



# SKB rapport

## R-97-22

December 1997

Använt kärnbränsle – transporter

En delrapport från projektet  
"Beskrivning av risk"

---

*Lars Pettersson, Mikael Ringi*

*Vattenfall Energisystem AB*



SKB, Box 5864, 102 40 Stockholm  
Telefon 08-665 28 00 • Telefax 08-661 57 19 • Telex 13108 S

ISSN 1402-3091  
SKB Rapport R-97-22

# **ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE - TRANSPORTER**

## **EN DELRAPPORT FRÅN PROJEKTET ”BESKRIVNING AV RISK”**

Lars Pettersson, Mikael Ringi

Vattenfall Energisystem AB

December 1997

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens(nas) egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

## Förord

Frågor om hur radioaktivt material påverkar oss människor kan vara komplicerade. Breda kontakter med allmänhet, beslutsfattare men också med experter och vetenskapsmän har gjort det tydligt för oss på SKB att de behöver förklaras bättre. Debatten, där olika delar lyfts fram beroende på olika intressen, har inte gjort det lättare för en utomstående att få perspektiv på vad som är farligt, hur stora säkerhetsmarginaler som finns etc. Kraven att kunna överblicka konsekvenser över mycket långa tidsperioder och kraven på stora säkerhetsmarginaler är ovanliga, och går långt utöver vad som är normalt i samhället. Det är naturligt att detta kan vara svårt att förstå.

Samtidigt gäller att vi som arbetar med frågorna ofta i våra redovisningar tagit för givet att många har de grundläggande problemställningarna klara för sig. Det är idag uppenbart att vi måste lägga mycket mera möda på att förklara vilka risker och farligheter som våra förslag till lösningar avses ge skydd emot. Möjligheterna att på ett bättre sätt än tidigare beskriva risker är goda idag, efter många år av intensiv och bred forskning i internationellt samarbete. Man har haft möjlighet att tänka igenom grundläggande förhållanden och samlat på sig ett stort faktaunderlag. Det ger möjlighet att placera in olika problem i sina sammanhang och även ange storleksordningar.

Inom SKB har vi därför beslutat att ta upp en rad av de viktigaste frågorna inom ramen för ett särskilt projekt - "Beskrivning av risk". På nästa sida finns en lista på de rapporter som idag finns tillgängliga i denna serie. Tanken är att rapporterna ska utgöra ett aktuellt bibliotek som på ett populärvetenskapligt sätt redovisar riskerna kring hanteringen av det radioaktiva avfallet. Vår förhoppning är att rapporterna ska bidra till att lyfta fram de verkligt viktiga frågorna när det gäller att ta hand om det använda kärnbränslet. Allt eftersom arbetet med avfallsfrågorna går framåt kan rapporterna behöva uppdateras och nya skrivas.

## Delrapporter - “Beskrivning av risk”

I projektet “Beskrivning av risk ingår följande delrapporter:

- Använt kärnbränsle - Hur farligt är det? (R-97-02)
- Plutonium - data, egenskaper m m (R-97-10)
- Vad betyder en istid för djupförvaret? (R-97-11)
- Använt kärnbränsle - Barriärernas säkerhetsmässiga betydelse (R-97-20)
- Använt kärnbränsle - Djupförvarets funktion och utveckling (R-97-21)
- Använt kärnbränsle - Transporter (R-97-22)
- Farliga ämnen i människans omgivning (R-97-23)

## Sammanfattning

Transporter av använt kärnbränsle har förekommit under flera decennier världen över till havs, på landsväg och på järnväg utan att en enda, ur radiologisk synvinkel, allvarlig incident inträffat. Sannolikheten för en transportolycka, från CLAB till djupförvaret, är liten och även om den inträffar är det inte troligt att den får några allvarliga radiologiska konsekvenser.

Från CLAB fraktas det inkapslade använda kärnbränslet med fartyg - M/S Sigyn eller motsvarande efterträdare till henne. Fartyget anländer till en hamn där omlastning sker till tåg (eller eventuellt lastbil) för transport till djupförvaret. Under hela transporten finns det inkapslade bränslet i en speciell transportbehållare, som är konstruerad för att tåla svåra olyckor. Transporterna kommer på många sätt att vara likvärdiga med de som sker i dag, från kärnkraftverken till CLAB. De nya inslaget blir transporten på järnväg (alternativt landsväg). I många avseenden blir transporterna till djupförvaret enklare att hantera än dagens transporter eftersom aktiviteten och resteffekten i bränslet minskat med 90 procent under förvaringstiden i CLAB och bränslet är inkapslat i robusta behållare av koppar och stål.

Transporter från CLAB till djupförvaret medger inga möjligheter att radioaktiva ämnen sprids till människor eller miljö eftersom bränslet är tätt inkapslat i cylindrar av koppar och stål. Däremot avger det transporterade godset relativt stark gammastrålning och måste därför strålskärmas väl under transporten. Transportbehållaren som svarar för den strålskyddande funktionen är konstruerad för att tåla mycket stora påkänningar. Det innebär att även vid svåra olyckor kommer den strålskyddande funktionen att bibehållas, därmed är riskerna för höjda stråldoser till tredje man oerhört små. Inte ens personal vid olycksplatsen ska behöva hindras i sitt arbete p g a strålningen. Om en olycka inträffar, t ex att ett tåg spårar ur och välter, kommer de allmänna konsekvenserna av olyckan att vida överstiga de rent radiologiska konsekvenserna.

# Innehåll

1	Inledning	1
2	Metod och avgränsningar	2
	2.1 Rapportens uppbyggnad	2
	2.2 Avgränsningar	2
3	Det transporterade godset	3
	3.1 Strålning från radioaktiva ämnen och dess skadeverkningar	3
	3.2 Använt kärnbränsle	4
	3.2.1 Bränsleelementen	4
	3.2.2 Radioaktivitet i använt bränsle	4
	3.2.3 Värmeutveckling i använt bränsle	6
	3.3 Kapseln	7
4	Risker och säkerhetskrav i samband med transporterna	9
	4.1 Riskbegreppet	9
	4.2 Risker i samband med transporter av använt kärnbränsle	9
	4.3 Regelverk och övervakande myndigheter	10
	4.3.1 IAEAs transportrekommendationer	10
	4.3.2 Internationella och svenska transportbestämmelser	11
	4.3.4 Myndighetstillstånd	11
5	Transporten	12
	5.1 Transportbehållaren	12
	5.2 Fordon	14
	5.2.1 Terminalfordon	14
	5.2.2 Fartyg	14
	5.2.3 Tåg och lastbil	14
	5.3 Administrativa rutiner	15
6	Erfarenheter	16
	6.2 Erfarenheter i Sverige	16
	6.2 Erfarenheter internationellt	16
	6.2.1 Transporter i USA	16
	6.2.2 Transporter i Storbritannien	17
	6.2.3 Transporter i Tyskland	18
	6.2.4 Erfarenheter från transporter	19
7	Tänkbara olyckor och dess konsekvenser	20
	7.1 Blockerad transport	20
	7.2 Tappad transportbehållare	21
	7.3 Grundstött fartyg eller förlisning	21
	7.4 Urspårad järnvägsvagn	22
	7.4.1 Strålning från en oskyddad kapsel	23
	7.5 Extrema olyckor - "Värsta fall"	24
	7.5.1 Olycka till sjöss	24
	7.5.2 Olycka på land	25
	7.5.3 Bärgning	26
	7.5.4 Slutsats angående extrema olyckor med radioaktiva utsläpp	26
8	Slutsatser	27
	Referenser	28
	Bilaga: Radioaktivt sönderfall och strålning	29

# 1 Inledning

Kärnkraften svarar i grova drag för hälften av Sveriges elproduktion. Detta gör frågor rörande kärnkraftens säkerhet och hanteringen av det radioaktiva avfallet till viktiga samhällsfrågor. Var och en, som är intresserad, bör därför ges möjligheten att bilda sig en välgrundad uppfattning om de risker som är förknippade med den svenska kärnkraften.

Denna rapport behandlar en del i hanteringskedjan av det uttjänta kärnbränslet, nämligen transporten av det inkapslade använda kärnbränslet från mellanlagringen vid CLAB (Centralt lager för använt kärnbränsle) norr om Oskarshamn till ett djupförvar.

Syftet med rapporten är att beskriva risker och säkerhetsåtgärder, knutna till transporter av inkapslat använt kärnbränsle, på ett sätt som är tillgängligt för den intresserade allmänheten. Avsikten är att rapporten ska ge svar på frågor om hur farligt det använda kärnbränslet är vid tidpunkten för transporten, beskriva hur bränslet hanteras för att skydda människor och miljö från radioaktiv strålning, beskriva hur själva transporten går till och vad som kan hända om en transportolycka inträffar.

## 2 Metod och avgränsningar

### 2.1 Rapportens uppbyggnad

Rapporten, som alltså behandlar risker vid transport av inkapslat använt kärnbränsle, är uppbyggd enligt följande. I kapitel 3 beskrivs det transporterade godset, inkapslat använt kärnbränsle och på vilket sätt det är farligt. I kapitel 4 diskuteras riskbegreppet, risker i samband med transporter av det använda bränslet samt regelverk, krav och övervakande myndigheter. I kapitel 5 beskrivs hur transportbehållaren, fordon, och rutiner i samband med själva transporten utformats mot bakgrund av kraven. I kapitel 6 framhålls de erfarenheter av transporter med radioaktivt gods som finns idag, såväl inom Sverige som internationellt. I kapitel 7 skisseras några tänkbara olycksfall vid transporter av använt inkapslat kärnbränsle från CLAB till djupförvaret och vilka konsekvenser de skulle kunna få. Resonemanget kopplas till tidigare kapitel för att visa vilka åtgärder som vidtagits för att minimera riskerna. Rapporten avslutas med en sammanfattande diskussion och slutsatser. I bilaga 1 ges, för att begrepp och termer rörande radioaktivitet inte ska hänga helt i luften, en kort beskrivning av radioaktivt sönderfall och strålning.

Innehållet i denna rapport bygger till stor del på tidigare studier som genomförts i SKBs regi. Detta gäller i synnerhet de kapitel som beskriver det använda kärnbränslet, transportens genomförande etc. Rapporten är till stora delar en sammanställning av tidigare framtaget material med syfte att göra information om transportriskerna lättillgänglig för en bredare allmänhet.

### 2.2 Avgränsningar

Rapporten begränsar sig till transporterna av det använda bränslet från CLAB till djupförvaret. Transporten kan sägas starta med lastning på terminalfordon i inkapslingsanläggningen i anslutning till CLAB och avslutas med lossning av fordon vid djupförvaret. Hanteringen inom CLAB eller i själva djupförvaret, t ex transporten ner under jord behandlas inte. Eftersom den geografiska lokaliseringen av djupförvaret ännu inte är fastlagd går det inte att i detalj beskriva en transport. Det har förutsatts att djupförvaret kommer att vara beläget på så långt avstånd från CLAB att såväl land- som sjötransporter blir aktuella. På så sätt har inte några moment i transportkedjan utelämnats.

Sedan de svenska kärnkraftverken togs i bruk har en rad olika utformningar av bränsleelement använts. På senare tid har också utbränningsgraden ökat, dvs man utnyttjar mer av uranet i bränslet. Radioaktiviteten i använt kärnbränsle beror på utbränningsgraden, ju högre utbränningsgrad desto aktivare blir avfallet. Å andra sidan minskar mängden använt bränsle då en större andel av uranet nyttjas i reaktorerna. De siffror som redovisas i rapporten, avseende t ex aktivitet, får därför ses som riktvärden. De härrör väsentligen från den bränsletyp som benämns SVEA 64, avsett för kokarvattenreaktorer, med utbränningsgraden 38 MWd/kg uran.



