

Forskning

SKI:s granskning av Forsmark 1 och 2 PSA-2000 inom ASAR 2000

Michael Knochenhauer
Leif Spanier

Mars 2003

SKI-perspektiv

Bakgrund

SKI:s föreskrift SKIFS 1998:1 ställer krav på att Probabilistiska säkerhetsanalyser (PSA) ska genomföras och redovisas för samtliga kärnkraftsanläggningar. Som stöd för granskning av PSA har SKI tagit fram en Tillsynshandbok i ett första koncept.

SKI:s syfte

SKI:s syfte med detta forskningsprojekt är att tillämpa Tillsynshandboken i en granskning och utvärdera användbarheten och fånga in nya synpunkter, bl.a. förslag på ytterligare faktorer som kan ha stor betydelse för att kunna bedöma om PSA nivå-1, nivå-2 och s.k. rumshändelsestudier kan anses uppfylla ställda krav.

Resultat

Rapporten ger en oberoende granskares syn på Forsmark 1 och 2:s nivå-1, nivå-2 och rumshändelse studier, dessutom ger den erfarenheter tillbaka till SKI från praktisk tillämpning av Tillsynshandboken för PSA.

Eventuell fortsatt verksamhet inom området

Detta projekt är ett av två som ska ge erfarenheter som beaktas i nästa utgåva av Tillsynshandboken för PSA. Se även SKI Rapport 02:31 och 02:40.

Effekt på SKI:s verksamhet

Resultatet från detta forskningsprojekt har utmynnat dels i observationer som föranlett SKI att ställa krav på att Forsmarks Kraftgrupp AB reviderar PSA-studien, dels observationer som förbättrar SKI:s Tillsynshandbok PSA och förenklar SKI:s framtida granskningar av PSA.

Projektinformation

SKI:s projekthandläggare: Ralph Nyman

Projektnummer: 01117

Dossie-diarienummer: 14.2-990761

Forskning

SKI:s granskning av Forsmark 1 och 2 PSA-2000 inom ASAR 2000

Michael Knochenhauer¹
Leif Spanier²

¹Impera-K AB
Kyrkvägen 20
196 30 Kungsängen

²Sycon AB
205 09 Malmö

Mars 2003

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Statens kärnkraftinspektion, SKI. Slutsatser och åsikter som framförs i rapporten är författarens/författarnas egna och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med SKI:s.

