

9

Atomalderen og fremtiden

Den 2. december 1942 lykkedes den første kædereaktion med spaltning af uran-235.

Nogle kalder det starten på atomalderen. Hvad skal det mon ende med?

Den første kædereaktion og de første atombomber

På forrige side ser du en tegners gengivelse af det historiske øjeblik i 1942, da det for første gang lykkedes at gennemføre en kontrolleret kædereaktion. Det var et led i de allieredes bestræbelser under 2. verdenskrig på at fremstille en atombombe før tyskerne.

Forsøget blev udført i dybeste hemmelighed i kælderen under Chicagos universitet. Uranstænger blev skubbet ind i en stabel af grafitklodser, der virkede som moderator. Cadmiumstænger kunne ligeledes skubbes ind i stabelen for at bremse og kontrollere kædeprocessen.

Forsøget lykkedes, og, som vi omtalte i begyndelsen af bogen, førte det til, at amerikanerne tre år senere gjorde ende på 2. verdenskrig ved at kaste to atombomber over Japan.

I starten var de allierede begejstrede over sejren, men snart fremkom der kritiske røster, som stillede spørgsmål ved det moralsk forsvarlige i at udslutte hele byers civilbefolkninger på denne måde. De ansvarlige for nedkastningen af bomberne forsvarede sig med, at mange flere mennesker ville være blevet dræbt i den følgende tids krigshandlinger, hvis ikke atombomben havde sat en hurtig stopper for krigen.

Udviklingen efter krigen

Efter 2. verdenskrig fulgte et uhyggeligt oprustningskapløb. I 1949 foretog Sovjetunionen en prøvesprængning af deres første atombombe, og i dag er der en lang række lande, som råder over atomvåben. Nogle af de bomber, man har fremstillet i vore dage, er mere end 1000 gange så kraftige som de første atombomber.

Det er mange mennesker urolige over. Andre erklærer, at det netop er fordi virkningen af bomberne er så forfærdelig, at vi ikke har oplevet nogen ny storkrig i Europa siden 2. verdenskrig.



Bomben, som amerikanerne kastede over den japanske by Hiroshima i 1945, lagde byen i ruiner og dræbte 78 000 mennesker. To dage senere blev en tilsvarende bombe kastet over Nagasaki.



I de senere år har man gentagne gange forsøgt at opnå aftaler mellem stormagterne om begrænsning af kernevåbnene og om nedrustning i det hele taget.

For eksempel er det lykkedes for USA og Rusland at indgå en aftale om, at begge lande skal skrotte en stor del af de enorme lagre af missiler med atombomber, som de råder over, og arbejdet hermed er gået i gang. Men desværre sker der hele tiden en udvidelse af kredsen af lande, som har atomvåben til rådighed.

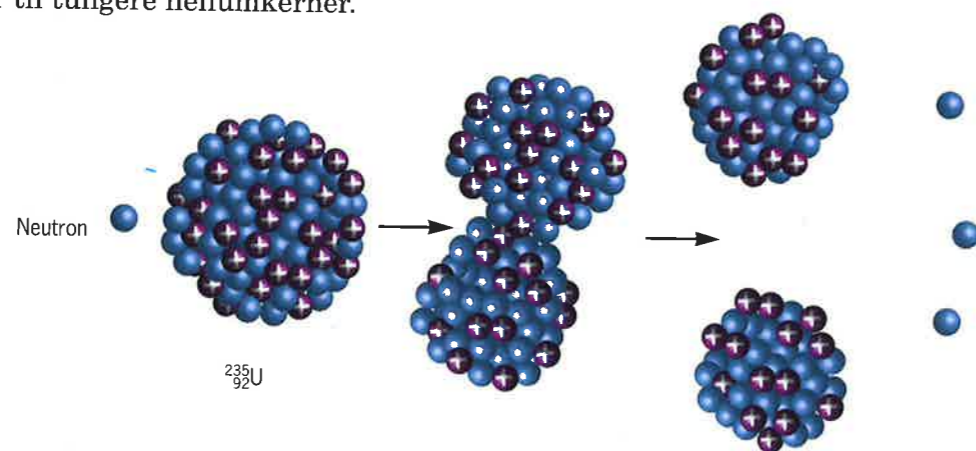
Brintbomben

I 1952 lykkedes det for USA at fremstille og afprøve en såkaldt brintbombe, som var endnu kraftigere end den hidtil kendte atombombe.