## 3 Det transporterade godset

Från CLAB till djupförvaret ska transporteras dels inkapslat använt kärnbränsle dels betongingjutet övrigt avfall. I den här rapporten behandlas endast transporten av det uttjänta bränslet. Transportsystemets utformning är dock detsamma även för övrigt avfall, endast inneslutningen av godset skiljer sig åt.

CLAB togs i drift 1985. Hit förs det använda kärnbränslet från kärnkraftverken. Totalt anländer ca 250 ton använt bränsle per år till CLAB och man räknar med att ca 8 000 ton använt bränsle kommer att lagras där. Det använda bränslet innehåller stora mängder radioaktiva ämnen som avger stark strålning. Det är mycket viktigt att människor skyddas mot exponering för denna strålning och att ämnena hindras komma ut i miljön. Under transporten från CLAB till djupförvaret finns flera barriärer som skyddar omgivningen mot strålningen. Dessa barriärer beskrivs mer i avsnitt 3.3 (kapseln) och 5.1 (transportbehållaren). Innan det använda kärnbränslet, dess egenskaper och farlighet, beskrivs ges en kort beskrivning av radioaktivitet och hur strålning kan skada människor. En utförligare beskrivning finns i bilaga 1.

### 3.1 Strålning från radioaktiva ämnen och dess skadeverkningar

Strålning är en form av energi som vid höga doser kan skada organisk vävnad. Detta sker genom jonisering, dvs att elektroner slås bort från de atomer som bygger upp cellerna i vävnaden. Strålningen vållar bl a skador genom att joniseringen skadar cellernas DNA-molekyler. Om stråldosen blir för hög förmår inte kroppen reparera skadorna och det finns en ökad risk för bildning av cancerceller.

Strålning utsänds när atomkärnor sönderfaller till nya ämnen eller isotoper av samma ämne. Detta sker naturligt i naturen. I använt kärnbränsle finns en mycket hög koncentration av radioaktiva ämnen varför strålningen från det använda bränslet är mycket stark. Radioaktivitet mäts i antal sönderfall per sekund, vilket motsvarar enheten en becquerel (Bq). Strålningens skadeverkningar beror på den energi som absorberas i kroppsvävnaden. Detta kallas för absorberad dos och mäts i gray (Gy). Nu är detta inte ett entydigt mått på hur farlig strålningen är, en gray av alfastrålning är 20 gånger skadligare än en gray av gammastrålning. För att slippa hålla reda på vilken strålning som avses brukar man använda måttet ekvivalent dos, vilket mäts i sievert (Sv), eller oftare tusendels sievert (mSv).

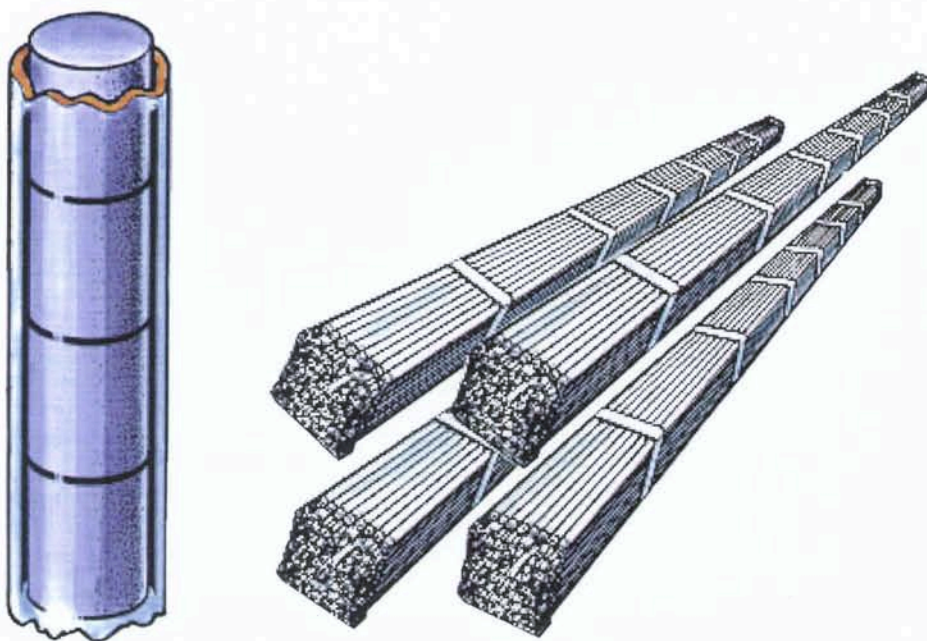
Det är viktigt att komma ihåg att saker eller människor som utsatts för strålning från radioaktiva ämnen inte därmed blir radioaktiva. För det krävs att man blir "nedsmutsad" genom direkt kontakt med radioaktiva ämnen, så kallad kontaminering. Att detta ska ske vid transporter av använt kärnbränsle är mycket osannolikt.

## 3.2 Använt kärnbränsle

### 3.2.1 Bränsleelementen

Kärnbränsle är ett fast keramiskt material, bestående av urandioxid. Kännetecknande för keramer är att de är hårda och spröda samt tål höga temperaturer och svåra kemiska miljöer. Konsistensen hos kärnbränsle kan liknas vid sten eller stengods. Bränslet är format till små cylindriska kutsar som placeras i täta rör av legeringen zirkaloy. Ett sådant rör med bränsle utgör en bränslestav. Bränslestavarna samlas sedan i knippen som kallas bränsleelement, se figur 3-1.

#### Bränslestavar och bränsleelement



Figur 3-1. Cylindriska bränslekutsar som är ca 8-12 mm i diameter och ungefär lika höga staplas på varandra i fyra meter lång rör av legeringen zirkaloy. Stavarna samlas sedan i knippen om t ex 64 stavar och bildar ett bränsleelement.

### 3.2.2 Radioaktivitet i använt bränsle

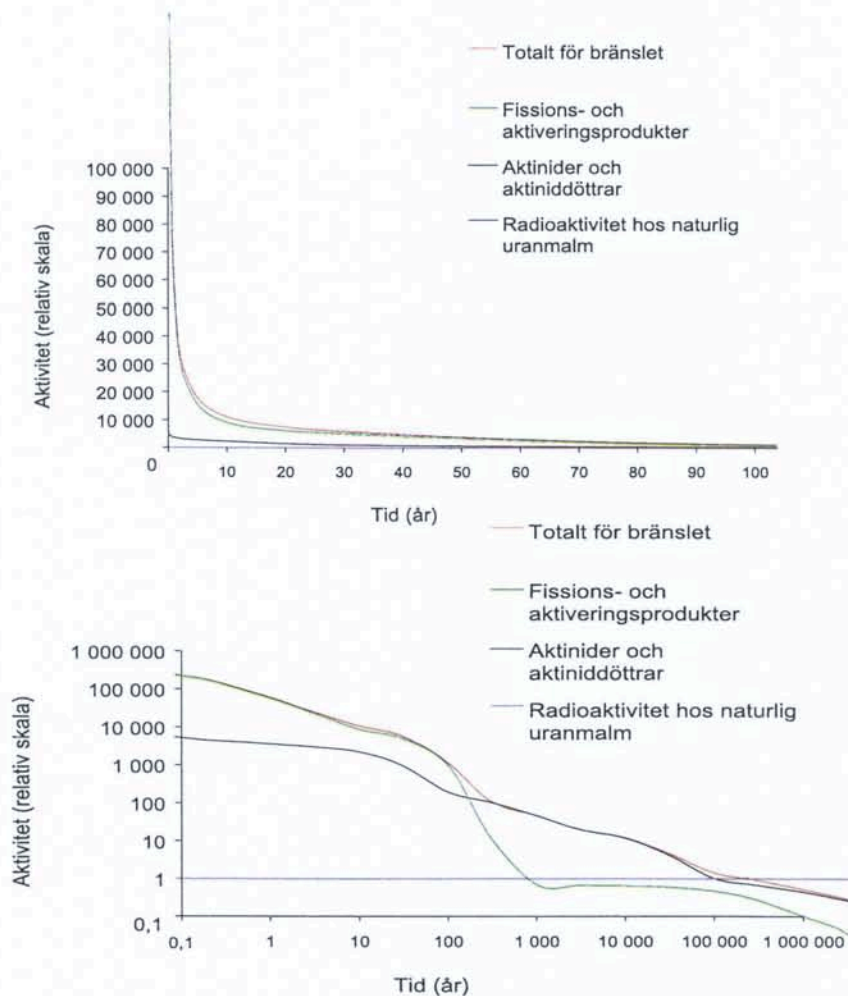
Innan bränslet placeras i reaktorn kan det hanteras utan strålskyddsåtgärder. I kärnkraftreaktor klyvs kärnor av bl a uranisotopen U-235. Processen kallas fission. Vid fission bildas nya radioaktiva ämnen, vilket ger en mycket hög radioaktivitet i använt kärnbränsle. De flesta nybildade ämnen har kort halveringstid och aktiviteten klingar snabbt av den första tiden. Det använda bränslet innehåller dock även en betydande del mer långlivade produkter, vilket gör att bränslet måste hanteras med stor säkerhet under avsevärd tid.

Radionuklider i det använda bränslet brukar delas in i fissions- och aktiveringsprodukter samt aktinider. Fissionsprodukter bildas vid klyvning av uran eller plutonium. Typiska fissionsprodukter är jod (I-129, I-131), cesium (Cs-134, Cs-135, Cs-137) och strontium

(Sr-90). Aktiveringsprodukter är radioaktiva isotoper som bildats genom att neutroner tagits upp av ämnets atomkärnor. Typiskt är att nickel och kobolt, som finns som konstruktionsmaterial i reaktorhärden, aktiveras på detta sätt. Aktiniderna utgörs dels av uranet själv dels av så kallade transuraner. Transuraner är ämnen som bildats genom att urankärnor infångar neutroner utan att klyvas. Exempel på aktinider är plutonium (Pu) och americium (Am) som båda finns i flera isotoper. Isotopen Am-241 bildas genom sönderfall av Pu-241 och bidrar starkt till aktiviteten hos bränslet från 40 till några 1 000 år framåt. När aktiniderna sönderfaller bildas aktiniddöttrar som också är radioaktiva - exempel är radium (bl a Ra-226) och radon (bl a Rn-222).

Efter ca 40 år det tänkt att det uttjänta bränslet ska transporteras från CLAB till djupförvaret. Radioaktiviteten i bränslet har då avtagit markant från det att det togs ur drift, men den är fortfarande mycket hög. I figur 3-2 återges, i en relativ skala, hur aktiviteten i bränslet avtar med tiden. Under lagringen i CLAB minskar aktiviteten med ca 90 procent.