Innehållsförteckning

1	<u>INLEDNING</u>	1
1.1	<u>BAKGRUND</u>	1
1.2	<u>FORMER FÖR GENOMFÖRANDE AV GRANSKNINGEN</u>	1
1.3	<u>UNDERLAG FÖR GRANSKNINGEN</u>	1
1.4	<u>GRANSKNINGENS MÅL</u>	2
1.5	<u>DOKUMENTATION AV GRANSKNINGEN</u>	3
2	<u>SAMMANFATTANDE OMDÖME OM STUDIEN</u>	6
2.1	<u>ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN</u>	6
2.2	<u>NIVÅ 1 PSA</u>	6
2.3	<u>NIVÅ 2 PSA</u>	13
3	<u>ORGANISATORISKA FRÅGOR OCH KVALITETSSÄKRING</u>	19
3.1	<u>TILLSTÅNDSHAVARENS ORGANISATION M.A.P. PSA</u>	19
3.2	<u>KVALITETSSÄKRING AV PSA-VERKSAMHET</u>	19
3.3	<u>PSA-DOKUMENTATIONENS STATUS OCH DOKUMENTKONTROLL</u>	20
3.3.1	<i>Status och dokumentkontroll</i>	20
3.3.2	<i>Dokumentstruktur</i>	20
3.4	<u>KONFIGURATIONSKONTROLL OCH UPPDATERING AV PSA</u>	21
4	<u>TILLÄMPNING AV PSA</u>	22
4.1	<u>ANVÄNDARE OCH ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN</u>	22
4.2	<u>RESULTATPRESENTATION</u>	23
4.2.1	<i>Totala resultat</i>	23
4.2.2	<i>Känslighetsanalys</i>	25
4.2.3	<i>Osäkerhetsanalys</i>	27
4.3	<u>BESLUTSKRITERIER</u>	28
4.4	<u>JÄMFÖRBARHET</u>	29
5	<u>GENOMFÖRANDE AV PSA</u>	30
5.1	<u>PSA:S OMFATTNING OCH TÄCKNINGSGRAD</u>	30
5.2	<u>INLEDANDE HÄNDELSER</u>	34
5.2.1	<i>Rörbrott</i>	35
5.2.2	<i>Transienter</i>	37
5.2.3	<i>CCI</i>	38
5.3	<u>SEKVENSPANALYS</u>	39
5.3.1	<i>Generellt</i>	39
5.3.2	<i>Sluttillstånd</i>	40
5.3.3	<i>Systemkrav</i>	40
5.3.4	<i>Återställning av felande system/komponent (recovery)</i>	40
5.3.5	<i>Specifikt för nivå 2 PSA</i>	41
5.4	<u>SYSTEMANALYS</u>	45
5.5	<u>ANALYS AV MANUELL INGREPP</u>	47
5.6	<u>ANALYS AV BEROENDEN</u>	49
5.7	<u>ANALYS AV ERFARENHETSDATA</u>	50
5.8	<u>ANALYS AV RUMSHÄNDELSER</u>	51
5.8.1	<i>Brand</i>	52
5.8.2	<i>Översvämning och ångfrigörelse</i>	55
5.9	<u>ANALYS AV YTTRE (EXTERN) HÄNDELSER</u>	56
5.10	<u>ANALYS AV AVSTÄLLD REAKTOR</u>	57
6	<u>REFERENSER</u>	60
BILAGA 1	<u>F1/2 PSA –OMFATTNING AV SKI:S GRANSKNING</u>	61

BILAGA 2 KÄNSLIGHETSANALYS (SUMMERING AV RESULTAT)	69
---	-----------

BILAGA 3 SYSTEMANALYS (SUMMERING AV RESULTAT)	73
--	-----------

Tabeller

Tabell 1-1	Mål för PSA-granskningen.....	2
Tabell 2-1	Översikt över användningsområden och värdering av F1/F2 PSA	6
Tabell 4-1	Översikt över omfattning av F1/2 PSA:s redovisning och analys av resultat	24
Tabell 4-2	Sammanställning av F1/2 PSA:s kvantitativa resultat (hela studien).....	25
Tabell 4-3	Resultat av osäkerhetsanalys (endast inre händelser under effekt drift samt ned- och uppgång).....	28
Tabell 5-1	Definitionen av olika drifttillstånd - effekt drift, nedgång/uppgång och avställning.....	31
Tabell 5-2	Transientfrekvenser - Jämförelse mellan I-boken och PSA-2000l.....	37

Figurer

Figur 1-1	Granskningsdatabas / Tillsynshandbok PSA.....	4
Figur 1-2	Granskningsdatabas / Övriga kommentarer	5
Figur 5-1	Översikt över F1/2 PSA:s omfattning (FT 2001-12).....	32
Figur 5-2	Översikt över F1/2 PSA:s omfattning (enligt granskning).....	33

