177
 kärnvapenspridning 213
 lakning av uranskiffer 92
 lakrester, strålrisker 147
 uppläggning och övertäckning 179
 urlakning av tungmetaller 152
 latenstid 130
 linjärt samband mellan dos och sjukdomsrisk 133, 139
 litium, användning i fusionsreaktorer 224
 Ljungan, Sölvbackaprojektet 173
 LNG, liquefied natural gas (flytande naturgas) 79
 risker för stora olyckor 195
 luftförorenande ämnen, utsläpp per ton bränsle 73
 luftföroreningar 16
 cancerrisker från 138
 hälsorisker 119
 i svenska städer 121
 och fosterskador 145
 och lungcancer 138
 WHO-normer 121
 luftföroreningshalter, mått på 120
 lukt, obehaglig 119
 lungcancer och luftföroreningar 22, 138
 lungcancer och tobaksrökning 139
 lågaktivt avfall 107, 109
 lågaktivt avfall, hälsorisker 151
 medelaktivt avfall 107, 109
 hälsorisker 151
 megawatt (MW) = miljon watt 13
 metaller, långsiktiga hälsorisker 151
 metallutsläpp från kolkraftverk 89
 från askhögar 27, 188
 hälsorisker 19
 minskning av 20, 89
 risker för växt- och djurliv 30, 184
 metylkvicksilver 127
 mikrogram = miljondels gram motstående intressen 115
 mutation 129, 140
 mutationsfrekvens 142
 MW (megawatt) = miljon watt 13
 nanogram = miljarddels gram
 naturgas, arbetsmiljö 32
 förbränning 80
 risker för stora olyckor 35, 195
 sammanfattande bedömning 41
 tillgångar, utvinning 79
 transport och lagring 79
 yrkesskador 161
 naturlig bakgrundsstrålning 17, 131
 neutron 92
 neutronstrålning 16
 nitrosaminer 146
 ofullständig dosintekning 146
 olja och oljeprodukter, förbränning av 71
 olja, arbetsmiljö 32
 hur den bildades 67
 raffinering 69
 risker för stora olyckor 34, 193
 sammanfattande bedömning 41
 sammanställning av yrkesskador 161
 transport och lagring 69
 utvinning av 67
 oljans processkedja 68
 oljefält, ingrepp i naturen 174
 oljekraftverk, cancerrisker från 139
 markbehov m m 177
 principskiss 74
 utsläpp från 72, 77
 oljeprodukter, förbrukning i Sverige 51
 oljeraffinaderier, arbetsmiljö 160
 oljeraffinaderier, miljöverkningar 177
 oljeskiffer, användning av 217
 oljeskiffer, dagbrytning 174
 oljespill 31, 184

