

KÄRN KRAFT

En informationskrift från Svensk Energi

■ *Sol, ved och andra brännbara material, strömmande vatten och muskelkraft var de enda energikällor människan hade tillgång till fram till 1700-talet.*

■ *Med ångmaskinens hjälp utvecklades industrisamhället under hela 1800-talet. Kol började användas och blev en dominerande energikälla.*

När elgeneratorn och elmotorn uppfunnits i slutet av 1800-talet förstärktes kolets ställning ytterligare eftersom all elkraft producerades i kolkraftverk.

■ *Det första vattenkraftverket byggdes i Sverige 1882 och vattenkraftutbyggnaden nådde sin kulmen 1950 – 1970.*

■ *Efter andra världskriget gick oljan förbi kolet som den ledande energikällan. Men möjligheter att generera energi med kärnkraft hade visats 1942 i USA. Kärnkraftsproduktion introducerades första gången i större skala i England 1956.*

■ *Omkring 1960 pågick i Sverige en kritisk miljödebatt om fortsatt utbyggnad av vattenkraften. Erfarenheterna av kärnkraft i utlandet verkade lovande och 1972 startade den första svenska större kärnkraftsanläggningen, Oskarshamn 1. En snabb utbyggnad följde och sedan mitten av 1980-talet produceras cirka hälften av Sveriges el i kärnkraftverk. Totalt kommer 16 procent av världens el från kärnkraft.*



Foto: Börje Förstær

Innehåll

Inledning.....	2
Elektricitet – nyckeln till utveckling	4
Elektricitet – användning och ekonomi	5
Kärnteknik – en ung teknik	6
Kärnkraften i Sverige	8
Uran – kärnkraftens bränsle.....	10
Så här fungerar ett kärnkraftverk	12
Säkerheten vid kärnkraftverket	14
Säkerhet och miljö	16
Joniserande strålning – aktivitet, stråldos och verkan	18
Avfallet från kärnkraften.....	20
Så här tar vi hand om avfallet	22
Vart är kärnkraften på väg?.....	24
Ordförklaringar och namn	26
Besök ett kärnkraftverk.....	27

Elektricitet – nyckeln till utveckling

■ Elektricitet, eller kort och gott el, är en energibärare som vi använt i drygt 100 år.

El har i grunden förändrat samhället i alla de länder där man tagit elen i bruk. Med elen startade den industriella revolutionen och el är idag en förutsättning för nästan all verksamhet i industrialiserade länder.

Maskiner och bättre hälsa

El driver de maskiner som tagit över tunga och besvärliga arbetsuppgifter. Utan el stannar tåg, fabriker, kontor, pumpar, hissar, reningsanläggningar, spisar, kylskåp, tvättmaskiner, datorer, cd-spelare, tv-apparater och allt annat som vi ser som självklarheter i

det moderna samhället. El har gjort våra liv bekvämare och samhället effektivare. Dessutom bidrar el till bättre hälsa och miljö.

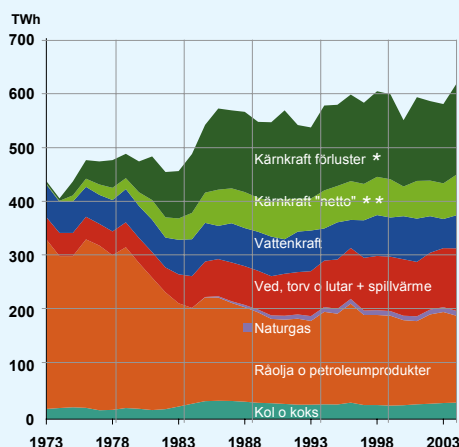
Nordliga länder är storförbrukare

Största elförbrukare räknat per invånare är Norge, Island, Kanada och Sverige, länder med kallt klimat och god tillgång till vattenkraft. Sverige har fördubblat användningen av el sedan 1970. I dag är ökningstakten endast några få procent per år. Men fortfarande är det två miljarder människor i världen som inte har tillgång till el. Det innebär att behovet av el kommer att öka i världen under många år framöver.

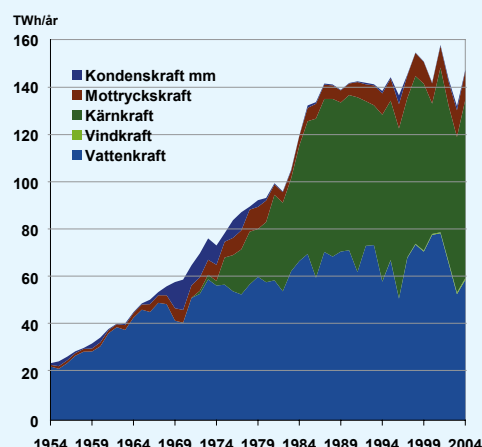
* Fältet visar kärnkraftverkens energiförluster, det vill säga den energi som släpps ut i havet i form av kylvatten. Enligt internationell praxis anges summan av producerad el och energiförluster som "total energitillförsel" för kondenskraft baserad på till exempel kol, olja, gas och kärnkraft.

** Fältet visar producerad el.

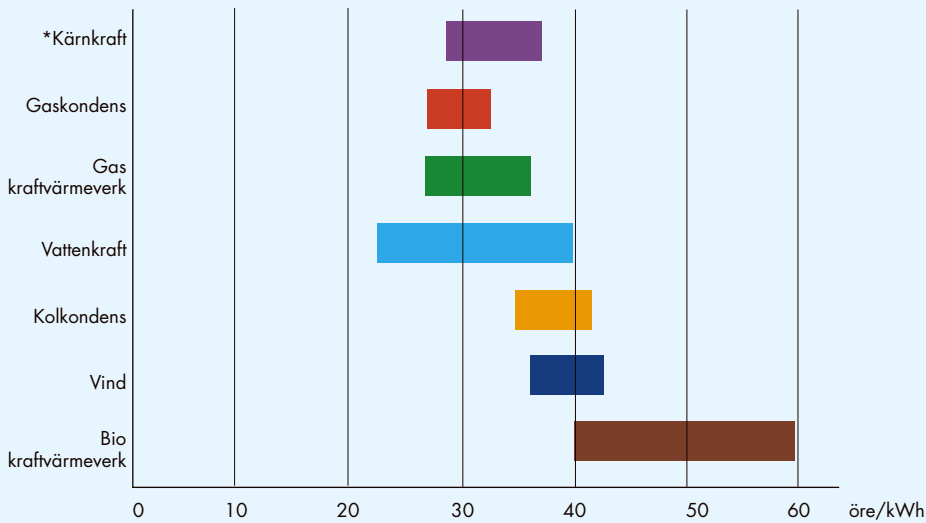
Total energitillförsel i Sverige



Elproduktion i Sverige, fördelad på kraftslag



Total elproduktionskostnad för nya kraftverk i Sverige (exkl skatter och bidrag)



Källa: Elforsk, Svensk Energi och Euroelectric.

**Den senaste reaktor som byggs i västvärlden, det femte kärnkraftverket i Finland (klart 2009), räknar med en produktionskostnad på drygt 20 öre/KWH.*

Elektricitet – användning och ekonomi

■ Att bygga kärnkraftverk kräver, liksom för vatten- och vindkraftverk, stora investeringar, men de rörliga kostnaderna är låga för dessa kraftslag.

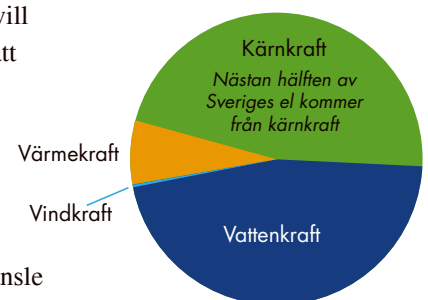
De ursprungliga investeringarna för de svenska kärnkraftverken har betalats av på 25 år, men de är byggda för en livslängd på cirka 60 år. En del komponenter måste dock bytas ut, därför har några stora moderniseringsprojekt genomförts för de svenska kärnkraftverken under de senaste åren. Ytterligare fler planeras. Dessa projekt kräver extra investeringar som måste betalas under verkets återstående livslängd.

I samband med att kärnkraftverken moderniseras är det i de flesta fall möjligt att öka den utgående effekten. Totalt finns det en potential att höja med mer än 1 000 MW från dagens (dec 2005) 9 000 MW.

I genomsnitt är totalkostnaden (det vill säga inklusive kapitalkostnaderna) för att producera svensk kärnkraft knappt 20 öre/KWH.

Det betyder att kärnkraftens totalkostnad är okänslig mot stora rörelser i bränslepriset, till skillnad från el producerad med kol, olja, biobränsle och framför allt naturgas.

En fördubbling av urankostnaden ökar kärnkraftens totalkostnad med 1 öre/KWH, det vill säga med 5 procent. Om kostnaden för naturgas skulle öka till det dubbla ökar produktionskostnaden för el producerad med naturgas med 60 procent. I ett sådant perspektiv kommer världens kända tillgångar av uran att räcka i flera hundra år eftersom även malm med relativt låg halt av uran på sikt kan bli ekonomiskt brytvärd.



Kärnteknik – en ung teknik

1895 upptäcker Henri Becquerel radioaktiviteten. Av en tillfällighet, vid studier av röntgenstrålning, fann han att uran sände ut en ny typ av strålning.

1905 formulerar Albert Einstein relativitetsteorin, som är grunden för vår kunskap om kärnenergi. Teorin säger att massa kan förvandlas till energi och att den energimängd man då får ut är oerhört stor.

1922 får dansken Niels Bohr nobelpriset i fysik för sin forskning i atomens struktur.

1932 visade engelsmannen James Chadwick hur man kan åstadkomma fria neutroner. För detta fick han Nobelpriset 1935.

1938 visar tysken Otto Hahn att om uran bestrålas med fria neutroner bildas bland annat radioaktivt barium. Österrikarna Lise Meitner och Otto Frisch tolkar resultaten som att urankärnor klyvts i två delar. Processen ges namnet fission.

1942 demonstreras en självunderhållande kontrollerad kedjereaktion i Chicago för första gången av den italienske fysikern Enrico Fermi i ett reaktorexperiment – människans första kärnreaktor.

1945 skrivs ett dystert kapitel i kärnteknikens historia då de japanska städerna Hiroshima och Nagasaki blir utsatta för världens första atombomber. En hel värld chockas av kärnvapnens sprängkraft och katastrofala följder.