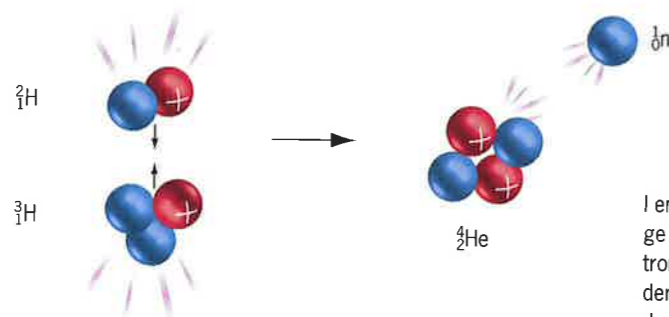
Mens der i den almindelige atombombe foregår en spaltning af tunge atomkerner, sker der det modsatte i brintbomben, nemlig en sammensmeltning af hydrogenkerner til tungere heliumkerner.



Prøvesprængning af en brintbombe, som er mere end 1000 gange så kraftig som den første atombombe.



I en almindelig atombombe foregår der en spaltning (fission) af tunge atomkerner.



I en brintbombe sker der en sammensmeltning (fusion) af to tunge hydrogenkerner ${}^2_1\text{H}$ og ${}^3_1\text{H}$ til en heliumkerne ${}^4_2\text{He}$ og en fri neutron. Den herved frigjorte energi kan forårsage en ny fusion, så der kommer en kædereaktion i gang. Hydrogenisotopen ${}^3_1\text{H}$ findes ikke i naturen, men den kan for eksempel fremstilles ved at bombardere lithium-atomer med neutroner.



Årsagen til Solens enorme udstråling er, at der i Solens indre foregår lignende kerneprocesser som i en brintbombe, nemlig fusion af hydrogenkerner til heliumkerner. Det har stået på i ca. $4 \frac{1}{2}$ milliard år, og man anslår, at der på Solen er hydrogen nok til, at denne udstråling kan fortsætte med samme styrke i 4-5 milliarder år endnu – også selv om der på Solen omdannes 624 millioner ton hydrogen i sekundet.

Fission og fusion

Spaltningensproces, som foregår i en atombombe, kalder man *fission*, mens processen i brintbomben, hvor tunge hydrogenkerner smelter sammen til heliumkerner, kaldes *fusion*.

Ved fissionsprocessen er det de frastødende kræfter mellem protonerne, man udnytter. I fusionsprocessen udnytter man derimod de tiltrækkende kernekræfter mellem nukleonerne.

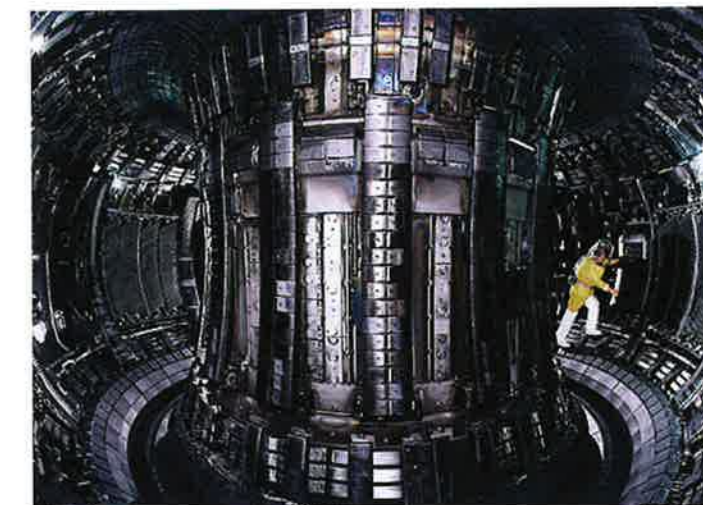
En kædereaktion af fusionsprocesser er meget vanskelig at få i gang. Det kræver en enorm høj temperatur at få de to tunge hydrogenkerner så tæt på hinanden, at de tiltrækkende kernekræfter kan trække kernerne sammen på trods af protonernes elektriske frastødning. Denne sammentrækning sker til gengæld med en sådan voldsomhed, at der frigøres væsentlig mere energi, end der blev brugt til at starte processen.

