



# KÄRNBRÄNSLECYKELN

översättning till svenska av  
THE NUCLEAR FUEL CYCLE



Referens till Vattenfall AB  
Elproduktion Nordens certifierade  
Environmental Product Declarations  
S-P-00021 och S-P-00026, 2007

1 ÖVERSIKT.....	1
2 URANUTVINNING.....	2
2.1 Dagbrott.....	2
2.2 Underjordsgruva.....	2
2.3 In-Situ-Lakning.....	3
3 KONVERTERING.....	4
3.1 Rening.....	4
3.2 Konvertering.....	4
4 ANRIKNING.....	5
4.1 Gasdiffusionsmetoden.....	5
4.2 Gascentrifugmetoden.....	6
5 BRÄNSLETILLVERKNING.....	7
6 ELPRODUKTION.....	8
7 AVFALLSHANTERING.....	10
7.1 Översikt.....	10
7.2 SFR.....	10
7.3 CLAB - Centralt mellanlager för använt bränsle.....	11
7.4 Inkapsling.....	13
7.5 Slutförvar.....	13
7.6 Övrigt avfall.....	14
8 TRANSPORTER.....	15
8.1 Från gruva till slutförvar.....	15
8.2 Medel och lågaktivt avfall.....	15
8.3 Använt bränsle.....	16

Bilderna är mestadels Vattenfalls egna,  
men somliga har hämtats från öppna hemsidor

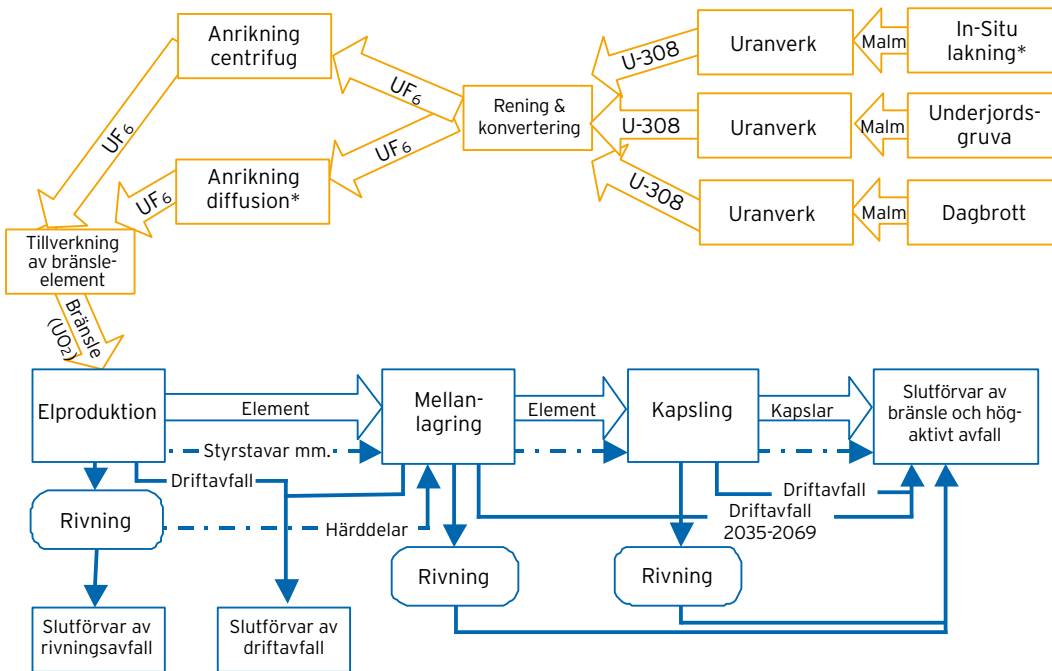
Detta dokument innehåller en beskrivning av kärnbränslelivscykeln för elproduktion i kärnkraftverken Ringhals och Forsmark.

**Uran**

Olja, kol, naturgas och uran är energiresurser som genom en serie processer kan omvandlas till ett bränsle som vidare kan användas för att generera el. Bränslet i ett kärnkraftverk består av uran som förekommer rikligt i jordskorpan. Det är runt 500 gånger vanligare än guld och ungefär lika vanligt förekommande som tenn. Naturligt uran består av isotoperna uran-238 (ca 99,3 %) och uran-235 (ca 0,7 %) och spår av uran-234. Det är ur strålningssynpunkt ofarligt att vistas nära eller till och med hålla i naturligt uran. Uran är dock en toxisk tungmetall som är giftig ur kemisk synpunkt om det kommer in i kroppen.

**Från uranutvinning till el och slutförvar**

I flödesschemat nedan visas steg för steg uranets väg från brytning till slutlig avfallsförvaring.



\*) Vattenfall har vid denna upplagas utgivande inga kontrakt med leverantörer av uran framtaget med In-Situ-lakning eller anrikning med diffusionstekniken.

Uran kan utvinnas ur jordskorpan på olika sätt, i dagbrott, underjordsgruva eller med In-Situ-Lakning. Tekniken att bryta uran skiljer sig inte nämnvärt från brytning av t ex järn- eller kopparmalm. Valet av brytningsmetod beror i stort sett på relativ brytkostnad och på faktorer som storlek, form, djup och koncentration av malm i malmkroppen. För att få gruvdrift lönsam utvinns ofta flera olika ämnen i samma gruva/dagbrott. Miljö-, hälso- och säkerhetsaspekter vid gruvdrift är likartade oavsett vilken malm som bryts.

## 2.1 Dagbrott

Malmen transporteras till ett uranverk, som i allmänhet ligger nära gruvan. I uranverket krossas och mals malmen till sand och blandas med vatten till en slurry. Därefter lakas uranoxiden ut med svavelsyra och syralösningen inklusive uranoxiden separeras från sanden.