### Relativ aktivitet för använt kärnbränsle



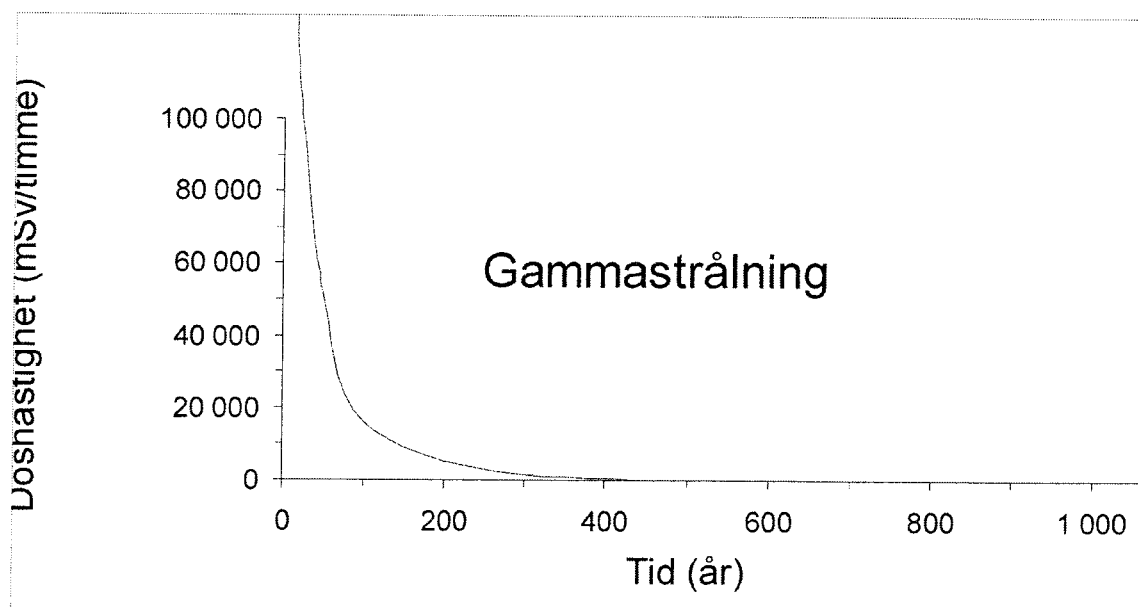
Figur 3-2. Relativ aktivitet för använt kärnbränsle, överst visat med linjära skalor och underst med logaritmiska för att ett längre tidsperspektiv ska kunna överblickas. Vid tiden för transport till djupförvaret dominerar aktiviteten fortfarande av fissionsprodukter. (Källa: Hedin (1997))

De radioaktiva nuklider som väsentligen bidrar till aktiviteten efter 40 år är framförallt Am-241, olika isotoper av plutonium, Sr-90 och Cs-137. De radioaktiva ämnena sitter inbakade i urandioxiden. De kan inte spridas ohämmat i miljön. De enda ämnen som skulle kunna ge sig av från bränslet utan att urandioxiden löses upp är de så kallade fissionsgaserna. Fissionsgaser är klyvningsprodukter i form av gaser. Fissionsgaserna är till största delen icke radioaktiva eller har så korta halveringstider att de inte finns kvar då bränslet ska transporteras från CLAB. Ett undantag är ädelgasen krypton-85 (Kr-85), som har halveringstiden 10,7 år.

Hur farlig är då aktiviteten i det använda bränslet? I figur 3-3 återges doshastigheten på en meters avstånd från ett ton använt kärnbränsle som funktion av tiden från det att bränslet togs ur drift. Doshastigheten är erhållen stråldos per timme. Vid tidpunkten för djupförvaring är doshastigheten ca 65 000 mSv/timme, vilket innebär att en direkt dödlig dos på 5 000 mSv erhålls på mindre än fem minuter om man står helt nära det oskyddade bränslet. Dosen minskar med avståndet från bränslet. Minskningen står ungefär i proportion till kvadraten på avståndet. Det innebär att på 100 meters avstånd är doshastigheten ca 6,5 mSv/timme. Efter en timme på det avståndet fås en dos som lite drygt motsvarar en medelpersons normala årsdos.

### 3.2.3 Värmeutveckling i använt bränsle

Vid det radioaktiva sönderfallet bildas värme. Denna värmeutveckling benämns resteffekt. Då det använda bränslet transporteras från kärnkraftverken till CLAB, efter knappt ett års lagring i bassänger i anslutning till reaktorerna, är resteffekten fortfarande så hög att transportbehållarna måste förses med utvändiga kylflänsar för att inte bli för varma. Vid transporten till djupförvaret utgör inte detta längre något problem utan värmen leds bort tillräckligt effektivt av materialet i kapseln. Resteffekten i bränslet vid denna tidpunkt är ca 2000 W/kapsel, vilket motsvarar effekten i ett par vanliga värmelement.



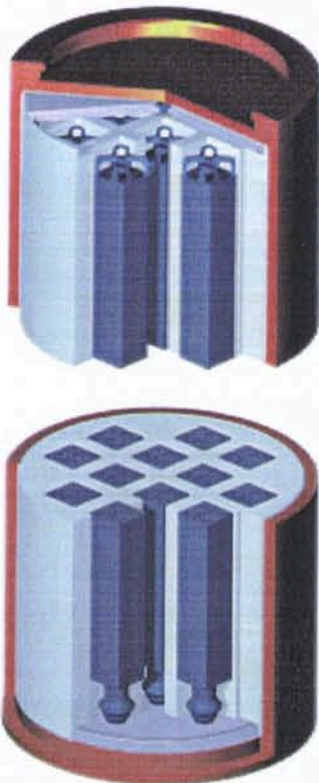
Figur 3-3. Doshastigheten på 1 meters avstånd från ett ton använt kärnbränsle vid olika tidpunkter efter det att det togs ur bruk. (källa: Hedin (1997))



### 3.3 Kapseln

När det använda kärnbränslet lämnar CLAB har det kapslats in för att på stort djup i berggrunden isoleras från biosfären under mycket lång tid. Vid en inkapslingsanläggning i anslutning till CLAB placeras bränsleelementen i en kapsel som består av två delar; ett yttre hölje av koppar samt en insats i stål. Den slutgiltiga designen av kapseln är inte fastställd, men i allt väsentligt kommer den att få den här beskrivna utformningen, se figur 3-4.

#### Inkapslat bränsleelement



*Figur 3-4. Bränsleelement inkapslade för djupförvar. Kapseln består ytterst av ett kopparhölje som är ca 50 mm tjockt. Innanför finns en helgjuten stålinsats, knappt en meter i diameter, med kanaler för ett antal bränsleelement (12 stycken av den typ som används i BWR reaktorerna). Minsta yttre godstjocklek på stålinsatsen är 50 mm.*

Insatsen av stål är gjuten i ett stycke. Den har individuella kanaler för bränsleelementen och ger kapseln dess mekaniska hållfasthet mot trycket i djupförvaret och vid hantering. Kopparhöljet är framförallt till för göra kapseln korrosionsbeständig. Kopparhöljet har en tjocklek på ca 50 mm. I ändarna försluts kapseln med tätsvetsade lock. Kapseln kommer i ett sådant utförande att väga totalt ca 25 ton varav stålinsatsen väger 14 ton, kopparhöljet 7 ton och bränslet ca 3 ton. Kapseln är fullständigt tät och det finns inte någon möjlighet för radioaktiva partiklar att komma ut utanför kapseln under transporten, inte ens under mycket extrema omständigheter.

Kapseln ger också ett bra skydd mot den radioaktiva strålning som avges från bränslet, men intensiteten är ändå så hög att den måste strålskärmas ytterligare för att man ska kunna arbeta i dess närhet. Därför transporteras kapseln i en speciell transportbehållare som beskrivs vidare i avsnitt 5.1.

På grund av krav som har att göra med djupförvaringen av bränslet får inte strålningen på kapselns utsida överskrida 500 mGy/timme. Det motsvarar en stråldos på 500 mSv/timme eftersom det väsentligen rör sig om gammastrålning. Om man står alldeles intill kapseln har man på 6 minuter erhållit den maximalt tillåtna årsdosen, 50 mSv, för personal som dagligen jobbar i radioaktiva miljöer. All hantering av kapseln kommer att ske på ett sådant sätt att ingen befinner sig omedelbart intill en oskärmad kapsel. Dessutom avtar stråldosen kraftigt med avståndet ifrån kapseln, se avsnitt 7.4.1.

## 4 Risker och säkerhetskrav i samband med transporterna

### 4.1 Riskbegreppet

Vad menas med risk? I det dagliga språkbruket används ordet ofta synonymt med sannolikheten för en oönskad händelse - "Fri fart på motorvägarna ökar risken att krocka". Lite mer strikt består risken av något mer än bara sannolikheten för att något ska inträffa, nämligen konsekvensen av det inträffade. Om händelsen är "att krocka" så innebär fri fart dels att sannolikheten att krocka ökar dels att konsekvensen av krocken förvärras. Risken, uppfattad som allvarlig skada eller dödsfall, består av en sammanvägning av sannolikheten att krocka och konsekvensen av krocken. Självfallet ökar risken då både sannolikhet och konsekvens ökar. Genom att använda säkerhetsbälten och installera krockkuddar kan vi minska konsekvensen av en krock, däremot ändras inte sannolikheten att krocka bara för att bilen utrustats med krockkudde (om vi bortser från att utrustningen möjligen påverkar förarens körsätt). Risken minskas således genom att vi mildrar konsekvensen av krocken, i andra fall kan vi minska risken genom att minska sannolikheten, t ex genom bättre skyltning, planskilda korsningar etc. Många åtgärder minskar förstås både sannolikhet och konsekvens, t ex sänkt hastighet.

I vår vardag hanterar vi risker regelbundet, ofta omedvetet, t ex när vi kör bil. Vissa situationer analyserar vi förmodligen lite mer ingående, som då vi bedömer vikten av ett försäkringsskydd. Risker kan vara mer eller mindre tydliga. I många fall är det oerhört svårt att bedöma risker. För att exempelvis bedöma risker förknippade med förtunning av ozonskiktet krävs stor expertkunskap, tillgång till vetenskapliga metoder och avancerade tekniska hjälpmedel. Syftet med en riskstudie är att kartlägga oönskade händelser och bedöma hur troliga de är samt vilka konsekvenser de kan få. Riskstudien blir således en grund för utformningen av ett säkert system genom att åtgärder kan vidtas för att minska sannolikheten för olyckor eller mildra konsekvensen av dem.

Den här rapporten handlar om riskerna med att transportera använt kärnbränsle. Den ska visa på vilka åtgärder som vidtagits dels för att minska sannolikheten för transportstörningar dels hur transportsystemet utformats för att lindra konsekvenser av eventuella störningar.

### 4.2 Risker i samband med transporter av använt kärnbränsle

Risker för påverkan på människor av radioaktiva ämnen eller av den strålning dessa utsänder beskrivs ofta i termer av farlighet och tillgänglighet. Vid transporter av radioaktivt avfall hålls tillgängligheten liten genom att ämnena transporteras i fast form och hålls inneslutna i täta behållare. Dessa skärmar av strålningen och skyddar innehållet mot alla former av yttre påverkan vid t ex olyckshändelser.

De radiologiska risker som finns vid transporter av använt bränsle är kopplade till missöden eller olyckor vid hanteringen eller under transporten. Händelser som innebär risk för ökad exponering av personer i transportbehållarens närhet är framförallt mänskligt felhandlande eller olyckor eller missöden orsakade av yttre omständigheter. Det inkapslade bränslet i sig kan inte orsaka en olycka. Bränslet är mycket väl inkapslat och riskerna är främst förknippade med direkt strålning från bränslet till den allra närmsta omgivningen. Bränslebehållarens inneboende energi motsvarar ungefär den från ett par vanliga värmepaneler i ett medelstort bostadsrum. En olycka med konsekvenser liknande dem efter ett större haveri vid en reaktor, t ex det i Tjernobyl, är därför en fysisk omöjlighet. Behållaren och kapseln är så robust konstruerade att de håller tätt även vid mycket svåra olyckor. De radioaktiva ämnena sprids därför ej till omgivningen.

### 4.3 Regelverk och övervakande myndigheter

För att säkerställa att transporterna sker med hög säkerhet finns en rad nationella och internationella regler och överenskommelser för transporter av farligt gods, dit radioaktiva ämnen självfallet räknas. De är utformade för transporter med konventionella fordon och omfattar krav på transportbehållare, transportdokumentation, godshantering och åtgärder vid eventuella olyckor m m. Huvudpunkterna för transporter av radioaktivt gods är:

- Krav på transportbehållartyp beroende på godsets beskaffenhet.
- Regler beträffande högsta tillåtna strålningsnivåer på behållarnas yta och på visst avstånd från desamma.
- Märkning och klassificering.
- Regler för hantering och samlastning med annat gods.
- Checklistor för åtgärder vid olyckor (till transport och räddningspersonal).
- Krav på innehåll i transporthandlingar. Här anges bl a eventuella särskilda myndighetstillstånd och uppgifter om komplett last, dvs om lastning och lossning endast sker med egen personal eller om samlastning förekommer.

