

7 Fusionsforskningen fremover

I kapitel 3 fandt vi de plasmafysiske krav, Lawson-kriteriet, der skal opfyldes, før vi kan bygge en fusionsreaktor. Kravene er, at brændstoffet skal kunne opvarmes til ca. 100 millioner K, og at det skal kunne holdes så effektivt indesluttet i et magnetfelt, at $n\tau_E$ -produktet bliver tilstrækkeligt stort, omkring $3 \cdot 10^{19} \text{ s m}^{-3}$. I over 10 år har man været i stand til at opvarme plasmaer til mere end den nødvendige temperatur. JET og tilsvarende amerikanske og japanske opstillinger har opnået $n\tau_E$ -værdier, der ligger meget tæt ved "break-even" og kun en faktor 6 under kravet for antænding (se figur 3.4). Sammen med resultater fra andre laboratorier har disse resultater overbevist brede kredse inden for fusionsforskningen om, at man nu har tilstrækkelig viden til at kunne designe og bygge en ny stor fusionsreaktor, som vil kunne opnå antænding. Dette har bragt fusionsforskningen i den situation, at næste naturlige skridt vil være at bygge et eksperiment, hvori man kan studere brændende eller måske endog antændte plasmaer.

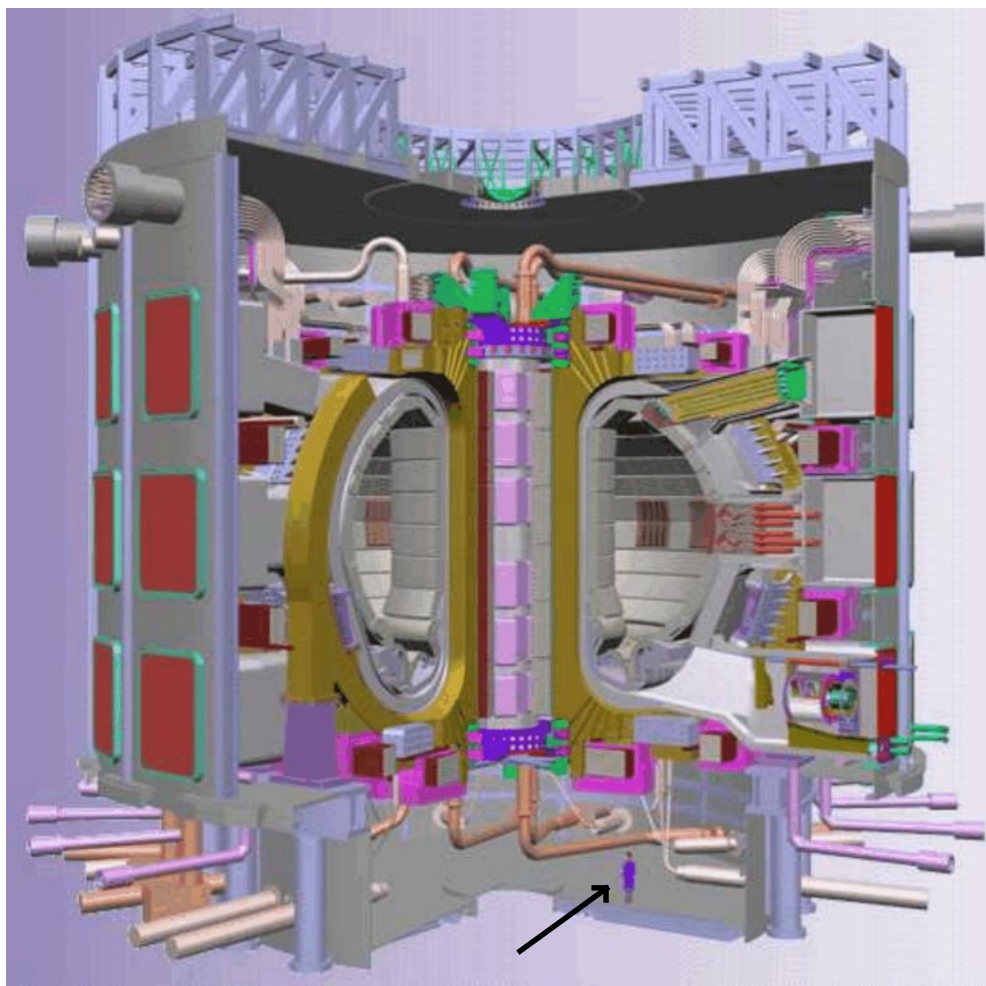
7.1 De næste fusionseksperimenter: ITER-FEAT