Definitioner och förkortningar

Uttryck / Akronym	Förklaring	Motsvarighet på engelska
Alfa-faktor-modellen	Metodik för modellering och kvantifiering av CCF	Alfa-factor model, for modelling and quantification of CCF
ASAR	Återkommande säkerhetsredovisning för nukleär anläggning	As-operated Safety Analysis Report
ASAR-90	Återkommande säkerhetsredovisning för nukleär anläggning, under 90-talet	As-operated Safety Analysis Report, During the 90ies
AU	Avhjälpande underhåll	Corrective maintenance
Berrys metod	Metod i brandanalyser som används för att fördela total brandfrekvens mellan olika rum.	
Beta-faktor-modellen	Metodik för modellering och kvantifiering av CCF	Betha-factor model, for modelling and quantification of CCF
BFR	Modell för modellering och kvantifiering av CCF	BRF - Binomial Failure Rate, a CCF model
BWR	Kokvattenreaktor	Boiling Water Reactor
CCF	Fel med gemensam orsak	Common Cause Failure
CCI	Händelse som medför transient, samtidigt som den försvagar en eller flera säkerhetsfunktioner	Common cause initiator
CET	Haveriutvecklingsträd eller inneslutningshändelsesträd (nivå 2 PSA)	Containment event tree
DCH	Snabb upphettning av inneslutningens atmosfär i samband med genomsmältning av reaktortanken (nivå 2 PSA)	Direct containment heating
DDT	(Övergång från deflagration till detonation vid förbränning av gas)	Deflagration to Detonation Transition
FMEA	Felmods- och effektanalys	Failure Mode and Effect Analysis
FSAR	Slutlig säkerhetsrapport	Final Safety Analysis Report
FTA	Felträdsanalys	Fault tree analysis
FU	Förebyggande underhåll	Preventive maintenance
HEP	Sannolikheten för mänskligt felhandlande	HEP – Human Error Probability
HRA	Analys av mänsklig växelverkan	Human Reliability Analysis
HS	Härdskada	CM – Core Melt
HTA	Händelseträdsanalys	Event tree analysis (ETA)
HUT	Haveriutvecklingsträd	CET – Containment Event Tree
IH	Inledande Händelse; händelse som medför eller kräver avställning av reaktor.	IE - Initiating event
LOCA	Olycka med förlust av kylmedel	Loss of coolant accident

Uttryck / Akronym	Förklaring	Motsvarighet på engelska
LPSA	PSA-verksamhet som har utvecklats till att PSA har aktiv och vidsträckt användning i det praktiska säkerhetsarbetet.	Living PSA
LWR	Lättvattenreaktor	Light water reactor
MAAP	Program för haverianalys	Modular Accident Analysis Program
MCS	Minimalt cutset, minsta möjliga delmängd av unika händelsekombinationer som ger ett felaktigt tillstånd	Minimal Cut Sets
MGL	Metodik för modellering och kvantifiering av CCF	MGL – Multiple Greek Letter method for modelling and quantification of CCF
MTO	Människa – teknik – organisation	Man-Machine-Organisation
PDS	ST - Stationstillstånd (nivå 2 PSA)	Plant damage state
PLI	Planerat ingrepp	-
PSA nivå 1	PSA som redovisar risken för härdskada	Level 1 PSA
PSA nivå 2-	PSA som redovisar risken för aktivitetsutsläpp utanför inneslutningen till följd av härdskada	Level 2 PSA
PSA nivå 3	PSA som redovisar omgivningspåverkan till följd av aktivitetsutsläpp utanför inneslutningen	Level 3 PSA
PSAR	Preliminär säkerhetsrapport	Preliminary Safety Analysis Report
PSF	Påverkansfaktorer (i analys av mänsklig växelverkan)	Performance shaping factors
PWR	Tryckvattenreaktor	Pressurised Water Reactor
QA	Kvalitetssäkring	Quality Assurance
QC	Kvalitetskontroll	Quality Control
Rumshändelser	Yttre händelser som inträffar utanför processen, inom anläggningen; i första hand brand, översvämning och ångfrigörelse	Area events
SHARP	Metodik för modellering av mänskligt felhandlande	Systematic Human Action Reliability Procedure
SLIM	Metodik för modellering av mänskligt felhandlande	Success Likelihood Index Method
ST	Stationstillstånd	PDS – Plant damage states
STF	Säkerhetstekniska förutsättningar	Technical Specifications (TechSpec)
THERP	Metodik för modellering av mänskligt felhandlande	Techniques for Human Error Rate Prediction
Yttre händelser	Inledande händelse utanför anläggningen	External events

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Denna rapport redovisar kommentarer från SKI:s granskning av Forsmark 1 och 2 PSA (F1/2 PSA). Arbetet med analysen har pågått sedan 1997 och den avslutades våren 2001, då studien också lämnades in till SKI.