Vid transport av inkapslat använt kärnbränsle förenklas rutinerna genom att hela transporten sker i egen regi. Egna hanteringsinstruktioner och dokument kommer att utarbetas för transportens genomförande och med varje kapsel följer dokument om dess innehåll och historia.

#### 4.3.1 IAEAs transportrekommendationer

FN:s internationella atomenergiorgan; IAEA, har utfärdat rekommendationer vilka utvecklats i samråd med och godkänts av medlemsländerna, däribland Sverige. Senaste utgåvan är "Regulations for the Safe of Transport of Radioactive Material, 1985 Edition, as amended 1990". I denna behandlas bl a de ovan nämnda punkterna. IAEA:s rekommendationer har legat till grund för de internationella bestämmelserna för transporter till sjöss, till lands och med flyg.



Ett av de viktigare kraven för transporten av använt kärnbränsle gäller själva transportbehållaren. Den ska vara en sk typ B-behållare, vilket innebär att den är dimensionerad för att tåla mycket stora påfrestningar, motsvarande de som kan uppkomma vid extrema olycksförlopp, utan att förlora sin strålskyddande egenskap, se vidare avsnitt 5.1.

### **4.3.2 Internationella och svenska transportbestämmelser**

För transporter av använt kärnbränsle är följande internationella och svenska föreskrifter tillämpliga.

#### **Sjötransporter**

IMDG Code: International Maritime Dangerous Goods Code (Internationella regelverket för sjötransporter av farligt gods). Ansvarig myndighet i Sverige är Sjöfartsverket.

#### **Landsvägstransporter**

ADR: Accorde européen au transport international des marchandises dangereuses par route (européisk överenskommelse om internationell transport av farligt gods på väg).

ADR-S: Statens räddningsverks föreskrifter för inrikes väg- och terrängtransporter av farligt gods.

#### **Järnvägstransporter**

RID: Règlement concernant le transport international des marchandises dangereuses par chemin de fer (Regelverk för internationell järnvägstransport av farligt gods).

RID-S: Statens räddningsverks föreskrifter för inrikes järnvägstransport av farligt gods.

Dessa regelverk omfattar allt farligt gods, varav radioaktiva ämnen utgör en liten del. För sådant gods bygger föreskrifterna på IAEAs rekommendationer och är i stort sett desamma i alla regelverken.

### **4.3.3 Myndighetstillstånd**

För transporter av kärnämne eller kärnavfall erfordras tillstånd enligt kärntekniklagen av behörig myndighet, dvs SKI (Statens kärnkraftinspektion) och SSI (Statens strålskyddsinstitut). Tillstånden avser tillåtligheten av transportverksamheten som sådan och ersätter inte ovan nämnda transportregler. För tillstånd krävs en noggrann redovisning av verksamhetens uppbyggnad, omfattning, organisation och säkerhet.

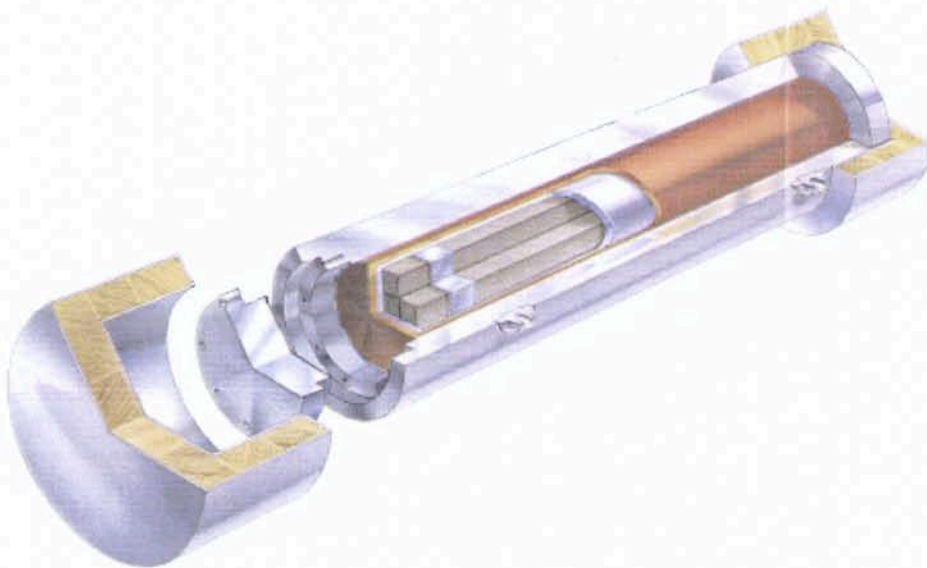
## 5 Transporten

### 5.1 Transportbehållaren

Under reaktordrift och i djupförvar finns en rad barriärer som skyddar omgivningen från den radioaktiva strålningen som kommer från bränslet. Under transporter, dels från kärnkraftverken till CLAB och dels från CLAB till djupförvaret, måste en speciell transportbehållare användas för att ge en nödvändig strålskärning. En mer detaljerad studie av behållaren finns i Knopp (1996). Arbetet kan utföras i direkt anslutning till transportbehållaren utan att vidare skyddsåtgärder behöver vidtagas. Trots detta finns regler för att begränsa arbetstiden i närheten av behållaren.

Transportbehållarens uppgift är att skydda omgivningen från radioaktiv strålning under transporten. Den ska ge ett bibehållet skydd även om den utsätts för extrema påfrestningar vid t ex en olycka. Behållarens slutgiltiga utformning är ännu inte fastlagd, men den kommer att påminna om den som används idag för transporter av använt bränsle från kärnkraftverken till CLAB. Behållaren liknar en stor cylinder i vilken kapseln placeras. Den är tillverkad i stål och väggjockleken är ca 270 mm för att klara strålskyddskraven. En påtaglig och synlig skillnad mot de befintliga behållarna är avsaknaden av kylflänsar. Efter 40 år är resteffekten i bränslet så låg att tillräcklig värmeavledning sker även utan kylflänsar. I figur 5-1 visas en skiss över den framtida transportbehållaren för inkapslat bränsle. I figur 5-2 syns den typ av behållare som används idag.

#### Transportbehållare för inkapslat bränsle



*Figur 5-1. Transportbehållare tillverkad i stål för transport av inkapslat kärnbränsle från CLAB till djupförvaret.*





*Figur 5-2. Specialkonstruerat terminalfordon med lastbärare för transportbehållare för använt kärnbränsle.*

För att garantera behållarens funktion även vid svåra transportmissöden ska den vara en så kallad typ B-behållare. Detta innebär att den är konstruerad för att klara av:

- Fall från nio meter mot plant och stumt underlag. Fallet ska vara i den för behållaren mest ogynnsamma riktningen.
- Fall från en meter mot ett standardiserat spetsigt objekt. Fallet ska vara i den för behållaren mest ogynnsamma riktningen.
- 30 minuters brand vid 800 graders värme.
- Trycket på 200 meters vattendjup utan att vatten tränger in.

Ovanstående krav är desamma som gäller för de behållare som används för bränsletransporter mellan kärnkraftverken och CLAB. I själva verket uppfyller de behållarna kraven med god marginal. Exempelvis klarar behållarna trycket på 4 000 meters vattendjup.

De radiologiska kraven på behållaren är att stråldosen på två meters avstånd inte får överstiga 0,1 mSv/timme, och på dess mantelyta får dosen inte överstiga 2 mSv/timme. Medelsvensken får en dos på ca 5 mSv/år och en timme på två meters avstånd från transportbehållaren ger således ett tillskott på 0,1 mSv vilket motsvarar 2 procent av den årliga dosen. En vanlig tandröntgen ger också en dos på ca 0,1 mSv. Få personer kommer någonsin att befinna sig så nära en transport som två meter. En person som står två meter ifrån ett passerande tåg med en transportkapsel får en dos i storleksordningen 0,0002 mSv. Under normala förhållanden innebär transporten av använt kärnbränsle alltså försumbara strålningsbidrag till tredje man.

## 5.2 Fordon

Transporten av det använda inkapslade bränslet kan delas in i tre delar. Transport från inkapslingsanläggningen till fartyg, sjötransport med fartyg och transport från omlastningshamn till djupförvar. Väsentligen krävs också tre olika typer av transportmedel.

### 5.2.1 Terminalfordon

Först ska transportbehållaren, som fyllts med en kapsel, tas från inkapslingsanläggningen vid CLAB till hamnen i Simpevarp. Detta sker med terminalfordon som fraktar en behållare åt gången. I inkapslingsanläggningen har behållaren placerats på en lastbärare. Lastbäraren och terminalfordonet är så konstruerade att fordonet kan backa in under lastbäraren och sedan lyfta upp hela lastbäraren för transport, se figur 5-2.

Terminalfordonet kör sedan ombord på fartyget och ställer av hela lastbäraren som förankras med robusta låsanordningar i lastrummet. Genom detta förfarande krävs inga höga lyft av behållaren.

### 5.2.2 Fartyg

När fartyget lastats med ca tio behållare seglar hon mot den hamn som utsetts som ankomsthamn. Fartyget som ska användas för sjötransporten är M/S Sigyn, som är det fartyg som används för transporter mellan kärnkraftverken och CLAB, eller en liknande efterträdare till henne. M/S Sigyn är specialkonstruerat för transporter av radioaktivt avfall. Lastutrymmet är därför speciellt strålskärmat. Fartyget är konstruerat med dubbla skrov, maskineri och elutrustning har dubblats för extra stor säkerhet. Under sjötransporten behöver inga åtgärder vidtagas med behållarna. De övervakas endast rutinmässigt av besättning och den mät- och kontrollutrustning som finns installerad.

Eftersom bakgrundsstrålningen till havs är lägre än på land får fartygsbesättningar som regel lägre stråldos än medelpersonen. Detta gäller också för M/S Sigyns besättning, trots den radioaktiva lasten.

### 5.2.3 Tåg och lastbil

Den sista transporten till djupförvaret planeras att ske på järnväg. Transport på landsväg är också ett möjligt alternativ. Från säkerhetssynpunkt finns ingen större skillnad mellan alternativen järn- eller landsväg. Järnvägen är dock tekniskt mer lämpad för tunga transporter. För tunga transporter är järnvägen dessutom i regel ekonomiskt fördelaktigast tack vare låga rörliga kostnader.

Först skall godset lossas från fartyget. Detta sker på motsvarande sätt som vid lastningen med ett, eller möjligen flera, terminalfordon som följt med under seglatsen. Terminalfordonen kör lastbärarna till en plats där behållarna ska lastas om för vidare transport på järnväg.

Omlastning från lastbärare till järnvägsvagnar sker med en stationär lyftanordning. Möjligheten finns att med kran direkt lasta om från fartyget till järnvägsvagnar, men huvudalternativet är lossning med terminalfordon. All omlastning sker på inhägnat och kontrollerat område.

Ett separat tågsätt om ca tio vagnar kommer att användas. Därmed blir transporten mindre beroende av övrig tågtrafik. Transportbehållarna är placerade i täckta och låsta vagnar så att ingen obehörig har tillträde till godset. I övrigt skiljer sig inte denna transport från vanliga transporter av farligt gods på järnväg. Med på tåget följer en transportledare vars uppgift är att hålla kontakt med transportledningscentralen och personal vid tågstationer samt eventuellt andra som berörs. Några speciella åtgärder som t ex avlysning av annan trafik kommer inte att behövas.

Väl framme vid djupförvaret körs tåget in på områdets bangård. Därefter körs vagnarna en och en till en plats för avlastning. Här finns möjlighet till en viss tids mellanlagring för att tågtransporterna inte ska bli beroende av transporterna ner i djupförvaret.