For at opnå den høje temperatur, som kræves for at starte fusionen i en brintbombe, anvender man en almindelig atombombe som tændsats.

På Solen er det fusionsprocesser, som er skyld i de enorme energimængder, der hele

tiden strømmer ud fra Solen i form af stråling. Disse fusionsprocesser kan foregå, fordi der i Solens indre både er en meget høj temperatur og et meget højt tryk.

Man har i mange år arbejdet på at bygge en kernereaktor, hvor man udnytter fusionsprocessen. Men det varer nok mange år endnu, inden det lykkes at bygge en sådan reaktor, hvis det overhovedet nogensinde sker.



I dette kæmpemæssige ringformede kammer ved det såkaldte JET-projekt i England er det lykkedes at få en fusionsproces til at virke i ganske få sekunder ad gangen.

Sikkerheden på kernekraftværker

Når en kernereaktor er i drift, udvikles der meget store mængder energi, som opvarmer det vand, der strømmer igennem reaktoren og det lukkede rørsystem. Vandet opvarmes til en meget høj temperatur, for eksempel 300 grader, uden at det kommer i kog. Det skyldes, at der opstår et meget stort tryk i rørsystemet og reaktoren (ved 300 grader ca. 150 atmosfære).

Når vandet strømmer gennem reaktoren, bliver nogle af vandets hydrogenatomer ved bestrålingen omdannet til den radioaktive isotop ^3_1H . Hvis der på et eller andet tidspunkt opstår en mindre utæthed i systemet, vil det meget hede vand blive pres-



Ved hjælp af de mange instrumenter på væggene i dette kontrolrum kan man holde øje med, om alt fungerer tilfredstillende.

set ud og omgående fordampe. Før man får tætnet systemet, kan der da ske et udslip af radioaktiv damp.

Sådanne mindre uheld er forekommet, men den radioaktive forurening har altid været så lille, at der ikke er sket nogen væsentlig forøgelse af den naturlige baggrundsstråling.

Det, der især gør reaktoruheld farlige, er, at man ikke – blot ved at skyde cadmiumstænger ind i reaktoren – kan hindre en fortsat varmeudvikling. Ganske vist kan man hurtigt standse spaltningprocesserne, men ved de spaltninger af uranatomer, som allerede er foregået, er der opstået et stort antal radioaktive stoffer, som vil fortsætte med at afgive store energimængder i form af alfa-, beta- og gammastråling.

Flere af de dannede radioaktive stoffer har en halveringstid på flere dage. Derfor er man i lang tid nødsaget til fortsat at afkøle reaktoren ved at pumpe vand igennem den. Gør man ikke det, kan man risikere, at temperaturen bliver så høj, at brændselselementerne og de metalbeholdere, de er indesluttet i, smelter. I værste fald kan man risikere, at det smeltede stof brænder sig igennem reaktorbygningens bund og først standses 15-20 meter nede i jorden. Samtidig vil der foregå en kraftig fordampning, så der opstår et stort tryk i reaktorbygningen, hvis vægge måske vil slå revner eller endog sprænges. Herved vil store mængder af radioaktive stoffer kunne spredes ud i omgivelserne.

På alle kernekraftværker har man indbygget en række kontrolanordninger, som automatisk skal lukke reaktoren ned, hvis der sker noget unormalt. De skal også kunne sætte et nødkølingssystem i gang, hvis den normale nedkøling svigter. Herudover sørger man for, at reaktoren til stædighed overvåges af teknikere, som kan gribe ind, hvis automatikken svigter. Til trods herfor er der alligevel forekommet to alvorlige reaktoruheld i den tid, kernereaktorerne har eksisteret.