Lösningen renas och behandlas med ammoniak, så att en pulverformig urandioxid erhålls, s k "yellowcake" innehållande ca 70 % uran. Pulvret,  $U_3O_8$ , packas sedan i ståltunnor som försluts innan transport. Urandioxiden är svagt radioaktiv och den strålning som en person som står en meter från en sådan tunna exponeras för, är ca hälften av den exponering man utsätts för (på grund av kosmisk strålning) under en flygresa på 10.000 m höjd.

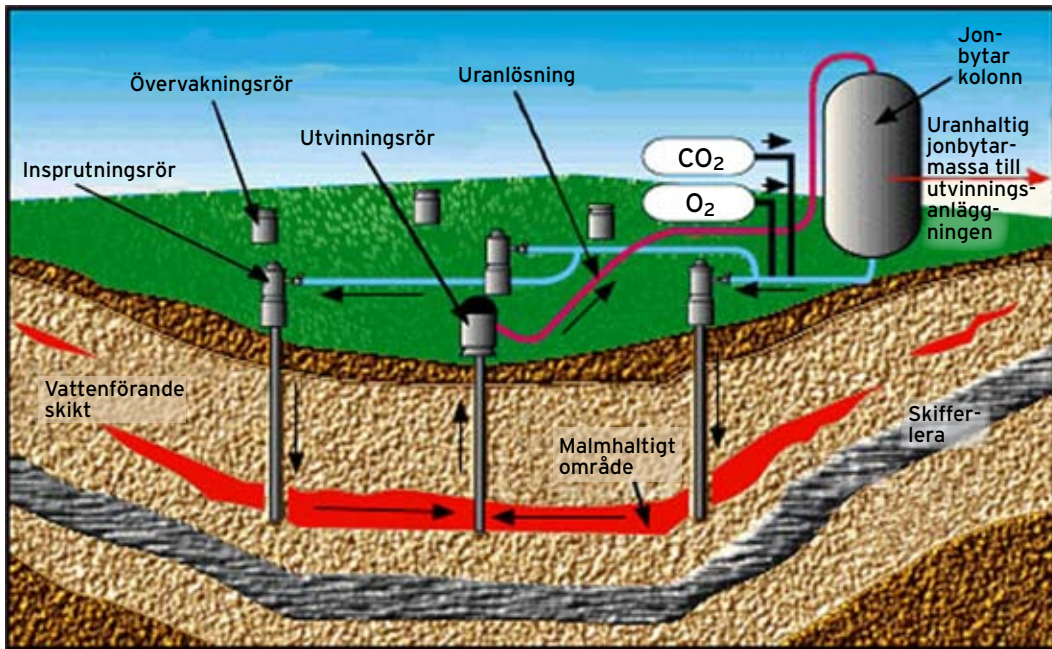
Den återstående slurryn pumpas från uranverket till en uppsamlingsdamm. Processen i gruvan och uranverket ger upphov till avfallsprodukter i form av kemikalier, sand och avloppsvatten. Avloppsvattnet renas och neutraliseras genom tillsatser av kalk och bariumklorid och fällningen tas om hand innan vattnet släpps ut. De fasta restprodukterna deponeras i tömda dagbrott. När ett dagbrott tagits ur produktion, fylls det med fyllmassor och jord och återplantering sker, för att i möjligaste mån återskapa den ursprungliga vegetationen (baslinjen). Fyllningen har också till syfte att minska radongasutsläppen till nivåer kring, eller under den naturliga nivån.

## 2.2 Underjordsgruva

Det finns flera olika brytmetoder under jord och det beror på malmkroppens karaktäristik. I de gruvor där uranhalten är mycket hög sker brytningen helt automatiserat då strålningsnivåerna nere i gruvan är för höga för personal att vistas i (på grund av radon). I Olympic Dam i Australien, primärt en koppargruva, används skivrasbrytning, vilket innebär att områden av mineralhaltig malm sprängs systematiskt. Malmen krossas under jord och hissas till lager på ytan genom schakt. Malmbearbetning sker på samma sätt som vid dagbrott se kapitel 2.1 ovan.

### 2.3 In-Situ-Lakning

In-Situ är latin och betyder "på plats". In-Situ-metoden, ISL, används i Nordamerika, Australien och forna Sovjetunionen. En syralösning, alkalisk lösning eller vatten pumpas genom den porösa malmkroppen under jord och löser upp uranet. Uranet utvinns sedan ur denna slurry efter att ha pumpats upp till markytan. Urändötror, som t ex radium, stannar i malmkroppen och därmed undviks ett ökat utsläpp av radongas till biosfären. ISL-gruvor består av borrhål, pipelines, en kompakt och relativt enkel uranutvinningsanläggning, samt torkanläggning.



Figur 2.1. Principskiss över In-Situ-Lakning.

### 3.1 Rening

Uralkoncentratet, eller "yellowcake", måste vidareförädlas innan det kan användas som bränsle i kärnkraftverk. Först måste koncentratet renas på neutronabsorberande ämnen som annars skulle förhindra kedjereaktionen i reaktorn och stoppa fissionsprocessen. In till "raffinaderiet" kommer uralkoncentrat och ut kommer ren  $\text{UO}_3$ .

Reningsprocessen innehåller följande steg:

- Saltpetersyra tillsätts för att få en uranylinitratlösning.
- Fasta produkter tas bort från uranylinitratlösningen i en trestegsprocess.
- Vatten ångas av för att erhålla en koncentrerad uranylinitrathexahydrat lösning.
- Det koncentrerade uranylinitrathexahydratet omvandlas till urantrioxid ( $\text{UO}_3$ ) efter uppvärmning.

Merparten av salpetersyran som tillsätts i det första steget avskiljs i det sista steget och återanvänds i processen.