### 5.3 Administrativa rutiner

För att transporten ska bli så säker som möjligt ställs inte bara krav på fordon och tekniska lösningar. Hela transportorganisationen måste vara väl administrerad och tydliga rutiner måste finnas tillgängliga för alla berörda. En rad internationella och nationella lagar och överenskommelser reglerar transporter av radioaktiva ämnen, se avsnitt 4.3. En del av de tekniska krav som gäller för transportbehållaren har redovisats i avsnitt 5.1. Transporterna kommer att planeras centralt. När väl lastningen har börjat vid CLAB ska hela processen kunna löpa utan fördröjningar ända tills dess godset lossats vid djupförvaret. Tydliga regler för transportdokumentation finns.

Personal som arbetar med transporterna kommer att utbildas i kärnbränslecykelns alla led med fokus på avfallshantering. De får utbildning om strålning och i strålskydd samt självfallet i de arbetsmoment som berör deras egen roll i transportkedjan. För att olycksberedskapen ska vara hög kommer bl a polis, räddningstjänst och länsstyrelse att förse med gedigen information om transporternas genomförande. Eftersom behov av ingripande kommer att vara sällsynt, kommer planer och rutiner att övas regelbundet. Olycksberedskapen finns utförligare beskriven i Lindblom och Birgersson (1994).

För att en transport ska få genomföras måste den uppfylla en rad regler som gäller för transporter av radioaktiva ämnen. Dessutom måste särskilt tillstånd erhållas från övervakande myndighet, dvs SKI eller SSI. Tillstånd utfärdas endast om man kan visa att gällande säkerhetsregler för denna typ av transporter uppfylls. Man ska också visa att verksamhetens uppbyggnad, omfattning, organisation etc är lämplig för ändamålet med alla de krav på säkerhet som ställs.

Transportens genomförande beskrivs också i Ekendahl (1994). I SKBs rapport "Transportsystem för använt kärnbränsle och radioaktivt avfall" ges en systembeskrivning av transportsystemet.

## 6 Erfarenheter

### 6.1 Erfarenheter i Sverige

Transporter av radioaktivt avfall och använt kärnbränsle har pågått under många år. I Sverige har vi över tio års erfarenhet av transporter från kärnkraftverken till CLAB.

Transportsystemet, i SKBs regi, togs delvis i bruk redan 1983, men var i full drift först 1985 då CLAB stod färdigt. Sedan dess har 80-100 behållare per år med använt kärnbränsle anlänt till CLAB fördelat på ca 15 turer årligen.

Till detta kan läggas ungefär lika många behållare och turer per år sedan 1988 med låg- och medelaktivt driftavfall till SFR (Slutförvar för radioaktivt driftavfall) vid Forsmark. Under dessa transporter har det hittills aldrig inträffat någon incident som på något sätt äventyrat behållarnas integritet eller säkerheten i övrigt. M/S Sigyn har utöver detta haft många andra uppdrag. Totalt seglar hon mellan 25 000 och 35 000 nautiska mil per år (45 000 - 55 000 km) fördelat på ca 100 avgångar.

Precis som i all annan verksamhet av det här slaget sker dock emellanåt smärre störningar av olika slag. Delar på transportbehållarna slits och måste bytas ut. Genom ett välutvecklat underhållsprogram kan det mesta skötas genom i förväg planerade underhållsinsatser.

### 6.2 Erfarenheter internationellt

Internationellt finns en mycket lång och väldokumenterad erfarenhet av transporter med radioaktivt gods. För att få ett mer omfattande material kan transporter av alla typer av radioaktivt gods betraktas, inte bara de som berör använt kärnbränsle.

#### 6.2.1 Transporter i USA

I USA sker årligen ett stort antal transporter av radioaktivt gods. En obligatorisk rapportering sker vid alla olyckor och tillbud. Rapporterna klassas enligt följande indelning, se Crockett et al (1995):

- Transportolycka (olycka som berör transportfordonet)
- Hanteringsolycka (lastning, lossning etc)
- Transportincident (annan händelse där gränsvärden för radioaktivitet överskrids eller misstänks överskridas)
- Saknat eller stulet material

Under 25 år (1971 - 1997/06) har följande händelser rapporterats:

- 373 transportolyckor
- 270 hanteringsolyckor
- 864 transportincidenter
- 206 saknat eller stulet

Totalt sker cirka två miljoner transporter av radioaktivt material årligen i USA. Den övervägande delen är industriellt material som transporteras i mindre mängder i förpackningar som inte dimensionerats för att tåla alltför stora påfrestningar. Ungefär 300 behållare med använt kärnbränsle transporteras årligen på lands- och järnväg.

Det radioaktiva materialet är alltid förpackat. Förpackningarna kan indelas i tre klasser; industriella, typ A och typ B, där den senare är den klass som bl a gäller för transporter av använt kärnbränsle. I tabell 6-1 återges, för respektive klass, antalet rapporterade transportolyckor.

**Tabell 6-1: Olyckor vid transporter av använt kärnbränsle**

<i>Förpackning</i>	<i>Antal olyckor</i>	<i>Antal berörda förpackningar</i>	<i>Antal skadade förpackningar med förlust av strålskydd</i>	<i>Antal skadade förpackningar utan förlust av strålskydd</i>
Industriell	50	1391	66	24
Typ A	231	2361	82	64
Typ B	60	93	0	0

Olyckor med förpackningar i de två första klasserna behöver inte innebära några allvarliga konsekvenser även om de inneburit nedsatt strålskydd eller frigörelse av radioaktivt material p g a de små kvantiteterna.

Av de 60 olyckorna med typ B-behållare rörde åtta utbränt kärnbränsle. Inte i något fall har behållarnas funktion störts. De har överhuvudtaget inte utsatts för någon åverkan som följd av tillbudet och därmed har heller inte någon förhöjd stråldos uppkommit eller radioaktiva ämnen kommit fria. Av de rapporterade händelserna med använt kärnbränsle kan endast en kategoriseras som en olycka med icke triviala följder. Den inträffade 1971 och är förmodligen den mest kända olyckan i sitt slag. En lastbil tappade en typ B-behållare med använt bränsle under en transport. Behållaren hamnade vid sidan av vägen. Efterföljande mätningar kunde inte påvisa några förhöjda stråldoser eller utsläpp av radioaktivt material.

Trots ett antal verkliga olyckor har alltså inte någon person i USA utsatts för ökad radioaktivitet i samband med transporter av de slag som är aktuella för inkapslat använt kärnbränsle.

## **6.2.2 Transporter i Storbritannien**

Pacific Nuclear Transport Ltd (PNTL) och British Nuclear Fuels Ltd (BNFL) har utfört transporter under 20 år, motsvarande ca 16 miljoner behållarkilometer till sjöss och ca

180 000 behållarkilometer med landsvägsfordon och järnväg, till uppberedningsanläggningen i Sellafield. Från bl a Japan har mottagits ca 8 000 behållare (1992). Nuclear Transport Limited (NTL) som svarar för de inomeuropeiska transportererna till Sellafield i England och La Hague i Frankrike hanterar ca 500 ton använt bränsle per år. Inte vid något transporttillfälle har en olycka skett som hotat behållarnas integritet med risk för frigörelse av radioaktiva ämnen eller avsevärt förhöjd stråldos till omgivningen.

I Storbritannien finns också en uppföljning för alla transporter med radioaktiv gods, liknande den i USA. I Wilson et al (1995) har de radioaktiva godset delats in i två kategorier: använt kärnbränsle och övrigt radioaktivt material. Dessutom finns en kategori för administrativa händelser, vilka innefattar t ex felaktig märkning eller andra förseelser av administrativ art. Inom varje kategori finns också en indelning som visar om händelsen rörde själva transporten eller förpackningen. Totalt finns 507 händelser/olyckor dokumenterade vilka fördelat sig enligt tabell 6-2.

**Tabell 6-2. Rapporterade olyckor i Storbritannien**

<i>Administrativa förseelser</i>			<i>Övr. radioaktivt gods</i>		<i>Använt bränsle</i>		<i>Totalt</i>
Allmänt	Transport	Förpackn	Transport	Förpackn	Transport	Förpackn	
38	9	20	52	268	60	60	507

De allra flesta rapporterade händelserna har inte inneburit några, eller mycket ringa, radiologiska konsekvenser. Typ B-behållare har varit inblandade vid 159 av de rapporterade fallen. De radiologiska konsekvenserna har klassificerats i stigande grad av allvarlighet enligt följande:

• Inga	105
• Extremt små, ej uppmätt	49
• < 1 mSv, uppmätt	0
• > 1 mSv, uppmätt	5

Ingen behållare har skadats vid en olycka, men i nio fall har transporten skett efter felaktiga förberedelser eller med felaktigt underhållna behållare. I fem av dessa har gränsvärdena för strålning överskridits. Dessa transporter har dock inte berört använt kärnbränsle.

### 6.2.3 Transporter i Tyskland

I Tyskland finns en uppföljning specifikt för använt kärnbränsle, se Fasten et al (1995). Under 25 år har 1 562 transporter genomförts inom Tyskland, där en stor del gått till uppberedningsanläggningarna i Frankrike och England. Tolv transporter har också gått till Sverige. (Dessa tolv avsåg 24 ton MOX-bränsle under 1980-talet i utbyte mot svenskt bränsle som gått till La Hague för uppberedning.) Ingen olycka har inträffat. De växande kärnkraftmotståndet har dock medfört stora behov av massiv polisbevakning, vilket gör att många fler människor än önskvärt vistas i omedelbar närhet av transportererna. Även om de



erhållna doserna är mycket låga medför de stora polisuppbåden ett avsteg från principen att transporter ska ge ett "så lågt bidrag som möjligt" till tredje man.

#### **6.2.4 Erfarenheter från transporter**

Slutsatsen i detta avsnitt är att en mycket stor mängd transporter av radioaktivt material har genomförts i USA och Europa. Huvuddelen gäller material som inte kommer från kärnkraftverk. Ett antal olyckor har inträffat och i en del fall har radioaktivitet kommit ut i omgivningen. Det har då rört sig om låg- och medelaktivt avfall med enklare transportskydd. Inte i något enda fall har detta varit använt kärnbränsle vilket alltid transporteras i behållare gjorda för att tåla olyckshändelser. Orsaken till huvuddelen av olyckorna är mänskligt felhandlande, men antalet olyckor har minskat avsevärt med förbättrade hanteringsrutiner.

I Blenkin et al (1995) finns en litteraturstudie som sammanfattar några genomförda analyser där risken för dödsfall eller allvarliga skador orsakade av transportolyckor med radioaktivt material uppskattats. Endast de radiologiska aspekterna har beaktats. Bedömningarna baseras ofta på olycksstatistik för vanliga godstransporter. Med hänsyn till de åtgärder som vidtagits för transporter med radioaktivt material bedöms riskerna till storleksordningen  $10^{-10}$  -  $10^{-13}$  döda per transportkilometer. Detta är obegripligt små tal. Som jämförelse bedöms riskerna vid klortransporter vara av storleksordningen  $10^{-7}$ , dvs 1 000 - 1 000 000 gånger större.

## 7 Tänkbara olyckor och dess konsekvenser

Transportolyckor inträffar såväl till lands som till sjöss. Även om de är relativt ovanliga med tanke på den stora mängd transporter som sker, måste man räkna med att olyckor kommer att drabba även transporter med använt kärnbränsle. I detta kapitel beskriver vi några tänkbara olycksfall i olika delar av transportkedjan och vilka konsekvenser de skulle kunna få. Vi begränsar oss till de radiologiska konsekvenserna, dvs vi analyserar inte det faktum att kollisioner med tåg eller att en kran tappar 60 ton alltid innebär stora skaderisker.

Eftersom bränslet är inneslutet i en tät kapsel av stål och koppar kan inte några radioaktiva ämnen spridas till omgivningen. Inte ens om bränsleelementen befann sig i fria luften skulle några farliga mängder radioaktiva ämnen spridas utanför dess omedelbara närhet.