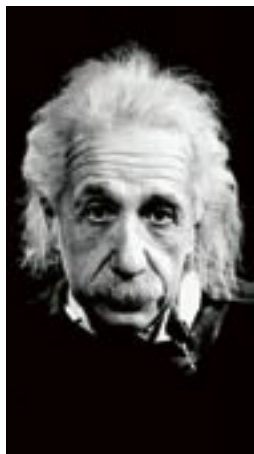
1954 tas ett demonstrationskraftverk på 5 MW eleffekt i drift i Obninsk i Ryssland.

1956 startar det första kommersiella kärnkraftverket i England. Effekten var 40 MW.

1979 inträffar en olycka i kärnkraftverket Three Mile Island utanför Harrisburg i USA. Härden smälter delvis och radioaktiva ämnen strömmar ut i säkerhetsbyggnaden (reaktorinneslutningen) som omger reaktorn. Nästan alla radioaktiva ämnen stannade kvar inom anläggningen och en obetydlig och ofarlig mängd läckte ut till de närmaste omgivningarna.

Efter olyckan i Harrisburg beslutades att Sverige skulle genomföra en folkomröstning om kärnkraftens framtid i landet.

1986 inträffar den största katastrof som drabbat civil kärnkraft. Kärnkraftverket Tjernobyl i norra Ukraina totalhavererar. Brister i reaktorns konstruktion och i personalens utbildning samt frånvaron av reakt-



Albert Einstein



Finlands nya reaktor i Olkiluoto i färdigt skick (fotomontage). Det är anläggningen längst ut på udden som håller på att byggas. Den har en effekt på 1600 MW. De övriga två befintliga verken har en effekt på 840 MW vardera.

Fotomontage: TWO/Innovark

torinneslutning gör att olyckan blir mycket allvarlig. Flera dödas och många människor evakueras, en del permanent. Det radioaktiva nedfallet når länder långt utanför Sovjetunionens gränser.

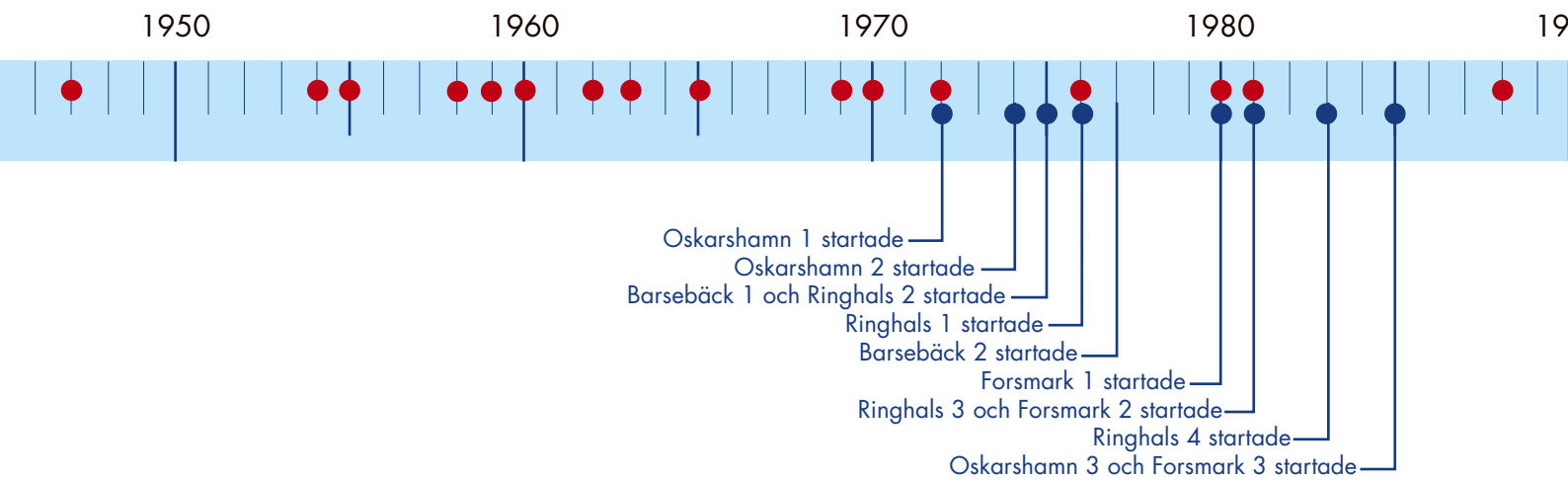
Konstruktionen av reaktorn och frånvaron av reaktorinneslutning skulle inte ha godkänts i västvärlden. Olyckan ledde till ett förbättrat internationellt samarbete om reaktorsäkerhet.

Idag finns drygt 440 kärnkraftverk i drift i världen. De finns i över 30 länder och svarar för 16 procent av världens elproduktion

USA har flest reaktorer i drift, ca 100 stycken, men kärnkraftverken ligger tätast i Europa och svarar där för en större andel av den totala elproduktionen (över 70 procent i Frankrike). För närvarande byggs inga reaktorer i USA men under 2004 beställdes en ny reaktor i Finland och en i Frankrike.

Ett 30-tal reaktorer är under byggnad.

Det byggs bland annat i Finland, Frankrike, Japan, Taiwan, Sydkorea, Kina och Indien. Finlands femte reaktor i Olkiluoto, se bilden, blir på hela 1600 MW, det vill säga nästan en och en halv gånger så stor som Sveriges största reaktor. Kraftverket ska tas i drift år 2009.



Kärnkraften i Sverige



Ringhals



Barsebäck

1947 bildades AB Atomenergi av stat och näringsliv, för att utveckla ett svenskt kärnkraftsprogram.

1954 startades en första experimentreaktor, R1, i Stockholm. Den drevs till mitten av 60-talet.

1955 Atomenergis forskningsstation i Studsvik, 3 mil norr om Nyköping, börjar byggas.

1958 Statsmakterna ger klartecken för ett kärnkraftverk på 140 MW i Marviken, öster om Norrköping. Konstruktionen påbörjas inom AB Atomenergi.

1959 Den icke-statliga kraftindustrin via Atomkraftkonsortiet köper mark 3 mil norr om Oskarshamn och begär tillstånd för en 60 MW kokvattenreaktor från USA. Reaktorn byggs dock inte.

1960 startade AB Atomenergi sin materialprovsningsreaktor, R2, i Studsvik.

1962 påbörjas bygget av Marviken, med en planerad effekt av 200 MW.

1963 togs Sveriges första reaktor för kraftproduktion, Ågesta, i drift. Eleffekten var 10 MW. Den fungerade fram till 1974 och försåg även Stockholmsförorten Farsta med fjärrvärme.

1965 ombildas Atomkraftkonsortiet till Oskarshamnsvetskets Kraftgrupp AB. Företaget beställer Oskarshamn 1 på 400 MW, Sveriges första större kärnkraftverk, av ASEA (nu ABB).

1969 bildade staten och ASEA ett gemensamt företag, ASEA-Atom, för att konstruera och bygga kommersiella kärnkraftverk. AB Atomenergis kunskande och teknik för tillverkning av reaktorbränsle, överfördes till det nya bolaget. Statens andel köptes senare tillbaka av ASEA, Westinghouse Electric Sweden AB.

1970 läggs nästan färdigbyggda Marviken ned eftersom reaktortypen hade vissa grundläggande säkerhetsproblem och inte ansågs utvecklingsbar på sikt.

1972 levererade Oskarshamn 1 kärnkraftproducerad el ut på nätet för första gången.

1976 blev kärnkraften och framför allt dess avfall en huvudfråga i debatten inför riksdagsvalet.

1980 folkomröstade svenskarna om kärnkraften. Det var olyckan i Harrisburg 1979 som direkt utlöste beslutet om en folkomröstning. Därefter beslutade riksdagen att samtliga 12 reaktorer skulle vara stängda senast 2010.

1981 beslutade riksdagen att samtliga tolv kärnkraftsaggregat skulle förses med säkerhetsfilter. Dessa filter är till för att skydda omgivningen mot radioaktivt utsläpp även om den svåraste olycka skulle inträffa. Filtern togs i bruk 1986-88.

1988 beslutade riksdagen att kärnkraftavvecklingen skulle inledas 1995.

1991 kom ett nytt beslut; att avvecklingen ska inledas när det finns el från andra energikällor till ett rimligt pris. Slutåret 2010 ligger dock fast.

1997 beslutades att Barsebäck 1 skulle stängas senast juli 1998 och Barsebäck 2 tre år senare om det då fanns annan el till konkurrenskraftiga priser. Det beslutades också att slutåret 2010 inte skulle ligga fast.

1999 beslöts efter prövning i högsta juridiska instans att Barsebäck 1 skulle stängas. Staten skulle betala full ersättning till ägaren, totalt nära 7 miljarder kronor. Stängningen skedde den 30 november.

2000 använder Sverige 50 procent mer el än vid tiden för kärnkraftsomröstningen och avvecklingsbeslutet 1980. Den totala konsumtionen av energi har dock hållit sig på ungefär samma nivå under perioden. El från kärnkraft, och i viss mån vattenkraft, har ersatt energi från olja.

Detta år konstaterade regeringen att villkoren för att stänga Barsebäck 2 den 1:a juli 2001 inte var uppfyllda.

2002 aviserades en uppgörelse mellan socialdemokraterna, centern och vänstern i energipropositionen. Riksdagen beslöt att en överläggning skulle starta mellan regeringen och kraftföretagen om en avveckling av de återstående 11 aggregaten på "marknadens villkor".

2004 avbröts förhandlingarna om avveckling men i en ny överenskommelse mellan socialdemokraterna, centern och vänstern beslöts att Barsebäck 2 skulle stängas 2005.

2005 Enligt beslut stängdes Barsebäck 2 den 31 maj 2005. De ekonomiska förhandlingarna blev klara 10 november. Statens kostnader för stängningen blev 5,6 miljarder kronor. Den totala kostnaden för staten för stängningen av Barsebäckverket blev då 12,4 miljarder kronor.



Oskarshamn



Forsmark

Uran – kärnkraftens bränsle

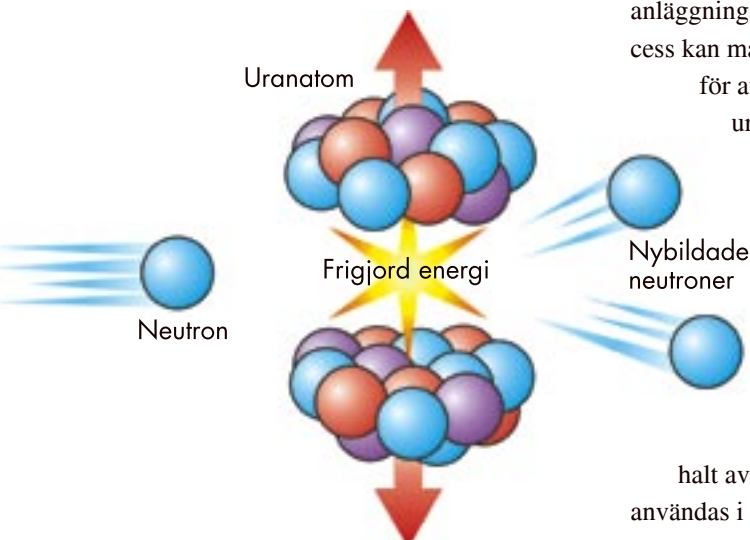
■ I kärnkraftverk används uran som bränsle. Men någon förbränning sker inte av uranet, i stället utvecklas energin då urankärnor klyvs – en process som per atom räknat är en miljard gånger mer energirik än kemisk förbränning.