Utgångspunkten för FKA:s uppdatering var PSA nivå 1 från 1988 (granskad av SKI 1991), med senaste version 1993. Denna kompletterades senare med en brandanalys (1997) och en översvämningsanalys (1997, ej slutredovisad).

Genomförandet av PSA-projektet, av FKA benämnt PSA-2000 har skett i två steg. Steg 1 som löpte åren 1997 – 1999 beställdes av FTT och innebar en uppgradering inför ASAR-90-redovisningen. Denna version blev dock ej godkänd som slutleverans. Av detta skäl initierades ett andra steg ("omstart") under år 2000. Steg 2 innebar uppgradering av nivå 1-delen inom ett antal områden. Den omfattar dock ej rumshändelser och analys av kall avställning, och endast till en del nivå 2 PSA (omräknade utsläppsfrekvenser).

1.2 Former för genomförande av granskningen

F1/2 PSA har granskats på uppdrag av SKI. Granskningen har skett med utgångspunkt i SKI:s tillsynshandbok PSA [1], vilket även återspeglas i denna granskningsrapports struktur.

Granskningen har utförts under perioden juni – december 2001 av Michael Knochenhauer, Impera-K AB (nivå 1 PSA samt sammanhållande) och Leif Spanier, Sycon AB (nivå 2 PSA). Vid två gemensamma granskningsmöten har granskningen samordnats och växelverkan mellan nivå 1 och 2 PSA diskuterats.

Slutsatser av granskningen har presenterats för SKI och diskuterats vid ett 2-dagars seminarium den 20-21 november 2001.

1.3 Underlag för granskningen

Granskat underlag

1. FKA Forsmark 1 och 2; PSA-2000
Bilaga 1 redovisar innehållet i F1/2 PSA, och visar även omfattningen av granskningen.
2. FKA Forsmark 1 och 2; PSA-2000 Projekthandbok; FT 98/024
3. FKA Risk Spectrum-modell F1_S0051 (inre händelser under effektdrift samt ned- och uppgång)

Kompletterande underlag

4. FKA Forsmark 1 och 2; PSA-2000 – Viktiga referenser
PSA-dokumentationen innehåller ett antal pärmar betecknade "Viktiga referenser"; även dessa har i viss utsträckning granskats (se bilaga 1).
5. KSU/SKI T-boken, del 4

- | | | |
|----|---------|---|
| 6. | SKI | I-boken, del 2 |
| 7. | Pörn | Skattning av systemvisa utflödesfrekvenser i nordiska kärnkraftverk, SKI Rapport 99:1 |
| 8. | Pörn | X-boken - Skattning av brandfrekvenser per anläggning och anläggningsdel, SKI Rapport 96:65 |
| 9. | Mankamo | CCF Analysis of Hydraulic Scram and Control Rod Systems in the Swedish and Finnish BWR Plants, SKI Report 96:77 |

1.4 Granskningens mål

Granskningen har skett dels som en traditionell PSA-granskning, dels som en tillämpning av SKI:s tillsynshandbok PSA.

Vad gäller den traditionella PSA-granskningen, så innebär den en bedömning av exempelvis studiens kvalitet, relevans, fullständighet och användbarhet, se Tabell 1-1.

Tillämpningen av SKI:s Tillsynshandbok PSA har inkluderat skapande av en databas med samtliga handbokens bedömningskriterier och värdering av PSA-2000 mot kriterierna. Dessutom har, eftersom detta är första gången tillsynshandboken används i en PSA-granskning, en värdering av handboken skett m.a.p. tolkning av kriterier, tydlighet m.m.