Omkring 1992 blev der nedsat en stor forskergruppe med deltagere fra de fire store partnere i det internationale fusionsprogram: Europa, Japan, USA og Rusland. Gruppen fik til opgave at designe et stort fusionseksperiment, hvori antændte plasmaer kunne studeres. Det var tanken, at eksperimentet skulle bygges af de fire partnere i fællesskab og dermed blive et virkeligt internationalt projekt. Det fik navnet ITER, som er akronym for **I**nternational **T**hermonuclear **E**xperimental **R**eactor. I 1998 fremlagde gruppen resultatet af sit arbejde. Deres design var en reaktor af tokamaktypen, som skulle kunne opnå et antændt fusionsplasma med en fusionseffekt på ca. 1500 MW i pulser, der er mere end 1000 sekunder lange. ITER skulle først og fremmest bruges til at studere brændende plasmaer, men var også designet, således at den var egnet til studier af mere teknologisk karakter som fx hvilke materialer, der er bedst egnede til væggene i plasmakammeret, og hvordan man får den dannede energi transporteret ud gennem disse vægge. Det blev anslået, at det ville koste ca. 50 milliarder danske kroner at bygge ITER.

Selvom der blandt de fire partners eksperter var bred enighed om, at ITER-designet med meget stor sandsynlighed ville kunne leve op til målsætningen, kunne der ikke opnås politisk enighed om at bygge den. De politikere, der skulle tage beslutningen, fandt, at det var for dyrt. I stedet blev forskergruppen bedt om at udarbejde et nyt og mindre ambitiøst projekt, som måtte koste omkring det halve.

I 1999 fremlagde gruppen forslag til et mindre eksperiment, som nu kaldes ITER-FEAT. FEAT er akronym for **F**usion **E**nergy **A**mplification **T**okamak. ITER-FEAT er designet til at producere 400 MW, altså mindre end en tredjedel af ITERs mål på 1500 MW, og pulserne bliver kun ca. 400 sekunder lange. ITER-FEAT er ikke designet til at opnå antænding, men kun til at opnå et brændende plasma. Den del af fusionseffekten, der afsættes direkte i plasmaet, udgør ca. 90 % af den varmeeffekt, som er nødvendig for at opretholde den høje temperatur og dermed holde plasmaet antændt. De sidste ca. 10 % af den nødvendige varmeeffekt må tilføres udefra ved brug af en eller flere af de supplerende opvarmningsmetoder, der er omtalt i kapitel 5. Den energi, som ITER-FEAT producerer, vil ikke blive brugt til at fremstille el, da det ville komplicere det eksperimentelle program. Konstruktionsprisen for ITER-FEAT er beregnet til omkring 25 milliarder danske kroner. For sammenligning kan det være interessant at nævne, at storebæltsbroen også kostede af størrelsesordenen 25 milliarder kroner.

Her i år 2001 diskuteres ITER-FEAT i de højeste politiske fora. Der er bred enighed om, at ITER-FEAT er et godt projekt, som vil være et nødvendigt og fornuftigt næste skridt på vejen mod realiseringen af fusionsenergien. Problemet er mere, at der er lande, bl.a. nogle europæiske, som ikke føler, at fusion er en energiform, der bør sættes på nu. Om man kan blive enige om at bygge ITER-FEAT, eller noget tilsvarende, er et åbent spørgsmål. Der kan håbes på en beslutning i løbet af et år eller to, men det er ikke sikkert. Et er klart: For at komme videre i fusionsforskningen bliver der på et tidspunkt behov for et stort eksperiment med et ambitionsniveau, der mindst svarer til ITER-FEAT.



Figur 7.1.

ITER-FEAT er et fusionseksperiment af tokamaktypen, der vil blive færdigdesignet i løbet af 2001. Det afventer den politiske beslutning om opbygning og placering. Bemærk manden, der står nederst til højre. (Kilde: ITER)

Fra den dag beslutningen om at bygge ITER-FEAT eller noget tilsvarende er taget, vil byggetiden nærme sig de 10 år. Derefter kan man regne med en 15 til 20 år lang periode, hvor der samles eksperimentelle resultater, bl.a. om brændende plasmaers fysik. Efter at disse resultater er opnået, skal der mindst bygges endnu et stort fusionseksperiment til at demonstrere, at man kan fremstille fusionsenergi som en konkurrencedygtig energiform. Det vil tage op mod 40 til 50 år, før fusionskraftværker kan blive en troværdig og tiltalende kandidat, når der skal tages beslutninger om at opføre nye kraftværker. Først derefter kan fusionsenergien begynde at blive en energikilde, der dækker en væsentlig del af menneskehedens forbrug.