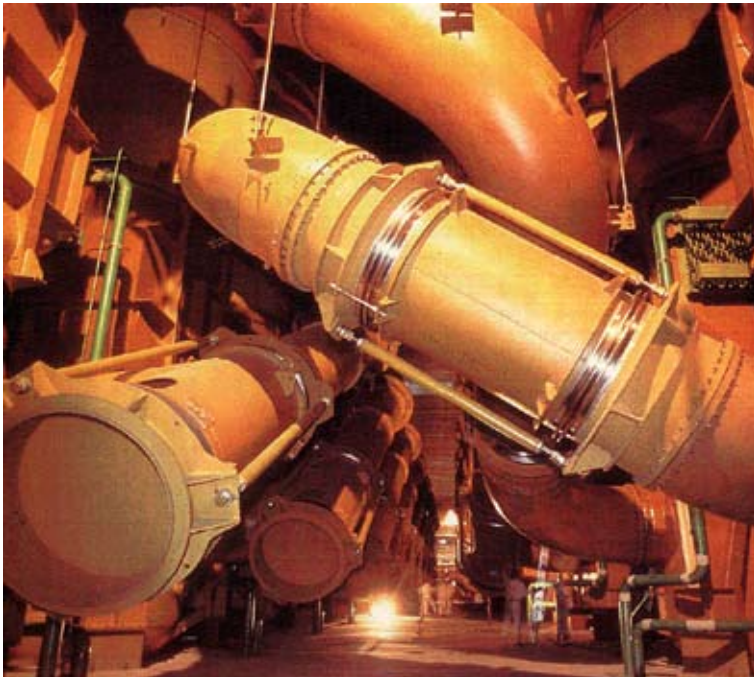
### 3.2 Konvertering

Konvertering genomförs i två steg. Först tillsätts fluorvätesyra till urantrioxiden ( $\text{UO}_3$ ) för att erhålla urantetrafluorid ( $\text{UF}_4$ ). Därefter får  $\text{UF}_4$  reagera med flourgaz för att bilda gasen uranhexafluorid ( $\text{UF}_6$ ).  $\text{UF}_6$  har den egenskapen att den ändrar aggregationstillstånd inom ett smalt intervall. Gasen får passera genom ett antal filter och slutligen genom kylfickor för att samlas upp som kristallin  $\text{UF}_6$ .  $\text{UF}_6$  omvandlas till en vätska genom uppvärmning och vätskan övergår i fast form vid tryckökning och transporteras i flytande form i specialdesignade stålcyllindrar.

De flesta kraftproducerande kärnreaktorer erfordrar bränsle med en U-235 koncentration av 3-5 %. Uranhexafluorid är vid rumstemperatur ett fast ämne, påminnande om paraffin. Vid 65°C och uppåt är  $UF_6$  i gasform och kan anrikas genom gasdiffusionsmetoden eller gascentrifugmetoden. I båda metoderna anrikas  $UF_6$  från 0,7 % uran-235 till den önskade nivån (resten av uranet är uran-238). Uranet bibehålls hela tiden i form av  $UF_6$  och kyls till fast form innan det transporteras till bränslefabriker.

#### 4.1 Gasdiffusionsmetoden

Gasformig  $UF_6$  passerar genom ett fint, poröst filter. Eftersom uran-235 är något lättare än uran-238 kommer gasen på utsidan av filtret att bli något anrikat. Detta måste upprepas 1.400 gånger för att få den önskade halten 3-5 % uran-235. Metoden är mycket energikrävande, cirka 3-4 % av den optimala framtida energiproduktionen från motsvarande bränslemängd krävs. Slutprodukterna är  $UF_6$  anrikad till 3-5 % av uran-235 och utarmat uran vars halt av uran-235 varierar omvänt mot världspriset på uran.

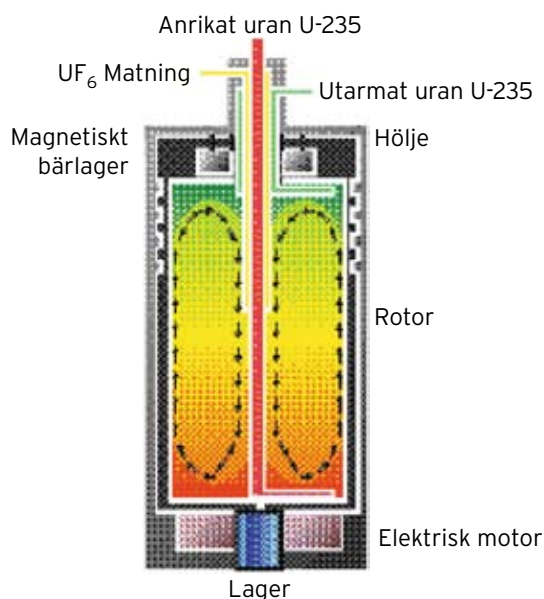


Figur 4.1. Rör innehållande filter, genom vilka  $UF_6$  passerar.

## 4.2 Gascentrifugmetoden

Isotopen U-238 är tyngre än isotopen U-235, och centrifugalkrafterna kommer att separera de två isotoperna genom att slunga den tyngre U-238 mot centrifugens ytterväggar. En centrifug består av en vacuumtub med en cylindrisk rotor, 1-2 m lång och 15-20 cm i diameter, som snurrar med 50.000-70.000 rpm i en omgivning med extremt låg friktion. Uranhexafluoriden matas in i rotorn där gasen sätts i rörelse. Centrifugalkraften trycker den tyngre isotopen U-238 närmare väggen där gasen utarmas på U-235, medan gasen närmast axeln anrikas på U-235.

Processen snabbas på ytterligare genom att gasflödet inuti centrifugen skapar en temperaturgradient, som får den på U-235 utarmade gasen att flöda uppåt längs centrifugväggen och den på U-235 anrikade gasen att röra på sig nedåt längs axeln. De två gasflödena tas ut genom ledningar i ändarna av centrifugen.



Figur 4.2. Centrifugmetoden.

För att erhålla önskad U-235 halt (3-5 %) kan man använda sig av flera centrifuger i serie (kaskad), eftersom anrikningen i en enda centrifug är ytterst begränsad. Restprodukten, den utarmade andelen innehåller 0,2-0,4 % U-235 beroende på rådande uranpriser.