Tabell 1-1 Mål för PSA-granskningen

Bedömning av studiens trovärdighet	<ul style="list-style-type: none"> • kvalitet i dokumentation (begriplighet, fullständighet, referenser, etc.) • täckningsgrad (system, inledande händelser, fenomen, etc.) • representativitet (rimlighet i studiens detaljeringsgrad, beskrivning och modellering av anläggningen och av missödessekvenser) • bakgrundsanalyser (systemkrav, fenomen, tillgängliga tider etc.)
Bedömning av studiens användbarhet	<ul style="list-style-type: none"> • SKI:s framtida användning av studien • FKA:s framtida användning av studien
Värdering av randvillkor och begränsningar	<ul style="list-style-type: none"> • resultatpåverkan från kända eller identifierade begränsningar, förenklingar, konservatism, icke-konservatism, etc. • identifiering av kritiska randvillkor inom PSA:n • förenklade/trunkerade analyser • systemkrav och systemkreditering • känslighetsanalys av viktiga randvillkor och begränsningar • fullständighet (bedömning av inverkan från saknade analyser)
Genomgång av dominerande resultat	<ul style="list-style-type: none"> • robusthet (värdering av HS-nivå, resultat från känslighetsanalyser och medvetna konservatism) • acceptanskriterier • användning av osäkerhetsanalys samt värdering av osäkerheter
Tillämpning av SKI:s Tillsynshandbok PSA	<ul style="list-style-type: none"> • Skapande av databas • Värdering av PSA-2000 mot databasen • Värdering av handboken m.a.p. tolkning, tydlighet m.m.

1.5 Dokumentation av granskningen

Granskningsrapporten innehåller en övergripande värdering av F1/2 PSA i kapitel 2 och en summeringar av detaljkommentarer i kapitel 3 till 5.

Målet har varit att använda samma uppläggning som i SKI:s Tillsynshandbok PSA, vilket i stor utsträckning varit möjligt. Således ägnas kapitel 3 åt "Organisatoriska frågor och kvalitetssäkring", kapitel 4 åt "Tillämpning av PSA" och kapitel 5 åt "Genomförande av PSA". I kapitel 5 har dock några avsteg fått göras, genom att analys av rumshändelser, yttre (externa) händelser och analys av avställd reaktor fått egna avsnitt.

Alla kommentarer som kräver svar eller åtgärd presenteras i bilaga 4 och 5; bilagorna är dokumenterad som en Accessdatabas.

Samtliga kommentarer har klassificerats med avseende på typ, viktighet och status. Statusklassificeringen kommer att fyllas i efter FKA:s första genomgång av kommentarerna.

Följande klassificering används:

Typ

F	Fråga eller förtydligande
P	Projektrelaterat
KD	Dokumentationsanmärkning
KF	Kommentar rörande fullständighet
KR	Kommentar rörande randvillkor