7.2 Fusionskraftværket

Det er naturligvis ikke muligt at sige, hvordan et fusionskraftværk, der først kan blive en realitet om måske 40 år, kommer til at se ud. Figur 7.2 viser på skematisk form, hvordan man tænker sig et sådant kraftværk. Det brændende fusionsplasma ligger som en lukket ring inde i en torusformet beholder. Det holdes indesluttet af et magnetfelt, hvoraf det meste genereres af supraledeende magnetfeltspoler, der ligger omkring kammeret. Spolerne skal være supraledeende, da strømvarmetabene ellers ville være alt for store. Fra det brændende fusionsplasma udsendes energien som stråler af energirige neutroner og varme. Denne energistråling passerer gennem vakuumbeholderens væg og ud i en kappe, hvor deres energi afsættes som varme. I kappen er indlagt en varmeveksler, hvorigennem der pumpes vand. Den varme, der er afsat i kappen, opvarmer vandet i varmeveksleren og føres med dette til en dampgenerator, hvori den omdanner vandet i et andet rørsystem til damp, som så trækker turbinen og generatoren i et konventionelt elkraftværk. Generatoren producerer elkraft, der sendes ud til brugerne via forsyningsnettet.

Efterhånden som fusionsneutronerne afgiver deres energi i kappen, vil de ramme ind i kerner af litium, der også er indeholdt i kappens materiale. De vil derfor indgå i processerne (V) eller (VI) i underafsnit 3.2.2, hvorved der dannes tritium og helium, som pumpes ud fra kappen. Tritiumet separeres fra heliummet ved en destillationsproces og sendes sammen med deuterium, der er udvundet af havvand, tilbage i det brændende plasma som frisk brændstof.

En ekstra afskærmning omkring kappen forhindrer, at der trænger for mange neutroner ud i reaktorummet.

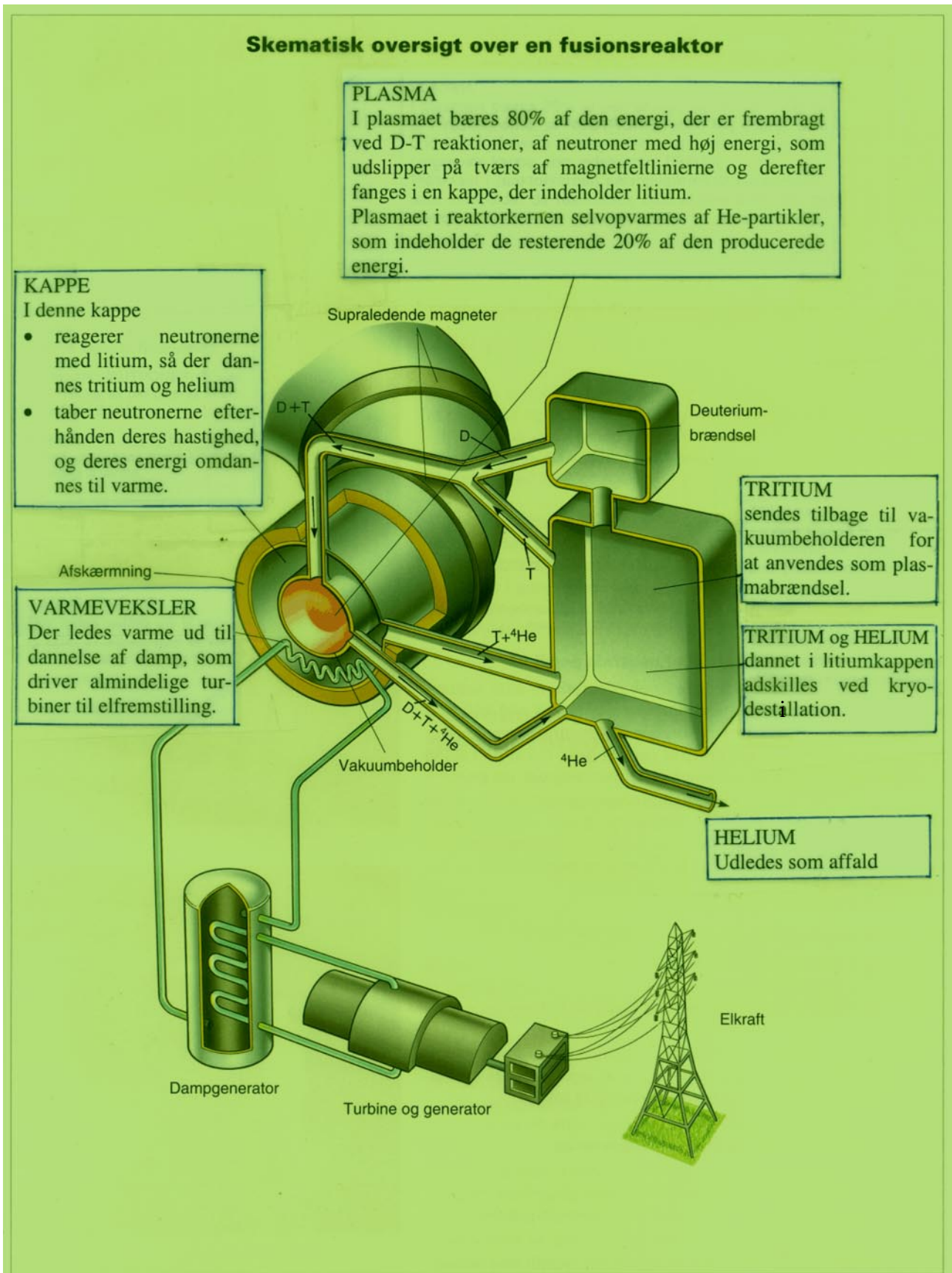
Fusionsenergien vil først og fremmest blive brugt til at producere el. Det vil dog også blive muligt at benytte spildvarmen i fjernvarmeanlæg, ligesom kraftvarmeværker i dag giver både el og varme.

