

Säkerhet vid hantering, lagring och transport av använt kärnbränsle och förglasat högaktivt avfall

Ann Margret Ericsson

Kemakta Konsult AB 1977

SÄKERHET VID HANTERING, LAGRING OCH
TRANSPORT AV ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE OCH
FÖRGLASAT HÖGAKTIVT AVFALL

Ann-Margret Ericsson
Kemakta Konsult AB 1977

Denna rapport utgör redovisning av ett arbete som utförts på uppdrag av KBS. Slutsatser och värderingar i rapporten är författarens och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med uppdragsgivarens.

I slutet av rapporten har bifogats en förteckning över av KBS hittills publicerade tekniska rapporter i denna serie.

Säkerhet vid hantering, lagring och
transport av använt kärnbränsle och
förglasat högaktivt avfall.

KEMAKTA Konsult AB
Ann-Margret Ericsson
1977-11-16

Summary.

The safety of handling and transportation of spent fuel and vitrified high-level waste has been studied. Only the operations which are performed in Sweden are included. That is:

- Transportation of spent fuel from the reactors to an independent spent fuel storage installation (ISFSI).
- Temporary storage of spent fuel in the ISFSI.
- Transportation of the spent fuel from the ISFSI to a foreign reprocessing plant.
- Transportation of vitrified high-level waste to an interim storage facility.
- Interim storage of vitrified high-level waste.
- Handling of the vitrified high-level waste in a repository for ultimate disposal.

For each stage in the handling sequence above the following items are given:

- A brief technical description.
- A description of precautionary measures considered in the design.
- An analysis of the discharges of radioactive materials to the environment in normal operation.
- An analysis of the discharges of radioactive materials due to postulated accidents.

The dose to the public has been roughly and conservatively estimated for both normal and accident conditions. The expected rate of occurrence are given for the accidents.

The results show that the above described handling sequence gives only a minor risk contribution to the public.

Innehållsförteckning.

	Sid.
1. Omfattning.	1
2. Metodik.	2
2.1 Mått på risk.	2
2.2 Barriärmodellen.	4
2.3 Materialtillstånd och utsläppstyper.	8
2.4 Beräkningsgrunder och antaganden.	10
3. Hanteringskedjan.	20
3.1 Transport av bränsle till centrallager.	21
3.2 Lagring av bränsle i centrallager.	28
3.3 Transport av bränsle från centrallager.	36
3.4 Upparbetning och förglasning av högaktivt avfall.	37
3.5 Transport av förglasat avfall till mellanlager.	39
3.6 Mellanlagring och inkapsling av förglasat avfall.	43
3.7 Hantering i slutförvar.	47
4. Resultatsammanfattning.	51

Bilagor.

- Bilaga 1: Barriärtillstånd.
- Bilaga 2: Frigörelsemängder, transport av bränsle till centrallager.
- Bilaga 3: Analystablå, transport av bränsle till centrallager.
- Bilaga 4: Frigörelsemängder, centrallager.
- Bilaga 5a: Analystablå, centrallager (PWR).
- Bilaga 5b: Analystablå, centrallager (BWR).
- Bilaga 6: Frigörelsemängder, transport av bränsle från centrallager.
- Bilaga 7: Analystablå, transport av bränsle från centrallager.
- Bilaga 8: Frigörelsemängder, transport av förglasat avfall till mellanlager.
- Bilaga 9: Analystablå, transport av förglasat avfall till mellanlager.
- Bilaga 10: Analystablå, mellanlager.
- Bilaga 11: Analystablå, hantering i slutförvar.

1. Omfattning.

Säkerhetsanalysen omfattar följande hanteringssteg:

- Transport av utbrända bränsleelement från reaktorstationens område till ett centrallager.
- Mottagning och lagring i centrallagret under ca 10 år.
- Uttag av utbränt bränsle från centrallagret och transport till utländsk anläggning för upparbetning och förglasning av det högaktiva avfallet.
- Återtransport av förglasat avfall till inhemskt mellanlager.
- Lagring av förglasat avfall under ca 30 år i mellanlager.
- Inkapsling av det förglasade avfallet i kapslar av bly/titan.
- Deponering av det kapslade avfallet i bergförvar ca 500 m ner i urberget.

Upparbetning och förglasning av det högaktiva avfallet ingår således ej i analysen. En kortfattad redogörelse för dessa stegs tekniska utformning har dock medtagits.

I säkerhetsanalysen för de inom landet förekommande delstegen ingår:

- En kortfattad teknisk beskrivning av processer och hanteringar.
- En mer detaljerad redogörelse för de säkerhetsåtgärder som vidtagits.
- En beräkning av den frigjorda aktivitetens mängd som kan väntas vid normaldrift.
- En haverianalys omfattande missöden, som trots vidtagna åtgärder, skulle kunna inträffa.

För varje haverifall beräknas:

- Individdos p g a akut exponering.
- Kollektivdosinteckning.
- Sannolikheten för haveriet.
- Riskbördan.

2. Metodik.

2.1 Mått på risk.

Från haverianalysen erhålles de aktivitetsmängder som kan släppas ut vid olika missöden. Om analysen begränsas till detta fås ett otillräckligt mått på konsekvenserna av tre skäl:

- Nukliderna avger strålning av varierande farlighet (olika typ av strålning och olika energinivåer).
- Väderleksförhållanden, utsläppshöjd, anrikning i näringskedjor m m påverkar den koncentration av nuklider som når människan.
- Nukliderna har varierande uppehållstider i kroppen och fördelar sig olika mellan dess organ.

För att erhålla ett nyanserat mått på den radiologiska riskbilden har två storheter använts, individdos och kollektivdosinteckning.

Kollektivdosinteckningen beräknas såväl för utsläpp p g a haveri som utsläpp vid normaldrift. För olycksutsläppen innebär kollektivdosen en beräkning av eventuella konsekvenser i form av radiologisk påverkan som ett haveri skulle kunna medföra.

Riskbördan har definierats som produkten av sannolikheten för ett haveri och den kollektivdosinteckning det skulle ge upphov till. Riskbördan uttrycks i manrem/MW_e·år.

Den totala riskbördan för hanteringskedjan beräknas enligt följande:

$$R_{\text{tot}} = \sum_i \sum_j P_{ij} \cdot D_{p_{ij}}$$

R_{tot} = den totala riskbördan från systemet (manrem/MW_e·år)

P_{ij} = sannolikheten för en olycka (MW_e·år)

$D_{p_{ij}}$ = kollektivdosinteckningen (manrem)

i = betecknar delsteg nr i i behandlingskedjan (se nedan)

j = betecknar haveri nr j

Den totala riskbördan är summan av delstegens riskbördor. Riskbördan från ett delsteg blir summan av riskbördorna från alla haverier i delsteget.

Individdosen har definierats som den maximaldos en individ kan få vid ett missöde. Vid fallet atmosfärisk spridning har tre exponeringsvägar beaktats:

- Externbestrålning från den passerande plymen.
- Inhalation av luftburen aktivitet.
- Externbestrålning från markdeponerad aktivitet under sex timmar (efter denna tid antages evakuering av den kritiska befolkningsgruppen ha ägt rum om så erfordras).

För fallet spridning till vattenrecipient har första årets dos från ett års exponering beräknats. Beräkningar har gjorts för exponeringsvägarna intag av marin föda, badning i kontaminerat vatten och vistelse på kontaminerad strand. Recipienten har antagits vara Östersjön.

Personaldoser uppkommer huvudsakligen genom strålnivån på arbetsplatsen. Hur hög dos varje enskild person får beror på hur länge han utsätts för olika stråldosrater på olika arbetsplatser. Även om dosen för enskilda personer hålls på en låg och kontrollerad nivå eftersträvar man att begränsa summan av alla dosbidrag genom lämplig utformning och avskärmning på arbetsplatserna. Denna summa är av intresse som ett mått på den totala dosbelastning som verksamheten ger.

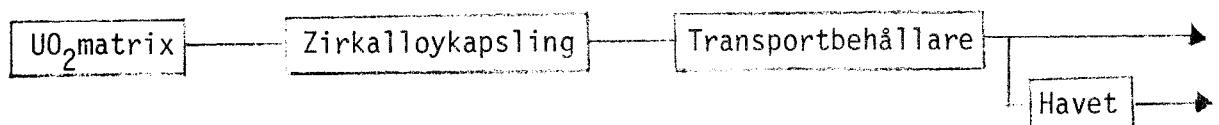
Målsättningen har varit att i görligaste mån basera sannolikhetsuppskattningarna på tillgänglig statistik. I vissa fall har detta varit omöjligt p g a att händelser av den postulerade typen veterligen ej har inträffat (gäller t ex berggras i bergrum med betongförstärkta väggar). I andra fall är statistiken bristfällig, då t ex enbart händelser med personskador rapporterats till ansvariga myndigheter (gäller bl a olyckor med lyftredskap). För andra typer av händelser är statistiken betydligt mera fullständig och haverisannolikheterna därför tillförlitligare. Där

det statistiska materialet har varit otillfredsställande har ett pessimistiskt värde ansatts på haverisannolikheten.

2.2 Barriärmodellen.

Den metod som har tillämpats för haverianalysen har kallats "barriärmodellen". Den bygger på att om ett aktivitetsutsläpp till omgivningen skall äga rum måste en serie barriärer genombrytas.

Vissa barriärer kan i sitt normaltillstånd vara praktiskt taget ogenomträngliga för de inneslutna radioaktiva ämnena och deras strålning medan andra barriärer har en viss genomsläpplighet. Betraktelsesättet illustreras i nedanstående exempel som avser barriärerna mot atmosfärisk spridning vid båttransport av utbränt bränsle.



UO_2 -matrix utgör inget effektivt hinder för spridning av den s k spaltaktiviteten, d v s den del av de radioaktiva ämnen, som under bränslets tid i reaktorn har vandrat ut ur bränslekutsarna och ansamlats i spalten mellan kutsar och bränslehölje. Den kapsling av zirkalloy som omger bränslekutsarna kan under bränslets tid i reaktorn ha fått en del skador, huvudsakligen små s k pin-holes och har därför i sitt normaltillstånd en viss genomsläpplighet. I denna studie har ansatts att 0.1 % av bränslestavarna har kapslingsskador, ett värde som är relativt högt i förhållande till de i och för sig begränsade erfarenheterna från reaktordriften i Sverige. I gällande internationella normer för s k typ-B-behållare för transporter av nukleärt och radioaktivt material ställs mycket höga krav på behållarnas täthet (1). Transportbehållaren kan därför anses vara tät i sitt normaltillstånd.

Det är uppenbart att transportbehållarens integritet måste brytas på något sätt för att ett utsläpp skall kunna ske. Om transportbehållaren skadas erbjuder å andra sidan inte UO_2 -matrix och zirkalloykapslingen något fullständigt skydd mot aktivitetsutsläpp. Hur mycket aktivitet

som kommer att spridas vid ett visst missöde beror på omfattningen av skadorna på barriärer och på det fysikaliska förloppet för spridningen. För varje barriär har ett normaltillstånd och ett antal olyckstillstånd definierats för att ge en beskrivning av frigörelseförloppet vid missöden.

I själva haverianalysen söker man sådana händelser som kan försätta någon eller några barriärer i olyckstillstånd. Detta innebär en systematisk genomgång av arbetsoperationer, hanteringsutrustningar och anläggningskonstruktioner. På detta sätt erhålles en omfattande förteckning över möjliga felhandlingar och utrustningshaverier.

2.21 Förekommande barriärer.

Totalt 18 barriärer har definierats i hanteringskedjan. Dessa barriärer förklaras kortfattat nedan. Samtliga barriärers normaltillstånd och olyckstillstånd redovisas kvantitativt i bilaga 1.

1. UO_2 -matrix.

UO_2 -matrix (kutsarna i det utbrända bränslet) binder olika radioaktiva ämnen olika hårt. Aktiniderna binds mycket hårt medan en del gasformiga och flyktiga ämnen har migrerat ut ur kutsarna under tiden i reaktorhärden. Den aktivitet som sitter fast i kutsarna kan frigöras vid höga temperaturer. För jod, som är ett flyktigt ämne, har en väsentligt ökad frigörelse observerats vid $1600^{\circ}C$.

2. Zirkalloykapsling.

Bränslekutsarna är inneslutna i rör av zirkalloy (en legering med zirkonium och tenn som huvudbeståndsdelar). Rören (bränslestavarna) är ihopsvetsade i båda ändar och utgör därmed en barriär mot spridning av de radioaktiva ämnena i bränslekutsarna.

3. Transportbehållare.

Vid transporter av utbränt bränsle och förglasat avfall används speciella transportskydd. Dessa behållare fungerar som strålskärmar, skydd mot mekaniska och termiska påfrestningar samt skydd mot spridning av radioaktivt material till omgivningen. Utbränt bränsle transporteras i transportbehållare med vatten som kylmedium. Det förglasade avfallet är tänkt att transporteras i torr behållare med en inertgas som kylmedium.

4. Bassängvatten.

Lagring av bränsleelement sker i bassänger med tillräckligt stort vattendjup för att strålningsnivån vid vattenytan skall vara acceptabel. Bassängvattnet renas kontinuerligt m h a jonbytare så att vattnets innehåll av salter och radioaktiva ämnen hålls låg.

5. Bassängvägg.

Bassängerna är konstruerade av betong och invändigt belagda med en tätplåt av rostfritt stål.

6. Luftgap.

Om aktivitetsfrigörelse genom förångning sker i en byggnad avkyls de förångade ämnena så småningom. Vid avkylningen bildas aerosoler, antingen i form av vätskedroppar eller i form av fasta partiklar. De partiklar som blir tillräckligt stora kan sedimentera i byggnaden och når därför aldrig omgivningen.

7. Ventilationsfiltersystem.

Filtersystemen består av kombinationsfilter sammansatta av absolutfilter, som tar upp partikulära föroreningar, och kolfilter för adsorption av adsorberbara gaser. Filtersystemen tar upp 99.7 % av alla nuklider utom ädelgaserna, vilka passerar rätt igenom.

8. Havet.

Havsvattnet utgör en barriär mot atmosfärisk spridning för alla nuklider utom ädelgaserna.

9. Recirkulationskrets för bassängvatten.

Bassängvattnet renas och kyls i en recirkulationskrets. Normalt kan denna krets anses vara helt tät.

10. Vvx i recirkulationskretsen.

Värmeväxlare i recirkulationskretsen är normalt helt täta och utgör en av barriärerna mot läckage av bassängvatten.

11. Vvx i sekundärkretsen.

Denna värmeväxlare skiljer sig från föregående endast genom att vattenvolymen är annorlunda. Även denna värmeväxlare är normalt helt tät.

12. Avfallshanteringsanläggning.

Avfallshanteringsanläggningen består av filtersystem, indunstare samt jonbytare för condensat. Reningsgraden för en sådan anläggning har angivits till 99.9995 % (2).

13. Båtens lastrum.

Båtens lastrum utgör en barriär endast mot direkt spridning till vattenrecipient. För detta spridningsfall är lastrummet en helt tät barriär.

14. Betonginklädnad med tätplåt.

Betongen i lagringsbassängerna är ej tät i sig själv. Under bassängerna har betongen därför försetts med en tätplåt av stål som samlar upp eventuellt utläckande bassängvatten. Denna tätplåt är normalt helt tät.

15. Berg.

Bergdränage kommer att uppsamlas och bortpumpas. Detta medför att den hydrauliska gradienten i omgivande berg kommer att vara riktat in mot anläggningen. En transport av radioaktiva ämnen genom berget ut till en recipient är därför osannolik under anläggningens drifttid.

16. Glasmatrix.

Det aktiva materialet är mycket hårt bundet i glaset. Utsätts inte glaset för mycket höga temperaturer eller utlakning under längre tid är aktivitetsfrigörelsen praktiskt taget noll.

17. Stålkapsling.

Kapslingen utgörs av ett värmebeständigt krom-nickel-stål. Trots att man har goda möjligheter att kontrollera denna kapsling vid tillverkningen har en normal kapslingsskadefrekvens på 0.01 % antagits.

18. Yttre kapsling.

Den yttre kapseln utgörs av 10 cm bly överdraget med en titanmantel (se beskrivning under kap. 3.7). Kapseln utgör en effektiv barriär mot spridning av det inkapslade materialet.

2.3 Materialtillstånd och utsläppstyper.

I detta arbete har tre olika utsläppstyper definierats.

Atmosfärisk spridning: Utsläpp till atmosfären av radioaktiva gaser, ångor, aerosoler och damm. De beaktade exponeringsvägarna är externbestrålning från moln och markbeläggning, inhalering samt födoämnesförtäring.

Utsläpp till vattenrecipient: Utsläpp av radioaktivt material till vattenrecipient. Denna recipient har i analysen antagits vara Östersjön.

Aktuella exponeringsvägar är i detta fall externbestrålning benom bad i kontaminerat vatten, solbad på kontaminerad strand samt förtäring av fisk som levt i kontaminerat vatten.

Dos från fast strålkälla: Beräkningen omfattar externbestrålning från radioaktiva material vid missöden där strålskärningen gått förlorad.

I denna analys förekommer endast två materialtillstånd; utbrända bränsleelement och förglasat högaktivt avfall.

2.31 Utbrända bränsleelement.

Det aktiva materialet utgörs av urandioxidkutsar i zirkalloykapsling. Mellan kutsarna och kapslingen finns en smal spalt där en del av fissionsprodukterna återfinns. Däremot kan man anta att aktiniderna fortfarande är bundna i UO_2 -gittret. Fraktionerna av de olika fissionsprodukterna i kapslingsspalten har antagits till följande (16):

Tritium	1 %
Krypton	30 %
Jod	30 %
Övriga halogener och ädelgaser	10 %
Cesium	1 %
Övriga f.p.	0.01 %

Det utbrända bränslet kan under olika förhållanden teoretiskt ge upphov till samtliga tre utsläppstyper.

2.32 Förglasat högaktivt avfall.

Glaset är gjutet i en cylinder av krom-nickel-stål med kromhalt 23-24 %, nickelhalt 12-13 %, kolhalt 0.13 % och resten järn. Halten fissionsprodukter och aktinider i glaset är 9 %. Grundglaset har antagits vara av borsilikattyp. Varje cylinder innehåller 150 l glas, vilket motsvarar avfallet från 1 ton uran. Cylinderstorleken är \varnothing 400 mm och längd 1.5 m. Cylindern är försluten och utsidan dekontaminerad vid transport till Sverige.