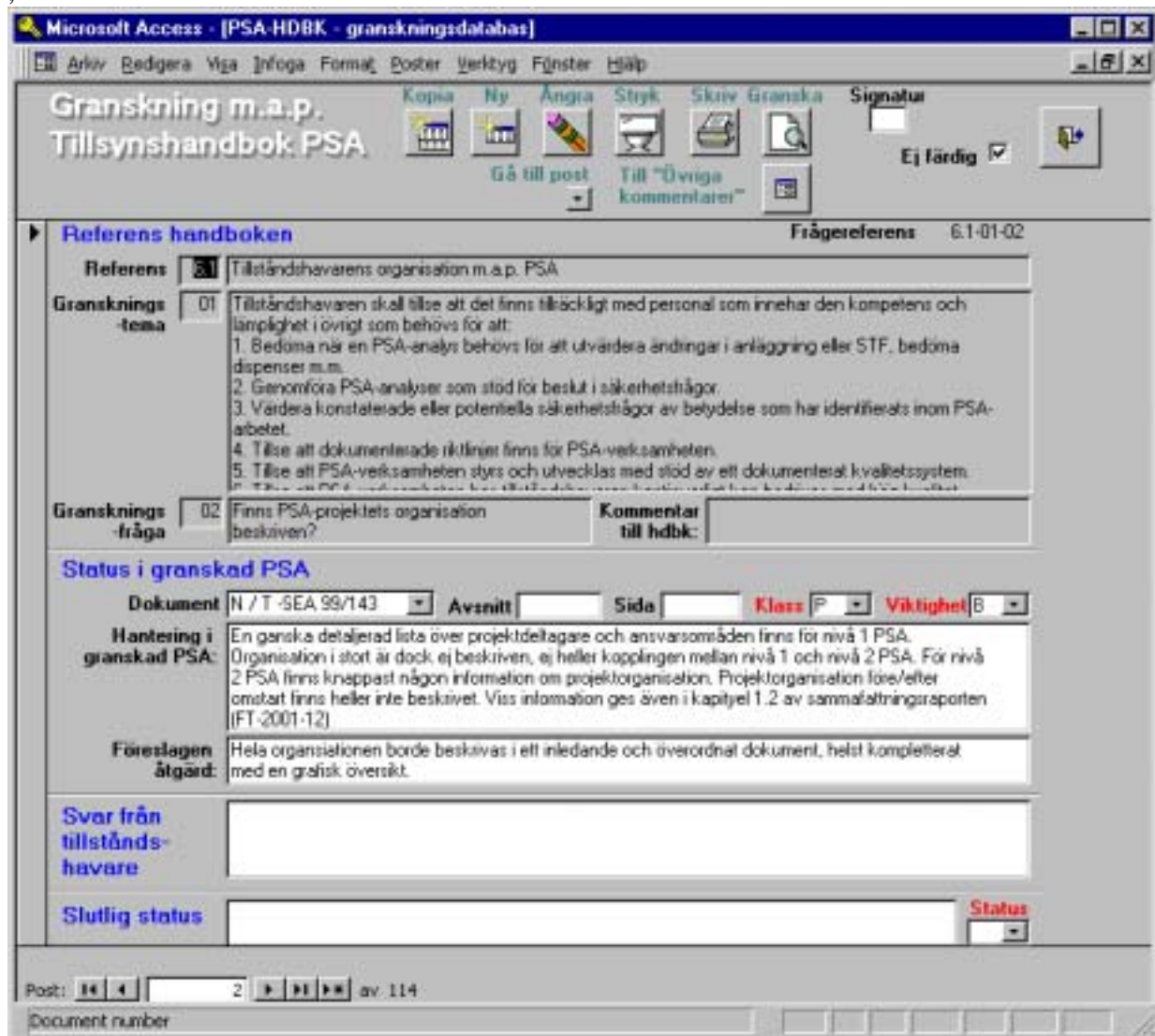
Viktighet

A	Mycket viktig (bedöms kräva omedelbar åtgärd)
B	Viktig (bedöms kräva åtgärd i nästa PSA-uppdatering)
C	Övriga

Status (efter besvarande av kommentarer)

OK	Klar
F	Frågan kommer att besvaras
D	Dokumentationen ändras eller kompletteras
A	Analysen ändras eller kompletteras
K	Kvarstår (ej löst)

Granskningsdatabasen består av två delar, en del som dokumenterar granskning m.a.p. SKI:s Tillsynshandbok PSA (se bilaga 4), och en som dokumenterar övriga frågor från granskningen, (se bilaga 5).



Figur 1-1 Granskningsdatabas / Tillsynshandbok PSA

Microsoft Access - [Övriga frågor/kommentarer]

Arkiv Redigera Visa Infoga Format Poster Verktyg Fönster Hjälp

Övriga kommentarer

Kopiera Ny Angra Stryk Skriv Granska Signatur / nummer
 Gå till post Till "PSA-handbok" Ej färdig

Fråga / kommentar Kommentarerreferens 0.2 / FT-2001-12 / Kapitel 1.2 Sida 4

Dokumentref: 0.2 / FT-2001-12 Avsnitt 1.2 Sida 4 Klass: KF Viktighet: 8

Dokumentnamn: FT-2001-12 / Sammanfattningsrapport om PSA-2000-projektet rörande Forsmark 1 och 2. Nivå 1 och 2-stu

Rubrik: Omfattning av uppdatering mellan år 1999 och år 2000

Bakgrund eller textreferens: Första redovisningen av projektet hösten 1999 godkändes ej som slutredovisning utan en uppdatering måste ske inom ett antal områden. Denna genomfördes under år 2000.