Med den begrænsede viden om brændende plasmaer, som vi har i dag, ser det ud til, at fusionskraftværker kun vil kunne bygges i ret store enheder. Det skyldes, at Lawson-kriteriet kun ser ud til at kunne opfyldes i store maskiner. Man forudser, at kommende fusionskraftværker vil blive nogle få GW, altså på størrelse med de største af de kraftværker, der er i brug i dag. Det betyder så også, at fusionsreaktorer kun vil blive bygget, hvor der er meget store energiforbrug, som i de stærkt industrialiserede områder i fx Vesteuropa, USA og Japan. Fusionsreaktorer vil næppe blive bygget i små samfund med begrænset energiforbrug som fx Grønland og mange små øer. Netop fordi fusionsenergien vil kunne dække store dele af energibehovet i områder med meget stort forbrug, vil den kunne hjælpe med til en væsentlig reduktion af det samlede forbrug af energi fra andre forurenende kilder, som de fossile.

7.3 Sikkerhed og miljø omkring fusionsenergi

Enhver form for energiproduktion medfører sikkerhedsproblemer og påvirkning af vort miljø. Det kommer også til at gælde for fusionsenergi, men vurderinger viser, at den vil have mange fordele i sammenligning med andre energiformer.

Da fusionsenergi fremstilles ved kerneprocesser, dannes der nødvendigvis radioaktivitet. Problemerne hermed vil imidlertid blive væsentligt forskellige fra og mindre end dem, vi kender fra de nuværende atomkraftværker, der er baseret på fission af uran. Mængden af brændstof i en fusionsreaktor vil altid være meget lille og kun nok til få minutters forbrænding. Man skal løbende tilføre fusionsplasmaet nyt brændstof, ellers stopper processerne. Fusionsprocesserne er endvidere vanskelige at holde i gang, og ved enhver driftforstyrrelse vil de tendere mod at gå i stå. En kernenedsmeltning i en fusionsreaktor, som den vi så i Tjernobylys fissionsreaktor i 1986, er derfor en fysisk umulighed.



Figur 7.2. Skematisk oversigt over et fremtidigt fusionskraftværk.

De primære fusionsbrændstoffer, deuterium og litium, findes i store mængder overalt på Jorden, og de kan udvindes og benyttes uden problemer. Det tritium, der skal bruges som brændstof, dannes ud fra litium i kappen omkring plasmaet ved indfangning af neutroner, der er dannet ved fusionsprocesserne i plasmaet. Tritium er en radioaktiv brintisotop, som er farlig, hvis man får den ind i kroppen. Den samlede mængde tritium, som behøves på et kraftværk, udgør få kilogram. Selv ved et alvorligt uheld, som kan være forårsaget af sabotage, flystyrt eller jordskælv, hvorved der slipper tritium ud, vil konsekvensen for befolkningen af være ubetydelig, og det vil ikke blive nødvendigt at evakuere folk uden for kraftværkets område. Det er værd at bemærke, at da tritium dannes på kraftværket, skal det ikke transporteres uden for værket med de risici, det måtte medføre.

Opgave 7.1. Vi ser på en tænkt fremtidig fusionsreaktor, der har et plasmavolumen på 2000 m^3 med iontætheder $n_D = n_T = 0,5 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$. I plasmaet produceres en fusionseffekt på i alt 2 GW .

1. Hvad vejer de mængder af deuterium og tritium, der er i reaktoren?
2. Hvad vejer de mængder af deuterium og tritium, der pr. sekund forbrændes i reaktoren?
3. Hvor stor en del af den mængde tritium, der på et givet tidspunkt er til stede i reaktoren, vil forbrænde i løbet af et sekund?
4. Det ønskes, at der på kraftværket altid skal være tritium på lager til en uges forbrug. Hvor meget vejer dette tritiumlager?