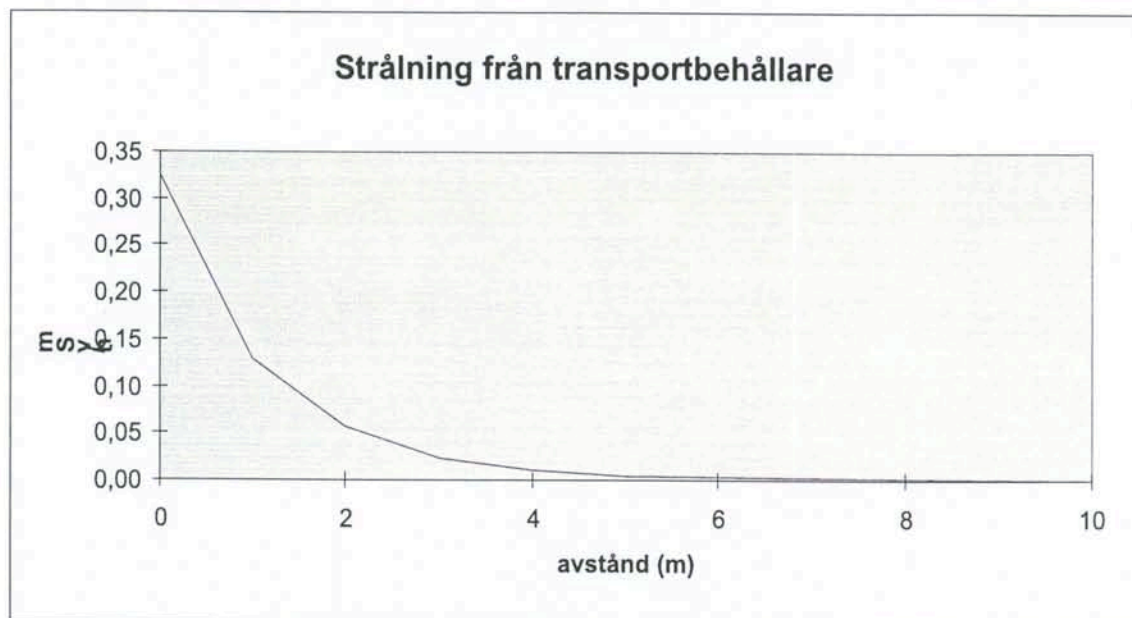
Det inkapslade bränslets farlighet ligger således i att det utsänder strålning. I avsnitt 7.1-7.4 koncentrerar vi oss därför på olyckor som skulle kunna leda till ökad stråldos för personer i närheten, utan att några radioaktiva ämnen läcker ut. I avsnitt 7.5 skisserar vi på ett hypotetiskt "värsta fall" där vi antar att transportbehållaren havererat, att inkapslingen spruckit och bränsleelementen skadats så att radioaktiva ämnen kan frigöras. Inte ens i ett sådant scenario uppgår stråldosen till farliga nivåer.

### 7.1 Blockerad transport

Allvarliga olyckor kan inträffa, men kommer att vara sällsynta. Transportstörningar kan ske ändå t ex genom trafikstörningar eller försök att blockera transporten. Eftersom det transporterade godset inte skadas i dessa fall kommer strålningen inte att öka, men fler personer kommer kanske att vistas i närheten av transporten.

Låt oss anta att transporten av någon anledning uppehålls en längre tid, men att transportbehållarens integritet för den skull inte påverkas. Vilken risk innebär det för omgivningen? Såsom påpekats tidigare är strålningen kring transportbehållaren så låg att det går att arbeta i dess omedelbara närhet utan ytterligare skyddsåtgärder, dock med vissa restriktioner för vistelsetiderna. Figur 7-1 visar doshastigheten som funktion av avståndet från behållarens botten, vilken är den del där strålningen är som störst, se Knopp (1996).

Beräkningarna, som är ungefärliga, visar att på fem meters avstånd är doshastigheten endast 0,005 mSv/timme. En person kan stå på detta avstånd i mer än en vecka utan att få en dos som överstiger den vi normalt får under ett år från rymden och berggrunden, den så kallade naturliga bakgrundsstrålningen.



Figur 7-1. Doshastigheten från transportbehållaren med inkapslat använt kärnbränsle.

## 7.2 Tappad transportbehållare

Transportbehållaren lyfts med fasta lyftanordningar vid tre tillfällen, dels vid lastning på terminalfordon i kapslingsanläggningen dels vid lastning och lossning av järnvägsvagnarna. En fylld behållare väger drygt 60 ton, vilket är en ansenlig vikt. Att gods tappas i samband med lyft är oerhört sällsynt, men antag att detta ändå skulle ske p g a ett kraftigt haveri i lyftanordningen. Vilka blir då konsekvenserna?

Behållaren är konstruerad för att klara fall från nio meters höjd utan att dess strålskärmande funktion påverkas. Aktuella lyfthöjder kommer att vara väsentligt lägre än nio meter. Terminalfordonen är låga och en järnvägsvagn konstruerad för dessa transporter kommer inte att kräva lyft av behållarna högre än någon meter över marken. Lastområdet kommer att hållas fritt från föremål som skulle kunna förvärra nedslaget. Även om behållaren faller i mest ogynnsamt läge på mest ogynnsamma ställe under lastning eller lossning ska dess strålskyddande funktion inte behöva äventyras. De påfrestningar som behållaren kan komma utsättas för vid olyckor i samband med lyft är således aldrig i närheten av de krafter som den är konstruerad för att tåla.

## 7.3 Grundstött fartyg eller förlisning

Fartyg kan gå på grund eller till och med förlisa. Inför införskaffandet av M/S Sigyn gjordes en grundläggande analys av säkerheten till sjöss. Olycksrisken till sjöss hålls låg genom fartygets konstruktion med dubbla framdrivningsystem, avancerade radarsystem etc. Farvattnen är välkända för besättningen vilket också ger en ökad säkerhet. I infartsleder och hamnar är

sannolikheten för grundkänningar större än ute till havs. De påkänningar som fartyget skulle utsättas för i ett sådant läge understiger emellertid vida de som krävs för att påverka lastrummet och lasten.

Vad händer om fartyget ändå av någon anledning förliser eller tappar lasten, om det t ex rammas av ett betydligt större lastfartyg? Transportbehållaren är konstruerad för att klara trycket ned till 4 000 meters djup. Vid transporter från CLAB till djupförvaret är det största djupet runt 200 meter. De krafter som kan tänkas förekomma om rammande fartyg får en direkträff på behållaren skadar inte behållaren nämnvärt.

Däremot är det inte otroligt att lasten slits loss från sina surringar och eventuellt går överbord. Vi antar att ett så stort håll slits upp i skrovet att en behållare kan tappas och sjunka till botten. Då behållaren faller mot botten accelereras den upp till en viss jämviktshastighet. Hastigheten beror på hur behållaren faller. Fallhastigheten kan komma att överskrida hastigheten vid nio meters fritt fall i luft. Däremot motsvarar havsbotten inte det stumma underlag som konstruktionskraven föreskriver och studier visar att behållaren inte kommer att förlora sin integritet. Ur radiologisk synvinkel innebär detta alltså ingen fara för omgivningen.

Behållarna kommer ändå att bärgas. Kapseln är konstruerad för att tåla de påfrestningar den kan tänkas utsättas för i ett djupförvar. Att den skulle skadas vid fallet är inte troligt. Så länge kapseln är tät finns ingen möjlighet för radioaktiva ämnen att läcka ut till omgivningen. Om transportbehållaren skadas, mister man en del av strålskyddet och strålningen till omgivningen ökar. Vatten ger dock ett bra strålskydd så någon fara för t ex båtar i närheten av haveriplatsen finns inte. Bärningsarbetet kompliceras dock om behållaren inte är intakt.

## 7.4 Urspårad järnvägsvagn

Sannolikheten för att tåget ska spåra ur är liten. Urspåringen måste vara kraftig för att vagnarna ska välta. Viltolyckor orsakar t ex inte några problem. Aktuella bansträckor kommer att analyseras med avseende på säkerhet vid t ex plankorsningar, broar m m. Om risknivån inte skulle anses tillfredsställande låg kommer lämpliga säkerhetshöjande åtgärder att vidtagas.

Om tåget skulle spåra ur eller kollidera utgör själva järnvägsvagnen ett visst skydd för godset. Vid en kollision tas en del av kollisionens energi upp i vagnen, men transportbehållaren kommer att utsättas för betydande påkänningar. Även om behållaren slits loss vid kollisionen skadas inte strålskyddet med risk för stråldoser till omgivningen som följd. Räddningspersonal kommer att kunna arbeta obehindrat med omhändertagande av eventuella skadade. Vid bärgning av vagnar och behållare som slitits loss kommer strålskyddskunnig personal att involveras.

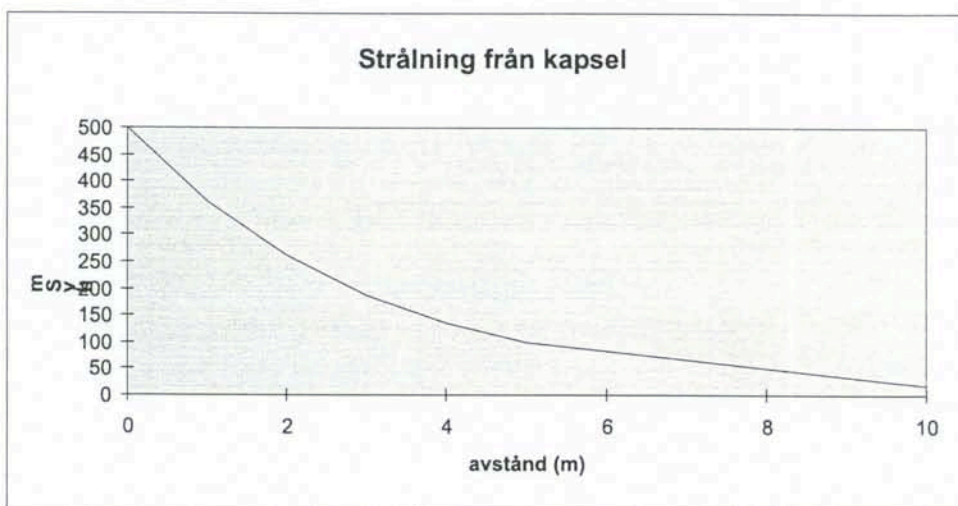
Den hastighet som behållaren har vid fritt fall från nio meter är 48 km/h, vilket kan tyckas lågt. Nedslaget mot ett stumt underlag innebär emellertid att nästan all energi vid nedslaget måste tas upp av behållaren. Vid en kollision tas betydande delar av energin upp i exempelvis tågsättet och påfrestningarna på behållaren blir sannolikt lägre än de som den utsätts för vid ett

falltest, även om kollisionshastigheten är betydligt större än 48 km/h. I England genomfördes 1984 ett experiment där en typ B-behållare, som efter en urspårning blivit liggande på rälsen. Ett mötande 140 ton tungt diesellok med fyra vagnar kom farandes i 160 km/h och rammade behållaren i en vinkel som maximerade påfrestningarna på behållaren. Skadorna på behållaren begränsades till viss deformation, men med i stort sett bibehållen strålskyddande funktion. Däremot fick loket omfattande skador. Med hjälp av mätutrustning kunde konstateras att påfrestningarna på behållaren var ungefär hälften av de som den utsätts för vid ett falltest från nio meter.

#### 7.4.1 Strålning från en oskyddad kapsel

Kapseln ligger tätt innesluten i transportbehållaren med fastbultade lock som endast kan demonteras med specialverktyg. Även om transportbehållaren skadas finns det ingen möjlighet att kapseln helt skulle kunna lämna transportbehållaren. Låt oss ändå anta att detta sker och att en person befinner sig i närheten av kapseln. Figur 7-2 visar doshastigheten på olika avstånd från kapseln under antagandet att doshastigheten på dess yta är maximalt tillåtna 500 mSv/timme.