To alvorlige uheld

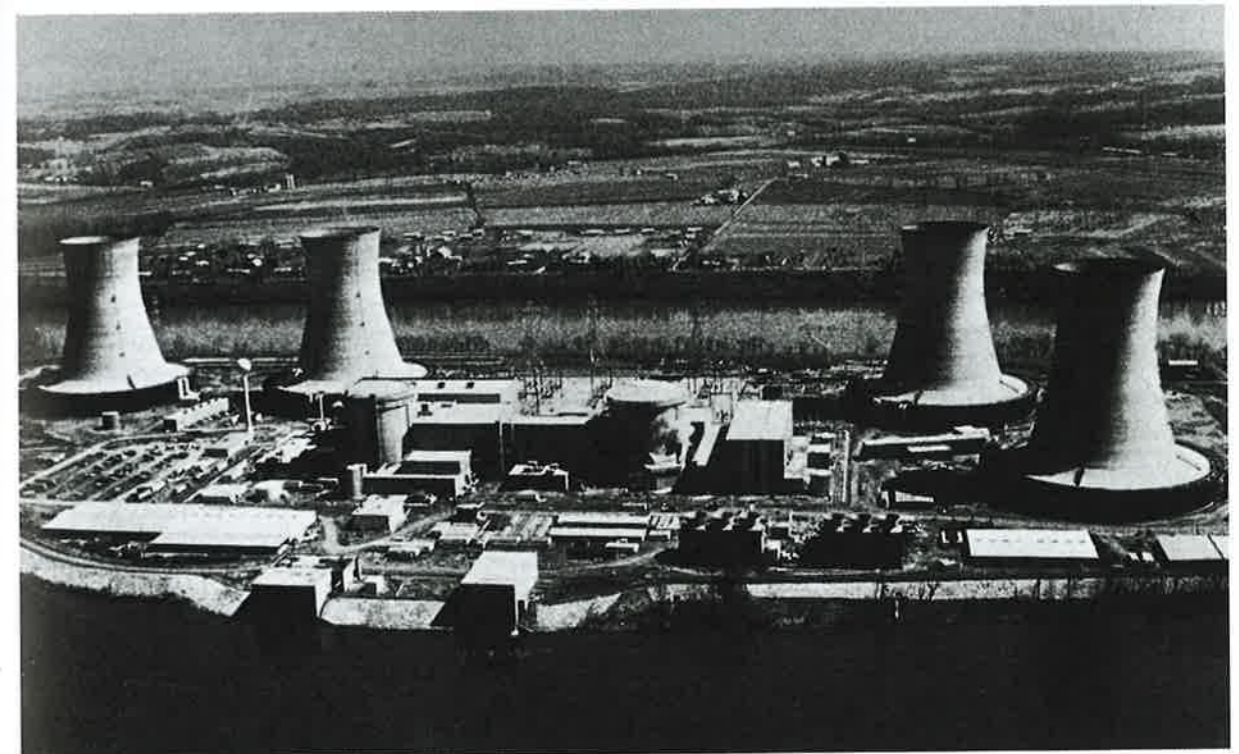
Det ene af vor tids to store uheld på et kernekraftværk skete på kernekraftværket på Three Mile Island ved Harrisburg i USA i 1979. Her skete der dog heldigvis kun materiel skade. En defekt ventil bevirkede, at vandstanden i reaktoren sank, så beholderne med brændselselementerne kom til at rage op over kølevandet og blev utætte. Der skete et kortvarigt udslip til omgivelserne af stærkt radioaktive luftarter, og reaktoren blev så beskadiget, at den aldrig vil kunne bruges igen.

Det andet og langt alvorligere uheld skete i 1986 i den daværende Sovjetunion i byen Tjernobyl i Ukraine. Her var reaktoren langt dårligere indkapslet end reaktorerne i USA og Vesteuropa. Den afveg også fra de vestlige reaktorer ved, at man ikke anvendte vand som moderator, men i stedet grafit, som er brændbart. Hvert brændselselement befandt sig i en trykbeholder omgivet af grafit. Kølevandet, som skulle opvarmes og danne damp til dampturbi-