Det er ikke alle neutronerne fra fusionsprocesserne, der indfanges i litium og danner tritium. En del indfanges i strukturmaterialet omkring reaktoren. Dette materiale bliver derfor efterhånden radioaktivt. Der er imidlertid en vis frihed til at vælge disse strukturmateriale, så radioaktiviteten minimeres, og der forskes meget i at finde de bedst egnede. Radioaktiviteten, der er i strukturmateriale, når de skal udskiftes, eller når reaktoren skal nedlægges, henfalder meget hurtigere end radioaktivt affald fra fissionsreaktorer. På figur 7.3 sammenlignes dels den mængde radioaktivitet, der dannes, når der produceres en vis energimængde med tre forskellige metoder - tre forskellige fissionsreaktorer, to forskellige scenarier for fusionsreaktorer, og forbrænding af kul - og dels henfaldet af disse radioaktive stoffer. Som det fremgår, dannes der 10 – 100 gange mindre radioaktivitet ved fusion end ved fission; men det er meget mere væsentligt, at radioaktiviteten fra fusionskraftværket har en meget kortere henfaldstid. I løbet af ca. 50 år vil restradioaktiviteten være nede på samme niveau som den, der er indeholdt i asken fra et kulfyret værk. Radioaktiviteten fra fissionsværker har levetider på mange tusinde år. Det bliver derfor meget lettere at løse problemerne med radioaktivt affald fra fusion end fra fission, og specielt bliver langtidsdeponeringen et meget mindre problem.

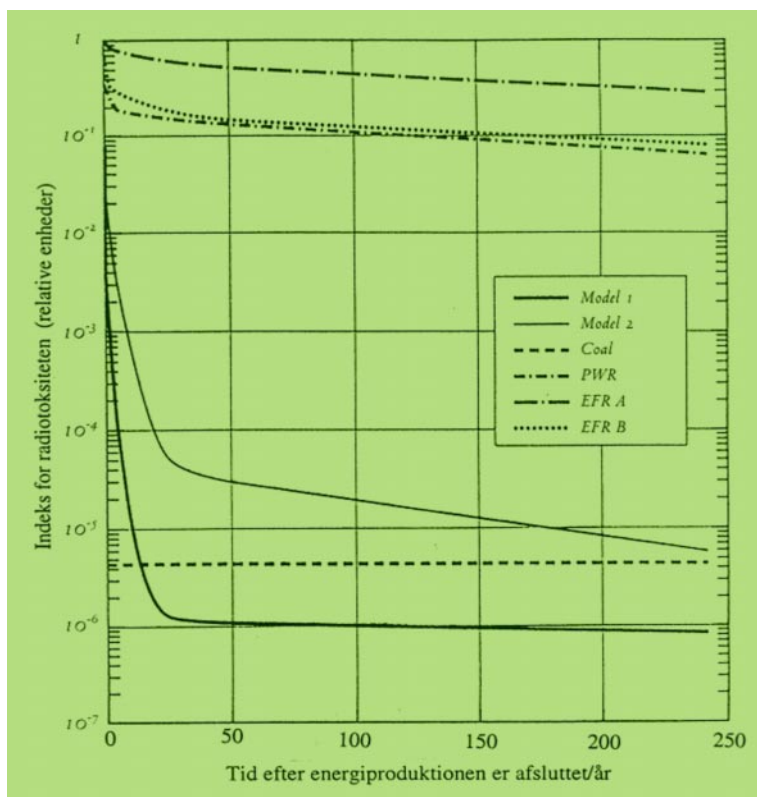
I modsætning til energiproduktion ved afbrænding af fossile brændstoffer, der jo medfører udslip af store mængder af røggasser, specielt CO_2 , vil et fusionskraftværk under normal drift overhovedet ikke udsende forurenende stoffer. Den eneste miljøpåvirkning, der vil opstå, stammer fra den spildvarme, som ikke kan benyttes som fjernvarme eller andet, og som derfor må sendes ud i naturen. Det samme problem er også kendt fra almindelige kraftværker, der benytter fossile brændstoffer.

Som det fremgår vil fusionsenergien være bedst egnet til at producere el. Hvis den en gang bliver vor dominerende energikilde, må vi i størst muligt omfang omlægge forbruget til el. Det bliver let at erstatte kul-, gas- eller olieopvarmning af bygninger med el. Ligeledes vil der ikke være store problemer med at elektrificere togdriften samt de industrier, der nu betjener sig af fossile energikilder. Det bliver sværere at omstille andre transportmidler som biler fly og skibe til eldrift. For biler kan man tænke sig, at de i meget højere grad vil komme til at benytte elbatterier. Generelt må man nok forudse, at man vil komme til at benytte fusionsenergien til at fremstille forskellige former for brændbare

gasser som fx ren brint eller kulbrinter. Disse brændstoffer, der ikke eller kun i lille grad forurener, vil så erstatte de fossile brændsler, som i dag benyttes i de forskellige transportmidler.