Beräkningarna är ungefärliga men visar att strålningen avtar snabbt med avståndet från kapseln. På tio meters avstånd från kapseln är doshastigheten ca 2 mSv/timme. En person som befinner sig två timmar på detta avstånd från en oskyddad kapsel får en dos i nivå med medelsvenskens årsdos. För att komma upp i den maximalt tillåtna årsdosen för personal vid kärnkraftanläggningar kan en person befinna sig ett dygn på tio meters avstånd från en oskyddad kapsel.



Figur 7.2. Doshastigheten på olika avstånd från kapseln.



## 7.5 Extrema olyckor - "Värsta fall"

Något troligt händelseförlopp som kan leda till att delar av bränslematerialet sprids ut kan inte konstrueras. För att detta ska inträffa måste hela systemet av transportbehållare, kapsel och bränsleelement krossas i bitar.

I detta avsnitt antar vi ändå, som ett "värsta fall", att transportbehållaren blir otät så att frigjorda radioaktiva ämnen kan komma fritt och att kapseln har sprickor i såväl koppar- som stålhölje samt att bränsleelementen skadats.

De mesta av de radioaktiva ämnena är fast bundna i bränslematerialet och kan alltså inte spridas ohämmat till omgivningen. De radioaktiva ämnen som kan komma att spridas till omgivningen vid en extrem olycka är de flyktiga. Dessa domineras av ädelgasen krypton-85 (Kr-85). Under extrema omständigheter, med temperaturer över 600 grader eller om bränslet kommer i kontakt med mycket vatten kan också cesium-137 (Cs-137) frigöras i icke försumbar omfattning under relativt kort tid. För att ämnena ska frigöras krävs att de finns tillgängliga i bränslegapet, dvs utrymmet mellan kutsarnas yta och zirkaloyrören, samt att zirkaloyrören skadats. Hur stor andel som finns i gapet beror bl a på utbränningsgraden. Experiment visar, se SKB-91, att någon procent av det totala cesiuminventariet kan finnas i gapet. Låt oss här konservativt anta att tio procent finns i gapet. I en kommande rapport från SKB, Ekendahl (1997), görs beräkningar för de radiologiska följderna av en extrem olycka, till sjöss och till lands, som leder till frigörelse av Kr-85 och Cs-137.

### 7.5.1 Olycka till sjöss

Scenariot är en olycka med så stora mekaniska krafter att såväl transportbehållare och kapsel som alla bränsleelement skadas. Dessutom antas att brännbart material finns i tillräcklig mängd och att en brand uppstår. Branden släcks ej, utan pågår så länge att temperaturen i bränslet når 600 grader. Eftersom systemet med transportbehållare, kapsel och bränsleelement är mycket värmetåligt kommer detta att ta lång tid.

Olyckan leder till att allt Kr-85 som finns i bränslegapet frigörs från bränsleinkapslingen och 50 procent av detta läcker ut genom den otäta koppar/stål-inkapslingen och sedan ut genom den otäta behållaren. Vid en så kraftig brand kan det uteslutas att någon person finns i närheten och vi betraktar doser till allmänheten på land.

Det antas att 1 procent av det Cs-137 som finns i bränslegapet frigörs och att 50 procent av detta läcker ut genom den otäta koppar/stål-inkapslingen och att sedan 50 procent av denna mängd förmår tränga ut genom den otäta behållaren. Cesium är betydligt mindre flyktigt än krypton och ovanstående beräkningar får anses som pessimistiska. En del av det frigjorda cesiumet kommer att deponera i havet och spädas ut till en mycket låg koncentration. Värmen från en brand ger också en plym som späder ut cesiumhalten i luften. Det bortses från båda dessa faktorer som leder till minskad maximal dos för en individ på land.

Under vissa antaganden om rådande väderlek skulle, under ogynnsamma förhållanden, en person i vindriktningen på land, 5 km från olycksplatsen, kunna erhålla en kroppsdos på 0,5

$\mu\text{Sv}$  (tusendels  $\text{mSv}$ ) där i princip allt bidrag kommer från Cs-137. Organdosen (summan för ben, lungor och sköldkörtel) skulle bli 0,15  $\text{mSv p g}$  a inandning av cesium. Krypton är en ädelgas som inte stannar i kroppen vid inandning.

### 7.5.2 Olycka på land

Liknande antaganden som för en olycka till sjöss görs för en extrem olycka på land. Utsläppen av Kr-85 antas vara desamma. Cesiumutsläppen antas dock bli mindre p g a att branden kommer att släckas. Inom ett par timmar kan släckningsinsatser genomföras.

Normalt ska transportbehållaren tåla minst 30 minuter i 800 grader. Under en sådan brand kommer temperaturen på kapselns insida att öka med ca 100 grader och temperaturen i bränslet med ett tiotal grader. Nu antar vi emellertid att hela systemet skadats så att temperaturen i bränslet stiger snabbare och kan uppgå till 600 grader. Vi antar dock att tack vare släckningsinsatser förmår bara 1 procent av det cesium som frigjords från bränsleinkapslingen också läcka ut genom koppar/stål-inkapslingen. Av detta läcker sedan 50 procent ut genom behållaren som tidigare. Eventuellt utläckande cesium kommer att hamna i marken vid olycksplatsen och väldigt lite kommer att spridas i luften. I grova drag kommer, i ett begränsat område kring olycksplatsen, nedsmutsningen bli i paritet med de områden i Sverige som drabbades värst efter Tjernobylyolyckan.

Under antagandet att det frigjorda cesiumet ändå sprids i luften skulle en person i vindriktningen, 1 km från olycksplatsen, kunna erhålla en kroppsdos på 0,13  $\mu\text{Sv}$  där Cs-137 och Kr-85 bidrar med ungefär lika mycket. Organdosen (summan för ben, lungor och sköldkörtel) skulle bli 0,03  $\text{mSv p g}$  a inandning av cesium.

De beräknade doserna vid såväl en olycka till havs som på land är mycket låga. En vanlig tandröntgen ger en dos som motsvarar en effektiv kroppsdos på ca 0,1  $\text{mSv}$  vilket är 200 gånger mer än den beräknade dosen från en extrem olycka till havs ovan och mer än 750 gånger så mycket som vid en extrem olycka på land. Gränsvärdena i Sverige är för en individ under ett år 50  $\text{mSv}$  vid helkroppsdos och 500  $\text{mSv}$  till ett enskilt organ. Normaldosen för en person i Sverige är ca 5  $\text{mSv}$ .

Beräkningarna ovan gäller för en transportbehållare med innehåll, som blir mycket svårt skadad. Ska flera behållare beaktas får konsekvenserna proportioneras därefter. Redovisade värden gäller för personer en bit från själva olycksplatsen. Personer som befinner sig i omedelbar närhet riskerar större doser. Personal på plats är å andra sidan ingalunda omedvetna om olyckans omfattning och kan skydda sig på flera sätt. Vid olyckor av den omfattningen som skisserats ovan kommer transportbehållaren skadas så att den mister en del av sin strålskärmande funktion. Det innebär risker för räddningspersonal och försvårar bärgning och sanering efter olyckan.

### 7.5.3 Bärgning

Om en olycka till lands har inträffat så att transportbehållaren ligger vid sidan av vägen eller järnvägen måste en bärgning ske. En av de första åtgärderna efter en sådan olycka är att undersöka om det förekommer förhöjd strålning på olycksplatsen eller risk för frigörelse av radioaktivitet. Detta sker med hjälp av den strålningsmätutrustning som finns på transporten. Så snart det konstaterats att ingen radiologisk risk förekommer kan bärgningsarbetet genomföras.

Skulle mätningarna visa att en förhöjd strålning finns på olycksplatsen görs en tydlig avspärning. Strålningsintensiteten avtar snabbt med avståndet till källan. Om det påvisas strålning är den troligen av låg intensitet och får inte förhindra att livräddande eller brandbekämpande åtgärder vidtas på effektivaste sätt. Så snart som möjligt tillkallas strålskyddspersonal för att göra sin bedömning av olyckans omfattning och behovet av åtgärder. Bärgningsåtgärderna planeras så att de inte ytterligare försvårar skadorna eller medför onödig dosbelastning för hanteringspersonalen.

Som sagts i det föregående är det mycket osannolikt att transportbehållaren skadas och de radiologiska riskerna är därför små. Det är ändå väsentligt att transportledaren, som finns ombord på transporten, är kompetent att handha strålningsmätutrustningen samt att bedöma resultaten av mätningarna. Han eller hon skall även informera polis och räddningspersonal på platsen så att dessa får en korrekt bild av de faror som kan föreligga.

### 7.5.4 Slutsats angående extrema olyckor med radioaktiva utsläpp - "värsta fall"

De lättflyktiga produkter som finns kvar i det använda bränslet vid tidpunkten för transport till djupförvaret domineras av Kr-85. Eftersom det är en ädelgas som inte stannar i kroppen efter inandning hör den inte till de farligare radioaktiva nukliderna. Inte ens om det totala innehållet av Kr-85 frigjordes från en kapsel skulle det innebära några allvarliga konsekvenser för omgivningen.

En långvarig intensiv brand som följer en olycka med stora mekaniska påfrestningar, så stora att såväl behållare, kapsel och bränsleelement skadats, kan leda till frigörelse av Cs-137. För personer på rimliga avstånd från olycksplatsen (km och längre) innebär detta ändå inte någon märkbar ökad dosbelastning. För personer i omedelbar anslutning till olycksplatsen kan det finnas risk för högre doser. De radiologiska konsekvenserna för personer som varit inblandade i olyckan kommer helt att överskuggas av andra konsekvenser. Räddningspersonal som kommer dit efter olyckan kan skydda sig, eftersom de är medvetna om farorna. Spridning av cesium kan helt undvikas om branden släcks.



## 8 Slutsatser

Använt kärnbränsle är starkt radioaktivt och därmed mycket farligt för människor och levande organismer. Det är just därför som säkerhetskraven vid transporter av radioaktivt avfall är så höga. Riskerna för höga stråldoser eller spridning av radioaktiva ämnen till följd av en transportolycka hålls på en mycket låg nivå tack vare den barriär som den mycket tåliga transportbehållaren utgör.

Även om det osannolika skulle inträffa att transportbehållaren av någon anledning får nedsatt funktion blockeras en stor del av den radioaktiva strålningen av kapseln. Så länge kapseln är intakt finns heller ingen möjlighet för radioaktiva ämnen att spridas till omgivningen. Transportbehållaren är utformad för att med god marginal tåla de transportolyckor man kan tänka sig skulle kunna inträffa.

Att kapseln skulle vara skadad från början är inte heller troligt. Innan transporten genomgår den en noggrann inspektion där materialet undersöks med olika metoder för att säkerställa att kapseln är intakt. Vid en eventuell olycka kommer stråldosen i anslutning till olycksplatsen med stor säkerhet att vara så låg att räddningspersonal obehindrat kan ägna sig åt omhändertagande av eventuella skadade. De radiologiska konsekvenserna, av såväl en liten som extrem olycka, kommer med allra största säkerhet att vara ringa jämfört med de konsekvenser som olyckan i övrigt för med sig.

Transporter av farligt gods styrs av en rad nationella och internationella regelverk som syftar till att transporterna genomförs på ett säkert sätt. Transporter av använt kärnbränsle är ingen ny företeelse utan något som pågått i både Sverige och övriga världen under många år. Den samlade erfarenheten är därmed mycket stor inom området. Inte någon gång har en så allvarlig incident inträffat att en transportbehållare utsatts för påkänningar av den storleksordning som den är konstruerad för att klara. Därmed har det heller aldrig hänt att större stråldoser än tillåtet avgivits från transporter med använt kärnbränsle.

Transporterna från CLAB till djupförvaret är i de flesta avseenden betydligt mer lätthanterliga än de transporter som sker redan idag från kärnkraftverken till CLAB. Bränslet är avsevärt mindre aktivt och resteffekten betydligt lägre. Transporten till sjöss kommer inte att skilja sig från dagens transporter utan det enda nya inslaget blir järnvägstransporterna (eller eventuellt landsvägstransporter). Riskerna med transporter mellan CLAB och djupförvaret ger därmed ett mycket litet bidrag till den totala strålningsrisken under hela kärnbränslecykeln.