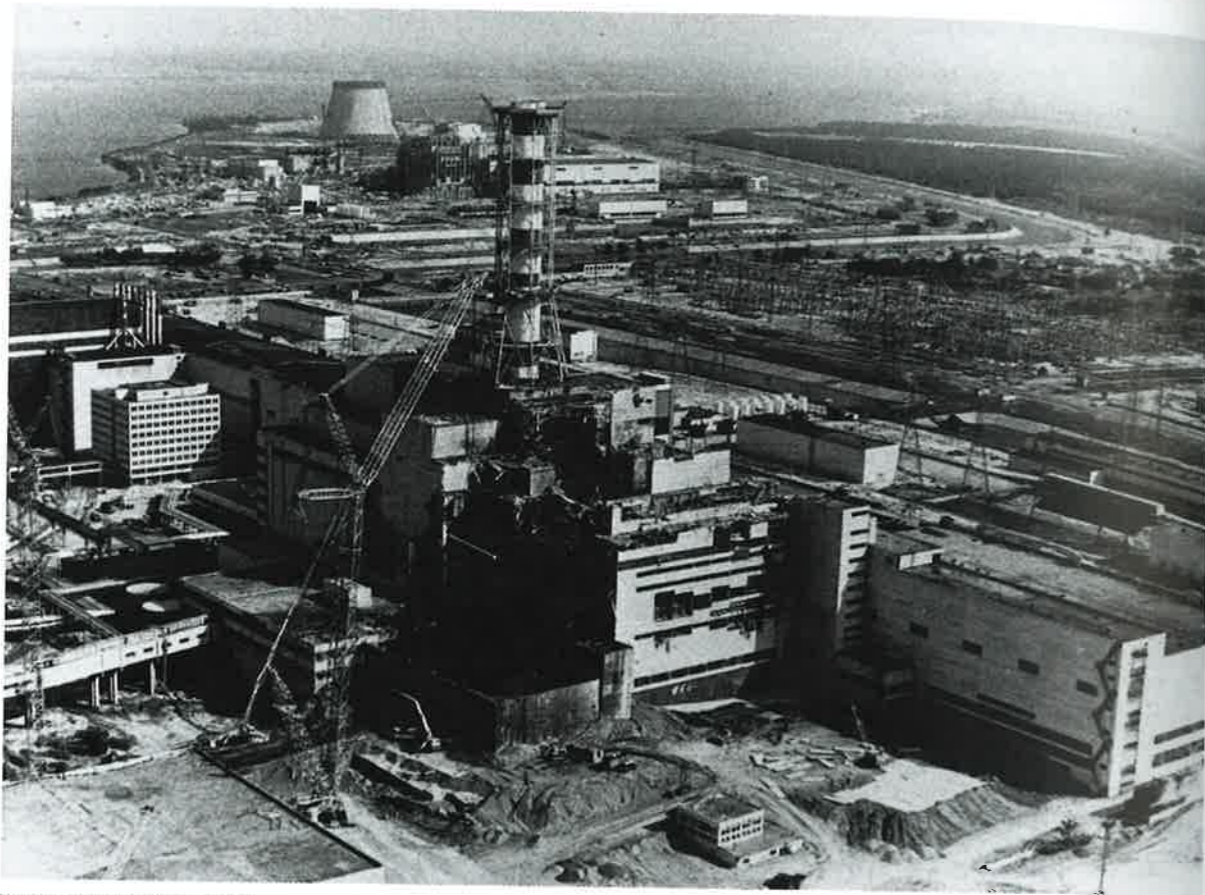
nerne, blev ledet igennem selve brændselselementerne.

Under en driftsmæssig afprøvning af reaktoren med nedsat effekt begyndte kædeprocessen at forløbe ustabil. Da man alligevel forsøgte at gennemføre prøven, steg effekten og varmeudviklingen pludselig voldsomt. Før man kunne nå at standse kædeprocessen ved hjælp af kontrolstængerne, smeltede brændselselementerne og omdannede store mængder kølevand til damp. Det frembragte to kraftige eksplosioner hurtigt efter hinanden, hvorved hele reaktorens top blev ødelagt og taget revet af bygningen, som brød i brand. Grafitten begyndte også at brænde.

Først efter 10 dages forløb lykkedes det at slukke grafitbranden, så man kunne indkapsle reaktoren. Herved fik adskillige af de mennesker, der deltog i redningsarbejdet så alvorlige strålingsskader, at de døde af det, og mange andre blev senere angrebet af alvorlige sygdomme, som man mener skyldes den stråling, de blev udsat for.