Figur 4.3. Kaskadkopplade centrifuger, som kan vara i drift i 10 år utan underhåll. Metoden är energieffektiv, ca 0,1 % av den energimängd som kan produceras förbrukas i processen.

Uranet kommer till bränslefabriken som anrikad  $UF_6$  i fast form och återupphetas till gasfas. Genom tillsatser av ammoniak, syrgas och vätgas bildas urandioxid i pulverform  $UO_2$ . Pulvret pressas till cylindriska kutsar som väger 6-7 gram.

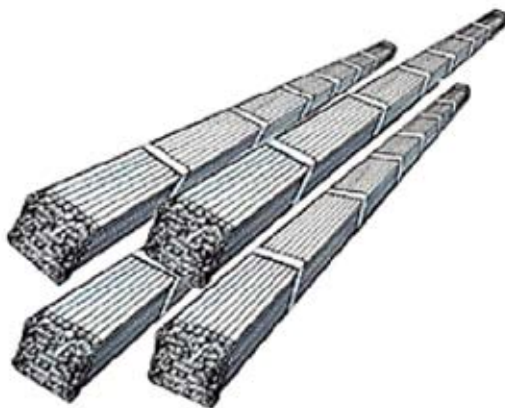


Figur 5.1.  $UO_2$  kutsar.

Kutsarna sintras till hög kemisk stabilitet och slipas till rätt form. Därefter placeras 300-370 kutsar i ca 3,7 m långa rör av en zirkoniumlegering (zirkaloy). Rören trycksätts med helium och försluts i ändarna för att forma bränslestavar. Dessa sätts samman till bränsleknippen. Antalet bränslestavar per knippe beror på reaktorns design. I en kokarvattenreaktor (BWR) finns det mellan 400 och 700 bränsleknippen som innehåller sammanlagt upp till 70.000 stavar. I en tryckvattenreaktor (PWR) finns det ca 160 bränsleknippen med sammanlagt upp till 42.000 stavar.



Figur 5.2. Bränslestavar.

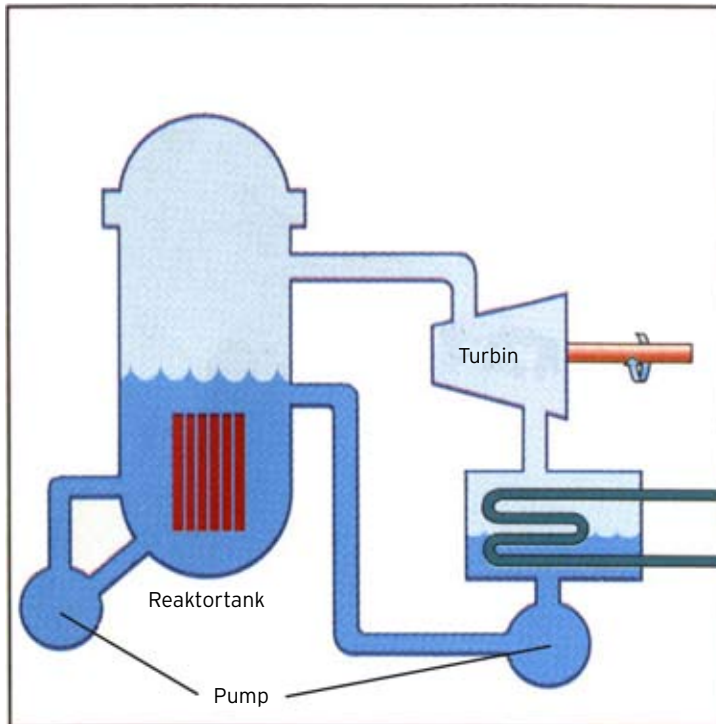


Figur 5.3. Bränsleknippen.

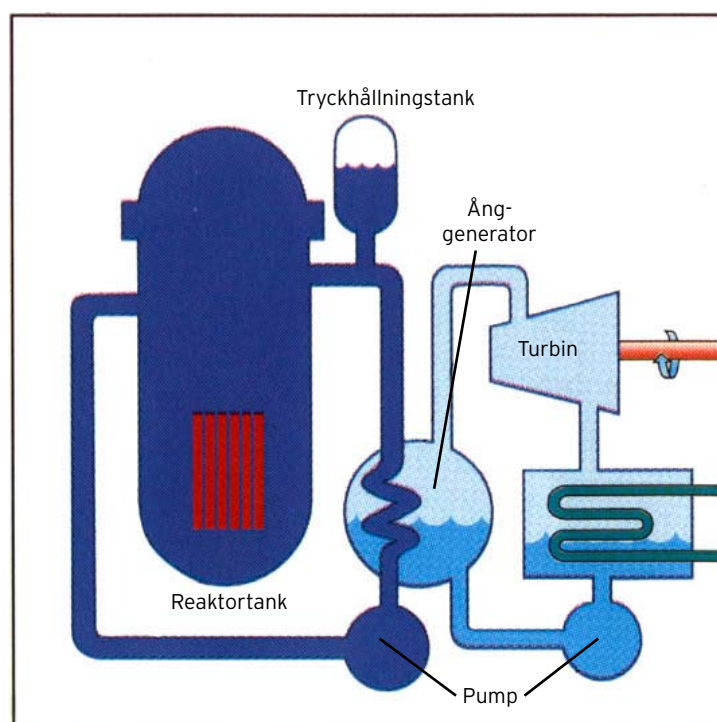
Zirkaloy är en legering av zirkonium (ca 98 %), tenn (ca 1,5 %) och små halter av järn, nickel och krom. Den absorberar inte neutroner, har hög korrosionsbeständighet, tål höga temperaturer och lämpar sig därför särskilt väl för användning i kärnreaktorer.

I bränslefabriken tillverkas också styrstavar. Dessa görs huvudsakligen av rostfritt stål. I BWR-styrstavar fylls små utrymmen i styrstaven med borkarbid och hafniumoxid. I PWR-styrstavar kapslas en legering av indium, kadmium och silver in i det rostfria stålet.