## Referenser

Blenkin J.J, Heywood J.D, Wilkinson H.L, Gray I.L.S. och Murray M.A. 1995, A Literature Survey and Review of Transport Risk Assessments, Proceedings PATRAM'95, The 11th International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, sid. 893-901

Crockett C. och McClure J.D. 1995, Transportation Accidents/Incidents Involving Radioactive Material (1971 - June 1995), Proceedings PATRAM'95, The 11th International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, sid. 1476-1484

Ekendahl A-M. 1994, Transport av inkapslat radioaktivt avfall till Djupförvaret, SKB teknisk PM 94-4470-01, Stockholm

Ekendahl A-M. 1997, Säkerhet vid transporter av inkapslat bränsle, SKB (kommande rapport)

Fasten Ch, Collin F.W, Cosack M. och Müller U. 1995, Transport of Nuclear Material in Germany Since the Enforcement of the first Atomic Law in 1959; Experiences, Assessments and Tendencies, Proceedings PATRAM'95, The 11th International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, sid. 568-575

Hedin A. 1997, Använt kärnbränsle - Hur farligt är det?, SKB rapport R 97-02, Stockholm

Knopp U. 1996, Feasibility Study of a Cask for the Transport of Canisters for Encapsulated Spent Fuel to Final Disposal, SKB projektrapport 96-07, Stockholm

Lindblom B. och Birgersson L. 1994, Radiologisk miljö vid djupförvaret och olycksberedskap vid transport av radioaktivt avfall, SKB projektrapport 44-94-038

Wilson C.K, Shaw K.B. och Hughes J.S. 1995, Accidents and Incidents in the Transport of Radioactive Material - An Analysis of 37 Years of Experience, Proceedings PATRAM'95, The 11th International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, sid. 1488-1495

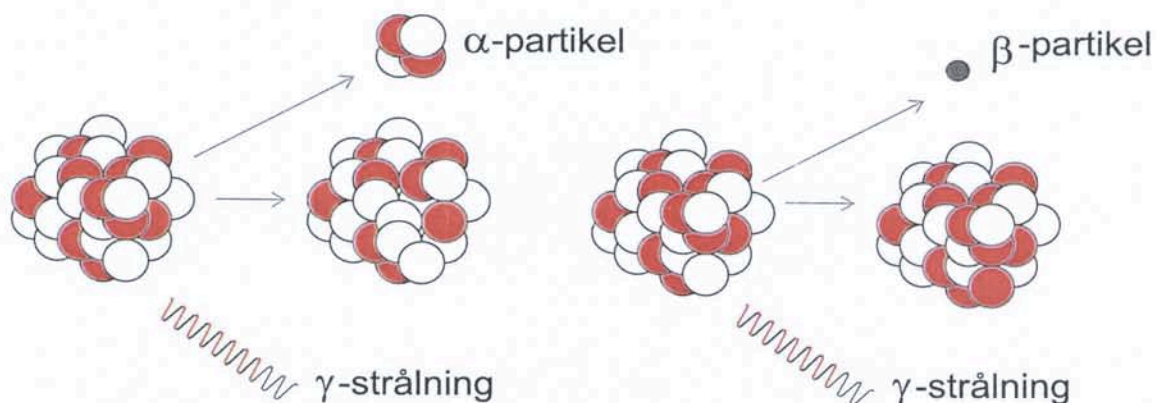
Transportsystem för använt kärnbränsle och radioaktivt avfall, SKB rapport 1992 SKB-91, Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Berggrundens betydelse för säkerheten, maj 1992.

## Bilaga: Radioaktivt sönderfall och strålning

### Radioaktivitet

Vissa ämnens atomkärnor är inte stabila utan de omvandlas till andra ämnen genom radioaktivt sönderfall. Vid sönderfall uppkommer radioaktiv strålning. Sönderfallen kan ha olika karaktär. Då t ex uran-238 sönderfaller till torium-234 bildas alfastrålning. (Siffrorna står för isotopens masstal, dvs summan av protoner och neutroner i kärnan.) Alfastrålningen kan ses som att positivt laddade partiklar, bestående av två protoner och två neutroner, sänds ut vid sönderfallet.

När däremot americium-241 bildas genom sönderfall av plutonium-241 alstras betastrålning. Betasönderfallet innebär att en neutron omvandlas till en proton i kärnan varvid en negativt laddad partikel, en elektron, sänds ut. Det motsatta kan också ske, nämligen att positiva betapartiklar, positroner, sänds ut då en proton övergår i en neutron. Vid både alfa- och betasönderfall bildas gammastrålning som till sin natur liknar vanligt ljus, fotoner, eller röntgenstrålning fast med betydligt högre frekvens. Figur 1 visar en principiell bild av radioaktiva sönderfall.



Figur 1. Radioaktivt sönderfall kan ske på flera sätt. Alfasönderfall innebär att den sönderfallande atomkärnan sänder ut en partikel bestående av två neutroner och två protoner och ett ämne med lägre masstal bildas. Vid betasönderfall övergår en neutron till en proton, eller tvärtom, och en elektron sänds ut från kärnan. Vid båda typer av sönderfall bildas dessutom gammastrålning, som kan liknas vid röntgenstrålning.

Ytterligare en typ av strålning uppträder i använt kärnbränsle, nämligen neutronstrålning, vid vilken en neutron (oladdad partikel) sänds ut från atomkärnan. Antalet sönderfall per sekund anges i becquerel (Bq) och beror på mängden av det radioaktiva ämnet samt dess halveringstid. Med halveringstid menas den tid det tar för hälften av atomkärnorna i ett ämne att sönderfalla.

Olika ämnen har vitt skilda halveringstider, från bråkdelar av sekunder till miljarder år.

Exempel:

Isotop	Halveringstid	Förekomst
kol-14	5 730 år	atmosfären m m
kväve-16	7,1 sek	turbin m m i kärnkraftverk
kalium-40	1,3 miljarder år	människokroppen m m
cesium-137	30,2 år	kärnavfall, använt kärnbränsle
kobolt-60	5,3 år	strålkällor på sjukhus m m
polonium-216	0,15 sek	toriummineral
radon-222	3,8 dygn	berggrunden, ”radonhus”
radium-226	1 600 år	berggrunden m.m.
uran-235	704 miljoner år	berggrunden, kärnbränsle
uran-238	4,5 miljarder år	berggrunden, kärnbränsle
plutonium-239	24 100 år	använt kärnbränsle
plutonium-241	14,4 år	använt kärnbränsle

Att radioaktiviteten avtar med tiden beror på att radioaktivt sönderfall avspeglar ett överskott av energi som när den väl avgivits inte längre finns kvar.

## Strålning och strålskador

Strålning kan vara skadlig för människor, djur och växter, därför att den skadar eller till och med dödar organiska celler. All strålning är en form av energi och det är denna energi som förmår ändra strukturen i organiska celler. Därför finns det risker förknippade med all hantering av radioaktiva ämnen. Alfa- och betastrålning når inte speciellt långt ens i vanlig luft och stoppas upp av t ex tjockare kläder och glasögon. För att stoppa gammastrålning krävs däremot ett bättre skydd. Exempelvis halveras intensiteten av 1 cm bly eller 10 cm vatten.

Hur farlig strålningen är beror på flera saker. Olika typer av strålning, alfa- beta- och gammastrålning, är olika farliga. Dessutom måste man skilja på extern och intern bestrålning. Vid extern bestrålning finns det strålände ämnet utanför kroppen, vid intern bestrålning har det strålände ämnet kommit in i kroppen via mat eller inandning. Generellt kan sägas att intag via andning som regel är farligare än intag via födan. Alfa- och betastrålning är energirik men har mycket kort räckvidd och kan lätt skärmas av. Så länge ämnen som avger alfa- och betastrålning inte kommer in i kroppen utgör därför sådan strålning en liten risk. Intern alfa- eller betastrålning, i synnerhet den förra, är däremot mycket farligt och kan leda till stora skador på inre organ. Vid extern bestrålning är det alltså främst gamma- och neutronstrålning som är farligt.

## Stråldos

Enheten Becquerel säger endast något om antalet sönderfall per tidsenhet och inget om farlighet eller risk. Som redan nämnts kan strålningen skada genom att dess energi absorberas i kroppens vävnader. Energiupptaget mäts i enheten Gray. Eftersom olika strålning - alfa, beta, gamma, neutroner - har olika biologisk verkan vid lika energiupptag använder man oftast i strålskyddsammanhang enheten Sievert (Sv) eller vanligare mSv= milliSievert som mått på stråldos med hänsyn taget till strålningens biologiska verkan. Eftersom olika organ är olika känsliga skiljer man ofta på helkroppsdos och organdos. I naturen finns en ständig

bakgrundsstrålning som bl a beror på strålning från rymden och från berggrunden. I Sverige får en person en genomsnittlig stråldos av ca 1 mSv/år p g a bakgrundsstrålningen och totalt erhåller han eller hon en dos av ca 5 mSv/år.

En stråldos på 5 000 mSv anses direkt dödlig om den erhålls vid ett och samma tillfälle. Så höga momentana stråldoser till människor har bara förekommit vid några få enstaka extrema händelser som atombombsfällningarna över Hiroshima och Nagasaki samt vid släckningsarbetet efter reaktorolyckan i Tjernoby. Lägre stråldoser kan orsaka cancer och skador på arvsmassa. Hur stor stråldos krävs då för att orsaka cancer? Det finns inget säkert svar på den frågan. Att stora stråldoser är farliga vet man genom faktiska observationer. Vetenskapliga belägg för att strålning från radioaktiva ämnen kan orsaka cancer finns för doser överstigande ca 100 mSv. Internationellt används uppskattningen att om en grupp personer får en dos av 1 000 mSv vardera kommer ca 5 procent av personerna i gruppen att få cancer till följd av denna stråldos. Det finns inga vetenskapliga belägg för att stråldoser under ca 100 mSv skulle ge förhöjd risk för cancer. Det är inte heller visat att så inte skulle vara fallet. Försiktigtvis antar man därför i strålskyddsarbetet att det inte finns någon tröskeldos och att risken för cancer är linjärt proportionell mot stråldosen även vid mycket små doser. Det innebär att om 100 000 personer får dosen 1 mSv vardera så räknar man med att fem stycken kan få cancer på samma sätt som att fem stycken får cancer om 100 personer får dosen 1 000 mSv vardera. Flertalet forskare anser detta vara en betydande överskattning av cancerrisken vid lågdosstrålning.

I tabell 1 ställs ovanstående siffror i relation till en ungefärlig årlig stråldos som några olika kategorier människor erhåller i andra sammanhang.

**Tabell 1: Erhållen stråldos för några olika kategorier människor (källa: Lindblom och Birgersson (1994)).**

Kategori	Stråldos per år (mSv)
Bränslebytare vid kärnkraftverk	5-9
Pilot p g a kosmisk strålning på hög höjd	7
Medelsvensk p g a radon i hus	3
Värst utsatta p g a radon i hus	15
Medelsvensk p g a medicinska undersökningar	0,6

Ett grundläggande kriterium för all verksamhet med radioaktiva ämnen är att den ska ge ett mycket ringa bidrag till en genomsnittlig persons i övrigt erhållna stråldos. Använt kärnbränsle är mycket radioaktivt, vid hanteringen måste olika strålskyddsåtgärder vidtas för att ingen ska skadas. En kärnteknisk anläggning i Sverige skall utformas så att högsta stråldos från anläggningen till en person bland allmänheten inte kommer att överskrida 0,1 mSv/år. I praktiken innebär detta krav att det verkliga dosbidraget till personer som vistas nära kärntekniska anläggningar ligger långt under denna dosnivå.