Kernkraftværket på Three Mile Island i USA blev i 1979 ramt af et alvorligt uheld, som dog heldigvis ikke kostede menneskeliv.



Kernkraftværket i Tjernobyl i Ukraine blev i 1986 ramt af den hidtil alvorligste reaktorulykke, som kostede mange menneskeliv. Man forsøgte at slukke branden i reaktoren ved at nedkaste forskellige materialer fra en helikopter. Men først da man ledte flydende kvælstof, som har en temperatur på minus 196°C, ind under reaktoren, lykkedes det at slukke ilden i den brændende grafit.

Ved uheldet opstod der en stor radioaktiv sky, som hævede sig mere end en kilometer op i luften og spredte sig ud over store dele af Europa. Det bevirkede, at der flere steder fremkom radioaktiv nedbør, som forurenede markerne og de planter, som blev dyrket her. Et stort område omkring reaktoren blev så forurenede, at man måtte evakuere samtlige beboere og genhuse dem i fjerntliggende områder.

Begge disse uheld bevirkede, at man på de eksisterende kernkraftværker, især kernkraftværkerne i USA og i Vesteuropa, stillede krav om, at de automatiske sikkerhedsforanstaltninger skulle forbedres, og at personalet skulle have en bedre uddannelse.

Risikoen ved kul- eller oliefyrede kraftværker

Når man skal vurdere farerne ved at anvende kernkraftværker, må man ikke glemme, at der også er risiko ved at drive traditionelle kraftværker, hvor der fyres med kul og olie.

Man må tage i betragtning, at det koster menneskeliv at hente kul op fra gruberne. Alene ved ulykker omkommer her ca. 200 mennesker årligt, og omkring 4000 kulminearbejdere dør hvert år af en lungesygdom, som opstår ved indånding af kulstøv.

Der er også sket en række dødsulykker på olieplatformene, og vi har i de senere år oplevet, at man ved olieboringer på hav-



Den norske boreplatform Alexander Kielland, som kæntruede d. 27. marts 1983.

bunden har frembragt ukontrollerede udstrømninger af olie, som har forurenede store områder og ødelagt fiskebestanden.

Hertil kommer, at afbrændingen af store mængder kul og olie frembringer en voldsom luftforurening, som kan være farlig for mange menneskers helbred, og som muligvis i det lange løb kan frembringe ubehagelige klimaændringer.

Danmarks energipolitik

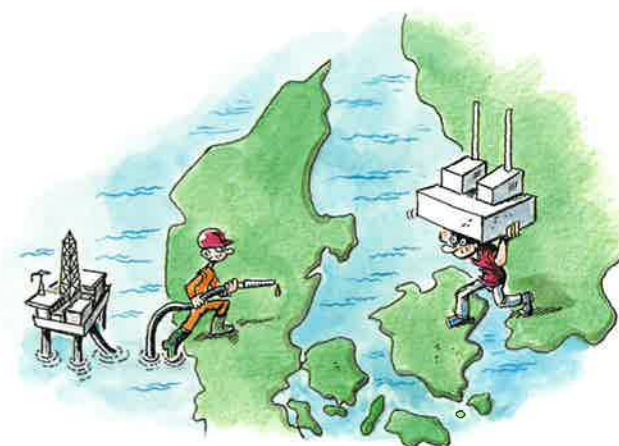
I Danmark har politikerne haft meget svært ved at finde ud af, hvilken energipolitik landet skal føre.

Man har været enige om, at man ville opnå større sikkerhed i energiforsyningen og en økonomisk fordel, hvis man kunne nedsætte importen af olie og kul ved at gøre brug af andre energikilder.