I en kärnreaktor klyvs urankärnor (fission) med hjälp av neutroner. Vid fissionen frigörs energi i form av rörelseenergi hos klyvningsprodukterna samt som strålningsenergi. Energin omvandlas till värme, som hettar upp vattnet i reaktorn. Ångan driver en turbin som i sin tur driver en generator som omvandlar rörelseenergin till el. Efter turbinen kondenseras ångan i en kondensator genom värmeväxling med kylvatten (havsvatten), och efter rening recirkuleras vattnet till reaktorn igen. Vattenfalls kärnkraftreaktorer är lättvattenreaktorer (LWR), och vanligt avsaltat vatten används som kylmedium. Det finns två huvudtyper av LWR - kokarvattenreaktorer (BWR, Boiling Water Reactor) och tryckvattenreaktorer (PWR, Pressurized Water Reactor) - se bilder nedan.



Figur 6.1. Principskiss på BWR.



Figur 6.2. Principskiss på PWR.

Själva kärnreaktionen är densamma i båda reaktortyperna. Neutroner kolliderar med urankärnor, som sönderdelas och får ökad rörelseenergi. Vid klyvningen frigörs nya neutroner som i sin tur kolliderar med andra urankärnor och processen fortskrider. Processen regleras i båda reaktortyperna med hjälp av styrstavar. I PWR används dessutom tillsatser (bor), som absorberar neutroner i reaktorkylvattnet.

I en BWR värms reaktorvattnet så att det förångas i själva reaktorn. I en PWR hålls reaktorvattnet under högre tryck i själva reaktorn, så att ånga inte bildas. I stället leds det överhettade vattnet till en ånggenerator, där värmen växlas över till en andra vattenkrets. Detta vatten förångas och driver en ångturbin på samma sätt som i BWR.

Skillnaden mellan BWR och PWR är huvudsakligen att en PWR har två vattenkretsar - en för reaktorvatten och en för matarvatten till ångcykeln. Vattnet i en PWR förångas inte och passerar aldrig ångturbinen. Eftersom reaktorvattnet i en PWR aldrig förångas kan reaktortanken vara mindre än i BWR. Däremot ska ånggeneratorer och annan utrustning rymmas i reaktorinneslutningen, som blir större än en BWR-inneslutning.

## 7.1 Översikt

Vid drift av kärnkraftverk uppkommer fast avfall. En del av detta är mer eller mindre radioaktivt. Avfallet delas upp i driftavfall, rivningsavfall och använt kärnbränsle. Det radioaktiva avfallet delas i sin tur upp i låg-, medel-, och högaktivt avfall. En indelning görs också i kort- och långlivat avfall, med hänsyn till hur lång tid de radioaktiva ämnena finns kvar i avfallet. Det utbrända bränslet med bränslestavar och styrtavar är högaktivt avfall. Det radioaktiva driftavfallet är låg- och medelaktivt. Det består av skyddskläder, verktyg och utbytta delar som använts inom aktiva områden i kärnkraftverken samt filter och jonbytarmassor.

**Det lågaktiva avfallet** behandlas antingen på kärnkraftverket och förvaras sedan i ett eget markförvar vid kraftverket, eller också hanteras det tillsammans med det medelaktiva avfallet. En del lågaktivt avfall kan efter källsortering och rengöring, ha så låg aktivitet att det kan hanteras som vanligt icke-aktivt avfall. Det innebär att avfallet kan friklassas och återanvändas eller deponeras på en vanlig deponi.

**Medelaktivt avfall** och en del lågaktivt avfall transporteras till SFR (Slutförvar för radioaktivt driftavfall), som är beläget under havsbotten vid Forsmark. Där ska avfallet slutförvaras och hållas inneslutet tills radioaktiviteten har avklingat till en ofarlig nivå. Man beräknar att avfallet om ca 500 år inte avger mer strålning än den naturliga bakgrundsstrålningen i det omgivande berget.

Använt kärnbränsle är **högaktivt avfall** och förvaras ett år på kärnkraftverket och därefter 30-40 år i **CLAB** (Centralt mellanlager för använt bränsle), för att sedan kapslas och placeras i ett slutförvar.

**Övrigt avfall**, dvs **icke radioaktivt avfall**, genereras också.

## 7.2 SFR

Slutförvaret för radioaktivt driftavfall, SFR, ligger nära kärnkraftverket i Forsmark. SFR är en central anläggning för slutförvaring av kortlivat låg- och medelaktivt avfall med svenskt ursprung. SFR ligger i urberg på mer än 50 meters djup under havsbotten och täcks av 5 meter vatten. Två kategorier avfall hanteras i SFR, driftavfall från kärnkraftverken och liknande avfall från industri, sjukvård och forskningsinstitut.



Figur 7.1. SFR mottagningsstation med Forsmarks tre kärnkraftblock i bakgrunden.

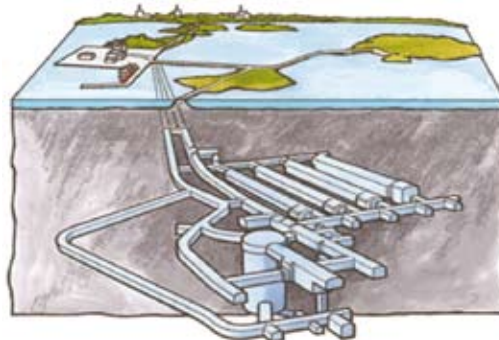
Vid driften av kärnkraftverken uppkommer olika typer av radioaktivt avfall; dels använt kärnbränsle som är högaktivt och långlivat, dels driftavfall som är låg- eller medelaktivt och kortlivat. Endast låg- och medelaktivt avfall förvaras i SFR. Det medelaktiva avfallet utgörs huvudsakligen av jonbytarmassa. Radioaktivt material fastnar på rörväggar, ventiler, pumpar etc. Detta tas om hand när komponenterna byts. Det mesta av detta material utgörs av lågaktivt avfall. Till denna grupp räknas även allt material t ex verktyg, skoskydd etc, som används i utrymmen där radioaktiva ämnen kan förekomma.