- oljeutvinning, arbetsmiljö 159
ozonlagret, inverkan på 190
- plutonium, cancerrisk 136
plutonium, mängd i använt
kärnbränsle 99
plutoniumhantering och hybrid-
reaktorer 226
risker för kärnvapensprid-
ning 213
risker för stora olyckor 206
risker för terror, sabotage och
utpressning 212
- proton 92
pumpkraftverk 65
PWR (tryckvattenreaktor) 95
- rad 131
radioaktiva ämnen, risker för
växt- och djurliv 29, 184
radioaktiva ämnen, utsläpp av
26
radioaktivt avfall 109
radioaktivt sönderfall 94
radiotoxicitet 134
radon från lakrester 147
radon i urangruvor 162
Ranstad 178
Rasmussenstudien 202
reaktorinneslutningar 202
raktorolyckor, skadeverkningar
200
recessiva anlag 142
redundans 201
rem 131
rennärning och vattenkraft 170
riskanalyser för kärnkraftaggre-
gat 201
riskbegreppet 116
riskvärderingar (stora olyckor),
exempel 207
rökning och lungcancer 139
röntgenstrålning 16
- samhällsutveckling, lokala verk-
ningar av kraftindustri 171
selektion 141
skogsbruk och vattenkraft 170
slangfilter 88
solceller för elproduktion 220
solenergi 218
solfångare för uppvärmning 218
sot, hälsorisker 18, 119
stoftutsläpp och klimat 189
stråldoser (rad, rem, gray) 131
- stråldoser till allmänheten från
kärnkraft 136
till personal vid urangruvor 162
till personal vid kärnkraftverk
163
till personal vid upparbetning av
kärnbränsle 164
vid anrikning och tillverkning av
kärnbränsle 162
- strålskador, akuta 198
sulfater, hälsorisker 18, 122
svartlistning av fiskevatten 127
svaveldioxid, försurning från 29,
182
hälsorisker 18, 119
inverkan på växtligheten 182
transport över gränserna 183
utsläpp i Sverige 30
svaveldioxidhalter, bidrag från
kraftverk 122
WHO-normer 121
svävbädd 87
- terawattimme (TWh) = miljard
kilowattimmar 13
terrorism och plutoniumhante-
ring 212
torv 215
trafikolyckor 118
transuraner 100
transuraner i högaktivt av-
fall 150
tritium, användning i fusionsre-
aktorer 224
stråldoser från upparbet-
ning 138
- tryckvattenreaktor 95
tungmetaller i kol 86
TWh (terawattimme) = miljard
kilowattimmar 13
- UNSCEAR (FN:s vetenskapliga
strålningskommitté) 21, 130
upparbetning 101
och bldreaktorer — olika
handlingsvägar 112
risker för stora olyckor 206
stråldoser från 138
utsläpp av radioaktiva ämnen
från 104
- upparbetningsanläggningar 103
uran, anrikning av 93
uran, tillgång på 49, 51
urangruvor, miljöverkningar 177
uranskiffer, dagbrytning 174,
178
- uranskiffer, lakning av 92
uranutvinning 91
- vanadin, inverkan på växtliv 30,
186
varmvatten, utsläpp av 29, 181
vattenkraft och kulturminnen
170
och lokalklimat 171
och rennärning 170
arbetsmiljö 32, 153
ingrepp i naturen 169
inverkan av olika utbygg-
nadsprojekt 171
inverkan på fiske 169
inverkan på jord- och skogs-
bruk 170
inverkan på turism och fri-
luftsliv 169
risker för stora olyckor 34,
191
sammanfattande bedöm-
ning 39
vattenkrafttillgångar, Sveriges
65
vattenkraftverk 58
största svenska (tabell) 62
vattenmagasin 62
vattenmagasin (tabell) 64
ved 216
villkorslagen (1977:140) 56
vindenergi 220
vindkraftverk 221
våtekraft 224
- yrkesskador, kol (sammanställ-
ning) 158
kärnkraft (sammanställ-
ning) 166
naturgas 161
olja (sammanställning) 161
vattenkraft 155
- ånggenerator 96
årsreglering 62
- älvar, vattenkraftproducerande
(tabell) 66
ärfrliga skador 24, 129, 140
av joniserande strålning 144
av kärnkraft 145, 164
från användning av bräns-
len 145
från stor reaktorolycka 201