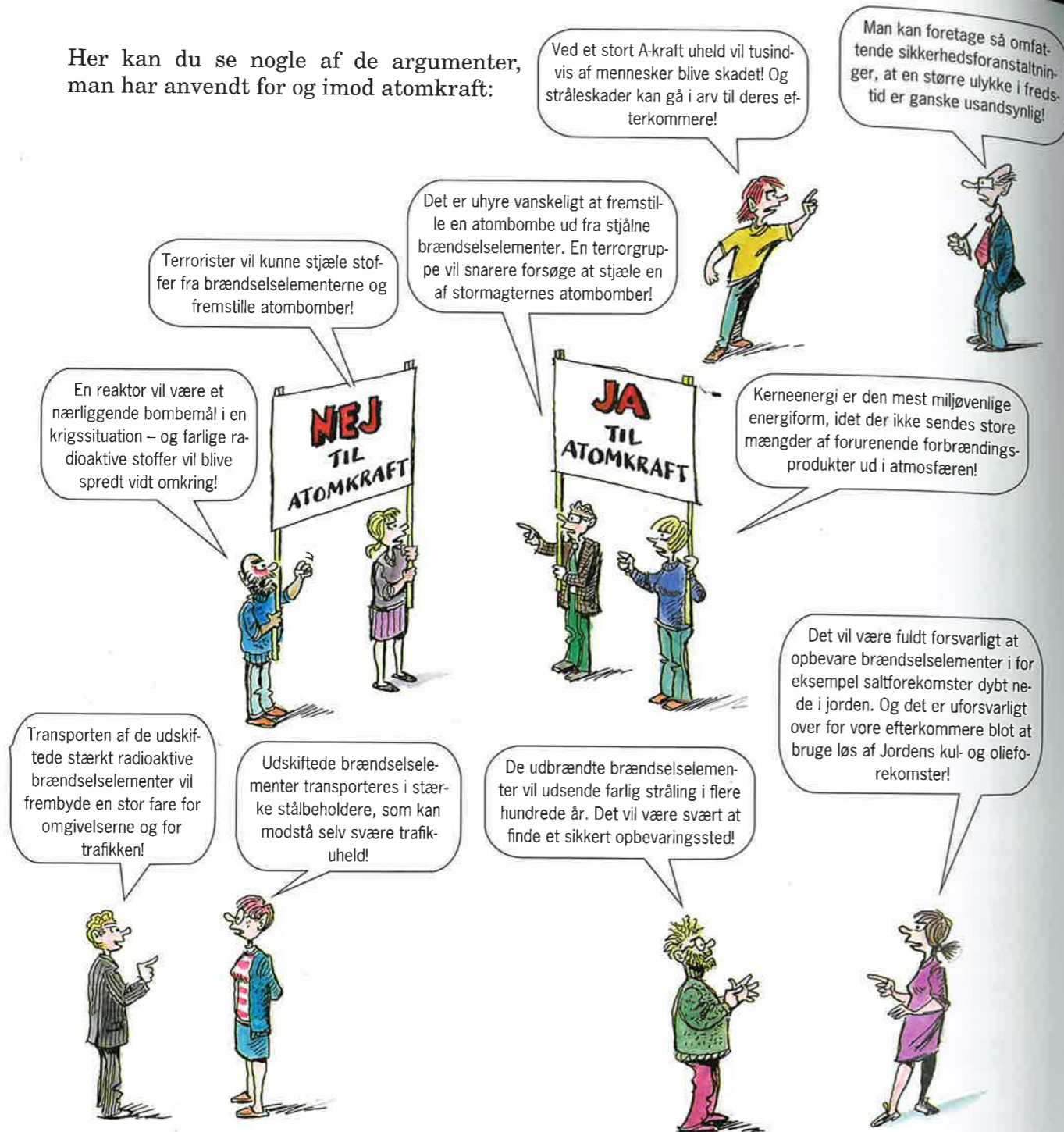
I 70-erne diskuterede man, om man skulle satse på kerneenergi, eller om man skulle

koncentrere sig om at udnytte de ret store forekomster af råolie og naturgas, som man har fundet i den danske del af Nordsøen. Man mente ikke, man havde råd til at satse på begge energiformer.

Hertil kom, at der var mange, der var betænkelige ved overhovedet at bygge kernkraftværker. Der var livlige diskussioner og protestmarcher med argumenter både for og imod anvendelsen af atomkraft.