Uran är en svagt radioaktiv tungmetall och består av fyra isotoper, dvs olika former av samma grundämne. De är uran-233, -235, -237 och -238. Det är uran-235 som har stor klyvningsbenägenhet och är det uran som praktiskt kan användas för att utvinna kärnenergi.

Uran är en av de vanligaste metallerna och finns i berggrunden i alla världsdelar, men bryts bara där koncentrationen är tillräckligt hög. Uran finns också i stora mängder men i mycket låga koncentrationer i världshaven. Uran finns i Sverige men bryts inte. Koncentrationerna har bedömts för låga och är för närvarande ekonomiskt ointressanta.

Fission, kedjereaktion.

Fission = klyvning, delning. När en fri neutron träffar en uran-235 kärna, kan kärnan klyvas varvid stora mängder energi och nya neutroner frigörs. Dessa neutroner kan klyva nya urankärnor och så vidare i en lång följd, vilket innebär en så kallad självunderhållande kedjereaktion. Dessutom bildas två nya atomkärnor, så kallade klyvningsprodukter, som är radioaktiva.



Naturlig uranmalm innehåller cirka 0,7% klyvbart material.

Anrikat kärnbränsle innehåller 2,5–5% klyvbart material. Av 5 kg naturligt uran får man 1 kg anrikat uran.

En atombomb innehåller 90–100% klyvbart material.



Anrikning

Uran bryts i ett 15-tal länder, störst är produktionen i Kanada och Australien. Gruvorna är genomgående moderna och välskötta. Till den svenska kärnkraften köps ca 1 500 ton uran per år.

Uranmalmen bryts i gruvor eller dagbrott och renas sedan i ett uranverk. Naturligt uran innehåller drygt 99 procent uran-238 och 0,7 procent uran-235. I de svenska kärnkraftverken måste halten klyvbart uran-235 ökas till cirka 3 procent, vilket sker i särskilda anläggningar för urananrikning. I denna process kan man inte använda kemiska metoder för att skilja isotoperna åt. I stället leds uranet i form av gasen uranhexafluorid in i centrifuger med

mycket högt varvtal, där de något tyngre uran-238 kärnorna separeras från de lättare med uran-235.

Kärnbränsle kan inte explodera

Kärnbränsle har för låg halt av klyvbart ämne för att kunna användas i kärnvapen. I detta syfte fordras



nästan hundra procent klyvbart material för att åstadkomma en explosionsartad kedjereaktion

Bränsletillverkning

I svenska reaktorer består bränslet av urandioxid, ett hårt och tungt keramiskt material. Vid tillverkning av kärnbränsle, vilket i Sverige sker hos Westinghouse Electric Sweden AB i Västerås, pressas pulver av urandioxid till kutsar, ca 10 mm höga cylindrar. Dessa packas sedan i 4 meter långa rör för att under ungefär fem år fungera som bränsle i kärnkraftsreaktorn. Totalt finns 25 miljoner urankutsar i en stor reaktor.

Aktivering och reaktorstopp

När bränslet är på plats i reaktorn aktiveras det så att uranatomkärnor börjar klyvas av fria neutroner. Från de delade urankärnorna frigörs 2 – 3 nya neutroner som i sin tur kan klyva andra urankärnor. Vid klyvningen av en kärna bildas två nya lättare kärnor, så kallade klyvningsprodukter, som nästan alltid är radioaktiva. Klyvningen kallas också fission och frigör stora mängder energi i form av värme.

Reaktorvattnet hettas upp av klyvningsenergin och övergår i ånga, som sedan driver turbiner. På turbinaxeln sitter en generator som omvandlar turbinaxelns rotationsrörelse till elektricitet.

Under sommarmånaderna då behovet av

el är lågt stoppas reaktorerna och en femtedel av bränslet byts ut.

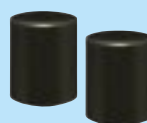
För att stoppa reaktorns effektutveckling eller för att reglera nivån på effekten används styrstavar. Dessa stavar innehåller borkarbid, ett ämne som kan absorbera, ”suga upp”, fria neutroner.

När styrstavarna förs in mellan bränslelementen absorberas överskottet av neutroner och klyvningsprocessen avbryts omgående. En mindre del av värmeutvecklingen, den som kommer från de nybildade radioaktiva klyvningsprodukterna (radioaktivitet är ju en form av energi), fortsätter dock under lång tid. Därför måste vattenkylningen av bränslet hållas i gång under många år.

Efter användandet

När bränslet använts i reaktorn innehåller det stora mängder radioaktiva klyvningsprodukter och måste hållas avskilt under lång tid.

Bränslekutsar i naturlig storlek



Bränslekuts före användning innehåller cirka 3% uran-235 och 97% uran-238

Bränslekuts efter användning innehåller cirka 1% uran-235, 96% uran-238, radioaktiva klyvningsprodukter såsom J-131 och Cs-126 samt nya tunga kärnor som Pu-239 och Pu-241.



Styrstavarna kan skjutas upp mellan bränslelementen i reaktorn och stoppa kärnklyvningen.

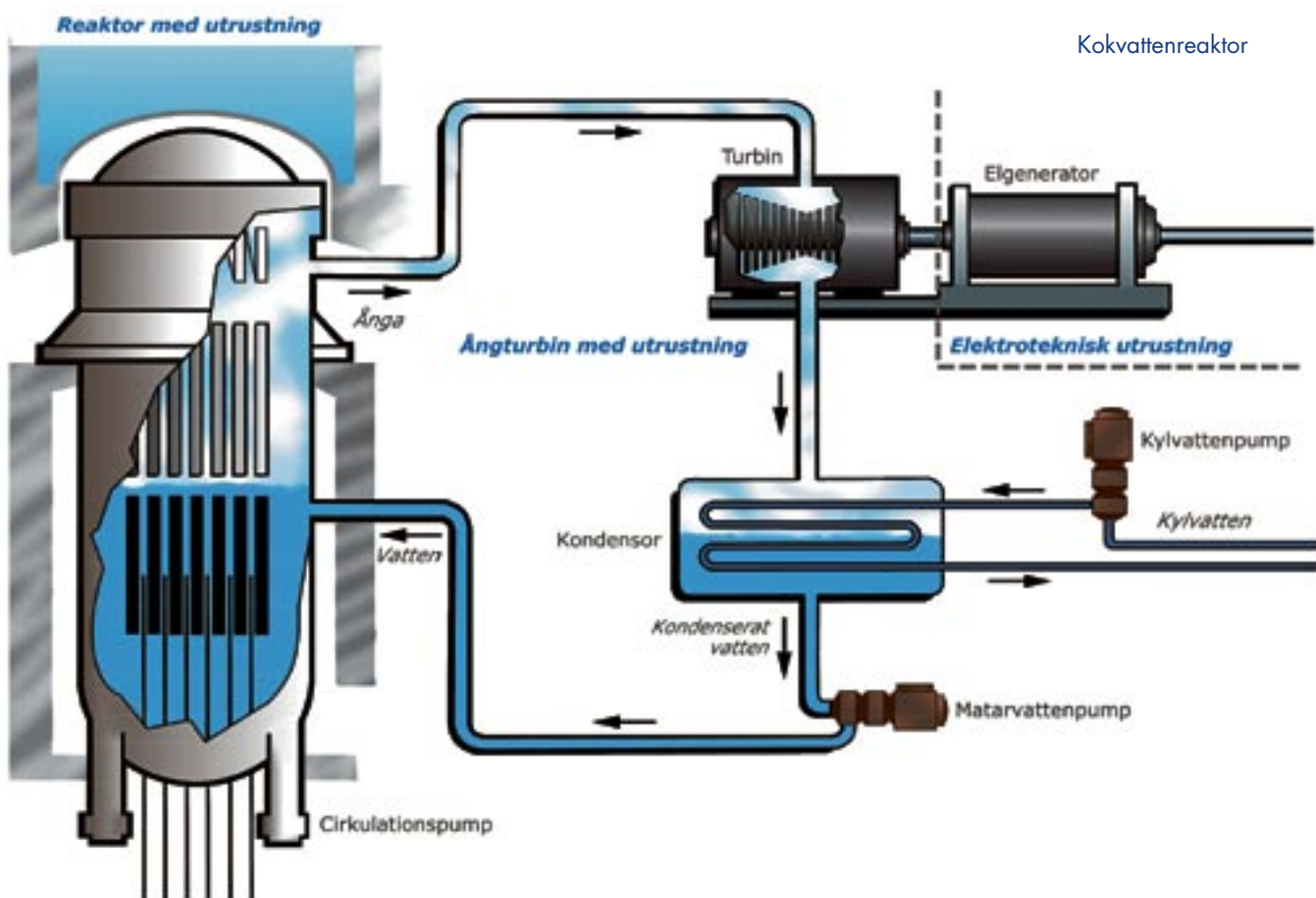
Så här fungerar ett kärnkraftverk

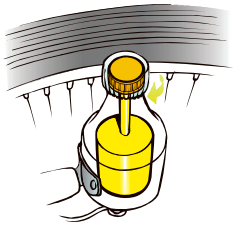
■ Alla reaktorerna i Forsmark och Oskarshamn är så kallade kokvattenreaktorer liksom en av reaktorerna i Ringhals. De tre övriga i Ringhals är tryckvattenreaktorer.

I kokreaktorn bildas ånga inne i själva reaktortanken och förs direkt till ångturbinen. Ångan övergår till vatten i turbinkondensorn och pumpas tillbaka in i reaktortanken. I tryckvattenreaktor hålls trycket högre så att det uppvärmda reaktorvattnet inte kan bringas till kokning. I stället förs det varma vattnet till en så kallad ånggenerator. Den

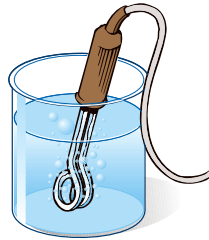
fungerar som en värmeväxlare och i den andra vattenkretsen hålls trycket lägre så att vattnet där kokar. Ångan från ånggeneratoren förs till turbinen på samma sätt som ångan från kokvattenreaktorn.