Det utbrända bränslet upparbetas och förglasas 11 år efter bränsleuttag ur reaktorn. Det förglasade avfallet antages bli transporterat till Sverige omedelbart efter förglasningen.

De utsläppstyper som i detta fall kan anses teoretiskt möjliga är atmosfärisk spridning, utsläpp till vattenrecipient samt dos från fast strålkälla.

2.4 Beräkningsgrunder och antaganden.

2.41 Räknbas.

300 ton U/driftår

13 reaktorer, varav tre är PWR och 10 är BWR

Utbränningsgrad 33.000 MWd/ton U (Denna utbränning gäller egentligen PWR-bränsle och utgör det ogynnsammaste fallet.)

Bränsleelement.

BWR-element 180 kg U

PWR-element 458 kg U

Medelbränsleelement 217 kg U

1.382 bränsleelement/driftår (1.200 BWR-element och 182 PWR-element)

Transportbehållare:

Transportbehållare med BWR-element: 3.1 ton U (17 element x 180 kg)

Transportbehållare med PWR-element: 3.2 ton U (7 element x 458 kg)

Medeltransportbehållare: 3.1 ton U

94 transportbehållare/driftår (67 BWR-behållare och 27 PWR-behållare)

Bränslekassetter:

Kasett med BWR-element: 4.5 ton U (25 element x 180 kg)

Kasett med PWR-element: 4.1 ton U (9 element x 458 kg)

Medelbränslekasett: 4.4 ton U

68 kassetter/driftår (48 BWR-kassetter och 20 PWR-kassetter)

Förglasat avfall.

En avfallscylinder på 150 l innehållande 9 % fissionsprodukter motsvarar 1 ton U. Nuklidinnehållet ges av splitfaktorerna som redovisas nedan.

Transportbehållare:

Transportbehållare med förglasat avfall: Avfall motsvarande 15 ton uran (15 glaskroppar x 1 ton)
20 transportbehållare/driftår

Splitfaktorer efter upparbetning (3):

H-3	0
C-14	0.17
Kr-85	0
I-129	0.03
Cs	0.999
U	0.001
Pu	0.005
Övriga	1

Transporterna.

Vid varje båttransport har antagits att sex transportbehållare finns ombord

Transportsträckor:

Totala transportsträckor, vid båttransport, från kärnkraftverken till CLAB beroende av CLABs lokalisering:

Oskarshamn	7.520 km
Studsvik	8.520 km
Forsmark	9.730 km

En transportsträcka på 10.000 km/driftår har valts.

Från CLAB till utländsk upparbetningsanläggning sker ca 20 transporter per år å 1.000 km (Sveriges gräns), vilket ger en sträcka på 20.000 km/driftår. Transport av förglasat avfall från upparbetnings-

anläggning till mellanlager har antagits till ca 5 transporter å 100 mil (enl. ovan), vilket medför en transportsträcka på 500 mil/driftår. Beroende på läget tillkommer eventuellt en trailertransport utanför kontrollerat område. Transportsträckan har antagits till 2.5 mil x 20 transportbehållare (å 15 ton) = 50 mil/driftår.

2.42 Beräknings- och redovisningsprinciper.

För de olika behandlingsstegen i hanteringskedjan redovisas de barriärer som existerar för de tre utsläppstyperna, atmosfärisk spridning, utsläpp till vattenrecipient och dos från fast strålkälla.

För varje barriär har ett normaltillstånd och ett eller flera olyckstillstånd definierats (bilaga 1). Barriärtillstånden för varje haveri anges med följande kod:

N = normaltillstånd

OTx = olyckstillstånd x

(-) = ingår ej

BP = "by-passed"

Utgående från barriärtillstånden beräknas för de olika nukliderna utsläppsfractioner som multiplicerade med innesluten aktivitet ger den aktivtetsmängd som kan komma att släppas ut vid haveriet.

Som mått på konsekvensen beräknas dels en individdos och dels en kollektivdos. Även riskbördan, definierad som produkten av förväntad haverifrekvens (sannolikhet) och kollektivdos, beräknas.

De ansatser om spridningsvägar, exponeringstider, befolkningsfördelningar m m som gjorts i samband med dosberäkningarna redovisas i avsnitt 2.43.

2.43 Dosberäkningar.

De dosberäkningar som gjorts i haverianalysen bygger på en rad förenklingar vad beträffar spridnings- och exponeringssituationerna. För varje haveri har en individdos till en individ i närzonen och en kollektivdos

för upp till 500 års exponering beräknats. Dosen har definierats som viktad helkropps-dos. De använda viktningsfaktorerna har tagits ur SSI:s föreskrifter om begränsning av utsläpp av radioaktiva ämnen från kärnkraftstationer (17).

För fallet atmosfärisk spridning har två utsläppshöjder (marknivå och skorstensnivå) använts. Individ-dosen för en nuklid har beräknats ur:

$$D = d \cdot \kappa \cdot Q$$

D = individdos (rem)

κ = utspädningsfaktor (s/m^3)

Q = utsläppt aktivitet (Ci)

d = dosomvandlingsfaktor för viktad helkropps-dos (rem $\text{m}^3/\text{Ci}\cdot\text{s}$)

Tre exponeringsvägar har beaktats nämligen externbesträlning från den passerande plymen, externbesträlning från markdeponerad aktivitet och inhalation av luftburen aktivitet. På grund av att en evakuering av individen i närzonen, om så erfordras, har antagits kunna ske inom sex timmar har endast de sex första timmarnas bestrålning från markbeläggningen tagits med beräkningen. Antagandet om exponeringstiden har endast marginell effekt på totaldosen summerad över alla exponeringsvägarna, under förutsättning att tidsbehovet för evakueringen är i storleksordningen timmar.

Dosomvandlingsfaktorerna för inhalation har hämtats ur (18). För de övriga exponeringsvägarna har värdena erhållits ur FOAs tabeller (19).

För marknivåutsläpp har utspädningsfaktorn satts till $6.5 \cdot 10^{-4} \text{ s}/\text{m}^3$ och för utsläpp i skorstenshöjd har faktorn satts till $1.5 \cdot 10^{-5} \text{ s}/\text{m}^3$ (16). Båda värdena gäller för avståndet 1 km från utsläppspunkten och vindhastigheten 1 m/s. De atmosfäriska diffusionsbetingelserna har för marknivå utsläppet antagits motsvara Pasquill's kategori F och för utsläppet i skorstenshöjd kategori B-C.

De resulterande dosfaktorerna, uttryckta som D/Q (rem/utsläppt Ci) har sammanställts i tabell 2.43.1.

Kollektivdosinteckningen har för aerosolformiga ämnen beräknats ut till ett avstånd av 100 km från utsläppspunkten och vid en befolkningstäthet motsvarande den i södra Sverige, 40 personer per km² (20). Antalet personer som bor inom integrationsytan är ca 1.3 miljoner.

Det använda beräkningssambandet för kollektivdosen lyder:

$$D_{\text{koll}} = Q \cdot d \cdot N_{\text{pers}} \cdot \frac{2}{R^2} \cdot \int_0^R \kappa(r) \cdot r \cdot dr$$

N_{pers} = antalet exponerade personer

R = integrationsytans radie

r = avståndet från utsläppspunkten

I dosomvandlingsfaktorn ingår exponeringsvägarna externbestrålning från den passerande plymen, externbestrålning från markdeponerad aktivitet och inhalation. För nukliderna Sr-90, Cs-134 och Cs-137 har dessutom doser från näringsintag medtagits. Utspädningsfaktorn $\kappa(r)$ har tagits ur AB Atomenergis koncentrationsstatistik med en kumulativ frekvens på 50 % (21) och uttrycks som ett medelvärde för 360°.

I och med att kollektivdosinteckningen i samtliga haverier beräknas över en cirkelyta med centrum i utsläppspunkten erhålles en överskattning vid haverier i kustförlagda anläggningar och vid haverier till sjöss. Överskattningen ökas ytterligare av att uttunningen av plymen p g a markdeponering har försummats. Å andra sidan motverkas detta något av att dosbidraget utanför 100 km har försummats för aerosolformiga ämnen.

För nukliderna C-14 och Kr-85 har de globala kollektivdosinteckningarna använts (22, 23).

Dosfaktorerna har sammanställts i tabell 2.43.1.

Vid utsläpp till vattenrecipienten har individdosen beräknats som första årets dos från 1 års exponering. Utspädningen har antagits ske

i 20 km³ vatten. Följande exponeringsvägar har medtagits:

- Förtäring av 30 kg fisk och 6 kg bottenlevande skaldjur (hummer, krabba, musslor etc) per man och år (20).
- Badning i kontaminerat vatten under 20 h och vistelse på kontaminerad strand under 100 h.

Vid vistelse på kontaminerad strand har det aktiva skiktet antagits vara 1 cm tjockt och ha en aktivitetsanrikning motsvarande de i (25) angivna anrikningsfaktorerna för alger. Exponeringen har antagits ske 1 m över marknivå.

Anrikningsfaktorerna för fisk och hummer/krabba har tagits ur (24). Samtliga dosomvandlingsfaktorer har hämtats ur (25).

Vid beräkningen av kollektivdosen har berörd befolkningsgrupp antagits bestå av 30.000 personer (ungefär det antal personer som skulle kunna försörjas med fisk från den primära utspädningsvolymen 20 km³). Vattenomsättningstiden har satts till 40 år, vilket motsvarar ett medelvärde för Östersjön (26).

De resulterande dosfaktorerna redovisas i tabell 2.43.2.

Dos från fast strålkälla intar en särställning bland utsläppstyperna, eftersom dosbelastningen avtar snabbt med avståndet. I denna studie har dosraten på 10 m avstånd från en tänkt punktformig strålkälla beräknats. Denna dosrat kan användas som en grov indikation på hur svårt eller lätt saneringsarbetet efter ett haveri kan vara.

Dosraten från en punktformig strålkälla beräknas ur:

$$\frac{dD}{dt} = \frac{\Gamma \cdot Q}{x^2} \cdot B(x) \cdot e^{-\mu x} \quad (\text{rem/h})$$

Γ = strålningens "gammavärde" (rem·m²/Ci·h)

x = avstånd (m)

$B(x)$ = Build-up faktor

μ = linjär attenueringskoefficient (m⁻¹)

På så korta avstånd som 10 m är Build-up faktorn nära 1 (8). Detta värde har också använts vid beräkningarna. Attenueringskoefficienten har satts till $3.8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$. Gammavärdet har approximerats med halva gammaenergin. Denna approximation visar, i energiintervallet 0.06-3 MeV, god överensstämmelse med verkligheten.

Dosratsfaktorerna redovisas i tabell 2.43.3.

Tabell 2.43.1 Dos per utsläppt Ci vid atmosfärisk spridning.

Nuklid	Utsläpp i skorstensnivå		Utsläpp i marknivå	
	Individdos (rem)	Kollektivdos (manrem)	Individdos (rem)	Kollektivdos (manrem)
C-14		68		68
Kr-85	$4.5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Sr-89	$2.3 \cdot 10^{-4}$	0.59	$9.8 \cdot 10^{-3}$	3.6
Sr-90	$1.1 \cdot 10^{-2}$	41	0.47	250
Y-91	$1.5 \cdot 10^{-4}$	0.38	$6.3 \cdot 10^{-3}$	2.3
Zr-95	$2.6 \cdot 10^{-4}$	1.7	$1.1 \cdot 10^{-2}$	11
Nb-95	$7.6 \cdot 10^{-5}$	1.3	$3.3 \cdot 10^{-3}$	8.1
Ru-103	$6.0 \cdot 10^{-5}$	0.69	$2.6 \cdot 10^{-3}$	4.2
Ru-106	$6.8 \cdot 10^{-4}$	2.0	$2.9 \cdot 10^{-2}$	12
I-129	$1.4 \cdot 10^{-3}$	3.5	$5.9 \cdot 10^{-2}$	21
Cs-134	$7.8 \cdot 10^{-4}$	16	$3.4 \cdot 10^{-2}$	96
Cs-137	$6.3 \cdot 10^{-4}$	37	$2.7 \cdot 10^{-2}$	230
Ce-144	$1.4 \cdot 10^{-3}$	3.8	$6.2 \cdot 10^{-2}$	23
Pm-147	$1.2 \cdot 10^{-4}$	0.32	$5.3 \cdot 10^{-3}$	1.9
U-234	$4.9 \cdot 10^{-2}$	130	2.1	770
U-235	$4.8 \cdot 10^{-2}$	120	2.1	750
U-238	$4.8 \cdot 10^{-2}$	120	2.2	750
Pu-238	2.2	5800	96	$3.5 \cdot 10^4$
Pu-239	2.5	6400	110	$3.9 \cdot 10^4$
Pu-240	2.5	6400	110	$3.9 \cdot 10^4$
Pu-241	$3.9 \cdot 10^{-2}$	100	1.7	610
Am-241	1.7	4400	73	$2.6 \cdot 10^4$
Am-242M	1.6	4200	70	$2.6 \cdot 10^4$
Cm-242	0.23	610	10	3700
Cm-243	1.1	2900	48	$1.7 \cdot 10^4$
Cm-244	0.91	2400	40	$1.7 \cdot 10^4$

Tabell 2.43.2 Dos per utsläppt Ci vid utsläpp till vattenrecipient.

Nuklid	Individuos (rem)	Kollektivdos (manrem)
H-3	$2.82 \cdot 10^{-10}$	$1.08 \cdot 10^{-4}$
C-14	$1.22 \cdot 10^{-9}$	$1.62 \cdot 10^{-3}$
Sr-89	$2.02 \cdot 10^{-8}$	$1.46 \cdot 10^{-4}$
Sr-90	$9.95 \cdot 10^{-8}$	2.34
Y-91	$2.03 \cdot 10^{-7}$	$1.46 \cdot 10^{-3}$
Zr-95	$8.38 \cdot 10^{-8}$	$6.39 \cdot 10^{-4}$
Nb-95	$4.51 \cdot 10^{-7}$	$3.64 \cdot 10^{-3}$
Ru-103	$1.17 \cdot 10^{-7}$	$4.83 \cdot 10^{-3}$
Ru-106	$2.87 \cdot 10^{-7}$	$1.23 \cdot 10^{-2}$
I-129	$6.57 \cdot 10^{-6}$	11.0
Cs-134	$1.65 \cdot 10^{-5}$	1.88
Cs-137	$1.03 \cdot 10^{-5}$	13.1
Ce-144	$1.82 \cdot 10^{-6}$	$6.07 \cdot 10^{-2}$
Pm-147	$1.02 \cdot 10^{-7}$	0.126
U-234	$3.03 \cdot 10^{-6}$	5.42
U-235	$2.92 \cdot 10^{-6}$	5.20
U-238	$2.94 \cdot 10^{-6}$	5.26
Pu-238	$5.80 \cdot 10^{-7}$	0.817
Pu-239	$6.65 \cdot 10^{-8}$	0.875
Pu-240	$6.75 \cdot 10^{-8}$	0.890
Pu-241	$1.48 \cdot 10^{-9}$	$3.14 \cdot 10^{-4}$
Am-241	$1.06 \cdot 10^{-7}$	1.81
Am-242M	$1.19 \cdot 10^{-7}$	1.09
Cm-242	$9.72 \cdot 10^{-8}$	$9.03 \cdot 10^{-3}$
Cm-243	$1.92 \cdot 10^{-7}$	1.24
Cm-244	$1.20 \cdot 10^{-7}$	0.422

Tabell 2.43.3 Dosrater per Ci vid direktbestrålning från fast strålkälla.

Nuklid	Dosrat (rem/h)
Y-91	$1.8 \cdot 10^{-5}$
Zr-95	$3.8 \cdot 10^{-3}$
Nb-95	$3.9 \cdot 10^{-3}$
Ru-103	$2.5 \cdot 10^{-3}$
I-129	$7.8 \cdot 10^{-6}$
Cs-134	$5.8 \cdot 10^{-3}$
Cs-137	$3.1 \cdot 10^{-3}$
Ce-144	$8.0 \cdot 10^{-5}$
U-234	$1.1 \cdot 10^{-6}$
U-235	$5.2 \cdot 10^{-4}$
Pu-238	$1.3 \cdot 10^{-7}$
Pu-239	$1.7 \cdot 10^{-7}$
Am-241	$1.1 \cdot 10^{-4}$
Am-242M	$1.3 \cdot 10^{-6}$
Cm-242	$1.5 \cdot 10^{-7}$
Cm-243	$3.5 \cdot 10^{-4}$
Cm-244	$7.7 \cdot 10^{-8}$

3. Hanteringskedjan.

Kapitlet behandlar omgivningsbelastningen från den del av hanteringen av utbränt kärnbränsle och högaktivt avfall som äger rum inom Sverige. Såväl omgivningsbelastning från normaldrift som från haverier redovisas. De delsteg som ingår i analysen visas i nedanstående figur.

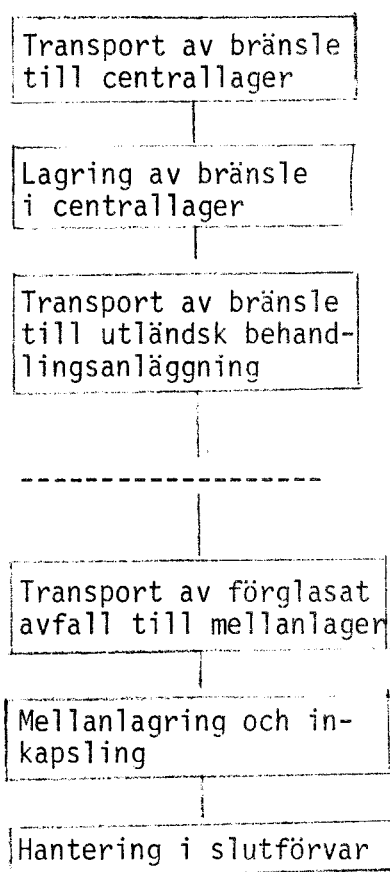


Fig. 3.1 Hanteringskedjan.

För varje delsteg ges:

- En teknisk resumé av hanteringen.
- En kortfattad beskrivning av barriärer och vidtagna säkerhetsåtgärder.
- Omgivningsbelastningen vid normaldrift.
- Omgivningsbelastningen vid haverier.

3.1 Transport av bränsle till centrallager.

Delsteget omfattar:

- Interntransport av bränslebehållaren på trailer till reaktorstationens hamn.
- Lastning av fartyget.
- Sjötransport till centrallagrets hamn.
- Lossning av bränslebehållaren.
- Montage av bränslebehållaren på trailer.
- Interntransport till centrallagret.