Kronologisk förteckning

1. Totalförsvaret 1977–82. Fö.
2. Bilarbetstid. K.
3. Utbyggd regional näringspolitik. A.
4. Sjukvårdsavfall. Jo.
5. Kvinnlig tronföljd. Ju.
6. Översyn av det skatteadministrativa sanktionssystemet 1. B.
7. Rätten till vapenfri tjänst. Fö.
8. Folkhögskolan 2. U.
9. Betygen i skolan. U.
10. Utrikeshandelsstatistiken. E.
11. Forskning om massmedier. U.
12. Kommunal och enskild väghållning. K.
13. Sveriges samarbete med u-länderna. Ud.
14. Sveriges samarbete med u-länderna. Bilagor. Ud.
15. Handelsstålsindustrin inför 1980-talet. I.
16. Handelsstålsindustrin inför 1980-talet. Bilagor. I.
17. Översyn av jordbrukspolitiken. Jo.
18. Inflationsskyddad skatteskala. B.
19. Radio och tv 1978–1985. U.
20. Kommunernas ekonomi 1975–1985. B.
21. Svensk undervisning i utlandet. U.
22. Arbete med näringshjälp. A.
23. Psykiskt störda lagöverträdare. Ju.
24. Näringsidkares avbetalningsköp m. m. Ju.
25. Båtliv 2. Registerfrågan. Jo.
26. Kvinnan och försvarets yrken. Fö.
27. Revision av vattenlagen. Del 4. Förslag till ny vattenlag. Ju.
28. Kortare väntetider i utlänningsärenden. A.
29. Konkursförvaltning. Ju.
30. Elektronmusik i Sverige. U.
31. Studiestöd. U.
32. Konsumentskydd vid köp av begagnad personbil. Ju.
33. Allmänflygplats–Stockholm. K.
34. Inrikesflygplats–Stockholm. K.
35. Inrikesflygplats–Stockholm. Bilagor. K.
36. Ersättning för brottsskador. Ju.
37. Underhåll till barn och fränksilda. Ju.
38. Folkbildningen i framtiden. U.
39. Företagsdemokrati i kommuner och landstingskommuner. Kn.
40. Socialtjänst och socialförsäkringstillägg. S.
41. Socialtjänst och socialförsäkringstillägg. Sammanfattning. S.
42. Kronofogdemyndigheterna. Kn.
43. Koncentrationstendenser inom byggnadsmaterialindustrin. I.
44. Skyddad verkstad–halvskyddad verksamhet. A.
45. Information vid kriser. H.
46. Pensionsfrågor m. m. S.
47. Billingen. I.
48. Översyn av de speciella statsbidragen till kommunerna. B.
49. Översyn av rättshjälpsystemet. Ju.
50. Häktning och anhållande. Ju.
51. Fusioner och förvärv i svenskt näringsliv 1969–73. H.
52. Forskningspolitik. U.
53. Sektorsanknuten forskning och utveckling. Expertbilaga 1. U.
54. Information om pågående forskning. Expertbilaga 2. U.
55. Forskning i kontakt med samhället. Expertbilaga 3. U.
56. Energi – program för forskning, utveckling, demonstration. I.
57. Energi – program för forskning, utveckling, demonstration. Bilaga A. I.
58. Energi – program för forskning, utveckling, demonstration. Bilaga B. I.
59. Energi – program för forskning, utveckling, demonstration. Bilaga C. I.
60. Energi – program för forskning, utveckling, demonstration. Bilaga D. I.
61. Energi – program för forskning, utveckling, demonstration. Bilaga E. I.
62. Energi – program för forskning, utveckling, demonstration. Bilaga F. I.
63. Fortsatt högskoleutbildning. U.
64. STUs stöd till teknisk forskning och innovation. I.
65. Kommunernas gatuhållning. Bo.
66. Patienten i sjukvården – kontakt och information. S.
67. Energi, hälsa, miljö. Jo.

Systematisk förteckning

Justitiedepartementet

Kvinnlig tronföljd. [5]
Psyiskt störda lagöverträdare. [23]
Näringsidkares avbetalningsköp m. m. [24]
Revision av vattenlagen. Del 4. Förslag till ny vattenlag. [27]
Konkursförvaltning. [29]
Konsumentskydd vid köp av begagnad personbil. [32]
Ersättning för brottsskador. [36]
Underhåll till barn och frånskilda. [37]
Översyn av rättshjälpssystemet. [49]
Häktning och anhållande. [50]

Utrikesdepartementet

Biståndspolitiska utredningen. 1. Sveriges samarbete med u-länderna. [13] 2. Sveriges samarbete med u-länderna. Bilagor. [14]

Försvarsdepartementet

Totalförsvaret 1977-82. [1]
Rätten till vapenfri tjänst. [7]
Kvinnan och försvarets yrken. [26]

Socialdepartementet

Socialutredningen. 1. Socialtjänst och socialförsäkringstillägg. [40]
2. Socialtjänst och socialförsäkringstillägg. Sammanfattning. [41]
Pensionsfrågor m. m. [46]
Patienten i sjukvården - kontakt och information. [66]