En fördel med kokvattenreaktorn är att den kan göras enklare genom att man slipper använda en ånggenerator. Å andra sidan är reaktorns ånga radioaktiv, vilket försvårar underhållsarbete i turbinhallen under drift. Med en tryckvattenreaktor är turbinhallen tillgänglig även under drift, vilket kan vara en viss fördel ur driftsynpunkt.



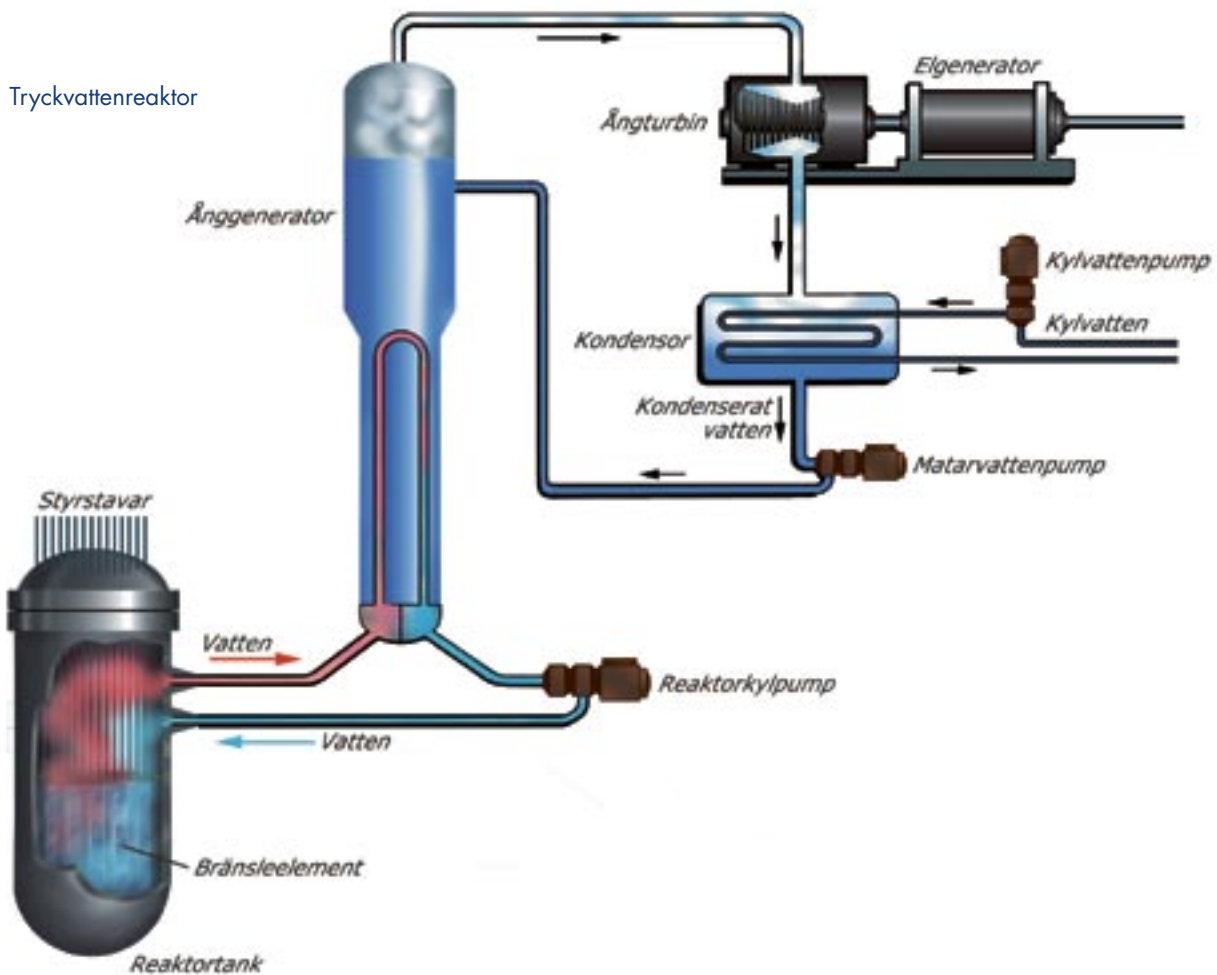


En cykelgenerator är ett kraftverk i miniatyr. Hjulets rörelse driver via däcket generatören och man får ström i ledningen.



En doppvärmare är som reaktorbränsle i miniatyr. Skillnaden är att doppvärmaren måste tillföras energi utifrån, medan reaktorbränslets energi kommer inifrån.

Tryckvattenreaktor



Säkerheten vid kärnkraftverket

■ I ett kärnkraftverk skapas många radioaktiva ämnen när bränslet, uran-235, klyvs. Radioaktiva ämnen avger strålning som i höga doser är skadliga för levande organismer.

Därför finns det i kärnkraftverken flera olika system och anordningar som ska förhindra att oförutsedda händelseförlopp leder till allvarliga konsekvenser. De svenska kärnkraftverken har en konstruktion som syftar till att:

- Förebygga fel
- Motverka att fel leder till ett haveri
- Lindra konsekvenserna av ett haveri

Målet för säkerhetsarbetet är att förhindra att radioaktiva ämnen kommer utanför anläggningen och att skydda personalen.

Förebyggande

Alla viktiga delar i svenska kärnkraftverk är byggda med hög kvalitet och med stora säkerhetsmarginaler.

Säkerhetsarbetet pågår ständigt och varje sommar sker en större översyn av samtliga säkerhetssystem.

Reaktoroperatörerna tränar regelbundet i simulatorer som är exakta kopior av respektive kontrollrum.

De svenska kärnkraftverken är byggda med förutsättningar att människor gör fel ibland, trots träning.

Därför finns den så kallade 30-minutersregeln. Den innebär att alla åtgärder som måste ske den första halvtimmen efter ett fel alltid sker automatiskt. Personalen behöver inte stressas till några oövertänkta beslut, de har en halvtimme på sig att överblicka situationen innan de eventuellt behöver agera.

Säkerhetssystem mot haveri

Säkerhetssystemen är dubbla eller flerdubbla. Om det första inte fungerar, tar något av reservsystemen över.

Till exempel kan strömförsörjningen ske på många olika sätt; från egna generatorn, det yttre kraftnätet, dieselaggregat, batterier eller från gasturbiner som startar automatiskt.

Systemen har dessutom olika tekniska lösningar. Därför kan man, vid behov, stoppa reaktorn och driva styrstavarna antingen med hydraulik eller med elektricitet.

Om ett fel uppstår stoppas reaktorn automatiskt. Alla styrstavarna skjuts in i härden och därmed upphör uranklyvningen. Ett sådant snabbstopp tar några sekunder. Värmeproduktionen från de radioaktiva klyvningsprodukterna fortsätter dock, så kylningen måste på grund av denna så kallade resteffekt fortsätta. Att bränslet kan kylas under många år efter att kedjereaktionen stoppats är en viktig förutsättning för säkerhetssystemets utformning.

De olika säkerhetssystemen är placerade på olika ställen, så att exempelvis en brand inte slår ut alla system.



OKG AB Oskarshamn

1 Bränslet har en keramisk form, vilket gör det mycket svårslösligt i vatten och luft. Smältpunkten är 2 900 grader.

2 Runt bränslet finns bränslerören som är gastäta och gjorda av zirkaloy, en tålig metall som liknar rostfritt stål.

3 Reaktortanken är gjord av 1,5-20 cm tjockt stål.

4 Reaktorinneslutningen består av metertjock betong med ingjuten, gastät stålplåt. Här finns också vattenbassäng och sprinklers som kylvatrymmet och binder radioaktiva partiklar som frigörs från bränslet om en olycka skulle inträffa.

5 Reaktorbyggnaden är byggd för att till exempel klara att ett mindre jetplan kraschar med full kraft.

6 Om värsta tänkbara olycka skulle hända och alla säkerhetssystem sluta att fungera – om en härdsmlta skulle inträffa – får radioaktivitet fortfarande inte läcka ut till omgivningen. De svenska kärnkraftverken har därför ytterligare ett säkerhetssystem bestående av filter. Dessa finns i en separat byggnad med röranslutning

till reaktorinneslutningen. För att inte ångtrycket i reaktorinneslutningen ska bli för högt och spränga den kan man behöva släppa ut gaser och ånga/vatten till omgivningen genom filtret. Filtret tar hand om 99,9 procent av de radioaktiva markbeläggande ämnena som därmed stoppas från att nå ut till omgivningen.

Sex barriärer

För att hindra att radioaktiva ämnen ska komma ut vid ett haveri, är svenska kärnkraftverk byggda med sex barriärer (se bild ovan).

De svenska reaktorerna är konstruerade för att klara även den värsta tänkbara olycka. Det innebär att människor i närheten av ett kärnkraftverk är skyddade mot stora radioaktiva utsläpp och skulle kunna bo kvar även efter ett mycket stort haveri – en härdsmlta.

Kärnkraftverken i forna Östeuropa hade

tidigare inbyggda allvarliga felaktigheter.

Dessutom saknade många av dem reaktorinneslutning. Tjernobykastrofen kunde inträffa och konsekvenserna bli så allvarliga, eftersom spridningen av reaktorns radioaktivitet kunde ske på grund av avsaknaden av reaktorinneslutning. Några av de reaktorer som finns kvar i forna Sovjetunionen saknar fortfarande inneslutning men andra grundläggande fel i konstruktionen har eliminerats.

Säkerhet och miljö

■ Luften i Sverige innehåller idag betydligt lägre halter av sot och svavel än den gjorde för tjugofem år sedan. Detta beror bland annat på att el från våra kärnkraftverk ersatt oljeeldning.

Det finns miljömässiga nackdelar med all elproduktion, vare sig det sker med vindkraft, vattenkraft, kolkraft, kärnkraft eller annat produktionssätt. För kärnkraftens del är det strålningsrisken.

Stränga miljökrav på svenska kärnkraftverk

Miljökraven på svenska kärnkraftverk är hårda. Deras utsläpp får under ett år inte öka strålningen i den närmaste omgivningen med mer än 0,1 millisievert (tio procent av den strålning som finns naturligt i miljön).

De verkliga utsläppen från svenska kärnkraftverk är avsevärt lägre – under en procent av den fastställda gränsen, vilket är mindre än den strålning man får vid en röntgenundersökning hos tandläkaren.