Fråga eller kommentar: Det framgår varken i detta eller andra dokument på vilka punkter en uppdatering gjordes. För förståelse och värdering av studiens utveckling, och för ökad förståelse av ej uppdaterade delar av studien, borde en beskrivning av uppdateringen ingå i studien.

Föreslagen åtgärd: Inkludera beskrivning av uppdateringen. Möjligt kan detta ske genom att inkludera valda delar av rapport FT-2000-12; PSA-2000 Modifieringar av PSA-modellen; 2000-05-09.

Svar från tillståndshavare

Slutlig status Status

Post: 15 av 169

Formulär

Figur 1-2 Granskningsdatabas / Övriga kommentarer

2 Sammanfattande omdöme om studien

2.1 Användningsområden

I Tabell 2-1 presenteras en översikt över generellt viktiga eller önskvärda användningsområden för en PSA, och ges en värdering av F1/F2 PSA med avseende på dessa områden. Listan över användningsområden finns i SKI:s Tillsynshandbok PSA [1].

Tabell 2-1 Översikt över användningsområden och värdering av F1/F2 PSA

Viktiga användningsområden	Användbarhet
1. Identifiering av relativa svagheter i anläggningen, d.v.s. identifiera och prioritering av säkerhetshöjande åtgärder som skall genomföras i anläggningen	PSA:n är i stor utsträckning användbar inom dessa områden, men med viss reservation. Detta gäller t.ex. jämförbarhet mellan resultat från analys av rumshändelser och inre händelser. OBS: Detta förutsätter dock att hela studien uppdateras till samma revisionsstatus (version 2000)
2. Utvärdering av planerade eller genomförda anläggningsändringar	
3. Utvärdering av inträffade händelser	
4. Utvärdering av planerade eller genomförda ändringar i STF eller FSAR	
5. Värdering av anläggningens risknivå mot säkerhetsmål	
6. Utvärdering av dispenser från SKIFS 1998:01	
Önskvärda användningsområden	Användbarhet
7. Optimering av test- och provintervall	Kräver anpassning, men utesluts inte av nuvarande PSA:s uppläggning. OBS: Detta förutsätter dock att hela studien uppdateras till samma revisionsstatus (version 2000)
8. Tidsberoende riskuppföljning	
9. Trendindikatorer	

2.2 Nivå 1 PSA

PSA-2000 är en ambitiös analys, som strävat efter fullständighet m.a.p. beskrivning av riskbilden för anläggningarna. Underlaget är mestadels välskrivet och lättläst, och de enskilda analysrapporterna är ofta väl strukturerade. Det kan vidare konstateras att intressanta och givande angreppssätt införts inom flera områden (t.ex. i analysen av LOCA, CCI och brand). Det finns en tydlig strävan efter att utnyttja anläggnings-specifikt underlag. Den iterationen som gjordes i och med omstarten av arbetet år 2000 har varit kvalitetshöjande, och belyser på ett positivt sätt FKA:s strävan efter successivt ökad realism. Den fristående sammanfattningsrapporten (FT 2000-12) innehåller en både intressant och relevant resultatdiskussion.

Organisationen av arbetet är otillräckligt beskriven, och fokuserar i den mån den alls beskrivs på genomförandet av nivå 1 PSA fram till och med 1999. Således saknas en beskrivning av projektet som sådant, inkluderande både PSA nivå 1 och 2, och alla drifttillstånd och inledande händelser.