Kommunikationsdepartementet

Bilarbetstid. [2]
Kommunal och enskild väghållning. [12]
Allmänflygplats-Stockholm. [33]
Brommautredningen. 1. Inrikesflygplats-Stockholm. [34] 2. Inrikesflygplats-Stockholm. Bilagor. [35]

Ekonomidepartementet

Utrikeshandelsstatistiken. [10]

Budgetdepartementet

Översyn av det skatteadministrativa sanktionssystemet 1. [6]
Inflationsskyddad skatteskala. [18]
Kommunernas ekonomi 1975-1985. [20]
Översyn av de speciella statsbidragen till kommunerna. [48]

Utbildningsdepartementet

Folkhögskolan 2. [8]
Betygen i skolan. [9]
Forskning om massmedier. [11]
Radio och tv 1978-1985. [19]
Svensk undervisning i utlandet. [21]
Elektronmusik i Sverige. [30]
Studiestöd. [31]
Folkbildningen i framtiden. [38]
Forskningsrådsutredningen. 1. Forskningspolitik. [52] 2. Sektorsanknuten forskning och utveckling. Expertbilaga 1. [53] 3. Information om pågående forskning. Expertbilaga 2. [54] 4. Forskning i kontakt med samhället. Expertbilaga 3. [55]
Fortsatt högskoleutbildning. [63]

Jordbruksdepartementet

Sjukvårdsavfall. [4]
Översyn av jordbrukspolitiken. [17]
Båtliv 2. Registerfrågan. [25]
Energi- och miljökommittén. 1. Energi, hälsa, miljö. [67]

Handelsdepartementet

Information vid kriser. [45]
Fusioner och förvärv i svenskt näringsliv 1969-73. [51]

Arbetsmarknadsdepartementet

Utbyggd regional näringspolitik. [3]
Arbete med näringshjälp. [22]
Kortare väntetider i utlänningsärenden. [28]
Skyddad verkstad-halvskyddad verksamhet. [44]

Bostadsdepartementet

Kommunernas gatuhållning. [65]