Kärnkraftverken tar regelbundet prov vid samtliga utsläppsvägar och i anläggningarnas omgivning, bland annat på växter och djur. Samtliga mätresultat sammanställs och skickas en gång i månaden till Statens Strålskyddsinstitut.

Lätt att mäta strålning

Det är lättare att mäta och bedöma riskerna med strålning, än att mäta och bedöma risker av annat industriellt utsläpp. Skulle man mäta kemiska utsläpp lika noga skulle det innebära att varje molekyl från en fabrikskorsten registrerades. Man saknar dessutom ännu kunskaper om vilka hälsoeffekter många av de kemiska ämnena i dagens samhälle medför. Strålningens risker och biologiska verkan är däremot välkända.

Jämfört med andra energiproducerande tekniker står sig modern kärnkraft miljömässigt väl. Detta gäller även när alla steg i processen räknas in; från uranbrytning och bränsleframställning till drift och avfallshantering.



OKG AB Oskarshamn

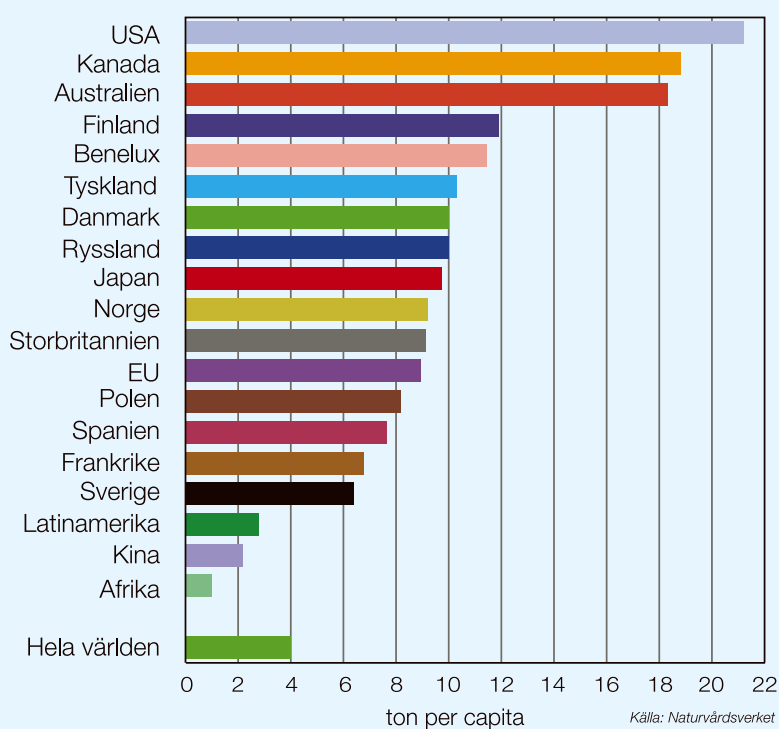
Vem ansvarar?

- Kärnkraftverken ansvarar för säkerheten vid anläggningen.
- Myndigheterna SKI, Statens Kärnkraftinspektion och SSI, Statens Strålskyddsinstitut, formulerar samhällets krav på säkerhet och miljö samt kontrollerar att kraven är uppfyllda.
- Utanför kärnkraftverken svarar Länsstyrelsen för beredskapen mot olyckor.



Miljön utanför kärnkraftverken kontrolleras hela tiden med strålningsmätare och i närheten av kärnkraftverken tas prover av mjölk, kött, växter, fisk, alger, snäckor med mera.

Olika länders utsläpp av CO₂-ekvivalenter



Koldioxidutsläppen i Sverige är lägre än i andra europeiska länder mest beroende på att vår el produceras med vatten- och kärnkraft.

Joniserande strålning – aktivitet, stråldos och verkan

■ Strålning finns och har alltid funnits som en del av den naturliga miljön.

En av våra viktigaste strålkällor är solen. Vi utsätts även för strålning från rymden, berggrunden, byggnader och våra egna kroppar. Numera tillkommer strålkällor som är skapade av människan, såsom radioaktivt avfall och strålkällor som används inom sjukvården. Den strålning som kommer från ett radioaktivt ämne eller röntgenstrålar kallas för joniserande strålning.

Som icke-joniserande strålning räknas sådan strålning som har lägre energiinnehåll och inte förmår påverka atomernas struktur,

till exempel synligt ljus, radiovågor och elektromagnetisk strålning.

Joniserande strålning

Jonisering innebär att viss strålning förmår slita loss elektroner i de atomer som passerar. Atomer får då ett överskott av positiv elektricitet och blir en positiv jon. Det är genom den joniserande förmågan, som strålningen kan skada levande celler och orsaka cancer (men cancer kan också orsakas på ett liknande sätt av giftiga kemiska ämnen).

Radioaktiva ämnen strålar

Ett ämne är radioaktivt om det har instabila atomkärnor som strävar efter att komma i balans genom ombildningar i kärnorna. De omvandlas då till andra grundämnen och när detta sker utsänds joniserande strålning. Omvandlingen kallas radioaktivt sönderfall och mäts i becquerel (Bq). 1 Bq är lika med ett sönderfall per sekund (det vill säga en atom omvandlas per sekund).

Strålningens verkan

Trots att strålning från radioaktiva ämnen – joniserande strålning – och röntgen inte syns, hörs, luktar eller känns är verkningarna på människan bättre kända än verkningarna av andra miljöfaktorer. Det beror på två saker: Joniserande strålning är lätt att mäta

	Benämning	Beteckning	Definition
Aktivitet	Becquerel	Bq	1 Bq = 1 sönderfall/s
Stråldos	sievert	Sv	1 Sv = 1 joule/kg

Ett ämnes radioaktivitet, mäts i becquerel. En becquerel motsvarar sönderfall per sekund.

Stråldos är den strålmängd som kroppen tar upp. Dess skadliga verkan på människor mäts i sievert, eller oftare millisievert, tusendels sievert (mSv).

Halveringstid är den tid det tar för hälften av atomerna att ombildas till ett nytt ämne. När de sönderfaller sänder de ut strålning. Till slut har de ombildats

till ett nytt ämne. Detta kan också vara radioaktivt och sönderfalla med en annan halveringstid eller det kan vara stabilt och inte längre sönderfalla och stråla.

Kortlivade radioaktiva ämnen har halveringstider från bråkdelar av sekunder till dagar eller månader. Långlivade ämnen har halveringstider från år till hundratusentals år. Stabila ämnen kan sägas ha en oändligt lång halveringstid.

50 000 millisievert

Den totala lokala dosen vid strålbehandling av hjärntumörer. Strålningen koncentreras till själva tumören medan andra delar av kroppen skyddas med hjälp av effektiva strålskärmar.

5 000 millisievert

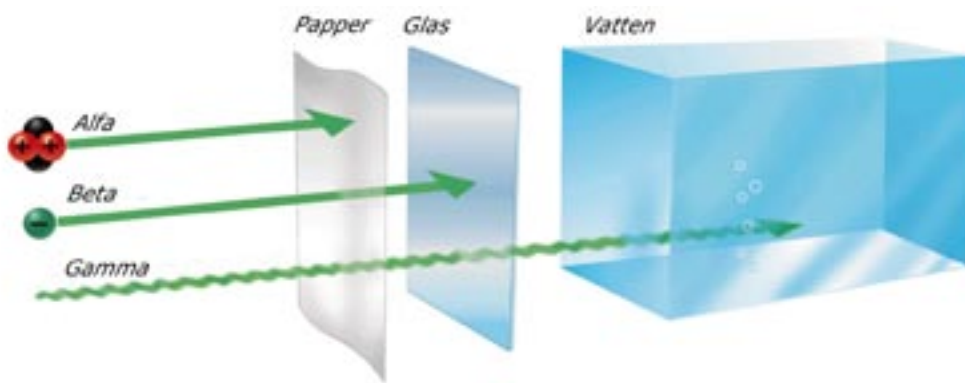
En dödande dos för de flesta som får dosen utspridd över hela kroppen, under kort tid vid ett enda tillfälle, och som inte får snabb intensivvård på sjukhus.

500 millisievert

Dosen till dem som bodde inom 10 km från kärnkraftverket i Tjernobyl 1986 innan de evakuerades.

4 millisievert

Sammanlagd årlig stråldos från alla strålkällor för gemene man.



Joniserande strålning har varierande styrka och kräver olika former av skydd för att stoppas.

och dess verkningar har studerats vetenskapligt och medicinskt under mer än hundra år.

Varför kan strålningen vara farlig?

Kroppens celler dör, repareras och förnyas ständigt. Men om fler celler dör än vad kroppen hinner förnya uppstår akut skada. Detta händer om kroppen utsätts för mycket höga stråldoser. Akuta skador uppkommer om hela kroppen utsätts för en stråldos som är flera tusen gånger större än vad den naturliga strålningen ger under ett år.

Strålning, liksom många kemiska ämnen, kan också skära sönder molekyler i cellerna. När cellerna reparerar molekylerna igen kan de sättas samman på ett felaktigt sätt, vilket kan leda till okontrollerad celledelning, cancer.

Det finns en ökad cancerrisk för människor som under kort tid, några minuter eller upp till ett dygn, utsätts för stråldoser som är högre än 100 mSv. Vid riktigt höga stråldoser, över 1 000 mSv, under kort bestrålnings-tid, uppträder strålsjuka och stor risk för att senare drabbas av cancer.

För engångs-stråldoser på mindre än 50 mSv, eller långtidsexponering av sammanlagda doser på några hundra mSv, finns inget säkert samband med cancer.

Det råder numera någorlunda god enighet

mellan forskare världen över hur starkt sambandet är mellan stråldos och ökad risk för cancer. Man antar att det finns ett linjärt samband, ju högre stråldos desto större risk för cancer. Det är också klarlagt att risken är större för barn än för vuxna. Dessutom vet man att för de flesta cancerformer tar det normalt 20 till 40 år mellan strålningstillfället och fullt utvecklad cancer.

Strålning kan också skada arvsmassan i en könscell, det vill säga ett ägg hos kvinnan eller en sädescell hos mannen. En sådan skada skulle kunna påverka arvsanlagen och visa sig i en framtida generation. Men vetenskapen har hittills aldrig kunnat påvisa några ärftliga skador orsakade av joniserande strålning på människor, varken hos de japanska kärnvapenoffren från andra världskriget eller hos någon annan undersökt grupp.

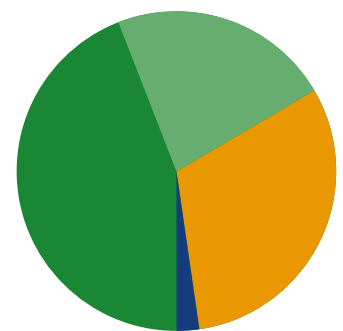
Foster som bestrålas kan få skador på samma sätt som andra människor. Då är det en fosterskada, inte en ärftlig skada.