3.11 Teknisk resumé.

Behållaren transporteras fastsatt på en trailer till reaktorstationens hamn. Transporten sker med en maximal hastighet av 10 km/h.

Transporten till centrallagret sker med ett specialbyggt fartyg på max 500 bruttoregister-ton. Detta avses transportera sex behållare åt gången. Medelhastigheten är ca 12 knop. Transportbehållarna lastas ombord på båten med hjälp av stationära kranar. För att undvika lastförskjutning är flaskorna fixerade i lastrummet. Fästanordningen ger vika vid kraftiga påkänningar.

Vid centrallagrets hamn lyfts behållarna av båten med stationär kran och placeras på en trailer. Trailertransporten sker på samma sätt som den som sker vid reaktorstationen.

3.12 Barriärer och säkerhetsåtgärder.

Det radioaktiva materialet utgörs av utbrända bränsleelement.

De enda barriärerna (se bilaga 3) mot atmosfärisk spridning är i detta steg primärt UO_2 -matrix, zirkalloykapslingen och transportbehållaren. Vid förlisning tillkommer dessutom havsvattnet. UO_2 -matrix är endast verksam som barriär för den del av ädelgasaktiviteten som finns bunden i matrix, d v s 70 % av krypton-85 och 90 % av övriga ädelgasnuklider.

Mot utsläpp direkt till vattenrecipient tillkommer båtens lastrum utöver de barriärer som finns mot stoftutsläpp.

Vid interntransporter utgör transportbehållaren skydd mot doser från fast strålkälla. Vid båttransporten tillkommer båtens lastrum och vid förlisning havsvattnet.

De använda bränslebehållarna är s k typ-B-behållare. Detta innebär att de är konstruerade, typprovade och godkända för sitt ändamål av IAEA (1). Provingen söker efterlikna en svår olyckshändelse och omfattar:

- Fall från 9 m mot stumt underlag, därefter brand 1/2 tim vid 800°C samt slutligen nedsänkning i vatten till 15 m djup.
- Fall från 1.3 m mot spetsigt föremål.

Därutöver ställs krav på strålskärning, kylning och hantering. Behållaren är uppbyggd i flera lager. Utanför den innersta stålinslutningen finns en blyskärm för absorption av gammastrålar, en neutronskärm och ett brandskyddande skikt. Värmeöverföringen från innehållet till behållarens väggar och från dessa till omgivningen sker genom fri konvektion. Intern hantering av behållaren utföres enligt detaljerade, i förväg uppgjorda checklistor. Externa transporter måste anmälas och godkännas av myndigheter i berörda länder innan transporterna äger rum. Anslutningar och instrument är nedsänkta i toppen och skyddas av en stötdämpande huv mot skador vid brand eller stöt.

Genom val av eller specialtillverkning av fartyg kan säkerheten ytterligare ökas. Det fartyg som studerats för ändamålet får en rad säkerhetsbefrämjande anordningar:

- Förstärkning för gång i is.
- Kolsyresläckare.
- Automatiskt sprinklersystem.
- Moniteringsutrustning för strålning.
- Anordning för lokalisering efter förlisning.
- Låg brandbelastning.
- Redundanta kommunikationssystem.

En utförligare beskrivning av säkerhetsåtgärder vid båttransporten finns redovisad i den förstudie som för PRAVs räkning gjorts av Sahlén-rederiet.

I USA, som har den längsta erfarenheten, har hittills ca 4.000 transporter med bränslebehållare ägt rum, huvudsakligen med tåg och på landsväg. Iakttagelser från såväl inträffade som artificiella olyckor visar att behållarna ofta klarar betydligt större påfrestningar än de ovannämnda konstruktionskriterierna.

3.13 Omgivningsbelastning vid normaldrift.

Under huvuddelen av tiden sker transporterna relativt långt från land.

Vid bränsletransporterna är kontaktdosen på behållarnas utsida omkring 100 mrem/h. Dosen till personer som vistas på land då båten passerar blir helt försumbar. De låga läckhastigheter för typ-B-behållare som föreskrivs av IAEA (1) ger mycket låga doser.

Transportbehållare med tillåten ytdosrat ger under transporten en kollektivdosinteckning på $5 \cdot 10^{-12}$ manrem/MW_e·år, vilket är helt negligerbart.

3.14 Haverianalys.

De åtgärder som vidtagits för att förhindra olyckor och skador vid transporter av bränsle och förglasat avfall är extrema jämfört med de åtgärder som vidtagits för transporter av andra farliga material.

Transportbehållarnas integritet vid svåra olyckor är betydande. En haverianalys kommer därför att begränsas till händelser som ger stora påkänningar på behållarna. Sådana händelser är extrema olyckor och sannolikheten för dem är mycket låg. Även vid dessa extrema olyckor är det troligt att behållaren i de flesta beskrivna haverifallen

förblir intakt. Detta är emellertid inte bevisat. Därför har det antagits att en behållare kan gå sönder om den tappas vid lastning eller lossning och faller mot något spetsigt föremål. Likaså har det antagits att en kollision till sjöss kan leda till att stäven på ett rammande fartyg tränger in och skadar en eller två av behållarna. En långvarig brand, längre än de 30 minuter som IAEA föreskriver att behållarna skall tåla, är ytterligare en möjlighet till aktivitetsutsläpp. Haverier av denna typ har analyserats för att ge underlag för en bedömning av säkerheten för allmänheten samt möjligheter till riskminskande åtgärder.

Följande haverityper har behandlats:

- Transportbehållaren tappas.
- Långvarig brand ombord.
- Kollision utan brand ombord.
- Kollision med brand ombord.
- Grundstötning och förlisning.

Samtliga haverier finns sammanställda i bilaga 3.

1. Transportbehållaren tappas.

De aktuella lyften sker då behållaren lastas ombord på båten. Lyftet vid kajen är dock ej högre än de nio meter behållaren är konstruerad att tåla. Tappas behållaren från maximal lyfthöjd ned i båtens lastrum kan fallet bli högre än nio meter. Detta fall sker dock inte mot stunt underlag och konsekvensen blir maximalt att behållaren går genom botten på båten och sjunker. Behållaren förblir intakt. Vattendjupet i hamnarna är måttligt och behållaren kan bärgas omgående.

Slutsatsen blir att en tappad transportbehållare vid denna hantering ej leder till någon frigörelse av aktivitet.

2. Långvarig brand ombord.

Denna haverityp indelas i två fall:

- a) Den långvariga branden leder ej till att båten sjunker.
- b) Den långvariga branden leder till att båten sjunker.

Det är mycket troligt att branden ej blir så långvarig att behållarna skadas. Enligt (6) är det med dagens teknik inga svårigheter att ur-rusta båten med ett så effektivt brandskydd att långvariga bränder blir osannolika vid denna typ av last.

Med hjälp av tillgänglig statistik har sannolikheten beräknats enligt följande:

- Total haverisannolikhet för båt 10^{-6} km^{-1} (7, 8).
- Brandfrekvens (av alla totalförluster) 26 % (9).

Av olika brandlokaler ombord på båtar har endast brand i bränsletanken bedömts kunna leda till så långvarig brand att behållarens integritet kan brytas. Av alla bränder utbryter ca 1 % i bränsletankarna (9). Detta ger sannolikheten $3 \cdot 10^{-9} \text{ km}^{-1}$.

Ovanstående referens anger vidare att 90 % av alla långvariga bränder leder till att båten sjunker.

Följande konservativa antaganden har gjorts:

- 10%-iga kapslingsskador erhålles.
- Behållaren skadas så att 100 % av de gasformiga nukliderna och 1 % av de övriga nukliderna som finns i spalten på de skadade elementen kommer ut.
- I det fall då båten sjunker sker dessutom utlakning från kutsarna i de element som skadats. Denna utlakningshastighet har satts till 10^{-4} g/cm^2 , dygn. Utlakningen sker under 30 dygn.

De med dessa antaganden erhållna frigörelsemängderna redovisas i bilaga 2. Dosbelastningen ges i sammanställningen, bilaga 3.

3. Kollision utan brand ombord.

Placeringen av transportbehållarna i båten är sådan att en kollision i värsta fall kan skada två av dem.

Sannolikheten för händelsen har beräknats med hjälp av följande information: Total olyckssannolikhet för båt 10^{-6} km^{-1} enligt föregående haveri. Liverpool Underwriters (9) anger att 10 % av alla totalförluster är kollisioner. Sannolikheten att de två transportbehållarna skadas av kollisionen är svår att uppskatta. Den har dock ansatts till 10^{-1} . Med stöd av Sahlén-rederiernas utredning (4) kan denna ansats betraktas som ett relativt pessimistiskt värde.

Detta ger den totala sannolikheten 10^{-8} km^{-1} för en kollision som leder till att två behållare skadas.

Liverpool Underwriters anger vidare att 50 % av kollisionerna leder till att båten sjunker.

För skadorna på de två behållarna och på inventariet i dessa har ansatts:

- 10%-ig kapslingsskada.
- Behållaren skadas så att 100 % av de gasformiga och 1 % av de övriga i spalten tillgängliga nukliderna i de skadade elementen frigörs.
- I det fall då båten sjunker p g a skador från kollisionen sker utlakning från kutsarna i de element som skadats. Utlakningshastigheten har satts till 10^{-4} g/cm^2 , dygn. Bärning av behållarna antages ske efter 30 dygn.

Frigörelsemängderna anges i bilaga 2. Dosbidrag och haverisammansättning redovisas i bilaga 3.

En minsprängning av båten skulle ge ungefär tre gånger så stor konsekvens p g a att hela inventariet då drabbas. Sannolikheten för ett sådant haveri är mycket svår att uppskatta men torde ligga åtskilliga tiopotenser under den som angivits för kollisionen. Kontakter med marinstaben be-lägger detta ytterligare.

4. Kollision med brand ombord.

Detta haveri avser att visa den förändring av frigörelsemängderna som äger rum från de vid kollisionen skadade två behållarna om dessa dessutom blir upphettade genom en brand. Denna brand har ej ansetts vara så långvarig att de behållare som förblivit intakta vid kollisionen påverkas så att aktivitetsfrigörelse från dessa äger rum.

Total olyckssannolikhet 10^{-6} km^{-1} varav 10 % är kollisioner och 10 % av dessa leder till att två behållare kan skadas (allt enligt föregående haveri).

Brandfrekvensen 30 % enligt Liverpool Underwriters (9). 10 % av bränderna har antagits ha en sådan lokalisering och varaktighet att de leder till någon uppvärmning av innehållet i behållarna.

Detta ger en total sannolikhet för haveriet på $3 \cdot 10^{-10} \text{ km}^{-1}$. Liverpool Underwriters (9) anger att sannolikheten att båten sjunker vid en kollision där brand uppkommer är högre än i det fall ingen brand uppstår. Båten antages sjunka i 90 % av fallen.

Kollisionen antages leda till samma skador som i föregående haveri. Till detta kommer en ökad frigörelse genom upphettning av nukliderna i spalten hos de element som skadats vid kollisionen. Detta ger följande antaganden:

- 10%-iga kapslingsskador.
- Behållaren skadas och inventariet upphettas så att 100 % av de gasformiga och 10 % av de övriga i spalten tillgängliga nukliderna frigörs från de skadade elementen.
- Då behållaren sjunker sker en utlakning från kutsarna i de skadade elementen. Utlakningshastighet 10^{-4} g/cm^2 , dygn. Utlakningen sker under 30 dygn.

Frigörelsemängder redovisas i bilaga 2 och dosbidrag och haverisammansättning i bilaga 3.

5. Grundstötning och förlisning.

Sannolikheten för att någon behållare skadas vid denna typ av haveri måste anses som mycket låg. En ansats är dock att en behållare skadas i 1 % av fallen. Den totala haverisannolikheten för båt är enligt ovan 10^{-6} km^{-1} . Liverpool Underwriters (9) anger att 20 % av båtollyckorna är grundstötning eller förlisning.

Sannolikheten för skada på en behållare genom denna typ av haveri blir då totalt $2 \cdot 10^{-9} \text{ km}^{-1}$. Båten sjunker i 30 % av fallen. Även med de mest pessimistiska antaganden kan denna händelse ej anses leda till någon större påverkan på den inblandade behållaren och dess inventarium.

Följande skador har ansatts:

- Kapslingen skadas ej.
- Behållaren skadas så att 100 % av de gasformiga och 1 % av de övriga i spalten tillgängliga nukliderna frigörs. Observera att man i normalfallet har en kapslingsskadefrekvens på 0.1 % och det är alltså från dessa skadade element frigörelsen äger rum.
- I fallet att behållaren sjunker sker utlakning från elementen med kapslingsskador. Utlakningshastighet 10^{-4} g/cm^2 , dygn. Utlakningstid 30 dygn.

Frigörelsemängder och dosbidrag redovisas i bilagorna 2 respektive 3.

3.2 Lagring av bränsle i centrallager.

3.2.1 Teknisk resumé.

Centrallagret blir förlagt i bergrum med ca 30 m bergtäckning. Det består av en mottagningsdel, en förvaringsdel samt hjälpsystem. Ned- och upptransporten av bränsle sker via vägtunnlar. Försörjningen med vatten, el, ventilation, tryckluft m m sker genom vertikala schakt.

Från centrallagrets hamn transporteras behållaren med specialfordon till mottagningsdelen. Efter lossning från transporttrailern placeras

behållaren i någon av fyra avskärmade uppställningsplatser. Stötdämparen demonteras och behållaren reses. Efter provtagning av behållarens vatten anslutes den till ett kyl- och reningssystem, temperaturen sänkes och aktiviteten i vattnet adsorberas i jonbytare och filter. Behållaren anslutes sedan till mottagningsbassängen. Bränslet lyfts ur behållaren och placeras i kassetter som rymmer 25 BWR- eller 9 PWR-element. Den fyllda kassetter flyttas från mottagningsdelen via vattenfyllda transportrännor till någon av de sex förvaringsbassängerna.

Hjälpssystemen omfattar kyl- och reningssystem för behållare och för mottagnings- och lagringsbassänger. Därtill kommer system för dekontaminering samt för omhändertagande av spillvatten och filtermassor. Viktigast av dessa är huvudkylsystemen, som vardera består av två oberoende och var för sig tillräckliga kretsar med värmeväxlare och filter/jonbytare.

En mer ingående beskrivning finns redovisad i PRAVs studie av centrala lager för använt kärnbränsle (10).

3.22 Barriärer och säkerhetsåtgärder.

Anläggningen är konstruerad med särskild inriktning på att:

- Minimera dosbelastningen på personalen.
- Förhindra frigörelse av radioaktiva ämnen som skulle kunna spridas till omgivningen.

Huvuddelen av anläggningen är förlagd i berg ca 30 m under marknivå. Detta innebär en minskad risk för påverkan av meteorologiska störningar, missiler och krigshandlingar.

De 70 - 110 ton tunga behållarna transporteras från hamnen ned i mottagningsdelen på semitrailer dragen av ett tungt fordon. Hastigheten är begränsad till 10 km/h. Lutningen i tunneln är 1:10 och långa raksträckor har undvikits.

Två parallella mottagningsstationer med separata hjälpsystem för kylning av behållaren, rening av dess vatten, aktivitetskontroll m m finns.

Förflyttningar av behållaren inom mottagningsdelen sker med travers tätt över ett förstärkt stråk av golvet. Anläggningen är konstruerad så att inga lyft högre än 9 m förekommer.

Förvaringsbassängerna är utformade som fristående, tjockväggiga betongenheter invändigt klädda med rostfri plåt. En reservbassäng står till förfogande om någon av de ordinarie bassängerna behöver tömmas för underhåll eller reparation. Möjligheterna att på ett tidigt stadium upptäcka och omhändertaga läckage är väl tillgodosedda. Betongkonstruktionens ytterväggar är tillgängliga för inspektion och spillvatten kan ledas bort via uppsamlingskanaler bakom den rostfria plåtens svetsfogar eller samlas upp på golvet. Bassängerna saknar anslutningar på låg nivå. Därigenom förhindras oavsiktlig dränering och därmed otillräcklig vattentäckning av bränslet. Kylningen sker med två separata kylsystem som vardera har kapacitet att hålla bassängtemperaturerna under 40°C. Kylsystemen består vardera av ett primärt system med reningskrets anslutet till ett sekundärt system placerat i markplanet. Kylningen av de sekundära systemen sker med havsvatten. Två kylvattenintag användes. Elförsörjningen är säkrad av två separata dieseldrivna enheter. Om båda kylsystemen skulle falla bort sker en långsam temperaturstegring. Vattentäckning av bränslet kan upprätthållas genom spädmatning.

Ventilationssystemen säkerställer tillfredsställande lufttemperatur och fuktighet. Ett system med HEPA-filter betjänar behållarventilation och aktiva utrymmen. Detta system kan dessutom anslutas till bassängventilationen.

Långtgående åtgärder har vidtagits för att reducera brandrisken samt att minska konsekvenserna av en eventuell brand.

Bränslegeometrin i bassängerna är kriticitetsberäknad så att K_{eff} är < 0.95 även för oanvänt bränsle. Sannolikheten för ett kriticitets-

missöde är mycket låg. Det är osannolikt att färskt eller nästan färskt bränsle i större utsträckning lagras i bassängen eller att bränslet genom någon händelse skulle omfördelas till en geometri med högre reaktivitet än vid normal lagring.

P g a bergrummens konstruktion, begränsade spännvidder och noggrann förstärkning i väggar och tak med bl a sprutbetong, blir sannolikheten för ras mycket låg. Förfrågningar har visat att inga bergas har ägt rum i utrymmen konstruerade på motsvarande sätt.

Den radiologiska säkerheten för personalen är beaktad genom ett flertal åtgärder:

- Erforderliga strålskärmar såsom betongväggar och vatten.
- Mindre, separerade enheter för att undvika spridning av aktivitet i anläggningen.
- Avståndsmanövrering av aktiva komponenter och system.
- Konventionell doskontroll på personal.

Barriärerna (bilaga 5) mot atmosfärisk spridning utgörs av UO_2 -matrix och kapsling samt antingen transportbehållare eller bassängvatten. Därifrån kan aktivitet komma ut antingen via något av ventilationsystemen eller genom byggnadskonstruktionen i bergrummet och därefter schakt eller transporttunnlar.

Utsläpp till vattenrecipient förhindras av UO_2 -matrix, kapsling, ev. behållare samt bassängvägg. Vid läckage från bassängen kan aktivitet nå vattenrecipienten om vattnet tränger igenom byggnadskonstruktionen ut i dränagesystemet. Alternativt måste det passera ut från primärkylsystemet till mellankylkretsen och därifrån till den yttre kylkretsen.