Figur 7.3.

Udviklingen i den mængde radioaktivitet, der er i affaldet fra forskellige energikilder, der alle år nul har produceret samme energimængde. PWR EFR A og EFR B er tre forskelligetyper af fissionsreaktorer, Model 1 og Model 2 er to forskellige tænkte fusionsreaktorer, og COAL er et kulfyret kraftværk.



Boks 7.1 Fusionsforskningens omkostninger og administration

Fusionsforskningen er det største målrettede forskningsprojekt, som menneskeheden nogen sinde har involveret sig i. Det årlige globale budget beløber sig til mere end 10 milliarder danske kroner, hvilket svarer til, at hvert individ på denne klode i gennemsnit betaler ca. 2 kroner til denne forskning om året. Hovedparten af forskningen finder sted i de fire store blokke: Europa (EU), Japan, Rusland og USA. EU-landene tegner sig for den største del af det samlede budget, idet de tilsammen bruger ca. 3,5 milliarder kr. om året. Japan og USA bruger hver omkring 2,5 milliarder danske kroner om året. Gennem de sidste godt fem år har indsatsen på fusionsområdet været vigende i USA. De har beskåret deres fusionsbudgetter med godt 33 %, og i 1999 meldte de sig ud af ITER-samarbejdet. Nu lige efter årtusindskiftet ser det dog ud til, at interessen for fusion igen er stigende i USA. I Japan er interessen for fusionforskning stor, hvilket ses af, at de har et konstant højt fusionsbudget, og af, at de som de første har tilbudt sig som værtsland for ITER. Indsatsen i Rusland er svær at få oplyst, men den ligger en god del under de andres. Rusland giver dog udtryk for stor interesse for fusionsforskning, og de er aktive inden for ITER-samarbejdet.

Fusionsforskningen i EU-landene er koordineret og til en vis grad organiseret gennem EU-organet EURATOM. Herved har vi et fælleseuropæisk fusionsforskningsprogram. Hovedparten af forskningen foregår på nationale laboratorier i medlemslandene. Disse laboratorier er tilknyttet det fælles program gennem associeringsaftaler med EURATOM. Ifølge disse aftaler betaler

EURATOM ca. en tredjedel af udgifterne til laboratoriernes forskning mod at have en vis indflydelse på forskningsprogrammerne på de enkelte laboratorier. Denne ordning sikrer, at der inden for den europæiske fusionsforskning bliver forsket i alle relevante og nødvendige områder, og samtidig undgås unødvendig dublering af arbejdet. Styringen af det europæiske program ligger i et fusionsdirektorat under EU-kommissionen. Der er nedsat en række specialistgrupper med medlemmer fra de nationale laboratorier, som rådgiver fusionsdirektoratet og EU-Kommissionen om fusionsforskningsproblemer. Store beslutninger som fx budgetternes størrelser og om EU's deltagelse i ITER-FEAT træffes i EU-Ministerrådet.

Forskningscenter Risø er den danske partner i det fælleseuropæiske fusionsprogram. Lige siden Danmark i 1972 blev medlem af EF, nu EU, har en lille Risø-gruppe på omkring 10 – 15 forskere været associeret til det europæiske program. Årsbudgetterne har ligget på ca. 5 millioner kroner. Gruppens programmer kan deles op i to grupper: en grundforskningsmæssig del, hvor man på Risø udfører forskellige plasmafysiske undersøgelser, der er relevante for fusionsforskningen, og en del, hvor man fremstiller delapparatur til de store eksperimenter på store laboratorier i andre EU-lande og senere deltager i arbejdet med dette apparatur.

Indtil omkring 1990 arbejdede gruppen med tre projekter, der havde direkte relevans for den fælleseuropæiske fusionsforskning. Thomsonspredningsudstyret til JET, som er vist i figur 6.5, er et eksempel på et sådant arbejde. Et andet projekt bestod i at designe og bygge såkaldte pilleinjektorer. Baggrunden herfor er, at det kan blive et stort problem at få fyldt frisk deuterium- og tritiumbrændstof på en fusionsreaktor. En mulig måde at løse dette problem på er at skyde brændstoffet ind i plasmaet i form af små (ca. 1–2 mm i diameter) frosne brændstoffpiller med hastigheder på flere kilometer pr. sekund. Risøgruppen har fremstillet pilleinjektorer, der arbejdede efter luftbøseprincipper, og som kunne opnå hastigheder op til ca. 2 km pr sekund. Endelig arbejdede gruppen med undersøgelser af materialer, der er egnede som vægmateriale i kammeret i en fusionsreaktor.