Strålning i människans tjänst

Joniserande strålning är också till nytta.

Sedan 100 år har sådan strålning varit ett värdefullt hjälpmedel inom sjukvården för att undersöka benbrott och upptäcka tumörsjukdomar. Även för behandling av cancer används strålning.

Genomsnittssvenskens stråldos/år – drygt 4 mSv



- Radon i bostäder 2 mSv
- Naturlig bakgrundsstrålning 1 mSv
- Medicinsk behandling och undersökning 1,4 mSv
- Övrigt <0,1 mSv

Statens Strålskyddsinstitut

3 millisievert

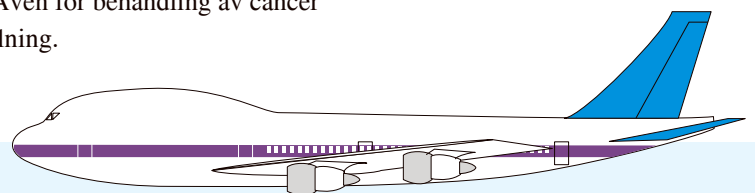
Den genomsnittliga årliga stråldosen (utöver den naturliga bakgrundsstrålningen) till anställda vid svenska kärnkraftverk.

1 millisievert

Dosen till hela kroppen vid en magröntgenundersökning. Den som fick högst stråldos strax utanför reaktorn vid Harrisburgolyckan 1976 fick totalt mycket mindre än 1 millisievert.

0,1 millisievert

En flygning tur och retur över atlanten ger dig en extra stråldos på 0,1 mSv. Det är ungefär samma stråldos som den genomsnittliga svensken får per år från industri, forskning, kärnkraft, nedfall från atombombsprov och Tjernobyli tillsammans.



Avfallet från kärnkraften

■ I kärnkraftverk bildas radioaktivt avfall. Om det inte tas om hand på rätt sätt kan det orsaka skador genom joniserande strålning. Enligt lagen ska de som driver kärnkraft, det vill säga kärnkraftverkens ägare, också ta hand om avfallet. Därför har ägarna bildat SKB, Svensk Kärnbränslehantering AB, som hanterar avfallet.

Idag har SKB ett system för hur det ska gå till. Hur bränslet ska transporteras, lagras, kapslas in och slutförvaras nere i berget på

500 meters djup. Allt noga uträknat för att hålla strålningen borta från människor och miljö.

Det mesta är förberett och klart. Det som återstår är detaljerade tekniska och vetenskapliga studier i ett berglaboratorium på 460-metersnivån i Äspölaboratoriet nära kärnkraftverket i Oskarshamn och val av plats för slutförvaret.

Pengar finns

Kostnaderna för avfallshanteringen finns inbakade i dagens elpris. Cirka ett öre per

Driftavfall

Vid driften av kärnkraftverk samlas en del radioaktiva ämnen i vattnet som omger bränslet. De samlas upp av filter- och jonbytarmassor som används för att rena vattnet. Dessa filter byts regelbundet och utgör huvuddelen av det medelaktiva avfallet. I kärnkraftverken tar man även hand om överdragskläder, trasor, verktyg och reservdelar som kan ha blivit radioaktivt nedsmutsade. Detta avfall är lågaktivt och innehåller ämnen som kräver isolering i minst 500 år.



Använt bränsle

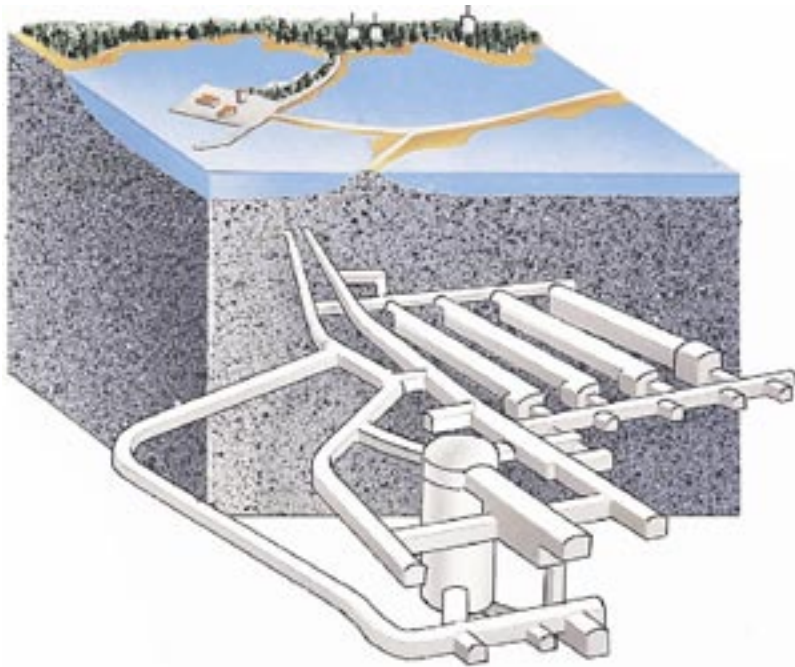
99 procent av radioaktiviteten i kärnkraftens avfall finns i det använda bränslet, trots att det endast utgör 5 procent av volymen. Det är högaktivt och har så hög strålning att det både behöver strålskärmas och kylas. Efter 1 000 år har det mesta av den direkta strålningen



försvunnit. Men bränslet är fortfarande giftigt om man får det i sig, vilket gör att det måste hållas isolerat i 100 000 år.

Rivingsavfall

När kärnkraftverken ska rivas måste vissa delar tas om hand som radioaktivt avfall. Vissa reaktordelar är starkt radioaktiva och måste omhändertas på samma sätt som det använda kärnbränslet. Resten är låg- och medelaktivt avfall som måste isoleras i cirka 500 år.



kilowattimme kärnkraftsproducerad el. Det innebär cirka 500 miljoner kronor på ett år. Dessa pengar finns nu öronmärkta till detta i Kärnavfallsfonder. Pengarna är placerade på konto i Riksgälden. Fonden växer också genom att fondkapitalet förräntas. Vid årsskiftet 2004/05 fanns cirka 32 miljarder kronor i fonden.

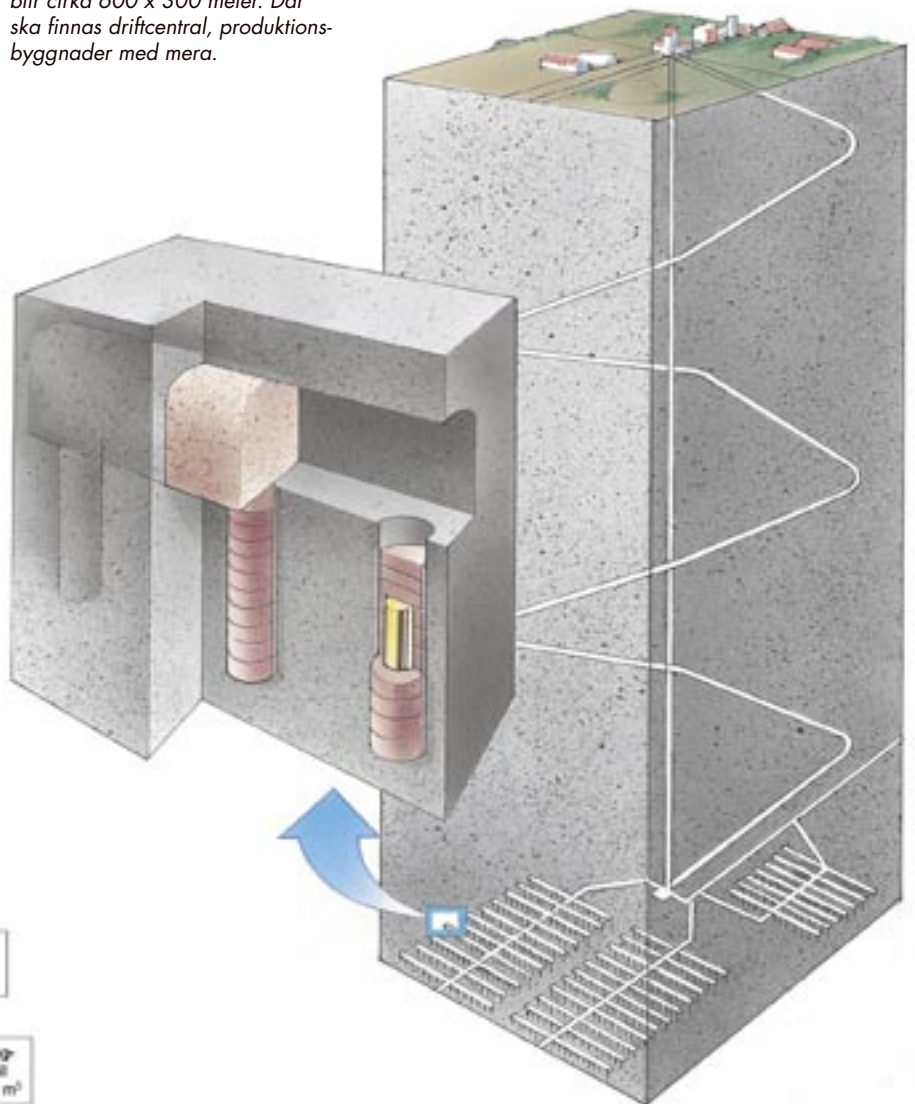
Slutförvarets största del ligger under jord. Ett 3-4 km² stort område behövs för tunnlar 500 meter ner i berget. Området ovan jord blir cirka 600 x 300 meter. Där ska finnas driftcentral, produktionsbyggnader med mera.

Olika sorters avfall

I ett kärnkraftverk uppkommer olika sorters radioaktivt avfall. Man delar in det i låg-, medel- och högaktivt avfall beroende på typ och mängd av radioaktiva ämnen. Driftavfallet och större delen av rivningsavfallet är låg- och medelaktivt, medan det högaktiva avfallet är det använda bränslet och vissa delar av reaktorn.

Så här mycket avfall blir det

Det avfall som hittills producerats i svensk kärnkraft och avfallet från den produktion som nu planeras i det svenska programmet skulle kunna rymmas i drygt 1/3 av idrottsarenan Globen i Stockholm. Avfallet är i fast form.



Så här tar vi hand om avfallet

■ I det svenska systemet för att ta hand om avfallet, ingår transporter från kärnkraftverken till SKBs olika anläggningar. För det låg- och medelaktiva avfallet finns ett slutförvar utanför Forsmarks kärnkraftverk, SFR. Det högaktiva avfallet mellanlagras nu i vattenbassänger i anläggningen Clab vid Oskarshamns kärnkraftverk.