Barriärerna mot dos från fast strålkälla är behållare eller bassängvatten samt byggnadskonstruktioner och berg.

3.23 Omgivningsbelastning vid normaldrift.

Många års erfarenheter finns från lagring av utbränt bränsle på reaktorstationerna. Ett visst mindre läckage förekommer till bassängvattnet. Detta läckage uppkommer genom att bränslet normalt har en viss kapslingsskadefrekvens. Läckaget tas omhand av reningssystemet för bassängvattnet. Kr-85 däremot binds ej i vattnet utan kan frigöras till ventilationsluften och kommer därmed ut till atmosfären. Från den typ av anläggning mottagningsdelen i centrallagret representerar finns däremot endast begränsad erfarenhet. Följande antaganden har gjorts:

- Kapslingsskadefrekvens 0.2 %.
- Bränsle motsvarande 300 ton uran anländer per år.
- För utsläpp till atmosfären:

Spaltaktivitet: Kr-85	30 %
H-3	1 %
I-129	30 %
- Vattnets dekontaminationsfaktor:

Kr-85	0
H-3	→ ∞
I-129	100
- För utsläpp till vattenrecipient: enligt Barnwell-rapporten (11).
- Bränslet är ett år gammalt.

Med dessa antaganden erhålles följande normaldriftutsläpp:

Nuklid	Utsläpp (Ci/år)	Max ind.dos (rem/år)	Kollektivdos- inteckning (manrem/MW _e ·år)
H-3 (vatten)	4	-	$2 \cdot 10^{-6}$
Kr-85 (luft)	1890	$6 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-4}$
I-129 (luft/vatten)	$2 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-10}$	$6 \cdot 10^{-6}$
Övriga $\beta + \gamma$ (Cs-137) (vatten)	0.01	$8 \cdot 10^{-10}$	$7 \cdot 10^{-6}$
Övriga α (Pu-239) (vatten)	10^{-7}	10^{-14}	$6 \cdot 10^{-11}$
Summa		$9 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-4}$

3.24 Haverianalys.

Anläggningen skall vara så konstruerad att allvarliga haverier ej kan äga rum. Normer (12, 13) föreskriver att följande fall särskilt skall beaktas:

<u>Haverifall.</u>	<u>Säkerhetsåtgärder.</u>
Kriticitet.	Säker geometri.
Friläggning av bränslet genom förlust av täckande vatten.	Läckageövervakning, spädmattning, högt sittande anslutningar m m.
Fall av tunga föremål på bränslet.	Inga lyft eller transporter sker över bassängerna.
Omfattande krossning av bränsleelement genom missiler.	Bergförläggning.
Fullständigt kylningsbortfall.	Redundanta komponenter och spädmattning.

Som framgår av denna redogörelse och detaljrapporter om centrallagret har man gått mycket långt för att uppnå en konstruktion som är säker. De haverier som trots detta kan tänkas inträffa inskränker sig i stort sett till missöden med måttlig frigörelse av aktivitet eller till haverier med mycket låg sannolikhet. Till den förre gruppen hör att bränsle skadas i olika delar av anläggningen. Kylförluster, kriticitet samt friläggning av bränsle i bassängerna har inte ansetts kunna ske alternativt kan åtgärdas på ett så tidigt stadium att något utsläpp till tredje man ej äger rum. Konstruktionen har utformats så att sannolikheten för större haverier bringats ned till extremt låga värden i överensstämmelse med praxis inom kärnkrafttekniken.

Följande tänkbara haverier har analyserats:

- Transportbehållare tappas vid lyft.
- Bränsleelement eller andra föremål tappas i bassängerna.
- Bränsleelement tappas vid ur- eller iladdning av transportbehållare.

Samtliga fall finns sammanställda i analystablåen (bilaga 5).

1. Transportbehållare tappas vid lyft.

Anläggningen är konstruerad så att inga lyft av behållaren överstigande 9 m förekommer. Om behållaren tappas leder detta alltså ej till någon spridning av den i behållaren inneslutna aktiviteten. Däremot kan golvet skadas eller genombrytas, varvid skador kan uppkomma på underliggande aktiva system. Detta leder ej till någon spridning av aktivitet till omgivningen men kan innebära en dosbelastning vid sanering.

2. Tappad bränslekasett.

Haveriet avser illustrera konsekvensen av att en bränslekasett tappas då den hanteras vid bassängen. Den antas härvid falla så att två i bassängen stående kassetter plus den själv skadas. Tre skadade kassetter är för detta missöde ett mycket konservativt antagande. Händelsen kan mycket väl äga rum utan att någon kasett skadas. Andra föremål som hanteras vid bassängen har inkluderats i detta haveri, då konsekvensen av att tappa sådana föremål blir betydligt mindre. Inga tunga lyft (förutom av kassetter) sker vid bassängerna.

Bränsle motsvarande 300 ton uran anländer varje år. Detta motsvarar 68 kassetter, varav 48 innehåller BWR-bränsle och 20 PWR-bränsle. Detta innebär att 68 lyft görs vid ankomsten till centrallagret, alltså med ett år gammalt bränsle, och i fortfarighet lika många vid uttransport d v s med 11 år gammalt bränsle.

Sannolikheten för lyftmissöde har satts till $5 \cdot 10^{-6}$ lyft⁻¹ (28).

Sannolikheten för att missödet sker med 1 år gammalt bränsle blir:

$$\text{för BWR } 48 \times 5 \cdot 10^{-6} = 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ år}^{-1}$$

$$\text{för PWR } 20 \times 5 \cdot 10^{-6} = 10^{-4} \text{ år}^{-1}$$

Sannolikheten för att händelsen sker med 1 år gammalt bränsle blir

p s s:

$$\text{för BWR } 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ år}^{-1}$$

$$\text{för PWR } 10^{-4} \text{ år}^{-1}$$

Missödet antages leda till 10%-iga kapslings-skador på de tre drabbade kassetterna. Av den frigjorda spaltaktiviteten stannar det mesta i bassängvattnet och tas omhand av bassängernas reningssystem. 100 % av frigjorda ädelgaser och 1 % av jod och kol-14 penetrerar dock bassängvattnet. Den frigjorda mängden aktivitet finns redovisad i bilaga 4.

3. Tappat bränsleelement.

Hantering av bränsleelement sker i mottagningsdelen då transportbehållarna töms, vid ankomsten till centrallagret, alternativt laddas före borttransport. Hantering av element sker alltså dels med ett år gammalt och dels med 11 år gammalt bränsle. Totalt ankommer 1.380 bränsleelement per år och i ett fortfarighetstillstånd lämnar lika många element centrallagret. Av dessa är 1.200 BWR-element och 180 PWR-element.

Sannolikheten för lyftmissöde är enligt föregående haveri $5 \cdot 10^{-6} \text{ lyft}^{-1}$. Den totala sannolikheten för missöde med ett år gammalt bränsle blir då:

$$\text{för BWR } 5 \cdot 10^{-6} \text{ lyft}^{-1} \times 1.200 \text{ lyft} \cdot \text{år}^{-1} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ år}^{-1}$$

$$\text{för PWR } 5 \cdot 10^{-6} \text{ lyft}^{-1} \times 180 \text{ lyft} \cdot \text{år}^{-1} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ år}^{-1}$$

Sannolikheterna för missöde med 11 år gammalt bränsle blir desamma.

Vid ett eventuellt missöde antages elementet få 10%-iga kapslings-skador d v s 10 % av den i spalten mellan kutsar och kapsling inneslutna aktiviteten kan frigöras. Av den frigjorda aktiviteten tas den övervägande delen upp i bassängvattnet och tas omhand av bassängvattnets reningskrets. Den del som ej tas upp i bassängvattnet utgörs av 1 %

av I-129 och C-14 samt 100 % av ädelgaserna. Ädelgaserna passerar direkt ut med ventilationsluften medan den största delen av jod och kol tas upp i ventilationsfiltren. Den frigjorda mängden aktivitet redovisas i bilaga 4.

3.3 Transport av bränsle från centrallager.

Delsteget omfattar:

- Interntransport av transportbehållare monterad på trailer från centrallagret till hamnen.
- Lastning av behållarna ombord på fartyget.
- Sjötransport till svensk gräns.

3.31 Teknisk resumé.

Transporten är identisk med de som sker från reaktorstationerna till centrallagret. Bränslet är dock tio år äldre och har alltså hunnit avklinga en längre tid. Transportsträckan är vid denna transport ungefär dubbelt så lång.

3.32 Barriärer och säkerhetsåtgärder.

Sammanställning av barriärerna finns redovisad i bilaga 7. I övrigt hänvisas till kapitel 3.12, vilket beskriver säkerhetsåtgärder i samband med transport från reaktorstationen. Dessa säkerhetsåtgärder är exakt desamma för båda transporterna.

3.33 Omgivningsbelastning vid normaldrift.

Omgivningsbelastningen finns redovisad i kapitel 3.13.

3.34 Haverianalys.

För denna transport har samma haverier analyserats som vid den i kapitel 3.13 beskrivna.

På grund av att bränslet i detta steg har en högre ålder blir frigörelsemängderna och därmed dosbidraget något annorlunda. Dessa redovisas i bilaga 6 respektive 7. Skillnaden i riskbörda blir däremot ej av motsvarande storleksordning. Detta beror på att transportsträckan i detta steg är ca 2 gånger längre och därmed blir haverisannolikheten motsvarande högre.

3.4 Upparbetning och förglasning av högaktivt avfall.

Både uppabetnings- och förglasningsprocessen sker i tekniskt avancerade anläggningar. Alla delprocesser sker fjärrmanövrerat i slutna betongceller. Processutrustningen ventileras och den utgående ventilationsluften renas genom tvättning och filtrering innan den släpps ut genom en hög skorsten. Kontaminering av personalutrymmen och andra inaktiva områden undviks genom att ventilationsluften leds från inaktiva till potentiellt aktiva anläggningsdelar. Genom att lufttrycket i anläggningsdelarna hålls lägre i utrymmen med aktivitet förhindras "baksug" av ventilationsluft.

Målsättningen med uppabetning är att tillvarata de klyvbara ämnen som finns kvar (uran och plutonium) i det utbrända bränslet. Som biprodukter erhålles avfall av varierande typ och aktivitet.

Upparbetningsprocessen kan indelas i fem delar:

- Kapning och upplösning av det utbrända bränslet samt konditionering av bränslelösningen.
- Avskiljning av de värdefulla beståndsdelarna (uran och plutonium) genom extraktion.
- Uppkoncentrering av det högaktiva avfallet (fissionsprodukterna).
- Finrening av uranströmmen.
- Finrening av plutoniumströmmen.

Bränslet kapas och löses upp i kokande koncentrerad salpetersyra. Zirkalloykapslingen förblir ouplöst och tas ut i en speciell avfallsström. En stor del av bränslets innehåll av gasformiga fissionsprodukter

(tritium, ädelgaser, jod och kol-14) avgår. I befintliga anläggningar har ädelgaserna släppts ut via skorstenen medan de övriga gaserna har samlats upp. I framtida anläggningar kan även ädelgaserna komma att avskiljas om detta bedöms vara nödvändigt. Teknik för detta ändamål finns demonstrerad i halvstor skala.

Den lösning som erhålles centrifugeras samt pH- och koncentrationsjusteras. Centrifugeringen har blivit mycket väsentlig i samband med LWR-bränsle och vid bränsle med hög utbränning, eftersom upplösningen har visat sig ge fasta rester av framför allt ruthenium- och zirkoniumföreningar, som inte bör följa med lösningen in i extraktionskretsen. Avsaknaden av centrifug i äldre anläggningar är en anledning till att så många av dessa har tagits ur drift för om- och utbyggnad. Nämnas kan att en olycka i Windscale-anläggningen 1972 troligen orsakades av att fast ruthenium hade avsatt sig i en pump och p g a strålningsvärmets antände ett organiskt lösningsmedel när anläggningen togs i drift efter en underhållsperiod.

Efter upplösningsteget delas bränslelösningen upp i tre strömmar (uran, plutonium och fissionsprodukter) m h a ett antal extraktionskolonner. Uran- och plutoniumströmmarna leds vidare för att efter uppkoncentrering renas ytterligare genom extraktion. Den tredje strömmen, fissionsprodukterna, utgör det högaktiva avfallet (HLW).

HLW-strömmen indunstas så att volymen minskas med en faktor 8 - 10 till $0.5 - 1 \text{ m}^3$ lösning per ton processat uran ($15 - 30 \text{ m}^3$ per $1.000 \text{ MW}_e \cdot \text{år}$). Värmeutvecklingen och risken för saltutfällningar i avfallet är begränsande för hur långt indunstningen kan drivas.

Efter indunstningen lagras den högaktiva avfallslösningen i rostfria tankar i väntan på förglasning. Tankarna är försedda med kylning och omrörning, varigenom självkokning och lokal överhettning undviks. Erfarenheterna från lagring i rostfria tankar är mycket goda och inga läckage har hittills detekterats. De avfallstankar som har läckt i USA har varit av äldre konstruktion och tillverkade av kolstål. Dessa är således inte jämförbara med tankar av yngre datum.

I förglasningsprocessen indunstas avfallslösningen till torrhet och upphetas i luft, kalcineras, så att huvuddelen av avfallet överförs till oxidform. Kalcinatet blandas med glasbildare och smälts till en glassmälta. Glassmältan tappas upp i en stålcylander och får svalna. Ett lock svetsas fast på cylindern. Stålcylandern skyddar glaskroppen mot yttre åverkan under de följande lagrings- och transportstegen.

Cylindern har följande dimensioner:

Diameter	400 mm
Längd	1.500 mm
Volym	150 liter
Kapslingstjocklek	3 mm

3.5 Transport av förglasat avfall till mellanlager.

Delsteget omfattar:

- Sjötransport av förglasat avfall från svensk gräns till svenskt mellanlager.
- Lossning av transportbehållare från båten.
- Transport på trailer, eventuellt externt, till mellanlagret.

3.5.1 Teknisk resumé.

Det förglasade avfallet levereras i form av cylindrar, $\emptyset = 400$ mm och $L = 1.500$ mm. Glaskropparna är vid leveransen försedda med en kapsel av krom-nickel-stål. Denna kapsel har vid tillverkningen tjänstgjort som "gjutform" och dess primära uppgift är alltså inte att utgöra någon barriär mot spridning.

Glaskropparna transporteras i behållare som rymmer 15 glaskroppar. Behållarna är luftkylda och av typ NTL-12, försedda med ett extra neutronskydd. Båten antages vara densamma som den som beskrivits i kapitel 3.11.

3.52 Barriärer och säkerhetsåtgärder.

Barriärerna visas i bilaga 9. Säkerhetsåtgärderna kring denna transport är desamma som redovisats för transporten från reaktorstationen till centrallagret.

3.53 Omgivningsbelastning vid normaldrift.

För normalt förlöpande transporter gäller här liksom för de två tidigare beskrivna att dosbidraget kan betraktas som försumbart (se kapitel 3.13).

3.54 Haverianalys.

Haverianalysen för detta steg har gjorts på samma sätt som för de föregående transportstegen. I detta steg tillkommer dock en extern trailertransport.

De haverityper som behandlats är alltså:

- Behållare tappas vid lyft.
- Långvarig brand ombord.
- Kollision utan brand ombord.
- Kollision med brand ombord.
- Grundstötning och förlisning.
- Trailer kolliderar.
- Trailer kolliderar och brinner.

Sannolikheterna för de fem första haverityperna har utretts i kapitel 3.13 och kommer därför ej att behandlas här. Däremot skiljer sig skadorna på inventariet i behållarna och dessa redovisas nedan.

1. Behållare tappas vid lyft.

Denna händelse är helt i överensstämmelse med motsvarande händelse i kapitel 3.14 och leder ej till någon frigörelse av aktivitet.

2. Långvarig brand ombord.

Vid glastransport leder detta haveri till följande skador:

- På grund av värmen frigörs lättflyktiga nuklider enligt vad som redovisas i bilaga 1 punkt 16.
- Krom-nickel-stålkapslingen är vald för att klara de höga temperaturer som förekommer vid glastillverkningen och bör ej påverkas av branden. Däremot har antagits en normal kapslingskadefrekvens på 0.01 % på kapslingen.
- Transportbehållaren skadas så att 10 % av den ur kapslingen utsläppta aktiviteten sprides.
- Om behållaren sjunker sker utlakning från den andel kapslar som har skador. Utlakningsfraktionen har antagits till 10^{-2} % för fissionsprodukterna och 10^{-3} % för aktiniderna.

Den från haveriet frigjorda aktiviteten redovisas i bilaga 8.

3. Kollision utan brand ombord.

Detta haveri har antagits medföra skador på två av behållarna. Glas-kroppen antages ej bli påverkad av kollisionen på sådant sätt att något utsläpp till atmosfären kan äga rum. Kollisionen har dock medfört skador på dels transportbehållaren och dels gett krom-nickel-stålkapslingen 1%-iga kapslingskadador. Detta leder till utlakning av aktivitet (av samma storlek som redovisats i föregående haveri) i det fall båten sjunker.

Frigjord aktivitetsmängd och dosbidrag återfinns i bilagorna 8 respektive 9.

4. Kollision med brand ombord.

Kollisionen har förorsakat skador på två av de transporterade behållarna och deras innehåll i enlighet med vad som sagts vid föregående haveri. Branden gör dessutom att lättflyktiga nuklider frigörs från glaset. De frigörelsefraktioner som använts vid bränder är beskrivna i bilaga 1 punkt 16.

Om behållarna sjunker sker utlakning till vattnet i samma grad som redovisats i tidigare haverier.

5. Grundstötning och förlisning.

Detta haveri har antagits ge skador på endast en av behållarna ombord på båten. Haveriet påverkar vare sig krom-nickel-stålkapslingen eller glasmatrix, varför något utsläpp till atmosfären ej blir möjligt. Vid vattenkontakt sker utlakning till den del som motsvarar de 0.01%-iga kapslingsskador som antagits vara normalt på stålkapslingen. Utlakningshastigheten är densamma som vid tidigare haverier.

6. Trailer kolliderar.

En kollision vid en transport av denna typ leder ej till något aktivitetsfrigörelse. Dels är hastigheten begränsad så att några skador på transportbehållaren ej bör uppkomma och dels är det aktiva materialet så hårt bundet vid glaset att frigörelse ej kan äga rum vid denna typ av haveri.