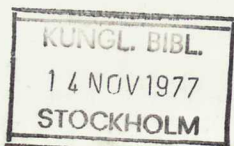
Industridepartementet

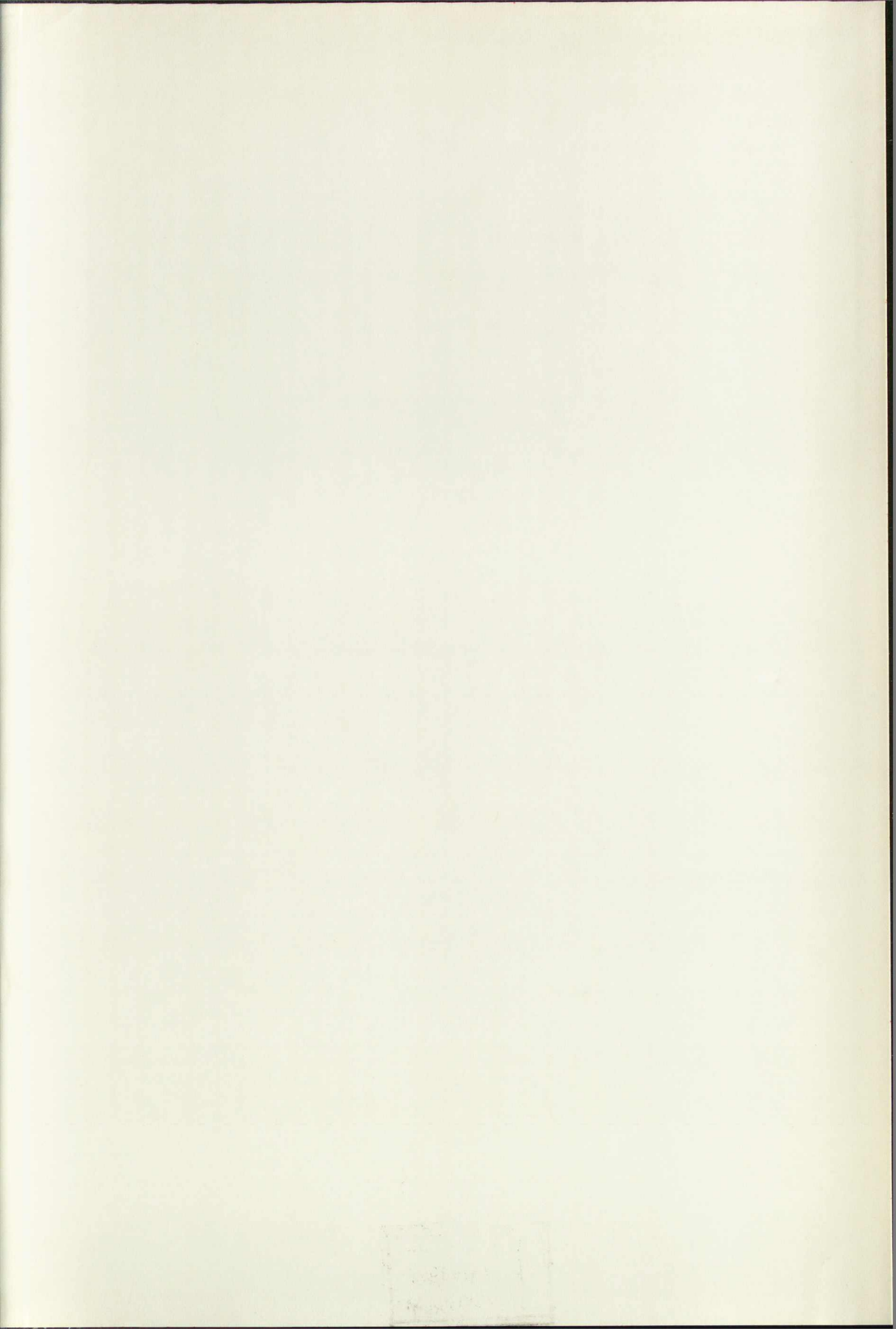
Handelsstålsutredningen. 1. Handelsstålsindustrin inför 1980-talet. [15] 2. Handelsstålsindustrin inför 1980-talet. Bilagor. [16]
Koncentrationstendenser inom byggnadsmaterialindustrin. [43]
Billigen. [47]
Delegationen för energiforskning. 1. Energi - program för forskning, utveckling, demonstration. [56] 2. Energi - program för forskning, utveckling, demonstration. Bilaga A. [57] 3. Energi - program för forskning, utveckling, demonstration. Bilaga B. [58] 4. Energi - program för forskning, utveckling, demonstration. Bilaga C. [59] 5. Energi - program för forskning, utveckling, demonstration. Bilaga D. [60] 6. Energi - program för forskning, utveckling, demonstration. Bilaga E. [61] 7. Energi - program för forskning, utveckling, demonstration. Bilaga F. [62]
STUs stöd till teknisk forskning och innovation. [64]

Kommundepartementet

Företagsdemokrati i kommuner och landstingskommuner. [39]
Kronofogdemyndigheterna. [42]

Anm. Siffrorna inom klammer betecknar utredningarnas nummer i den kronologiska förteckningen





- Vilka hälsorisker innebär luftföroreningar från vår nuvarande användning av olja och bensin?
- Vad skulle en ökad användning av kol innebära från hälso- och miljösynpunkt?
- Vilka är riskerna för stora olyckor vid användning av kärnkraft och andra energislag?

Detta är exempel på frågor som energi- och miljökommittén tar upp i Energi, Hälsa, Miljö.

Syftet med detta betänkande är att presentera hälso- och miljöverkningar vid användning av olika energislag på ett sätt som är lättillgängligt även för icke fackmän.

Energi, Hälsa, Miljö bygger på ett omfattande tekniskt och vetenskapligt underlag vars huvuddel redovisas i detalj i tre bilagor om fossila bränslen (SOU 1977:68), kärnkraft (SOU 1977:69) och arbetsmiljö (SOU 1977:70).