Det som återstår att bygga är en inkapslingsanläggning och ett slutförvar för det använda bränslet. Dit ska det högaktiva avfallet från Clab transporteras.

Transporter

Det använda kärnbränslet hämtas vid kärnkraftverken för transport till Clab, medan driftavfallet transporteras till SFR. Transporterna sker med transportfartyget m/s Sigyn, som är specialbyggt för detta. Säkerheten garanteras främst av transportbehållarna som har upp till 30 cm tjocka stål väggar. Säkerhetsmarginalerna är stora och behållarna tål mycket kraftiga påfrestningar.

SFR

Utanför Forsmarks kärnkraftverk finns SFR, slutförvaret för radioaktivt driftavfall. 90 procent av den totala avfallsvolymen kommer att förvaras här. Detta avfall står för mindre än en procent av radioaktiviteten.

Till SFR kommer bland annat nedsmutsade skyddskläder, utbytta delar och filtermassor som renar reaktorvattnet. Där pla-

nerar man också att förvara rivningsavfallet från kärnkraftverken när de avvecklats.

Redan i kärnkraftverken läggs avfallet i plåtfat eller gjuts in i betong innan det transporteras till SFR. Där placeras det i berggrum mer än 50 meter under havsbotten. Under havsbotten är grundvattnet nästan stillastående, vilket bidrar till att avfallet isoleras säkert. Efter 500 år är avfallets farlighet jämförbar med den naturliga radioaktiviteten i det omgivande berget.

Clab

I Clab, vid Oskarshamns kärnkraftverk, mellanlagras bränslet i cirka 30–40 år i vattenbassänger 25–30 meter under markytan. Efter denna tid har radioaktiviteten och värmeutvecklingen minskat med 90 procent.

All hantering sker under vatten. Vattnet hindrar strålningen och kyler samtidigt bränslet. Just värmeutvecklingen i det använda bränslet är en orsak till att vi i Sverige valt att mellanlagra det före slutförvaringen. Ett förvar kan då byggas av naturliga material som är beständiga under lång tid vid normala temperaturer 500 meter ner i berget.

Slutförvar

Efter att bränslet kapslats in i en inkapslingsanläggning vid Clab ska det transporteras till slutförvaret, någonstans i Sverige cirka 500 meter ner i urberget. I slutförvaret packas kapslarna in i en speciell lera, bentonit. När allt är på plats förseglas anläggningen genom att tunnlarna återfylls med bentonitlera och



Fotograf: Bengt O Nordlin

Endast 10 procent av radioaktiviteten och värmeutvecklingen hos det använda bränslet återstår efter mellanlagringen i Clabs bassänger.



Transportfartyget m/s Sigyn.



Naturens egna reaktorer. Det finns flera exempel på att naturen själv isolerat farliga radioaktiva ämnen under mycket lång tid. Ett exempel finns i en urangruva i den afrikanska staten Gabon. Där har man på flera platser hittat spår av spontana kärnklyvningar i uran, som pågick för 2 000 miljoner år sedan, exakt samma kedjereaktion som vi utnyttjar i dagens kärnkraftverk. Studier av berget i Gabon visar att själva berget förmår kvarhålla det högtaktiva avfallet inom en begränsad volym trots de ständigt pågående vattenrörelserna. Det var möjligt eftersom naturligt uran då innehöll 3 procent uran-235 (uran-235 har en halveringstid på 700 miljoner år medan uran-238 sönderfaller mycket långsammare). Reaktorn utvecklade som mest ca 15 kW och var "i drift" drygt 100 000 år. Avfall i form av klyvningsprodukter och långlivat avfall har stannat kvar på i stort sett samma plats i berget tills det övergått till andra ämnen genom radioaktivt sönderfall.

krossat berg. Efter det ska grundvattnet långsamt tränga in i förvaret. Bentonitleran sväller då runt kapslarna och fyller igen utrymmet mellan berg och kapsel.

Var i landet ska slutförvaret ligga?

Just nu pågår arbetet med att bestämma en plats för ett slutförvar. Det är ett arbete som handlar mycket om säkerhet och teknik men också om att komma överens med en kommun där man både accepterar avfallet och där tillräcklig säkerhet finns i berget. Lokaliseringsprocessen är uppdelad i fyra delar: översiktsstudier, förstudier, platsundersökningar och detaljundersökning.

Förstudierna blev klara år 2001. Därefter har man gått vidare med platsundersökningar på två platser, Oskarshamn och Östhammar. Platsen för slutförvaret ska bestämmas omkring år 2010.

Fyra barriärer skyddar avfallet

I djupförvaret skyddas avfallet mot att grundvattnet ska kunna komma i kontakt med avfallet och föra upp radioaktiva partiklar till markytan. Det använda bränslet är i sig själv ett skydd mot spridning av radioaktiva ämnen. Bränslekutsarna är mycket svårslösliga i vatten. Det är faktiskt lättare att lösa upp det omgivande urberget. Kapseln kring avfallet har ett hölje av koppar och en inre stålbehållare. Den är vattentät och beständig mot rost. Runt kapseln kommer att finnas bentonitlera. Bentonitleran sväller när den blir våt och hindrar vatten från att tränga fram till koppar-kapseln. Dessutom skyddar den mjuka leran kapseln vid mindre rörelser i berget. I berget på 500 meters djup rör sig grundvattnet mycket lite. Om några radioaktiva ämnen skulle komma ut i grundvattnet fungerar berget som ett filter och fångar upp de flesta radioaktiva ämnena.

Vart är kärnkraften på väg?

■ Sveriges riksdag har beslutat om stängning av Barsebäck och att inga nya reaktorer får byggas.

Det finns till och med en detaljerad förbudsparagraf i lagen om kärnteknisk verksamhet:

”Ingen får utarbeta konstruktionsritningar, beräkna kostnader, beställa utrustning eller vidta andra sådana förberedande åtgärder i syfte att inom landet uppföra en kärnreaktor.”

Det så kallade tankeförbudet föreslås avskaffas under 2006. Förbudet att ge tillstånd till nya kärnkraftverk blir enligt regeringsförslaget kvar.

Men att det formellt anses att vi inte längre kan satsa på ny kärnkraft i Sverige betyder inte att den tekniska utvecklingen står stilla, tvärtom. Det pågår ett intensivt forsknings- och utvecklingsarbete såväl i Sverige som runt om i världen i syfte att förbättra driftsäkerheten, öka bränslets effektivitet, minska avfallsmängden och att utveckla användningen av datatekniken i driften.

I Sverige gäller en stor del av utvecklingsarbetet hur man skall modernisera reaktorerna så att de kan användas på ett säkert sätt i minst 60 år, dvs framåt 2040-talet, och att möjliggöra en effektökning på närmare 15 procent i de reaktorer som nu är i drift.

I många länder, till exempel USA, Stor-

britannien, Frankrike, Ryssland och Japan pågår ett omfattande arbete med att utveckla nya och förbättrade reaktorer.

Nya kärnkraftverk byggs

Kärnkraftverk finns idag i över 30 länder. De cirka 440 reaktorerna svarar för 16 procent av världens elförsörjning. Utbyggnaden har under de senaste åren skett mest i Sydostasien medan det varit stillestånd i Europa och USA. Situationen har emellertid börjat vända och skälet är i första hand att klimatfrågan nu dominerar energidebatten i de flesta länder. Att kärnkraften ger ytterst begränsade koldioxidutsläpp, har bidragit till ett förnyat intresse för denna energikälla även i västländerna. Ett annat skäl är att i många länder börjar den första generationen av reaktorer bli så gamla att de behöver ersättas med nya kraftverk. Att ersätta kärnkraft med kol- eller gaskraft kan i skuggan av den pågående klimatdebatten bli svårt att motivera.

Finland och Frankrike beställde 2004 vardera ett nytt modernt kärnkraftverk. Det är en förbättrad tryckvattenreaktor med effekten 1 600 MW. I flera andra europeiska länder liksom i USA och Kanada, pågår konkreta diskussioner och planer på nybeställningar av kärnkraftverk.

Nya reaktortyper

Redan i kärnkraftens barnkammare hade man klart för sig att det går att bygga reaktorer där det bildas fler nya klyvbara urankärnor än vad som går åt för själva elproduktionen. Reaktortypen kallades på engelska ”breeder”, en ”avelsreaktor” från ordet breed – avla. På svenska används det svengelska uttrycket bridreaktor.

Det som sker i en bridreaktor är att

neutroner absorberas i tunga icke-klyvbara atomkärnor, som uran-238, och bildar nya klyvbara kärnor som till exempel plutonium-239. Vatten kan inte användas som kylmedel och tekniken anses för närvarande vara för dyr och alltför komplicerad. Flera brytdreaktorer har startats på försök men sedan lagts ner. På lång sikt, kanske om 40 till 50 år, kan de tänkas bli ekonomiskt intressanta. Utveckling pågår i liten skala för närvarande i flera länder.

En ny avancerad teknik är reaktorer som bygger på så kallade acceleratordriven transmutation. En fördel med denna reaktortyp skulle kunna vara att den kan användas, förutom för elproduktion, också till att samtidigt omvandla en del av resterna i det använda bränslet från dagens reaktorer så att avfallet inte blir så långlivat. Det finns ingen demonstration av transmutationsreaktorer någonstans men grundforskning pågår på många håll i världen, även i Sverige. Vägen är lång till exploatering.

På riktigt lång sikt, kanske hundra år, finns fusionskraften som en tänkbar vidareutveckling. Fusion innebär att man slår samman lätta atomkärnor till tyngre ämnen varvid energi bildas. Fusion är den kärnenergi som finns i solen. 2005 väntar beslut om bygget av en stor anläggning för demonstration av fusionsprocessen, men det är långt kvar till att visa en stabil och hållbar reaktion, som ger överskottsenergi. Den nya anläggningen ska byggas i Frankrike.



Ordförklaringar och namn

Anrikning – koncentration av ett ämne. För bränsle till lättvattenreaktorer höjs halten av uran-235 från 0,7 procent till mellan 2,5 och 5 procent.

Avklingning – avtagande av radioaktiviteten hos ett radioaktivt ämne. Anges ofta i ett ämnes halveringstid.

Bakgrundsstrålning – strålningen från omgivningen, till exempel från rymden och berggrunden.

Barsebäcksverket – två kärnkraftreaktorer i Kävlinge kommun, Skåne, som numera stängts.

Becquerel (Bq) – enheten för radioaktivitet.

Becquerel, Henri – fransk fysiker som upptäckte radioaktivitet. Fick Nobelpriset i fysik 1903, tillsammans med makarna Curie.