Under drift av kärnkraftverket utsätts delar i och runt reaktortanken för bestrålning. Genom reaktorvattnet sprids också radioaktiva ämnen till andra delar av kraftverket. När kärnkraftverket ska rivas måste därför dessa delar tas om hand som radioaktivt avfall. Rivningsavfallet är i huvudsak låg- och medelaktivt och kortlivat. Detta avfall planeras bli deponerat i en tillbyggnad av SFR efter särskilt tillstånd från svenska regeringen.

När avfallet kommer till SFR är det inneslutet i skyddande behållare. Det medelaktiva avfallet är dessutom ingjutet i betong eller asfalt. Annat lågaktivt avfall är förbränt och kommer till anläggningen i plåtfat. På så sätt förekommer inga fria radioaktiva ämnen i SFR.

Anläggningen är förbunden med markytan genom två parallella kilometerlånga tillfartstunnlar. Förvarsutrymmena utgörs idag dels av fyra 160 meter långa bergsalar, dels av ett 70 meter högt bergrum där en betongsilo byggts.

I en av de fyra bergsalarna förvaras lågaktivt avfall inneslutet i öppnade transportcontainrar. Avfallet i denna del av anläggningen kan hanteras med vanlig gaffeltruck utan någon särskild strålskärning.



Figur 7.2. Skiss över SFR-anläggningen.



Figur 7.3. Bergsalar i SFR.



Tre av bergsalarna tar emot medelaktivt avfall som kräver strålskärning. I två av dessa förvaras avvattnade jonbytarmassor i betongtankar. I ett cylindriskt bergrum finns en 50 meter hög betongsilo (med en innerdiameter på 26 meter). Siloförvaret är avsett för medelaktivt avfall och används främst för filter.

### 7.3 CLAB - Centalt mellanLager för Använt Bränsle

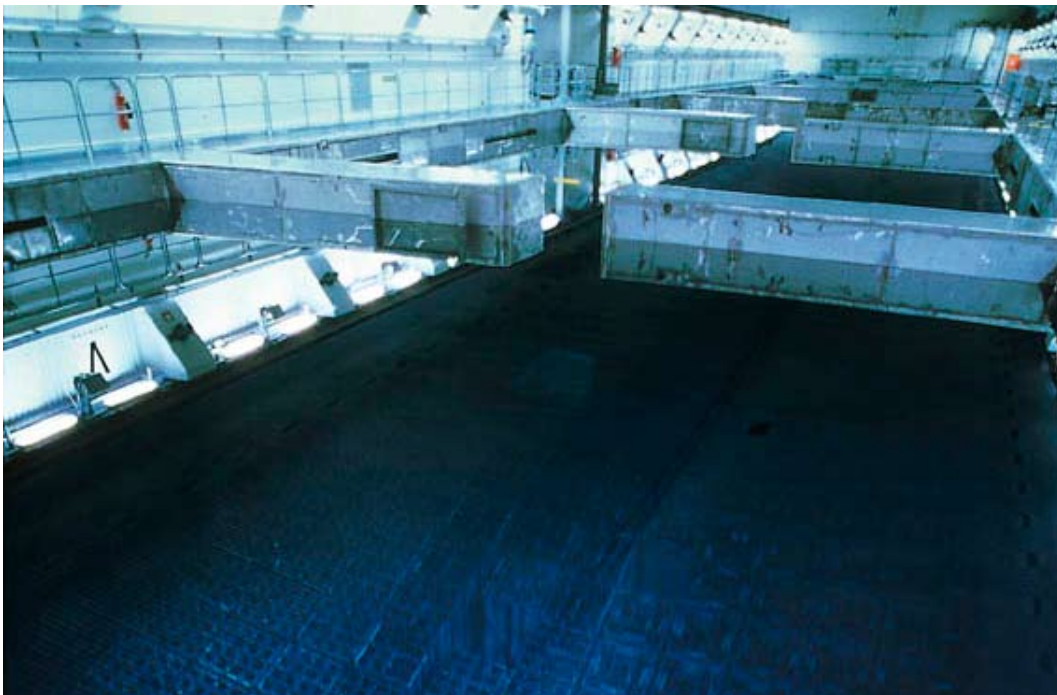
CLAB ligger på Simpevarpshalvön i nära anslutning till Oskarshamns kärnkraftverk (OKG). CLAB består av en mottagningsdel i marknivå, där behållarna tas emot och bränslet lastas ur under vatten. Själva lagringsutrymmet ligger i två likadana bergrum med taket 25-30 meter under markytan. Bergrummen, som är 120 meter långa, innehåller fyra lagringsbassänger och en reservbassäng.



Figur 7.4. CLAB med kärnkraftverken Oskarshamn 1 och 2 i bakgrunden.

Innan det använda bränslet flyttas till CLAB har det lagrats i minst nio månader i kärnkraftverkens egna bränslebassänger. Under denna tid avklingar större delen av radioaktiviteten i bränslet. Radioaktiviteten i bränslet är dock alltjämt mycket hög, vilket medför att bränslet måste strålskärmas och kylas. Använt bränsle transporteras till CLAB inneslutet i tunga transportbehållare som ger strålskydd och skyddar mot skador. Behållarna är robusta och konstruerade för att klara stora yttre påfrestningar, som fall från nio meters höjd eller yttre tryck, som motsvarar 4.000 meters vattendjup. I CLAB lagras det använda kärnbränslet i djupa, vattenfyllda bassänger.

Vattnet ger strålskärmning och kylning. Efter 30-40 års lagring i CLAB har radioaktiviteten minskat med ytterligare ungefär 90 %, men bränslet måste fortfarande strålskärmas. Då ska det använda kärnbränslet kapslas in för placering i slutförvaret.



Figur 7.5. Bassänger i CLAB.