7. Trailer kolliderar och brinner.

Sannolikheten för denna händelse har ansatts till $6 \cdot 10^{-10} \text{ km}^{-1}$ (7, 8). Denna sannolikhet gäller normala transporter. Då denna transport troligtvis blir bevakad kommer sannolikheten antagligen att bli betydligt lägre.

Följande skador har antagits uppkomma:

- På grund av värmen sker frigörelse av lättflyktiga nuklider från glaset (se bilaga 1 punkt 16).
- Krom-nickel-stålkapslingen påverkas ej av haveriet och befinner sig alltså i normaltillstånd (0.01%-iga kapslingsskador).
- Transportbehållaren skadas så att 10 % av tillgängliga nuklider kommer ut.

Frigörelsemängderna redovisas i bilaga 8.

3.6 Mellanlagring och inkapsling av förglasat avfall.

3.6.1 Teknisk resumé.

Mellanlagret är förlagt i ett berggrum, 30 - 50 m under marknivå och direkt ovanför det slutliga bergförvaret.

Transportbehållaren med avfallscylindrarna köres ned till mottagningsdelen på trailer via en tunnel med lutningen 1:10. I mottagningsdelen finns en serie betongceller, i vilka avfallscylindrarna med högaktivt avfall kan hanteras strålskärmat. Transportbehållaren lyftes från sin trailer, reses och överföres med travers till den första av cellerna.

Tömningen av behållaren sker fjärrmanövrerat. Avfallscylindrarna lyftes upp till lagringsdelens laddningsplan, där de placeras i en strålskärmad huv. Denna kan sedan med travers förflyttas till någon av lagringspositionerna.

Lagringsdelen består av fyra betongceller, vardera innehållande 150 vertikala stålrör. Varje stålrör rymmer 10 avfallscylindrar. Rören vylles och tömms från ett överliggande plan. Golvet i det överliggande planet består av tjock betong, som är försedd med hål för varje rörposition. Dessa hål är igenstängda med betongproppar.

Fyllning av positionerna sker genom att betongproppen ersättes med en flyttbar slidventil. Huvn med avfallscylindern placeras på ventilen, denna öppnas och avfallscylindern sänkes ned i röret.

Kylningen av avfallscylindrarna sker med luft och upprätthålles med redundanta fläktar för varje enhet (en enhet består av två lagringsceller) i lagringsdelen. Luften passerar nedifrån och upp genom spalterna mellan stålrören och avfallscylindrarna. Den suges ut under betonggolvet.

Efter 30 års lagring lyftes avfallscylindrarna upp ur sina lagringspositioner och överföres m h a transporthuven till en cell för in-

kapsling. Inkapslingsdelen omfattar en rad stationer i en strålskärmd cell. En blymantel med titankapsling sättes över glaset och bly insmältes i spalten mellan manteln och glasets stålkapsling. Det hela tillslutes först med ett blylock och sedan med ett tätsvetsat titanlock. Inkapslingen utföres i sin helhet genom fjärrmanövrering. Den kapslade avfallscylindern lyftes in i en transporthuv som på vagn förflyttas till bergförvarets hisschakt.

Mellanlagret beskrivs utförligt i KBS tekniska rapport (14).

3.62 Barriärer och säkerhetsåtgärder.

Barriärschema finns sammanställda i bilaga 10.

Anläggningen är konstruerad på basis av de erfarenheter som finns från Marcoule-anläggningen i Frankrike. Motsvarande konstruktionskriterier som för centrallagret har använts. Detta innebär att säkerhetskraven i stor utsträckning varit styrande vid utformning och konstruktion.

Bergrumsförläggning av mellanlagret innebär bästa möjliga skydd mot missiler, krigshandlingar m m.

Glaskroppens stålkapsling är omsorgsfullt befriad från ytaktivitet men måste omges av en strålskärm för att kunna hanteras. Halten av aktivt avfall i glaset har begränsats till 9 % (aktinider + fissionsprodukter). Det utbrända bränslet har lagrats ca 11 år före upparbetning och förglasning. Därigenom har värmeutvecklingen avtagit till ca 1 KW/cylinder när det anländer till mellanlagret. Avfallscylindrarna anländer skyddade av transportbehållaren. Efterföljande operationer sker i s k "hot cells", slutna rum med tjocka strålskärmande väggar, konstant undertryck och instrumentövervakning. Arbetet utföres med utifrån manövrerade griparmar. I cellerna tömmer transportbehållaren och cylindrarnas renhet kontrolleras. Hittills har erfarenheterna

från Marcoule varit mycket goda. Ingen spridning av aktivitet har förekommit tack vare att cylindrarna varit täta och rena och ej skadats vid hanteringen.

Vid förflyttning av avfallscylindrarna användes transporthuvar som ger tillräcklig strålskärning. Hanteringen sker med traverser tätt över golven.

Viktigast ur säkerhetssynpunkt är att upprätthålla kylning av lagringsdelen i alla situationer. Värmeutvecklingen är maximalt 3000 KW i varje enhet. Normalt sker kylningen med två parallellkopplade fläktar om vardera 75000 Nm³/h. En tredje fläkt kan kopplas in vid behov. Dessutom finns en fjärde fläkt ovan jord. Fläktarnas elförsörjning är säkrad med dieselaqgregat.

Den ingående luften grovfiltreras. Filtren kan förbikopplas om så krävs vid för högt tryckfall eller fläktbortfall. Normalt blir utgående lufttemperatur ca 80°C. Vid bortfall av en fläkt kopplas reserven automatiskt in. Faller två fläktar bort övertas kylningen av den tredje fläkten. Luftmängden (och undertrycket) blir något mindre och temperaturen stiger till 146°C (efter 40 timmar). Om även denna tredje fläkt faller bort övertas dess funktion av den fjärde fläkten, som ger samma kylning.

Skulle i ett extremfall samtliga fläktar falla bort erhålles sådan självirkulation att temperaturen ej stiger till mer än 370°C. Detta leder ej till aktivitetsfrigörelse men förhindrar reparation i cellen till dess att fläkten ovan jord reparerats.

Säkerhetsåtgärderna redovisas ytterligare i KBS tekniska rapport (14).

3.63 Omgivningsbelastning vid normaldrift.

På grund av att glaskroppens stålkapsel rengörs noggrant i samband med tillverkningen och att all hantering av glaskropparna sker torrt är risken för ytkontaminering ytterst liten. Eftersom avfallet

är hårt bundet i glaset och dessutom inkapslat i svetsade cylindrar är risken för aktivitetsfrigörelse från glaset under lagringsperioden praktiskt taget noll. Den enda återstående möjliga källan till normaldriftutsläpp är neutronaktivering av damm som kan följa med ventilationsluften ut. Vid Marcoule-anläggningen i Frankrike finns erfarenheter av 10 års lagring av högaktivt glas. Under denna tid har enligt uppgift ingen mätbar aktivitet kunnat detekteras i ventilationsfiltren.

Slutsatsen är att utsläppen från mellanlagret under normaldrift antingen är obefintliga eller extremt låga.

3.64 Haverianalys.

Spridning av aktivitet till omgivningen kan i praktiken endast uppkomma på tre sätt:

- Glaskroppen utsätts för en så kraftig chock att stålkapslingen genombrytes och glaset pulveriseras till damm.
- Avfallscylindern uppvärms till så hög temperatur att flyktiga nuklider förångas.
- Glaset kommer i kontakt med vatten under så lång tid att utlakning av mätbara aktivitetsmängder kan ske.

De mekaniska skador, som kan tänkas uppkomma inskränker sig till att man tappar transportbehållaren, någon av de interna transporthuvorna eller enskilda avfallscylindrar. Sker detta i de aktiva cellerna sker ingen spridning av aktivitet. Endast missöden vid förflyttningar mellan cellerna kan leda till aktivitets-spridning inom anläggningen. Eftersom sådana förflyttningar sker mycket nära golvet och med cylindern skyddad av en transporthuv är sådana händelser föga troliga.

Självpuppvärmning av glaset i lagercellerna och i transportbehållaren har diskuterats ovan. Förhållandena vid interntransport har utretts på samma sätt som för den externa transporten. Utredningen visar att endast måttliga temperaturer kan uppnås. Uppvärmning genom brand motverkas av en låg brandbelastning och ett avancerat brandförsvar.

Situationer som skulle kunna leda till att glaset kom i kontakt med grundvattnet och att utlakning skulle ske en längre tid är alltför osannolika för att behandlas här.

3.7 Hantering i slutförvar.

Ritningar och konstruktion har till största delen utformats av STGN i Paris i samarbete med KBS. Då konstruktionen av förvaret ej är färdig i detalj när denna rapport skrivs har vissa antaganden gjorts på de punkter där fullständiga uppgifter ej förelegat. Dessa antaganden redovisas i sitt sammanhang.

De skyddsåtgärder som vidtagits i förvaret berör främst arbetshygien. Sannolikheten för att en olycka i samband med hanteringen skulle innebära en signifikant dosbelastning på tredje man är mycket låg.

3.7.1 Teknisk resumé.

Förvaret består av 1 km² tunnelsystem beläget på 500 m djup i berg. Tunnelsystemet består av 41 tunnlar med vardera en längd av 1 km. Tunnlarna är belägna på 25 m avstånd (c/c) från varandra och har en area av 3 x 3 m. I tunnlnas botten finns vertikala hål, i vilka de inkapslade avfallscylindrarna skall placeras. Hålens diameter är 1 m och c/c avståndet 4 m. Två lutande schakt är belägna 200 m från depån.

Glaskroppen är inkapslad i en krom-nickel-stålmantel. Denna mantel finns med från tillverkningen av kroppen och kan betraktas som rent tillverkningsteknisk. Stålet är utvalt för att tåla de höga temperaturer som blir vid glassmältningen. Det är alltså ett värmebeständigt och ej korrosionsbeständigt stål. Efter 40 år från uttaget ur reaktorn utvecklar glaskroppen en effekt av 525 W/kanister.

Utanför stålkapseln finns en 10 cm tjock blybehållare. Blybehållaren utgör ett mycket gott skydd mot radiolys. Blybehållaren tål också relativt stora tryck. 1700 bar jämt fördelat och ett punkttryck på 70 bar.

Korrosionshastigheten på blybehållaren uppges till $3 \cdot 10^{-4}$ cm/år av SGTN (14). Denna hastighet är dock mycket pH-känslig och ökar kraftigt vid $\text{pH} < 5$ och $\text{pH} > 10$.

Utanpå blybehållaren finns en titanmantel och denna utgör den primära barriären mot läckage.

Den inkapslade avfallscylindern transporteras från mellanlagret på en vagn. Denna transport är en interntransport och sker i en horisontell gång i berget, som förbinder mellanlagret med slutförvarets transportschakt.

Vagnen med avfallscylindern körs in i en hiss och firas ned till nivån -500 m. Vagnen körs ut ur hissen och förflyttas till den för tillfället aktuella tunneln. Lagret fylls bakifrån och försluts ej förrän det är helt fyllt.

Den horisontella transporten sker på räls. En vagn med strålskärmande huv och hissanordning användes för transport av de inkapslade avfallscylindrarna. Vagnen drages av en elektriskt driven truck. I botten på deponeringshålet fylls buffertmaterial, varefter glaskroppen sänkes ned. Därefter fylls hålet igen med ytterligare buffertmaterial. Hela hanteringen sker strålskärmad.

Förvaret finns utförligare beskrivet i (15).

3.72 Barriärer och säkerhetsåtgärder.

Färdigställda områden i förvaret kommer att betraktas som klassat område med kontroll motsvarande vad som erfordras för denna typ av områden.

På grund av strålningsrisken från avfallsbehållarna sker hanteringen avståndsmanövrerat så att direkt beröring med behållarna undviks.

För att minska verkningarna av eventuellt tappad kontroll över hissen till förvaret läggs en vattenbassäng försedd med stötdämpande botten under nedersta stannplanet.

Utrymningsvägarna utgöres av två lutande schakt, vilka även utgör ventilationsschakt.

Portabla brändsläckare skall finnas utplacerade i orter och transporttunnlar. Brännbart material bör i möjligaste mån undvikas i förvaret. Ventilationen antages utformad så att tilluft blåses genom ena ventilationsschaktet och suges ut via det andra. Ventilationsluften leds i största möjliga mån så att den först passerar de "inaktiva" områdena såsom personalutrymmen, verkstäder etc. och därefter passerar de "aktiva" zonerna. Ventilationssystemen för områden med bergarbeten och områden med deponeringsarbeten är skilda åt.

Barriärschema redovisas i bilaga 11.

3.73 Haverianalys.

Hantering i förvaret kan endast innebära ett mycket begränsat antal händelser med radiologiska konsekvenser. Den aktiva glas-kroppen är innesluten så att risk för atmosfärisk spridning är utomordentligt låg.

Haverier och felaktig hantering (vid mycket osannolika haverier) leder till extern bestrålning från kanistrarna. Denna dosbelastning kommer säkert ej att drabba tredje man.

1. Hissen faller okontrollerat.

För att undvika stora konsekvenser (kanske framför allt en långvarig och dyrbar sanering) av denna händelse bör hiss-schaktet sluta i en djup vattenbassäng (gärna så djup som 10 - 20 m). Bassängens botten förses med stötdämpare för att undvika onödig påkänning på både berg

och behållare. Bassängvattnet bör kunna hållas skiljt från övriga delar i förvaret så att arbetet kan fortskrida ganska snabbt efter ett haveri.

Bassängvattnet kan tas omhand och rengöras i en för dekontaminering avsedd anläggning.

Med denna utformning av schaktet kommer en olycka av denna typ ej att leda till någon dosbelastning på tredje man. Frågan är om behållarens går sönder?

2. En behållare får stå utan strålskydd.

En mycket osannolik händelse i och för sig. Detta skulle kunna inträffa om man vid nedsättning av behållarna i de vertikala hålen av någon anledning (mekaniska fel på fordon etc.) ej har möjlighet att meddetsamma lägga "lock" på hålet.

Händelsen skulle då ge en extern dosbelastning på personal som måste dit för att åtgärda händelsen.

4. Resultatsammanfattning.

Dosbidraget till tredje man härrör från utsläpp vid normaldrift. Dessa dosbidrag jämföres i nedanstående tabell med väntevärdet för de dosbidrag som kan erhållas vid haverier.

Delsteg	Kollektivdosinteckning (manrem/MW _e ·år)	
	Normaldrift	Haverier
Transport till centrallager	0	$2 \cdot 10^{-4}$
Lagring i centrallager	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-7}$
Transport till upparbetning	0	$1 \cdot 10^{-4}$
Transport till mellanlager	0	$1 \cdot 10^{-7}$
Lagring i mellanlager	0	0
Hantering i slutförvar	0	0
Summa	$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$

I tabellen har dosbidragen ställts i relation till den producerade energin. Myndigheterna har som målsättning att hela kärnbränslecykeln, exklusive deponering, inte får bidra med en kollektivdosinteckning som överstiger 1 manrem/MW_e·år. Av detta bidrag är 0.3 - 0.5 manrem/MW_e·år reserverade för avfallshantering och upparbetning. Tabellen visar att de här behandlade delstegen endast bidrar med en bråkdel av detta värde. Den övervägande delen finns alltså kvar för upparbetningsdelen.

Dosbelastningen vid normaldrift är som synes obefintlig vid transporterna och glashantering i mellanlager och slutförvar. Från centrallagret däremot kan en dosbelastning erhållas även vid normaldrift. Denna dos härstammar framför allt från I-129 och Kr-85. Absolut sett är dock denna belastning mycket liten.

Tabellen visar också att delstegen före upparbetning och förglasning har en större riskbörda än stegen efter. Detta gäller både vid jämförelse av transportstegen och kanske framför allt vid jämförelse

av lagringsstegen. Skillnaden härrör nästan uteslutande från den kollektivdos som erhålles vid ett haveri, d v s glaskroppen binder klyvningsprodukterna betydligt hårdare än bränslet och är dessutom mindre känslig för yttre påverkan.

Att den förväntade dosbelastningen från haverier är så låg i lagringsstegen beror framför allt på de omfattande säkerhetsåtgärder som vidtagits vad gäller anläggningskonstruktion och utformning.

De största konsekvenserna har erhållits vid haverier i samband med transport av utbränt bränsle. Uppmärksamheten bör dock än en gång fästas på att svåra olyckor hittills ej inträffat vid bränsletransporter. Allmän transportstatistik bekräftar dessutom att olyckor av den postulerade typen är mycket osannolika.

Det bör också framhållas att de förhållandevis höga kollektivdoserna som redovisas för transporthaverier (bilagorna 3, 7 och 9) är ytterst konservativt beräknade. Beräkningarna har gjorts över en cirkel med radien 100 km. När det gäller transporthaverier till sjöss är detta ytterst pessimistiskt, då det ju egentligen endast är befolkningen inom ett mindre cirkelsegment som påverkas av utsläppet. För att åskådliggöra den egentliga innebörden av denna kollektivdos har en maximaldos för en individ under en genetisk generation beräknats i tabell 4.1.

De individdoser som erhålls vid haverier kan jämföras med de 3 rem/13 veckor som enligt ICRP och svenska normer kan accepteras som dos till personer i radiologiskt arbete. Den tillåtna dosen till kritisk grupp utanför kärnkraftverken är enligt SSI 0.05 rem/år. Det bör påpekas att dessa siffror utgör en norm för dosbelastning vid normaldrift som kan innebära en kontinuerlig belastning på individen ifråga.

Tabell 4.1 Sammanställning av radiologiska konsekvenser vid transporthaverier.

Delsteg	Haveri nr	Max. årsdos (rem)	Koll.dos (manrem)	Max 30 års dos (rem)
Transport till centrallagret	1	-	-	-
	2	$2 \cdot 10^0$	$4 \cdot 10^4$	0.3
	3	$6 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^4$	0.3
	4	$6 \cdot 10^0$	$3 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{-2}$
	5	$4 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^{-3}$
Transport från centrallagret	1	-	-	-
	2	$5 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^4$	0.3
	3	$2 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^3$	0.2
	4	$2 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^{-3}$
	5	$9 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^1$	$9 \cdot 10^{-4}$
Transport till mellanlager	1	-	-	-
	2	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-5}$
	3	$3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^1$	$9 \cdot 10^{-4}$
	4	$7 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^{-4}$
	5	$1 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-6}$

Om allmänheten p g a haveri exponeras för strålning uppstår en betydligt mer komplicerad situation. I dessa fall kan exponeringen ske under mycket varierande förhållanden (geografiska, meteorologiska etc.) (27) och utgör inte heller en kontinuerlig belastning på individerna. Av (27) framgår att inga krav finns på att doser som erhållits vid haverier skall tas med vid beräkning av den totaldos som skall jämföras med gränsvärdet. Publikationen anger dock vissa värden för exponering som skall betraktas som gränser för när evakuering och födoämnesrestriktioner bör övervägas.