Bentonit – lera som sväller av vatten och används till exempel vid isolering av radioaktivt avfall.

Bor – ickemetalliskt grundämne. Bor kan förhindra kärnklyvningar genom sin förmåga att absorbera neutroner.

Bränsletillverkning – brytning av uranmalm sker under jord eller i dagbrott. Malmen förs till ett uranverk där den krossas till sand. Därefter renas det och koncentreras innan det skeppas till Sverige. Westinghouse Electric Sweden AB, tidigare ABB Atom AB, i Västerås pressar uranet, i form av det keramiska ämnet urandioxid, till en cm långa och breda cylindrar, så kallade kutsar, som sedan packas i bränslestavar. Dessa monteras ihop till bränsleelement.

Clab – centralt mellanlager vid Oskarshamns kärnkraftverk, där använt kärnbränsle från svenska reaktorer lagras i vattenbassänger i 30-40 år innan slutförvaring.

Curie, Marie och Pierre – franska forskare som upptäckte ämnet radium. Makarna fick Nobelpriset i fysik 1903, tillsammans med H. Becquerel.

Einstein, Albert – tysk-schweizisk-amerikansk fysiker. Formulerade 1905 relativitetsteorin som säger att massa är en form av energi som kan omvandlas till andra energiformer enligt formeln $E=mc^2$. (Energi=E, massa=m, ljusets hastighet=c). Fick 1921 års nobelpris.

Fermi, Enrico – italiensk-amerikansk fysiker. Fick Nobelpris 1938 för påvisandet av nya radioaktiva grundämnen. Konstruerade den första kärnreaktor.

Fission – klyvning, delning. När en neutron träffar en uran-235-kärna, klyvs den och nya neutroner frigörs. När dessa neutroner klyver en ny kärna, uppstår en självgående kedjereaktion.

Forsmarks Kraftgrupp AB – driver de tre kärnkraftreaktorerna i Forsmark utanför Östhammar.

Hahn, Otto – tysk fysiker som var först med att klyva atomkärnor (1938). Fick Nobelpris i kemi 1944.

Halveringstid – den tid det tar för hälften av antalet atomer i ett radioaktivt ämne att sönderfalla.

IAEA (International Atomic Energy Agency) – Förenta Nationernas kärnenergiorgan med säte i Wien. IAEA bildades 1956, sysslar med kärnenergens fredliga användning och ska stödja medlemsländerna med forskning, utbildning och teknisk hjälp. De utför även kontroller av kärnkraftverk och övervakar att klyvbart material ej används till kärnvapen.

Isotoper – olika former av samma grundämne, med lika kärnladdning men med olika masstal.

Klaproth, Martin H – tysk apotekare som upptäckte grundämnet uran (1789).

Oskarshamnsverket – OKG AB äger och driver de tre kärnkraftreaktorerna i Simpevarp utanför Oskarshamn.

Radioaktivitet – omvandling av icke stabila atomer till stabila samtidigt som det bildas strålning. Denna kan vara av olika slag t ex alfa-, beta-, gammastrålning.

Radon – radioaktiv gas som bildas vid sönderfall av radium.

Ringhalsverket – Ringhals kärnkraftverk i Väröbacka söder om Göteborg omfattar fyra reaktorer.

SFR (Slutförvar för radioaktivt driftavfall) – ligger vid Forsmarks kärnkraftverk. SFR tar emot låg- och medelaktivt avfall från kärnkraftverk, sjukhus, industrier, forskningsanläggningar med mera.

Sievert Rolf – svensk forskare inom radiofysik och strålskydd. Konstruerade världens första apparatur för mätning av strålning från hela människokroppen.

Sievert (Sv) – ett mått på den skadliga verkan strålning har på människor. 1 Sv är en mycket stor stråldos varför vi normalt använder måttet millisievert (mSv). 1 mSv är en tusendels sievert.

Sigyn – SKB:s specialbyggda fartyg för transporter av använt kärnbränsle och annat radioaktivt avfall.

SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) – tar hand om Sveriges radioaktiva avfall och ägs av kärnkraftföretagen. SKB svarar också för forskning på avfallsområdet.

SKI – Statens Kärnkraftinspektion som har till uppgift att granska, övervaka och främja säkerheten vid de olika kärntekniska anläggningarna.

SSI – Statens Strålskyddsinstitut som övervakar alla strålskyddsfrågor i Sverige med anknytning både till kärnkraft och annan verksamhet.

Styrstav – används i kärnkraftverk för att reglera reaktorns effekt. Styrstavarna innehåller bor, kadmium eller hafnium som absorberar neutroner så att kärnklyvningarna minskar, eller upphör. Vid snabbstopp, eller när en reaktor ställs av, skjuts styrstavarna in helt i härden.

Upparbetning – den kemiska process där man skiljer uran och plutonium från klyvningsprodukterna i använt kärnbränsle. För svenskt använt bränsle sker ingen upparbetning

Uran – en tungmetall där alla isotoper är radioaktiva. Uran förekommer i många mineral och fyndigheterna är spridda över större delen av jorden. Används som kärnbränsle och alstrar energi i form av värme i ett kärnkraftverk.

Uranbrytning – uran finns naturligt i berggrunden. Uranfyndigheter har påträffats i alla världsdelar. De kända tillgångarna på land kommer att räcka i minst 90 år med dagens förbrukning. Den svenska berggrunden innehåller omkring fem gram per ton berg. Den största fyndigheten, 300 000 ton, finns i skifferlagren vid Ranstad i Skövde. Där är uranhalten 300 gram per ton skiffer, vilket är en låg och icke lönsam halt internationellt sett. Malmen i Key Lakegruvan i Kanada innehåller 20 000 gram uran per ton malm. De svenska kraftföretagen importerar årligen 1 500 ton uran, främst från Kanada och Australien. Även i havet finns uran. Forskare anser att man kan fånga upp det med plastfilter, men idag är utvinningskostnaderna så höga att det inte är lönsamt. Totalt finns 4000 miljoner ton uran i havet.

Besök ett kärnkraftverk och SKBs anläggningar

Kärnkraftverken och SKBs anläggningar tar gärna emot besök.
Ring först och boka tid för guidning.

Du kan också besöka kärnkraftverkens och SKBs webbsidor:

Forsmarks kärnkraftverk

Östhammar. Ring 0173-81268 för information och bokning av besök.

www.forsmark.com

Ringhals kärnkraftverk och Kärnhuset

Utställning som visar hur ett kärnkraftverk fungerar. Ring 0340-66 70 00 för information och bokning av besök.

www.ringhals.se

OKG AB, Oskarshamn

Ring 0491-76 80 80 för information och bokning av besök. www.okg.se

SKB, Svensk Kärnbränslehantering AB

Clab – centralt mellanlager för använt kärnbränsle och **Äspölaboratoriet** – forsknings- och demonstrationsanläggning för djupförvar. Ring 0491-76 78 05 för information och bokning av besök.

SFR, Slutförvar av kortlivat låg- och medelaktivt avfall från Sverige. Östhammar. Ring 0173-883 10 för information och bokning av besök

www.skb.se



Ytterligare information om kärnkraft

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB, KSU

Box 1039

611 29 Nyköping

Tel 0155-26 35 00

Fax 0155-26 3074

E-post: info@ksu.se

www.ksu.se

Statens Kärnkraftinspektion, SKI

106 58 Stockholm

Tel 08-698 84 00

Fax 08-661 90 86

www.ski.se

Statens Strålskyddsinstitut, SSI

171 16 Stockholm

Tel 08-72971 00

Fax 08-729 71 08

E-post: ssi@ssi.se

www.ssi.se

Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB

Box 5864

102 40 Stockholm

Tel 08-459 84 00

Fax 08-661 57 19

www.skb.se

E.ON Sverige AB

205 09 Malmö

Tel 040-25 50 00

www.eon.se

Fortum

115 77 Stockholm

Tel 08-671 70 00

www.fotum.se

Vattenfall AB

162 87 Stockholm

Tel 08-739 50 00

www.vattenfall.se

Svensk Energi

Olof Palmes gata 31

101 53 Stockholm

Tel: 08-677 25 00

Fax: 08-677 25 06

E-post: info@svenskenergi.se

www.svenskenergi.se

Studsvik AB

www.studsvik.se

Analysgruppen vid KSU

www.analys.se

FORATOM

European Atomic Forum

www.foratom.org

International Atomic Energy Agency, IAEA.

www.iaea.org.

World Nuclear Association.

www.world-nuclear.org

Young Generation

www.younggeneration.nu

Vattenfall AB

www.vattenfall.se

Westinghouse

www.westinghouse.com

Högskoleutbildning

www.egi.kth.se

www.nuclear-tech-centre.org

www.studera.nu

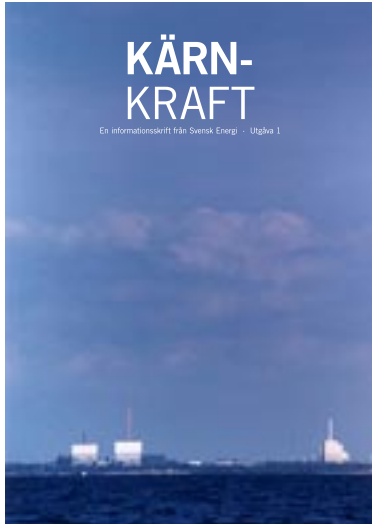


Foto: Beppe Arvdsson, Bildhuset

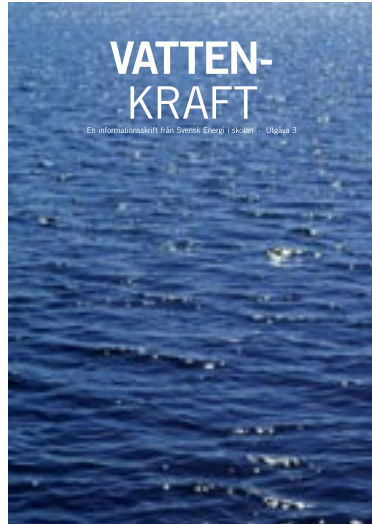


Foto: Bengt Olof Olsson, Bildhuset



Foto: Bengt af Geijerstam, Bildhuset

Kärnkraft ingår i en serie informationskrifter.
Gå in på Svensk Energis hemsida www.svenskenergi.se och klicka på *skolinfo* och *utbildningsmaterial* för att få information om kostnad och hur du beställer trycksaken.



Svensk Energi- Swedenergy - AB
101 53 Stockholm
Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Tfn: 08- 677 25 00, telefax 08- 677 25 06
www.svenskenergi.se

Utgåva 1