## 7.4 Inkapsling

Inkapslingen är tänkt att göras i en särskild anläggning i anslutning till CLAB. I inkapslingsanläggningen tas bränsle emot ifrån CLAB:s förvaringsbassänger. Det placeras direkt i en kopparkapsel samtidigt som det kontrolleras och torkas. Därefter försluts kapseln eventuellt efter att den fyllts med ädelgas. Efter kontroll att kapslarna är täta och rena förs de till ett buffertlager innan de transporteras till slutförvaret. Inkapslingen kommer att utföras fjärrmanövrerat i väl strålskärnade utrymmen. Transporten kommer att ske i samma typ av behållare som idag används för transporter av använt bränsle från kärnkraftverken till CLAB. I ett senare skede ska även övrigt långlivat avfall behandlas i inkapslingsanläggningen. Exempel på sådant avfall är härdkomponenter, t ex styrvastavar, och andra interna delar från reaktortanken, som blivit aktiverade genom neutronstrålning under reaktorns drift. Planen är att injicera dessa komponenter i betong.

## 7.5 Slutförvar

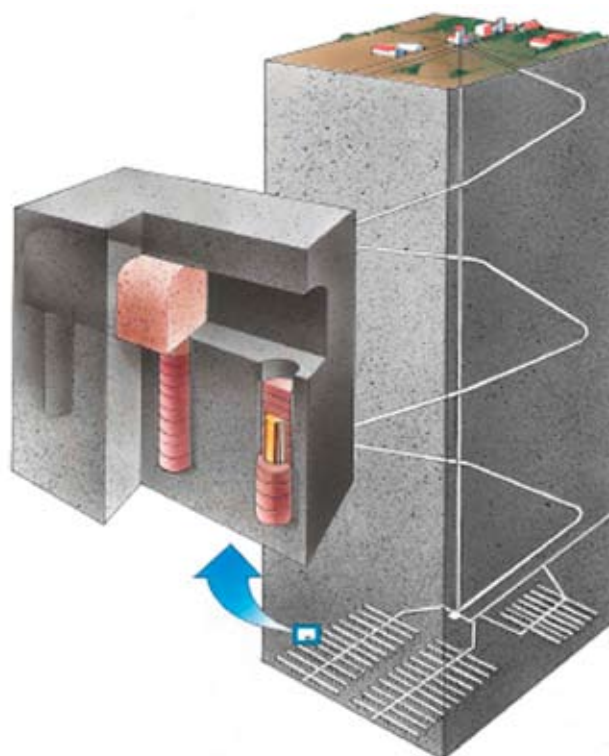
Nuvarande plan är att det använda kärnbränslet ska inneslutas i kopparkapslar. Kapseln är en av de viktigaste barriärerna, eftersom den skall hålla bränslet avskilt från grundvattnet under mycket lång tid. Den skall således vara tät och inte korrodera i det grundvatten som finns i berg, eller pressas sönder av de mekaniska påfrestningar den utsätts för i slutförvaret.

För att åstadkomma detta är avsikten att kapseln skall tillverkas med en yttre kapsel av koppar, som ger korrosionsskydd och en inre insats av gjutjärn eller stål, som ger mekanisk stabilitet. Koppar korroderar mycket långsamt i det syrafria och syrefattiga grundvatten som finns djupt i svensk berggrund. Eventuellt syre kommer snabbt att brytas ned av några av de hundratals arter av mikroorganismer som finns i det grundvatten som sipprat genom urberget under tusentals år. Genomförda studier visar att kopparkapseln kommer att förbli vattentät under minst en miljon år vilket är betydligt längre än de 100.000 år som bränslet avger mer strålning än rik uranmalm.

Kapslarna kommer att placeras i slutförvaret ca 500 meter ner i urberget. Där bädas de in i en speciell lera, bentonit. Grundvattnet gör att leran sväller och fyller ut utrymmet mellan berg och kapsel. Var i Sverige slutförvaret kommer att realiseras, har ännu inte bestämts.



Figur 7.6. Kapsel för slutförvar



Figur 7.7. Slutförvar

## 7.6 Övrigt avfall

### **Fast avfall**

Fast avfall sorteras så långt det är möjligt och varje sort behandlas separat. Asbest och härdade epoxiplaster samlas och transporteras i containers till kommunens speciella deponeringsplats. Lysrör och kvicksilverlampor samlas och tas om hand i återvinningsanläggning. Hushållsavfall och industriavfall såsom byggavfall, plast och friklassade föremål komprimeras, förpackas och transporteras enligt kommunens bestämmelser. Trägårdsavfall flisas och används inom området.

### **Filtermassor**

Inaktiva, eller ytterst lågaktiva jonbytarmassor, förvaras i behållare. Före tömning av dessa sker provtagning och kontroll av aktivitet. Beroende på aktivitetskoncentration sänds de antingen till Studsvik för förbränning, till egen markdeponi där de omedelbart övertäcks eller till SFR.

### **Oljeavfall**

Oljeavfall uppsamlas i speciella tankar. När tankarna är fyllda transporteras de bort av auktoriserad entreprenör, antingen för destruktion eller förbränning.