Her kan du se nogle af de argumenter, man har anvendt for og imod atomkraft:



Danmarks nuværende energiforsyning

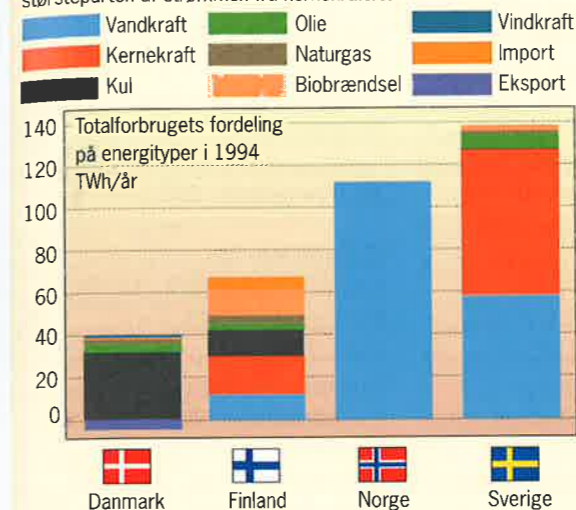
Modstanderne mod anvendelse af kernekraft vandt. Man byggede boreplatforme, hvorfra man nu udvinder ganske store mængder af råolie og naturgas. Naturgasen føres ud til forbrugerne i store dele af

landet gennem et kæmpemæssigt fordelingsnet af gasrør. Det har bevirket, at Danmark nu er næsten selvforsynende med energi.

Der importeres næsten kun energi i form af kul, som man anvender store mængder af på de danske elværker, hvor over 90 procent af brændslet udgøres af kul.

Sådan får Norden energi

Der er stor forskel på, hvordan de fire nordiske lande fremstiller el. I Danmark er kul den dominerende energitype i elværkerne, mens vandkraft dominerer i Norge, og svenskerne stadig henter størsteparten af strømmen fra kernekraftværkerne.



Anvendelse af kul på de danske elværker er ikke problemfrit. Det medfører, at der strømmer store mængder svovldioxid SO_2 , nitrogen-oxider NO_x og kuldioxid CO_2 ud i atmosfæren. Derfor forurener Danmark atmosfæren i langt højere grad end de andre nordiske lande.

Selv om man i Danmark i de senere år har gjort en stor indsats for at rense røgen fra elværkernes skorstene, er der stadig tale om en stor forurening af atmosfæren. På ovenstående tegning kan du se, hvilke former for energi der anvendes til produktion af el i de nordiske lande. Du kan se, at man i Norge udelukkende anvender vandkraft, i Sverige næsten udelukkende kernekraft og vandkraft, medens man i Finland bruger mange forskellige former for energi.

Vil der blive bygget kernekraftværker i Danmark?

Der vil næppe blive bygget kernekraftværker i Danmark i de nærmeste mange år. Om det nogen sinde vil ske, afhænger af mange forskellige forhold. Hvis omkostningerne ved at anvende kerneenergi på et

eller andet tidspunkt i praksis viser sig at blive væsentligt lavere end ved anvendelse af kulfyrede værker, kan det komme på tale. Selv om prisen på kul fortsat vil være lav, kan forøgede krav til rensning af røgen gøre det mindre rentabelt at anvende kul. Det vil også have stor betydning, om der i de kommende år sker alvorlige udslip fra de mange kernereaktorer, der er i brug rundt omkring i verden.

Udviklingen i Sverige vil nok også komme til at spille en væsentlig rolle. De svenske kernereaktorer er nu ved at være så gamle, at de skal skrottes. Det store spørgsmål er da, om svenskerne fortsat vil satse på kerneenergi, eller, om de vil vende tilbage til produktion af el på lignende måde, som vi gør det i Danmark.

Prøv at forestille dig, at politikerne engang, når du er voksen, stiller forslag om at bygge et atomkraftværk i Danmark med henvisning til, at det vil være den mest økonomiske og miljørigtige måde at producere el på. Ville du da støtte forslaget eller gå imod det?

I kan eventuelt dele jer i grupper, hvor I diskuterer dette problem, idet I kan tage udgangspunkt i de argumenter, som vi på side 114 har omtalt, at kernekrafttilhængere og kernekraftmodstandere har anvendt.

Udslip fra kraftværker i de nordiske lande, 1993