Helkropp (γ)	10 rem (utgör abortindikation)
Huddos (β o γ)	50 rem

För personer i radiologiskt arbete anger (27) vidare att högre dos kan tillåtas i speciella fall, t ex vid reparation eller sanering i viktiga delar av anläggningen. I dessa situationer kan man tillåta exponering eller inhalering av radioaktiva material förutsatt att dosintekningen ej överstiger följande värden:

- Vid enstaka fall: 2 ggr tillåten årsdos.
- Under livstid: 5 ggr tillåten årsdos.

Tillåten dos för personer i radiologiskt arbete är normalt 5 rem.

Vid beräkning av dosbelastningarna har ingen hänsyn tagits till skärmning p g a topologi eller byggnader, varför dosbelastningen i verkligheten bör ligga mellan noll och det angivna värdet. Således utgör de redovisade värdena en maximal dosbelastning från det enskilda haveriet.

Den maximala 30-årsdosen som redovisats i tabell 4.1 är beräknad utgående från den erhållna kollektivdosen. Vid huvudsakligen atmosfärisk spridning motsvaras en kollektivdos på 10^4 manrem av en maximal 30-årsdos på $7 \cdot 10^{-3}$ rem per individ. Vid utsläpp till vattenrecipient däremot svarar samma kollektivdos mot en maximal 30-årsdos på 0.3 rem per individ.

Tabellen visar att dosen till enskild individ under 30 års exponering i samtliga haverifall ligger under den tillåtna dosen vid kontinuerlig belastning av kritisk grupp. I de flesta haverifallen ligger även den maximala individdosen betryggande under vad som angivits gälla vid normaldrift. För några enstaka fall kan den maximala individdosen nå upp till eller komma något över vad som satts som gräns för personal i radiologiskt arbete. Det bör dock framhållas att man i samtliga fall ligger under de gränser som satts för evakuering och födoämnesrestriktioner samt de doser som tillåts, vid enstaka tillfällen, för reparations- och saneringspersonal.

Referenser.

1. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials, IAEA Safety Series No 6. 1973.
2. Krause, Rudolph; Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle. KFK 2212. Nov. 1975.
3. Kjellbert; TPM-SM-43. Ab Atomenergi.
4. Salénrederierna, P.211 Sjötransport av utbränt kärnbränsle och radioaktivt avfall till svenskt mellanlager. 1977-04-12.
5. Se referens nr 4.
6. Milchert, von Ubisch; Kollisionsbedömning utförd på fartygsprojektet P.211. 1977-09-28.
7. Brobst; Transportation Accidents. How Probable? Nuclear News. May 1973.
8. Environmental Survey at Transportation of Radioactive Materials to and from Nuclear Power Plants, USAEC, WASH-1238. 1972.
9. Liverpool Underwriters' Association Annual Report. 1974.
10. Centralt lager för använt kärnbränsle. Programrådet för aktivt avfall, PRAV, juli 1977.
11. Safety Evaluation Report by the Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, Nuclear Regulatory Commission in the Matter of Allied-General Nuclear Services, Barnwell Nuclear Fuel Plant, Fuel Receiving and Storage Station, Docket No 70-1729.
12. USAEC, Regulatory Guide 3.24 och 1.13.

13. ANSI N 210-1976.
14. KBS teknisk rapport nr 35 (mellanlagret).
15. KBS teknisk rapport nr 35 (slutförvar).
16. Assumptions Used for Evaluating the Potential Radiological Consequences of a Fuel Handling Accident in the Fuel Handling and Storage Facility for Boiling and Pressurized Water Reactors, USAEC, Safety Guide 25.
17. Begränsning av utsläpp av radioaktiva ämnen från kärnkraftverk, SSI FS 1977:2.
18. Environmental Effects of Accidents, BNFP Docket 50 332-27.
19. K Lindhë, SSI, personlig kontakt.
20. Statistisk årsbok, SCB 1976.
21. Ch. Gyllander, L. Devell; AB Atomenergi. Personlig kontakt.
22. Bergman, McEwan; Dose and Dose Commitment due to Carbon-14 from the Nuclear Industry, AB Atomenergi, S-548.
23. Sandström et al; Relationer mellan stråldoser och utsläpp till atmosfären vid drift av kärnkraftverk, AB Atomenergi, S-547.
24. Förslag beträffande gränser för utsläpp av radioaktiva ämnen i vatten för aggregat 3 och 4 i Ringhals kärnkraftstation, SSI 1975-06-06.
25. Burkholder et al; Incentives for Partitioning High-Level Waste, BNWL-1927.
26. Agnedahl et al; Analys av sambandet utsläpp - dos för vätskeformigt radioaktivt avfall från kärnkraftverk, AB Atomenergi, S-484.

27. The Radiation Protection Institutes in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden; Report on the Applicability of International Radiation Protection Recommendations in the Nordic Countries.

28. Gachot, B, Barbet, J F; A Probabilistic Approach to Design of the Spent Fuel Cash Handling System of a Nuclear Power Plant. NRC 4/10 National Conference on Reliability. Nottingham 1977.

Barriärtillstånd.

Nedan anges barriärernas genomsläpplighet för olika nuklider eller grupper av nuklider vid olika barriärtillstånd.

Bedömningen grundar sig på en rad antaganden om respektive grundämnens kemiska och fysikaliska form i olika situationer. Dessa antaganden redovisas nedan i samband med respektive barriär.

1. UO₂-matrix.

N : All aktivitet i kapslingsspalten (se avsnitt 2.31). Frigörelsen kan ske genom upphettning eller utlösning.

OT2: Kapslingsspaltaktiviteten + 0.04 % av den aktivitet som är bunden i kutsarna (utlakning under 30 dygn med en utlösningshastighet på 10^{-4} g/cm², dygn).

2. Zirkalloykapsling.

N : En normal kapslingsskadefrekvens på 0.1 % har antagits.

OT1: Kapslingsskadefrekvens 1 %.

OT2: Kapslingsskadefrekvens 10 %.

OT3: Kapslingsskadefrekvens 100 %.

3. Transportbehållare.

N : I normaltillståndet antages transportbehållaren vara helt tät.

OT1: 100 % av gasformiga nuklider (krypton, jod och tritium) och 1 % av övriga nuklider.

Detta olyckstillstånd används i flashförångningssituationer och i samband med brand då transportbehållaren är måttligt skadad. Aerosolfraktionen har angivits till 0.3 % (IAEA-SR-10/15) i dylika situationer, varför 1 % kan anses vara en rimligt konservativ ansats.

OT2: 100 % av gasformiga nuklider och 10 % av övriga.

Detta tillstånd avser en större behållarskada med flera aerosolgenereringsmekanismer såsom t ex flashförångning, brand och mekanisk resuspension av kontaminerad jord.

OT3: 100 % av alla nuklider utom ädelgaserna som har satts till 0 %.

Tillståndet är avsett att användas för utsläpp till vattenrecipient från en sprucken transportbehållare då behållarens kylvatten rinner ut i recipienten. (Ädelgaserna löser sig ej i vattnet, därav 0 %.)

OT4: Vid dos från fast strålkälla antages en 1 cm bred spricka längs manteln. Denna spricka representerar 0.2 % av flaskans ytteryta. Skärningsförlusten antages konservativt vara proportionell mot sprickytan, varför OT4 har definierats som 0.2 % för samtliga nuklidens gammastrålning.

OT5: Behållaren antages vara helt genomsläpplig för samtliga nuklider.

4. Bassängvatten.

N : 100 % av ädelgaserna samt 1 % av joden och C-14 antages penetrera bassängvattnet medan resten av nukliderna kvarhålls i vattnet (US AEC Safety Guide 25).

OT1: Bassängvattnet antages vara helt borta d v s genomsläppligheten är 100 % för alla nuklider.

5. Bassängvägg.

N : I sitt normaltillstånd antages bassängväggen vara helt tät. En viss otäthet i svetsfogen etc. kan givetvis förekomma efter en tids användning av bassängen. Läckagehastigheten i ett sådant fall är emellertid mycket liten och under den tid det tar att rena upp bassängvattnet efter en incident är den fraktion av bassänginnehållet som kan läcka ut genom en bassängvägg i normaltillstånd helt försumbar.

OT1: Bassängväggen antages helt genombruten d v s genomsläppligheten antages vara 100 % för samtliga nuklider.

6. Luftgap.

N : 100 % genomsläpplighet för gasformiga nuklider (ädelgaser, jod, tritium och kol) och 10 % för övriga nuklider.

OT1: 100 % genomsläpplighet för samtliga nuklider.

7. Ventilationsfiltersystem.

N : 100 % genomsläpplighet för ädelgaser och 0.03 % för övriga nuklider (filtersystemet består av s k kombinationsfilter med absolutfilter, som tar bort partikulära föroreningar ut luftströmmen och kolfilter för adsorbition av adsorberbara gaser).

OT1: 100 % genomsläpplighet för gasformiga nuklider och 1 % för övriga nuklider.

Detta tillstånd är tänkt att användas för att beskriva läckage på filterboxarna eller mekaniska skador på filterduken.

8. Havet.

N : 100 % genomsläpplighet för ädelgaser och noll för övriga nuklider.

9. Recirkulationskrets.

N : I normaltillståndet antages recirkulationskretsen vara helt tät (se diskussion under barriär nr 5).

OT1: 1 m³ antages läcka ut (= 0.05 % av bassänginnehållet).

OT2: Hela bassängen antages tömmas innan läckaget kan stoppas.

10. Vvx i recirkulationskretsen.

N : I normaltillståndet antages vvx vara helt tät (se diskussion under barriär 5).

OT1: Sekundärkretsen i kylsystemet står under övertryck i förhållande till primärkretsen, varför en överläckning från primär- till sekundärkretsen blir långsam vid en eventuell mindre vvx-läcka. Om överläckningen antages motsvara en vattendroppe (jfr. "droppande kran") (0.05 ml) blir den överläckta fraktionen av bassängvattnet ungefär 10^{-6} % under ett dygn.

OT2: Detta tillstånd antages motsvara ett större vvx-läckage, sådant att det måste åtgärdas snabbt. Överläckningen antages vara 1 liter per minut och varaktigheten i timme. Detta utgör en andel på $3 \cdot 10^{-3}$ % av bassängvattnet.

11. Vvx i sekundärkrets.

Läckagehastigheterna och läckagetiderna i olyckstillstånden OT1 och OT2 antages vara samma som för barriär 10. Eftersom mellankylkretsens vattenvolym är annorlunda än bassängernas blir även genomsläppligheten (uttryckt i procent av mellankylkretsens vatteninnehåll) annorlunda:

N : Helt tätt.

OT1: 10^{-4} %.

OT2: 0.3 %.

12. Avfallshanteringsanläggning.

N : Reningen består av filtrering, indunstning samt jonbyte av kondensat. Genomsläppligheten för sådan anläggning har angivits till ca 10^{-5} % (KFK 2212).

OT1: Endast filtret och jonbytaren fungerar, vilket ger en genomsläpplighet på ca 1 % (KFK 2212).

13 Båtens lastrum.

N : I normaltillståndet antages lastrummet vara helt tätt.

OT1: 100 % genomsläpplighet.

14. Betonginklädnad med tätplåt.

N : Betonginklädnad i centrallagret (CLAB) är inte tät i sig själv. Under bassängerna har emellertid betonginklädnaden försetts med en tätplåt av stål. Denna är tät (se diskussion under barriär 5).

OT1: Tätplåten antages ha gått sönder i sådan omfattning att barriären "betonginklädnad med tätplåt" är helt genomsläpplig.

OT2: Barriären antages släppa igenom 1 % av den vätska som ansamlas under bassängerna.

15. Berg.

I och med att bergdränaget pumpas bort kommer den hydrauliska gradienten i omgivande berg att vara riktad in mot anläggningen. En transport av lösta radioaktiva ämnen från CLAB genom berget till en recipient är därför osannolik under den tid anläggningen är i drift.

I sitt normaltillstånd kan berget anses vara tätt. För att rubba tätheten i berget krävs att möjligheten att läns pumpa CLAB sätts ur

funktion under så lång tid att berget hinner vattenfyllas så att aktivitetstransport med grundvattnet kan ske. En sådan händelse måste anses vara mycket osannolik.

16. Glasmatrix.

N : I en glaskropp som inte utsätts för höga temperaturer eller utlakning är aktivitetsfrigörelsen praktiskt taget noll, eftersom avfallet under dessa betingelser är hårt bundet i glaset.

OT1: Genomsläppligheten för fissionsprodukterna antages vara 10^{-2} % och för aktiniderna 10^{-3} %. Detta motsvarar ungefär en utlakning under 30 dygn med lakhastigheterna 10^{-4} g/cm², dygn för fissionsprodukterna och 10^{-5} g/cm², dygn för aktiniderna. De höga lakhastigheterna har satts med tanke på att det är initialskedet av utlakningen som betraktats. Dessutom har viss korrektion för ytförstoring inkluderats i lakhastigheterna. Ytan har satts till glaskroppens ytteryta.

OT2: Detta tillstånd motsvarar en förångning av radioaktiva ämnen i samband med nedsmältningssituationer. De värden som använts på den förångade fraktionen av olika nuklider är sammanvägda av tyska (doktor Guber, ABRA, Karlsruhe, personligt samtal) och amerikanska (BNWL - 2252 - UC - 70) data.

Följande värden, som motsvarar en nedsmältning under "några" timmar vid ca 1100°C, har använts:

H-3 och C-14	1	%
Cs	0.1	%
I	0.08	%
Övriga nukl.	0.01	%

Dessa värden kan mycket väl vara osäkra med upp till två tiopotenser, eftersom frigörelsegraden är mot smältans yta och ökar exponentiellt med temperaturen.

17. Stålkapsling.

N : En normal kapslingsskadefrekvens på 0.01 % har antagits. Detta värde är lägre än motsvarande värde för bränslets zirkalloykapsling. Glasets stålkapsling har emellertid inte utsatts för samma påfrestningar som zirkalloykapslingen har i form av vibrationer, neutronstrålning etc. När det gäller stålkapslingen är dessutom möjligheterna att kontrollera och åtgärda otäta svetsfogar etc. större än för zirkalloykapslingen.

OT1: 0.1 % kapslingsskadefrekvens.

OT2: 1 % kapslingsskadefrekvens.

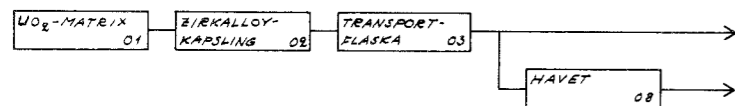
OT3: 100 % kapslingsskadefrekvens.

18. Yttre kapsling.

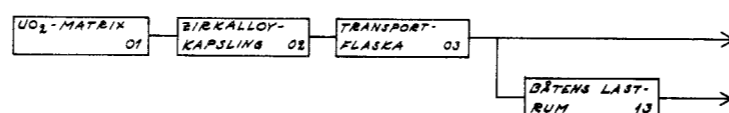
N : Den yttre kapslingen har antagits vara helt tät i normaltillståndet.

OT1: Kapslingen antages ha en genomsläpplighet på 100 %.

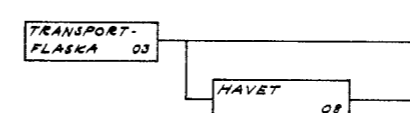
ATMOSFÄRISK SPRIDNING



UTSLÄPP TILL VATTENRECIPIENT



DOS FRÅN FAST STRÅLKÄLLA



STEG 1: TRANSPORT AV BRÄNSLE TILL CENTRALLAGER

BRÄNSLETS ÅLDER: 1 ÅR

	SANNO-LIKHETS-ANDEL	01	02	03	08	INDIVID	KOLL.	RISKBÖRDA
FLASKAN PÅ KAJ	0,5	N	N	N	-	0	0	0
FLASKAN SJUNKER	0,5	N	N	N	N	0	0	0
BÅTEN FLYTER	1	N	OT2	OT1	-	2 · 10 ⁰	8 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻⁵
BÅTEN FLYTER	0,5	N	OT2	OT1	-	6 · 10 ⁻¹	3 · 10 ⁻³	2 · 10 ⁻⁵
BÅTEN SJUNKER	0,5	N	OT2	OT3	N	4 · 10 ⁻⁴	1 · 10 ⁰	5 · 10 ⁻⁹
BÅTEN FLYTER	1	N	OT2	OT2	-	6 · 10 ⁰	3 · 10 ⁻⁴	9 · 10 ⁻⁷
BÅTEN FLYTER	0,7	N	N	OT1	-	3 · 10 ⁻³	1 · 10 ¹	2 · 10 ⁻⁸
BÅTEN SJUNKER	0,3	N	N	OT3	N	2 · 10 ⁻⁶	5 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻¹²

	SANNO-LIKHETS-ANDEL	01	02	03	13	INDIVID	KOLL.	RISKBÖRDA
FLASKAN SJUNKER	0,5	N	N	N	-	0	0	0
BÅTEN SJUNKER	0,1	OT1	OT2	OT3	OT1	8 · 10 ⁻⁸	3 · 10 ⁴	1 · 10 ⁻⁴
BÅTEN SJUNKER	0,5	OT1	OT2	OT3	OT1	3 · 10 ⁻²	1 · 10 ⁴	6 · 10 ⁻⁵
BÅTEN SJUNKER	0,9	OT1	OT1	OT3	OT1	3 · 10 ⁻³	1 · 10 ³	3 · 10 ⁻⁵
BÅTEN SJUNKER	0,3	OT1	N	OT3	OT1	1 · 10 ⁻⁴	6 · 10 ¹	4 · 10 ⁻⁸

	SANNO-LIKHETS-ANDEL	03	08	DOSRAT
FLASKAN PÅ KAJ	0,5	N	-	0
FLASKAN SJUNKER	0,5	N	N	0
BÅTEN FLYTER	0,9	OT4	-	1,4 · 10 ⁰
BÅTEN SJUNKER	0,1	OT4	N	0
BÅTEN FLYTER	0,5	OT4	-	4,8 · 10 ¹
BÅTEN SJUNKER	0,5	OT4	N	0
BÅTEN FLYTER	0,1	OT4	-	1,4 · 10 ²
BÅTEN SJUNKER	0,9	OT4	N	0
BÅTEN FLYTER	0,7	N	-	0
BÅTEN SJUNKER	0,3	N	N	0

FLASKAN TAPPAS VID KRANLYFT

OLYCKSNR	SANNO-LIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
1	1 · 10 ⁻³	3,2	0	0	0

LÅNGVARIG BRAND OMBORD

OLYCKSNR	SANNO-LIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
2	3 · 10 ⁻⁶	19,2	2 · 10 ⁰	4 · 10 ⁴	1 · 10 ⁻⁴

KOLLISION UTAN BRAND OMBORD

OLYCKSNR	SANNO-LIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
3	1 · 10 ⁻⁴	6,4	6 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁴	2 · 10 ⁻⁵

KOLLISION MED BRAND OMBORD

OLYCKSNR	SANNO-LIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
4	3 · 10 ⁻⁶	6,4	6 · 10 ⁰	3 · 10 ⁴	1 · 10 ⁻⁶

GRUNDSTÖTNING OCH FÖRLISNING

OLYCKSNR	SANNO-LIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
5	2 · 10 ⁻⁵	3,2	3 · 10 ⁻³	7 · 10 ¹	6 · 10 ⁻⁸

Frigörelsemängder, transport till centrallager.