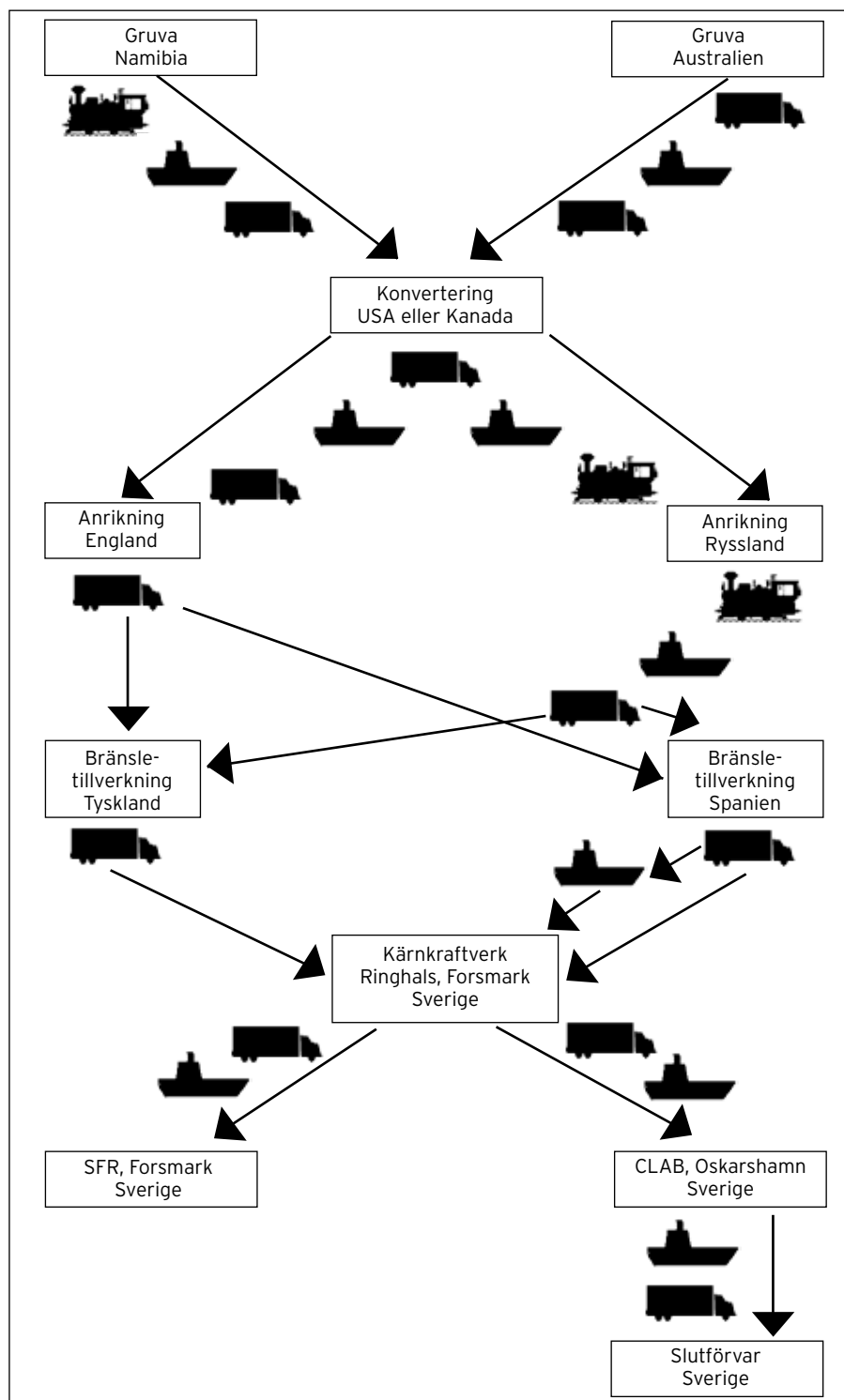
### **Miljöfarligt avfall**

Allt övrigt avfall - utöver olja - som klassas som farligt för hälsa, säkerhet eller miljö samlas ihop och transporteras bort av auktoriserad entreprenör för destruktion.

De transporter som krävs under kärnbränslelivs cykeln sker med lastbil, fartyg och tåg beroende på var gruvan ligger och vilka anläggningar som är involverade innan bränslet laddas i reaktorn.

### 8.1 Från gruva till slutförvar

Uranverk och malmbearbetning ligger oftast i nära anslutning till gruvan. Beroende på vilka leverantörer som är aktuella kommer transportvägen att se ut enligt den schematiska bilden nedan.



Figur 8.1. Schematisk bild över transporterna från gruva till slutförvar.

Malmen transporteras med lastbil från gruva/uranverk till konverteringsanläggningarna. Transporter från Australien och Nordamerika går med lastbil och båt. Inom Europa används främst lastbil men även båt.

## 8.2 Medel- och lågaktivt avfall

Transporter av medelaktivt avfall, i huvudsak filtermassor, sker i tjockväggiga stålcontainrar, som ger den behövliga strålskärningen. Dessa behållare väger med last upp till 120 ton styck och rymmer ca 25 m<sup>3</sup> avfall. Lågaktivt avfall kräver inte strålskärning och kan transporteras i vanliga containrar.

## 8.3 Använt bränsle

Transporten av använt bränsle från svenska kärnkraftverk till CLAB sker med ett specialanpassat fartyg. Den svenska båt som fraktar radioaktivt avfall heter Sigyn och är ett dieseldrivet lastfartyg av roll on/roll off-typ. Kapaciteten är 30 ton använt kärnbränsle per resa. Det använda bränslet placeras i särskilda transportbehållare innan det lastas på Sigyn.



Figur 8.2. M/S Sigyn.

För det använda bränslet används cylindriska behållare av stål. Dessa har mycket kraftiga väggar (ca 30 cm tjocka), för att avskärma den starka strålningen från bränslet. Eftersom bränslet avger värme måste värmen kunna ledas bort från behållaren. Den är därför försedd med ett stort antal kylflänsar av koppar. Behållaren väger med last ca 80 ton, och är konstruerad för att klara större påfrestningar än vad som rimligen kan uppstå vid transporter. Exempelvis klarar den ett yttre tryck som motsvarar 4.000 meters vattendjup. För att transportera allt utbränt bränsle från en kärnkraftsreaktor till CLAB krävs 6-10 transporter per år.



Figur 8.3. Transportbehållare.

Transporten av kapslar från CLAB till slutförvar kommer att ske i samma typ av transportbehållare som används när kärnbränslet transporteras till CLAB. Beroende på var slutförvaret byggts kommer båt och tåg och/eller lastbil att användas för transporten.

Vattenfall AB  
162 87 Stockholm  
Tel 08-739 50 00  
[www.vattenfall.com](http://www.vattenfall.com)