Omkring 1990 blev gruppens aktiviteter beskåret kraftigt og omfattede derefter kun fortsættelse af de grundforskningsmæssige undersøgelser samt materialeundersøgelserne. I 2001 ser det ud til, at gruppen igen får sine ressourcer udvidet, så den igen kan indgå i tæt samarbejde med andre fusionslaboratorier om specielle måleudstyr.

Ved siden af det egentlige forskningsprogram har gruppen påtaget sig undervisning på universitetsniveau i fusionsplasmafysik. I mere end 30 år har et medlem af gruppen undervist som ekstern lektor på Danmarks Tekniske Universitet. Denne undervisning har medført, at mere end 50 studerende fra DTU eller andre universiteter har gennemført deres eksamensprojekter i gruppens regi. Gruppens medlemmer har vejledt mere end 20 ph. d. studerende, som har opnået deres grader for arbejder i gruppen. Gruppen har på den måde i stor udstrækning selv uddannet de medarbejdere, der nu arbejder i gruppen, samtidig er der mere end 10 fusionsforskere, som har fået deres grunduddannelse i gruppen, som nu arbejder på fusionslaboratorier over hele Jorden.

Opgave 7.B.1. I snit bruger hvert individ her på Jorden en energimængde svarende til ca. 2 toe eller til ca. 2 m³ olie om året. Markedsprisen uden skat og afgifter på en tønde olie er her i år 2001 omkring 30 dollars. En tønde er lig 159 liter. Beregn, hvor mange penge hvert individ i snit årligt bruger til energi og sammenlign dette beløb med de ca. 2 danske kroner, som den samlede fusionsforskning får fra hvert individ.

Stikordsregister

- Affald, radioaktivt, 60
Alfapartikel, α -partikel, 18
Antændelsestemperatur, 6, 30
Antænding, 30, 56
Atomenergi, 14
Atomer, 16
Atomkerners vægt, 18
- Barn, 26
Befolkning, Jordens, 9
Bevægelse i magnetfelter, 39
Bevægelsesenergi, 8
Bindingsenergi, 16
Biomasse, 11
Boltzmanns konstant, 21
"Break-even", 32, 44
Brintbomber, 6, 17
Brintkerne, 18
Brændstoffer, fossile, 6, 61
Brændende plasma, 56, 59
Bølgeenergi, 11
Bølgers frekvens, 50
Bølgelængde, 50
Bølgers periode, 50
- CO₂-indhold, 13
- Deuterium, 18
Deuteron, 18
Dopplereffekten, 53
D+T processen 19
- Effekttæthed, 27
Einsteins formel, 16
Elektromagnetiske bølger, 49, 50
Elektromagnetisk stråling, 49
Elektronvolt, 9
Energibehov, menneskehedens, 8,9
Energi, definition, 8
Energi fra biomasse, 11
Energiforbrug, gennemsnitligt, 10
Energiforbrug, globalt, 8
Energi, kemisk, 8
Energikilder, fossile, 10
Energikilder, primære, 10
Energikilder, vedvarende, 10
Energi, potentiel, 8
- Energitab, 31
Energi, termisk, 21, 24
Energitæthed, 24, 31
EU-landene, 61
EURATOM, 62
eV, 9, 18
- Fission, 14, 17
Forbrænding, antændt, 6
Fordelingsfunktion, Maxwells, 23
Forekomster af fusionsbrændstof, 19
Forskningscenter Risø, 62
Fusion, 14, 17
Fusionsbrændstoffer, 18, 19, 58, 60
Fusionseffekttæthed, 21, 25, 28
Fusionsenergi, 6
Fusionsforskningen fremover, 56
Fusionskraftværk, 14, 19, 56
Fusionsplasma, 25, 27
Fusionsprocesser, 6, 16, 18
Fusionsreaktor, 6, 18, 56
Fusion, termonuklear, 20
Fusionstværsnit, 26
- Gasteori, 23
Gyrofrekvens, 40, 46
Gyroradius, 40
- ³He, 19
Helium, 18
Henfaldstid, 60
Homogent magnetfelt, 38, 41
Hovedparametre, 35
Højfrekvensopvarmning, 45, 46
Højrehåndsreglen, 38
- Indeslutning, 33, 41, 44
Instabilitet, 35, 37
ITER, 56, 61
ITER-FEAT, 56
- JET, 44, 47, 48, 54, 56
- Kelvintemperatur, 21
Kerneenergi, 10
Kernenedsmeltning, 60
Kinetisk gasteori, 23