<u>Haveri</u>	D o m i n e r a n d e gasform	n u k l i d e r övriga
1. <u>Långvarig brand</u>		
a) båten flyter	6000 Ci Kr-85 $2 \cdot 10^{-2}$ Ci I-129	36 Ci Cs-134 20 Ci Cs-137
b) båten sjunker därefter	6000 Ci Kr-85 $2 \cdot 10^{-2}$ Ci I-129	3600 Ci Cs-134 2000 Ci Cs-137
2. <u>Kollision utan brand ombord</u>		
a) båten flyter	2000 Ci Kr-85 $7 \cdot 10^{-3}$ Ci I-129	12 Ci Cs-134 7 Ci Cs-137
b) båten sjunker	2000 Ci Kr-85 $7 \cdot 10^{-3}$ Ci I-129	1200 Ci Cs-134 688 Ci Cs-137
3. <u>Kollision med brand ombord</u>		
a) båten flyter	2000 Ci Kr-85 $7 \cdot 10^{-3}$ Ci I-129	120 Ci Cs-134 68 Ci Cs-137
b) båten sjunker därefter	2000 Ci Kr-85 $7 \cdot 10^{-3}$ Ci I-129	1200 Ci Cs-134 700 Ci Cs-137
4. <u>Grundstötning o förslisning</u>		
a) båten flyter	10 Ci Kr-85 $3.6 \cdot 10^{-5}$ Ci I-129	$6 \cdot 10^{-2}$ Cs-134
b) båten sjunker	10 Ci Kr-85 $3.6 \cdot 10^{-5}$ Ci I-129	6 Ci Cs-134 3 Ci Cs-137

Frigörelsemängder, centrallager.

<u>Haveri</u>	PWR		BWR	
	D o m i n e r a n d e n u k l i d e r			
	gasform	övriga	gasform	övriga
1. Tappad behållare	-	-	-	-
2. Tappad kasett				
1 år	4000 Ci Kr-85 $1.5 \cdot 10^{-4}$ Ci I-129		3800 Ci Kr-85 $1.4 \cdot 10^{-4}$ Ci I.129	
11 år	2000 Ci Kr-85 $1.5 \cdot 10^{-4}$ I-129		1900 Ci Kr-85 $1.4 \cdot 10^{-4}$ Ci I.129	
3. Tappat bränsle- element				
1 år	145 Ci Kr-85		57 Ci Kr-85	
11 år	76 Ci Kr-85		30 Ci Kr-85	

ATMOSFÄRISK SPRIDNING

	SANNO-LIKHETS-ANDEL	01	02	03	04	06	07	INDIVID	KOLL.	RISKBÖRDA
EJ FILTRERAD LUFT	1	N	N	N	-	N	-	0	0	0
EJ FILTRERAD LUFT	1	N	0%	-	N	N	-	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^{-8}$
EJ FILTRERAD LUFT	1	N	0%	-	N	N	-	$7 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^1$	$8 \cdot 10^{-9}$
EJ FILTRERAD LUFT	1	N	N	N	-	N	-	0	0	0
EJ FILTRERAD LUFT	1	N	0%	-	N	N	-	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^{-8}$
EJ FILTRERAD LUFT	1	N	0%	-	N	N	-	$3 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^{-9}$

UTSLÄPP TILL VATTENRECIPIENT

	SANNO-LIKHETS-ANDEL	03	04	14	15	DOSRAT
1	N	-	N	N		0
1	-	N	N	N		0
1	-	N	N	N		0
1	N	-	N	N		0
1	-	N	N	N		0
1	-	N	N	N		0

DOS FRÅN FAST STRÅLKÄLLA

	SANNO-LIKHETS-ANDEL	03	04	14	15	DOSRAT
1	N	-	N	N		0
1	-	N	N	N		0
1	-	N	N	N		0
1	N	-	N	N		0
1	-	N	N	N		0
1	-	N	N	N		0

STEG 2: LAGRING AV BRÄNSLE I CENTRALLAGRET (PWR)

BRÄNSLETS ÅLDER: 1 RESP 11 ÅR

ÅR	FLASKAN TAPPAS VID LYFT	TAPPAD KASETT	TAPPAT BRÄNSLEELEMENT
1	OLYCKSNR: 1 SANNO-LIKHET: $1 \cdot 10^{-3}$ ANTAL TON: 3,2 MAX INDIVIDDOS: 0 MAX KOLLEKTIVDOS: 0 TOTAL RISKBÖRDA: 0	OLYCKSNR: 2 SANNO-LIKHET: $1 \cdot 10^{-4}$ ANTAL TON: 13,5 MAX INDIVIDDOS: $2 \cdot 10^{-5}$ MAX KOLLEKTIVDOS: $2 \cdot 10^0$ TOTAL RISKBÖRDA: $2 \cdot 10^{-8}$	OLYCKSNR: 3 SANNO-LIKHET: $9 \cdot 10^{-6}$ ANTAL TON: 0,5 MAX INDIVIDDOS: $7 \cdot 10^{-7}$ MAX KOLLEKTIVDOS: $8 \cdot 10^2$ TOTAL RISKBÖRDA: $8 \cdot 10^{-9}$
11	OLYCKSNR: 1 SANNO-LIKHET: $1 \cdot 10^{-3}$ ANTAL TON: 3,2 MAX INDIVIDDOS: 0 MAX KOLLEKTIVDOS: 0 TOTAL RISKBÖRDA: 0	OLYCKSNR: 2 SANNO-LIKHET: $1 \cdot 10^{-4}$ ANTAL TON: 13,5 MAX INDIVIDDOS: $1 \cdot 10^{-3}$ MAX KOLLEKTIVDOS: $1 \cdot 10^0$ TOTAL RISKBÖRDA: $7 \cdot 10^{-8}$	OLYCKSNR: 3 SANNO-LIKHET: $9 \cdot 10^{-6}$ ANTAL TON: 0,5 MAX INDIVIDDOS: $3 \cdot 10^{-7}$ MAX KOLLEKTIVDOS: $3 \cdot 10^1$ TOTAL RISKBÖRDA: $3 \cdot 10^{-9}$

ATMOSFÄRISK SPRIDNING

	SANNO-LIKHETS-ANDEL	01	02	03	04	06	07	INDIVID	KOLL.	RISKBÖRDA
EJ FILTRERAD LUFT	1	N	N	N	-	N	-	0	0	0
EJ FILTRERAD LUFT	1	N	0%	-	N	N	-	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^0$	$4 \cdot 10^{-8}$
EJ FILTRERAD LUFT	1	N	0%	-	N	N	-	$3 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^{-8}$
EJ FILTRERAD LUFT	1	N	N	N	-	N	-	0	0	0
EJ FILTRERAD LUFT	1	N	0%	-	N	N	-	$9 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^{-8}$
EJ FILTRERAD LUFT	1	N	0%	-	N	N	-	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^2$	$7 \cdot 10^{-9}$

UTSLÄPP TILL VATTENRECIPIENT

	SANNO-LIKHETS-ANDEL	03	04	14	15	DOSRAT
1	N	-	N	N		0
1	-	N	N	N		0
1	-	N	N	N		0
1	N	-	N	N		0
1	-	N	N	N		0
1	-	N	N	N		0

DOS FRÅN FAST STRÅLKÄLLA

	SANNO-LIKHETS-ANDEL	03	04	14	15	DOSRAT
1	N	-	N	N		0
1	-	N	N	N		0
1	-	N	N	N		0
1	N	-	N	N		0
1	-	N	N	N		0
1	-	N	N	N		0

STEG 2: LAGRING AV BRÄNSLE I CENTRALLAGRET (BWR)

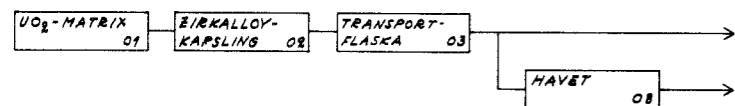
BRÄNSLETS ÅLDER: 1 RESP 11 ÅR

ÅR	FLASKAN TAPPAS VID LYFT	TAPPAD KASETT	TAPPAT BRÄNSLEELEMENT
1	OLYCKSNR: 1 SANNO-LIKHET: $1 \cdot 10^{-3}$ ANTAL TON: 3,2 MAX INDIVIDDOS: 0 MAX KOLLEKTIVDOS: 0 TOTAL RISKBÖRDA: 0	OLYCKSNR: 2 SANNO-LIKHET: $2 \cdot 10^{-4}$ ANTAL TON: 12,3 MAX INDIVIDDOS: $2 \cdot 10^{-5}$ MAX KOLLEKTIVDOS: $2 \cdot 10^0$ TOTAL RISKBÖRDA: $4 \cdot 10^{-8}$	OLYCKSNR: 3 SANNO-LIKHET: $6 \cdot 10^{-3}$ ANTAL TON: 0,2 MAX INDIVIDDOS: $3 \cdot 10^{-7}$ MAX KOLLEKTIVDOS: $3 \cdot 10^2$ TOTAL RISKBÖRDA: $2 \cdot 10^{-8}$
11	OLYCKSNR: 1 SANNO-LIKHET: $1 \cdot 10^{-3}$ ANTAL TON: 3,2 MAX INDIVIDDOS: 0 MAX KOLLEKTIVDOS: 0 TOTAL RISKBÖRDA: 0	OLYCKSNR: 2 SANNO-LIKHET: $2 \cdot 10^{-4}$ ANTAL TON: 12,3 MAX INDIVIDDOS: $9 \cdot 10^{-6}$ MAX KOLLEKTIVDOS: $1 \cdot 10^0$ TOTAL RISKBÖRDA: $2 \cdot 10^{-8}$	OLYCKSNR: 3 SANNO-LIKHET: $6 \cdot 10^{-3}$ ANTAL TON: 0,2 MAX INDIVIDDOS: $1 \cdot 10^{-7}$ MAX KOLLEKTIVDOS: $1 \cdot 10^1$ TOTAL RISKBÖRDA: $7 \cdot 10^{-9}$

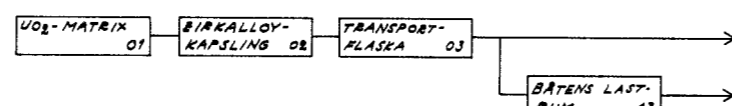
Frigörelsemängder, transport av bränsle från centrallager.

<u>Haveri</u>	D o m i n e r a n d e gasform	n u k l i d e r övriga
<u>1. Långvarig brand ombord</u>		
a) båten flyter	3000 Ci Kr-85 $2.1 \cdot 10^{-2}$ Ci I-129	16 Ci Cs-137
b) båten sjunker därefter	3000 Ci Kr-85 $2.1 \cdot 10^{-2}$ Ci I-129	1700 Ci Cs-137
<u>2. Kollision utan brand ombord</u>		
a) båten flyter	1100 Ci Kr-85 $7 \cdot 10^{-3}$ Ci I-129	5.4 Ci Cs-137
b) båten sjunker	1100 Ci Kr-85 $7 \cdot 10^{-3}$ Ci I-129	560 Ci Cs-137
<u>3. Kollision med brand ombord</u>		
a) båten flyter	1000 Ci Kr-85 $7 \cdot 10^{-3}$ Ci I-129	55 Ci Cs-137
b) båten sjunker därefter	1000 Ci Kr-85 $7 \cdot 10^{-3}$ Ci I-129	600 Ci Cs-137
<u>4. Grundstötning o förslisning</u>		
a) båten flyter	6 Ci Kr-85 $3.6 \cdot 10^{-5}$ Ci I-129	$2.7 \cdot 10^{-2}$ Ci Cs-137
b) båten sjunker	6 Ci Kr-85 $3.6 \cdot 10^{-5}$ Ci I-129	2.8 Ci Cs-137

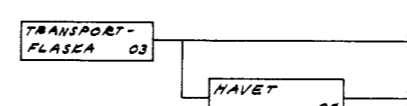
ATMOSFÄRISK SPRIDNING



UTSLÄPP TILL VATTENRECIPIENT



DOS FRÅN FAST STRÅLKÄLLA



STEG 3: TRANSPORT AV BRÄNSLE TILL BEHANDLINGSANLÄGGNING

BRÄNSLETS ÅLDER: 10 ÅR

	SANNO- LIGHETS- ANDEL	01	02	03	08	INDIVID	KOLL.	RISKBÖRDA
FLASKAN PÅ KAJ	0,5	N	N	N	-	0	0	0
FLASKAN SJUNKER	0,5	N	N	N	N	0	0	0
BÅTEN FLYTER	0,9	N	0T2	0T1	-	5 · 10 ⁻¹	4 · 10 ³	2 · 10 ⁻⁵
BÅTEN FLYTER	0,5	N	0T2	0T1	-	2 · 10 ⁻¹	1 · 10 ³	1 · 10 ⁻⁵
BÅTEN SJUNKER	0,5	N	0T2	0T5	N	2 · 10 ⁻⁶	5 · 10 ⁻¹	6 · 10 ⁻⁹
BÅTEN FLYTER	1	N	0T2	0T2	-	2 · 10 ⁰	1 · 10 ⁴	9 · 10 ⁻⁷
BÅTEN FLYTER	0,7	N	N	0T1	-	9 · 10 ⁻⁴	6 · 10 ⁰	2 · 10 ⁻⁸
BÅTEN SJUNKER	0,3	N	N	0T5	N	1 · 10 ⁻⁶	3 · 10 ⁻³	4 · 10 ⁻¹²

	SANNO- LIGHETS- ANDEL	01	02	03	13	INDIVID	KOLL.	RISKBÖRDA
FLASKAN SJUNKER	0,5	N	N	N	-	0	0	0
BÅTEN SJUNKER	0,1	0T1	0T2	0T3	0T1	2 · 10 ⁻²	2 · 10 ⁰	1 · 10 ⁻⁵
BÅTEN SJUNKER	0,5	0T1	0T2	0T3	0T1	6 · 10 ⁻³	7 · 10 ³	8 · 10 ⁻⁵
BÅTEN SJUNKER	0,9	0T1	0T1	0T3	0T1	7 · 10 ⁻⁶	7 · 10 ⁰	4 · 10 ⁻⁹
BÅTEN SJUNKER	0,3	0T1	N	0T3	0T1	3 · 10 ⁻⁵	3 · 10 ¹	5 · 10 ⁻⁸

	SANNO- LIGHETS- ANDEL	03	08	DOSRAT
FLASKAN PÅ KAJ	0,5	N	-	42 · 10 ⁰
FLASKAN SJUNKER	0,5	N	N	0
BÅTEN FLYTER	0,9	0T4	-	2,5 · 10 ¹
BÅTEN SJUNKER	0,1	0T4	N	0
BÅTEN FLYTER	0,5	0T4	-	8,4 · 10 ⁰
BÅTEN SJUNKER	0,5	0T4	N	0
BÅTEN FLYTER	0,1	0T4	-	2,5 · 10 ¹
BÅTEN SJUNKER	0,9	0T4	N	0
BÅTEN FLYTER	0,7	N	-	0
BÅTEN SJUNKER	0,3	N	N	0

FLASKAN TAPPAS VID KRANLYFT

OLYCKSNR	SANNO- LIGHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
1	5 · 10 ⁻⁴	3,2	0	0	0

LÅNGVARIG BRAND OMBORD

OLYCKSNR	SANNO- LIGHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
2	6 · 10 ⁻⁵	19,2	5 · 10 ⁻¹	2 · 10 ⁴	3 · 10 ⁻⁵

KOLLISION UTAN BRAND OMBORD

OLYCKSNR	SANNO- LIGHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
3	2 · 10 ⁻³	6,4	2 · 10 ⁻¹	7 · 10 ³	9 · 10 ⁻⁵

KOLLISION MED BRAND OMBORD

OLYCKSNR	SANNO- LIGHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
4	6 · 10 ⁻⁶	6,4	2 · 10 ⁰	1 · 10 ⁴	9 · 10 ⁻⁷

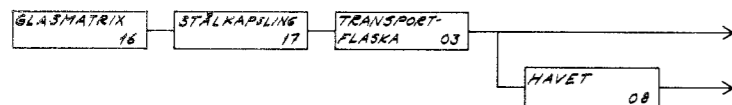
GRUNDSTÖTNING OCH FÖRLISNING

OLYCKSNR	SANNO- LIGHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
5	4 · 10 ⁻⁵	3,2	9 · 10 ⁻⁴	3 · 10 ¹	7 · 10 ⁻⁸

Frigörelsemängder, transport av förglasat avfall till mellanlager.