- Kold fusion, 65
Kollektiv vekselvirkning, 36
Kræfter i magnetfelter, 39
- Ladningsskifte, 47
Laplaces lov, 39
Laser, 51
Laserfusion, 65
Lawson-kriteriet, 33, 42, 44, 56, 58
Litium, 19, 58, 60
Lorentzkraften, 39
- Magnetiske kræfter, 39
Magnetfelt, 37
Magnetfeltlinie, 37
Magnetisk indeslutning, 35, 37, 41, 44
Maxwellfordelingen, 23
Massetal, A, 16
Mikrobølgeledere, 46
Miljøpåvirkning, 10, 12, 58, 60
Myonfusion, 65
Måleudstyr, 49
Månen, 19
- Neutralinjektion, 48
Neutroner, 16, 19
Nukleoner, 16
 $n\tau_E$ -produktet, 32, 44
- Ohmsk effekt, 46
Ohmsk opvarmning, 45
Omkostninger, 61
Opvarmningsmetoder, 45
Opvarmning ved injektion af neutrale partikler, 45, 47
- Partikeltryk, 24, 29
Pilleinjektorer, 62
Plasma, 20
Plasmabegrebet, 20, 35
Plasmafysik, 35
Plasmas hovedparametre, 35
Plasmaindeslutning, 33, 41
- Plasmadiagnostik, 49
Plasmas resistivitet, 46
Plasmainstabilitet, 35
Plasmaopvarmning, 45
Plasmastrøm, 43
- Plasmatæthed, 34, 52
Polært Magnetfelt, 43
Protoner, 16
- Radioaktivitet, 58
Radioaktivt affald, 60
Radioaktivt henfald, 60
Radiofrekvensbølger, 47
RF-bølger, 47
Reaktionshastighed, 27
Reaktionstværsnit, 25
Risøs fusionsforskning, 54, 62
- Sandsynlighed for fusion, 27
Sikkerhed, 58
Selvopvarmning, 30
Solenergi, 11
Solvinden, 19
Spektralfordeling, 53
Stellarator, 65
Strålingstab, 31
Stødfri plasma, 36
Stødparameter, 25
Supplerende opvarmningsmetoder, 46, 56
- Temperatur, kinetisk, 21
Temperaturmåling, 49, 52
Termiske bevægelser, 20, 53
Termisk energi, 21, 24
Thomsonspredning, 49
Tilstandsform, 35
Tilstandsligningen, 35
Toe, (tons olie ekvivalent), 9
Termonuklear fusion, 20
Tokamak, 33, 42, 43, 45
Torus, 38
Toroidalt felt, 38, 43
Toroidale systemer, 39, 41
Tritium, 16, 18, 60
Triton, 18
Tryk, 24
Tværsnit, 25
Tæthedsmåling, 49, 52
- Undervisning, 62
- Vandkraft, 11
Varmeenergi, 8
Vertikalt felt, 43
Vindenergi, 11

Supplerende læsning

Her gives en liste over supplerende dansksproget litteratur om fusionsforskning samt nogle internetadresser, hvor yderligere oplysninger kan findes.

Jens-Peter Lynov og Poul Michelsen, *Tokamakken*, Risø-M-2830, 1989, 17 sider. Hæftet, der på elementært niveau beskriver fusionsforskningens og specielt tokamakens problemer, kan rekvireres på biblioteket på Forskningscenter Risø.

Vagn O. Jensen, *Fusionsforskningen og jet-eksperimentet*, Naturens Verden, 1992, side 191-2000.

Vagn O. Jensen, *Fusionsenergi. Hvor langt er vi nået?*, Naturens Verden, 1999, side 14 – 25.

Vagn O. Jensen, *Fusionsplasmafysik*, Risø-M-2743, 1989, 193 sider. Hæftet, der er brugt som forelæsningsnoter ved fusionskurser på DTU, kan rekvireres på biblioteket på Forskningscenter Risø.

Vagn O. Jensen, *Fusionsenergi - fremtidens energikilde?*, Aktuel Videnskab nr. 1, 2002, side 11-14.

Den Store Danske Encyklopædi, Danmarks Nationalleksikon, som er udgivet af Gyldendal i perioden 1994-2001, indeholder flere artikler om fusion. Følgende titler kan anbefales: *fusionsenergi, hybrid reaktor, inertifusion, JET, kold fusion, laserfusion, magnetisk flaske, myonfusion, pincheffekt, plasma, plasmafysik, stellarator, termonuklear reaktion* og *tokamak*.

Følgende internetadresser giver oplysninger om fusionsforskning. Det er kun Risøs hjemmeside, der foreligger på dansk, de fleste af de øvrige er på engelsk. Der er mange links mellem forskellige laboratoriers fusionsartikler.

Forskningscenter Risø: <http://www.risoe.dk/euratom>

Euratom: <http://europa.eu.int/comm/research/fusion1.html>

ITER: <http://www.iter.org/>