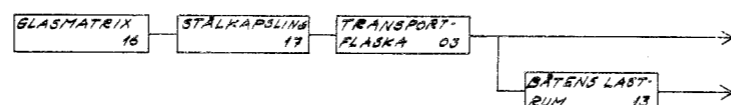
<u>Haveri</u>	D o m i n e r a n d e gasform	n u k l i d e r övriga
1. <u>Långvarig brand</u>		
a) båten flyter	$8.1 \cdot 10^{-9}$ Ci I-129	$7.5 \cdot 10^{-2}$ Ci Cs-137 $5.1 \cdot 10^{-3}$ Ci Sr-90 $1.7 \cdot 10^{-4}$ Ci Cm-244
b) båten sjunker därefter	$9 \cdot 10^{-9}$ Ci I-129	$1.5 \cdot 10^{-1}$ Ci Cs-137 $5.1 \cdot 10^{-3}$ Sr-90 $1.7 \cdot 10^{-4}$ Ci Cm-244
2. <u>Kollision utan brand ombord</u>		
a) båten flyter	-	-
b) båten sjunker	-	2.5 Ci Cs-137
3. <u>Kollision med brand ombord</u>		
a) båten flyter	$2.7 \cdot 10^{-7}$ Ci I-129	2.4 Ci Cs-137 $1.7 \cdot 10^{-1}$ Ci Sr-90 $5.6 \cdot 10^{-3}$ Ci Cm-244
b) båten sjunker	$2.7 \cdot 10^{-7}$ Ci I-129	2.6 Ci Cs-137 1.4 Ci Sr-90 $5.6 \cdot 10^{-3}$ Ci Cm-244
4. <u>Grundstötning o förslisning</u>		
a) båten flyter	-	-
b) båten sjunker	-	$1.3 \cdot 10^{-2}$ Ci Cs-137
5. <u>Trailer kolliderar</u>		
ingen brand ombord	-	-
6. <u>Trailer kolliderar</u>		
och brinner	-	$1.3 \cdot 10^{-1}$ Ci Cs-137 $8.5 \cdot 10^{-3}$ Ci Sr-90 $2.8 \cdot 10^{-4}$ Ci Cm-244

ATMOSFÄRISK SPRIDNING



	SANNOLIKHETS-ANDEL	STÅLKAPSLING 17				INDIVID	KOLL.	RISKBÖRDA
		16	17	03	08			
FLASKAN PÅ KAU	0.5	N	N	N	-	0	0	0
FLASKAN SJUNKER	0.5	N	N	N	N	0	0	0
BÅTEN FLYTER	7	072	N	072	-	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-9}$
BÅTEN FLYTER	0.5	N	072	072	-	0	0	0
BÅTEN SJUNKER	0.5	N	072	075	N	0	0	0
BÅTEN FLYTER	1	072	072	072	-	$7 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^{-8}$
BÅTEN FLYTER	0.7	N	N	071	-	0	0	0
BÅTEN SJUNKER	0.3	N	N	075	N	0	0	0
	1	N	N	N	-	0	0	0
	1	072	N	072	-	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^1$	$9 \cdot 10^{-10}$

UTSLÄPP TILL VATTENRECIPIENT



	SANNOLIKHETS-ANDEL	STÅLKAPSLING 17				INDIVID	KOLL.	RISKBÖRDA
		16	17	03	13			
FLASKAN SJUNKER	0.5	N	N	N	-	0	0	0
BÅTEN SJUNKER	0.1	071	N	073	-	$8 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^{-10}$
BÅTEN SJUNKER	0.5	071	072	073	-	$3 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-7}$
BÅTEN SJUNKER	0.9	071	071	073	-	$3 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^0$	$7 \cdot 10^{-10}$
BÅTEN SJUNKER	0.3	071	N	073	-	$1 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-11}$

DOS FRÅN FAST STRÅLKÄLLA



	SANNOLIKHETS-ANDEL	TRANSPORT-FLASKA 03		DOSRAT
		03	08	
FLASKAN PÅ KAU	0.5	N	-	0
FLASKAN SJUNKER	0.5	N	N	0
BÅTEN FLYTER	0.9	074	-	$1.1 \cdot 10^2$
BÅTEN SJUNKER	0.9	074	N	0
BÅTEN FLYTER	0.5	074	-	$3.7 \cdot 10^1$
BÅTEN SJUNKER	0.5	074	N	0
BÅTEN FLYTER	0.1	074	-	$1.1 \cdot 10^2$
BÅTEN SJUNKER	0.9	074	N	0
BÅTEN FLYTER	0.7	N	-	0
BÅTEN SJUNKER	0.3	N	N	0
	1	N	-	0
	1	074	-	$1.8 \cdot 10^1$

STEG 4: TRANSPORT AV FÖRGLASAT AVFALL TILL MELLANLAGER

BRÄNSLETS ÅLDER: 11 ÅR

FLASKAN TAPPAS VID KRANLYFT

OLYCKSNR	SANNOLIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
1	$1 \cdot 10^{-4}$	15	0	0	0

LÅNGVARIG BRAND OMBORD

OLYCKSNR	SANNOLIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
2	$2 \cdot 10^{-5}$	90	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^{-9}$

KOLLISION UTAN BRAND OMBORD

OLYCKSNR	SANNOLIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
3	$5 \cdot 10^{-5}$	30	$3 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-9}$

KOLLISION MED BRAND OMBORD

OLYCKSNR	SANNOLIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
4	$2 \cdot 10^{-6}$	30	$7 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^{-9}$

GRUNDSTÖTNING OCH FÖRLISNING

OLYCKSNR	SANNOLIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
5	$1 \cdot 10^{-5}$	15	$1 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-11}$

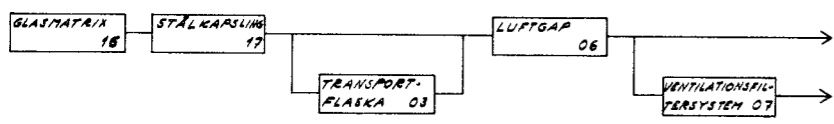
TRAILER KOLLIDERAR UTAN BRAND

OLYCKSNR	SANNOLIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
6	$1 \cdot 10^{-4}$	15	0	0	0

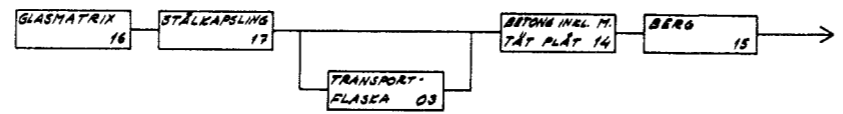
TRAILER KOLLIDERAR MED BRAND

OLYCKSNR	SANNOLIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
7	$2 \cdot 10^{-7}$	15	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^1$	$9 \cdot 10^{-10}$

ATMOSFÄRISK SPRIDNING



UTSLÄPP TILL VATTENRECIPIENT



DOS FRÅN FAST STRÅLKÄLLA



STEG 5: MELLANLAGRING AV FÖRGLASAT AVFALL

BRÄNSLETS ÅLDER: 11 ÅR

	SÄMNO-LIKHETS-ANDEL						INDIVID	KOLL.	RISKBÖRDA
		16	17	03	06	07			
VENT. FILT. SYST. FUNKS. EJ	4·10 ⁻⁴	N	N	N	N	OT1	0	0	0
VENT. FILT. SYST. FUNK.	1	N	N	N	N	N	0	0	0
VENT. FILT. SYST. FUNKS. EJ	4·10 ⁻⁴	N	OT1	-	N	OT1	0	0	0
VENT. FILT. SYST. FUNK.	1	N	OT1	-	N	N	0	0	0
VENT. FILT. SYST. FUNKS. EJ	4·10 ⁻⁴	N	OT2	-	N	OT1	0	0	0
VENT. FILT. SYST. FUNK.	1	N	OT2	-	N	N	0	0	0

	DOSRAT			
	03	14	15	
	N	N	N	0
	-	N	N	0
	-	N	N	0

FLASKAN TAPPAS

OLYCKSNR	SÄMNO-LIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
1	1·10 ⁻⁴	15	0	0	0

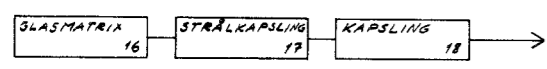
"HUVEN" TAPPAS

OLYCKSNR	SÄMNO-LIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
2	3·10 ⁻³	1	0	0	0

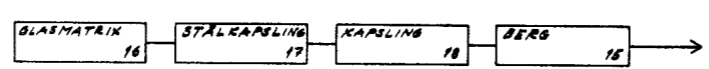
GLASKROPP TAPPAS UR "HUVEN"

OLYCKSNR	SÄMNO-LIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
3	3·10 ⁻³	1	0	0	0

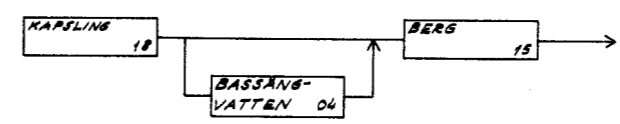
ATMOSFÄRISK SPRIDNING



UTSLÄPP TILL VATTENRECIPIENT



DOS FRÅN FAST STRÅLKÄLLA



STEG 6: DEPONERING AV AKTIVT GLAS

BRÄNSLETS ÅLDER: 41 ÅR

	SÄMNO-LIKHETS-ANDEL				INDIVID	KOLL.	RISKBÖRDA
		16	17	18			
	1	N	OT3	OT1	0	0	0

	SÄMNO-LIKHETS-ANDEL			DOSRAT	
		18	04		
	1	N	OT1	N	0

HISSEN FALLER NED I BASSÅNG

OLYCKSNR	SÄMNO-LIKHET	ANTAL TON	MAX INDIVIDDOS	MAX KOLLEKTIVDOS	TOTAL RISKBÖRDA
1	2·10 ⁻³	1	0	0	0

FÖRTECKNING ÖVER KBS TEKNISKA RAPPORTER

- 01 Källstyrkor i utbränt bränsle och högaktivt avfall från en PWR beräknade med ORIGEN
Nils Kjellbert
AB Atomenergi 77-04-05
- 02 PM angående värmeledningstal hos jordmaterial
Sven Knutsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-04-15
- 03 Deponering av högaktivt avfall i borrhål med buffertsubstans
Arvid Jacobsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-05-27
- 04 Deponering av högaktivt avfall i tunnlar med buffertsubstans
Arvid Jacobsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-06-01
- 05 Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall, Rapport 1
Roland Blomqvist
AB Atomenergi 77-03-17
- 06 Groundwater movements around a repository, Phase 1, State of the art and detailed study plan
Ulf Lindblom
Hagconsult AB 77-02-28
- 07 Resteffekt studier för KBS
Del 1 Litteraturgenomgång
Del 2 Beräkningar
Kim Ekberg
Nils Kjellbert
Göran Olsson
AB Atomenergi 77-04-19
- 08 Utlakning av franskt, engelskt och kanadensiskt glas med högaktivt avfall
Göran Blomqvist
AB Atomenergi 77-05-20

- 09 Diffusion of soluble materials in a fluid filling a porous medium
Hans Häggblom
AB Atomenergi 77-03-24
- 10 Translation and development of the BNWL-Geosphere Model
Bertil Grundfelt
Kemakta Konsult AB 77-02-05
- 11 Utredning rörande titans lämplighet som korrosionshärdig kapsling för kärnbränsleavfall
Sture Henriksson
AB Atomenergi 77-04-18
- 12 Bedömning av egenskaper och funktion hos betong i samband med slutlig förvaring av kärnbränsleavfall i berg
Sven G Bergström
Göran Fagerlund
Lars Rombén
Cement- och Betonginstitutet 77-06-22
- 13 Urlakning av använt kärnbränsle (bestrålad uranoxid) vid direktdeponering
Ragnar Gelin
AB Atomenergi 77-06-08
- 14 Influence of cementation on the deformation properties of bentonite/quartz buffer substance
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-06-20
- 15 Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall
Rapport 2
Roland Blomquist
AB Atomenergi 77-05-17
- 16 Översikt av utländska riskanalyser samt planer och projekt rörande slutförvaring
Åke Hultgren
AB Atomenergi augusti 1977
- 17 The gravity field in Fennoscandia and postglacial crustal movements
Arne Bjerhammar
Stockholm augusti 1977
- 18 Rörelser och instabilitet i den svenska berggrunden
Nils-Axel Mörner
Stockholms Universitet augusti 1977
- 19 Studier av neotektonisk aktivitet i mellersta och norra Sverige, flygbildsgenomgång och geofysisk tolkning av recenta förkastningar
Robert Lagerbäck
Herbert Henkel
Sveriges Geologiska Undersökning september 1977

- 20 Tektonisk analys av södra Sverige, Vättern - Norra Skåne
Kennert Röshoff
Erik Lagerlund
Lunds Universitet och Högskolan Luleå september 1977
- 21 Earthquakes of Sweden 1891 - 1957, 1963 - 1972
Ota Kulhánek
Rutger Wahlström
Uppsala Universitet september 1977
- 22 The influence of rock movement on the stress/strain situation in tunnels or bore holes with radioactive constituents embedded in a bentonite/quartz buffer mass
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-08-22
- 23 Water uptake in a bentonite buffer mass
A model study
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-08-22
- 24 Beräkning av utlakning av vissa fissionsprodukter och aktinider från en cylinder av franskt glas
Göran Blomqvist
AB Atomenergi 1977-07-27
- 25 Blekinge kustgnejs, Geologi och hydrogeologi
Ingemar Larsson KTH
Tom Lundgren SGI
Ulf Wiklander SGU
Stockholm, augusti 1977
- 26 Bedömning av risken för fördröjt brott i titan
Kjell Pettersson
AB Atomenergi 1977-08-25
- 27 A short review of the formation, stability and cementing properties of natural zeolites
Arvid Jacobsson
Högskolan i Luleå 1977-10-03
- 28 Värmeledningsförsök på buffertsubstans av bentonit/pitesilt
Sven Knutsson
Högskolan i Luleå 1977-09-20
- 29 Deformationer i sprickigt berg
Ove Stephansson
Högskolan i Luleå 1977-09-28
- 30 Retardation of escaping nuclides from a final depository
Ivars Neretnieks
Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm 1977-09-14
- 31 Bedömning av korrosionsbeständigheten hos material avsedda för kapsling av kärnbränsleavfall. Lägesrapport 1977-09-27 samt kompletterande yttranden.
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp

- 32 Long term mineralogical properties of bentonite/quartz
buffer substance
Preliminär rapport november 1977
Slutrapport februari 1978
Roland Pusch
Arvid Jacobsson
Högskolan i Luleå
- 33 Required physical and mechanical properties of buffer masses
Roland Pusch
Högskolan Luleå 1977-10-19
- 34 Tillverkning av bly-titan kapsel
Folke Sandelin AB
VBB
ASEA-Kabel
Institutet för metallforskning
Stockholm november 1977
- 35 Project for the handling and storage of vitrified high-level
waste
Saint Gobain Techniques Nouvelles October, 1977
- 36 Sammansättning av grundvatten på större djup i granitisk
berggrund
Jan Rennerfelt
Orrje & Co, Stockholm 1977-11-07
- 37 Hantering av buffertmaterial av bentonit och kvarts
Hans Fagerström, VBB
Björn Lundahl, Stabilator
Stockholm oktober 1977
- 38 Utformning av bergrumsanläggningar
Arne Finné, KBS
Alf Engelbrektson, VBB
Stockholm december 1977
- 39 Konstruktionsstudier, direktdeponering
ASEA-ATOM
VBB
Västerås
- 40 Ekologisk transport och stråldoser från grundvattenburna
radioaktiva ämnen
Ronny Bergman
Ulla Bergström
Sverker Evans
AB Atomenergi
- 41 Säkerhet och strålskydd inom kärnkraftområdet.
Lagar, normer och bedömningsgrunder
Christina Gyllander
Siegfried F Johnson
Stig Rolandson
AB Atomenergi och ASEA-ATOM

- 42 Säkerhet vid hantering, lagring och transport av använt kärnbränsle och förglasat högaktivt avfall
Ann Margret Ericsson
Kemakta november 1977
- 43 Transport av radioaktiva ämnen med grundvatten från ett bergförvar
Bertil Grundfelt
Kemakta november 1977
- 44 Beständighet hos borsilikatglas
Tibor Lakatos
Glasteknisk Utveckling AB
- 45 Beräkning av temperaturer i ett envånings slutförvar i berg för förglasat radioaktivt avfall Rapport 3
Roland Blomquist
AB Atomenergi 1977-10-19
- 46 Temperaturberäkningar för använt bränsle
Taivo Tarandi
VBB
- 47 Teoretiska studier av grundvattenrörelser
Preliminär rapport oktober 1977
Slutrapport februari 1978
Lars Y Nilsson
John Stokes
Roger Thunvik
Inst för kulturteknik KTH
- 48 The mechanical properties of the rocks in Stripa, Kråkemåla, Finnsjön and Blekinge
Graham Swan
Högskolan i Luleå 1977-09-14
- 49 Bergspänningsmätningar i Stripa gruva
Hans Carlsson
Högskolan i Luleå 1977-08-29
- 50 Läckningsförsök med högaktivt franskt glas i Studsvik
Göran Blomqvist
AB Atomenergi november 1977
- 51 Seismotectonic risk modelling for nuclear waste disposal in the Swedish bedrock
F Ringdal
H Gjøystdal
E S Hysebye
Royal Norwegian Council for scientific and industrial research
- 52 Calculations of nuclide migration in rock and porous media, penetrated by water
H Häggblom
AB Atomenergi 1977-09-14

- 53 Mätning av diffusionshastighet för silver i lera-sand-blandning
Bert Allard
Heino Kipatsi
Chalmers tekniska högskola 1977-10-15
- 54 Groundwater movements around a repository
- 54:01 Geological and geotechnical conditions
Håkan Stille
Anthony Burgess
Ulf E Lindblom
Hagconsult AB september 1977
- 54:02 Thermal analyses
Part 1 Conduction heat transfer
Part 2 Advective heat transfer
Joe L Ratigan
Hagconsult AB september 1977
- 54:03 Regional groundwater flow analyses
Part 1 Initial conditions
Part 2 Long term residual conditions
Anthony Burgess
Hagconsult AB oktober 1977
- 54:04 Rock mechanics analyses
Joe L Ratigan
Hagconsult AB september 1977
- 54:05 Repository domain groundwater flow analyses
Part 1 Permeability perturbations
Part 2 Inflow to repository
Part 3 Thermally induced flow
Joe L Ratigan
Anthony S Burgess
Edward L Skiba
Robin Charlwood
- 54:06 Final report
Ulf Lindblom et al
Hagconsult AB oktober 1977
- 55 Sorption av långlivade radionuklider i lera och berg
Del 1 Bestämning av fördelningskoefficienter
Del 2 Litteraturgenomgång
Bert Allard
Heino Kipatsi
Jan Rydberg
Chalmers tekniska högskola 1977-10-10
- 56 Radiolys av utfyllnadsmaterial
Bert Allard
Heino Kipatsi
Jan Rydberg
Chalmers tekniska högskola 1977-10-15

- 57 Stråldoser vid haveri under sjötransport av kärnbränsle
Anders Appelgren
Ulla Bergström
Lennart Devell
AB Atomenergi
- 58 Strålrisker och högsta tillåtliga stråldoser för människan
Gunnar Walinder
FOA 4 november 1977
- 59 Tectonic lineaments in the Baltic from Gävle to Simrishamn
Tom Flodén
Stockholms Universitet 1977-12-15