Kvalitetssäkring (QA) berörs allmänt otillräckligt i PSA:n, endast mycket kort i metodbeskrivning A1. Det finns inget fristående QA-program (kvalitetssäkringsprogram) för

PSA-projektet. Granskning verkar ha fungerat väl. Fristående granskning skedde främst av 1999 års version, vilket innebär att det finns en viss oklarhet om vad som gäller för inlämnad version. Det framgår ej om och hur fristående granskning av FAI:s rapporter skett. En ytterligare kommentar på denna punkt är att ingen granskning verkar ha skett av helheten, d.v.s. hela PSA-2000, med fokus på konsistens, fullständighet, smidig växelverkan, dokumentstruktur, etc.

Metodbeskrivningar har utarbetats för vissa analysmoment. Vissa viktiga metodbeskrivningar saknas dock, främst gäller detta för nivå 2 PSA. Övriga metodbeskrivningar är i första hand projektbeskrivningar inriktade på att specificera arbetet i PSA-2000-projektet, och skulle behöva omarbetas för att passa ett fortlöpande PSA-arbete.

Dokumentationen utgör ett av huvudproblemen med studien. Den är omfattande och mycket svåröverblickbar. Studien saknar en inledande summering och översikt som knyter ihop PSA:n, vilket försvårar överblicken. Även inom flera av studiens delområden saknas sammanfattningar och överblickar; t.ex. för drifttillstånd, inledande händelser, dokumentationsöversikt och resultatsammanställning. Den separata sammanfattningsrapport som utarbetats (FT-2001-12) är intressant och välskriven, men fyller främst funktionen som fristående "Executive summary". Dokumentstrukturen har många inkonsekventa drag. Huvudrapporten är i princip begränsad till nivå 1, inre händelser under effektdrift, och det finns en delvis godtycklig indelning i kapitel respektive appendices. Referenser inom PSA-2000 görs inte på ett konsekvent sätt och sällan med angivande av kapitelnummer eller appendix. Detta gör ett inkonsekvent intryck, och gör det svårt att spåra (och använda) information. Sammantaget finns det en uppenbar risk att dokumentstrukturen kommer att leda till problem både vid användning och uppdatering av studien. Det måste dock i detta sammanhang tilläggas att enskilda delanalyser ofta är både välskrivna och välstrukturerade; det är i den övergripande planeringen och integrationen av dokumentationen som bristerna i första hand finns.

Vad gäller *konfigurationskontroll* har ett antal specifika problem noterats vid granskningen. I första hand gäller dessa relationen mellan 1999 års grundversion och uppdateringen år 2000. Således framgår det ej av PSA:n på vilka punkter uppdateringen gjordes. Vidare omfattar uppdateringen endast PSA nivå 1 för inre händelser under effektdrift och uppgång/nedgång, vilket innebär att PSA:n för närvarande innehåller stora delar som formellt sett är inaktuella. Det saknas en diskussion av relevansen i resultat från ej uppdaterade delar, samt en plan för uppdatering av studien till samma revisionsläge. En sådan uppdatering bedöms vara av kritisk vikt för relevansen i kommande PSA-arbete.

En samlad beskrivning av *användningsområden* saknas i studiens inledning, men framgår indirekt ur ett antal dokument, främst appendix A1 "Övergripande metodbeskrivning". I sammanfattningsrapporten FT-2001-12 görs en avslutande värdering av områden inom vilka studien bedöms kunna användas. Bedömningen är med nuvarande uppdateringsstatus alltför generös, men är rimlig efter uppdatering av hela studien till status år 2000. Det måste i anslutning till kommentarerna på dokumentationens struktur betonas att studiens användbarhet bedöms påverkas negativt av dess inkonsistenta och oöverblickbara struktur.

Kvantifiering och resultatpresentation presenteras på ett flertal olika håll i PSA:n (totalt bortåt 10 olika dokument), och är en av de mest uppsplittrade och svåröverblickbara aktiviteterna i PSA:n. Med nuvarande struktur är det i princip omöjligt att överblicka och förstå PSA:ns kvantifiering och resultatpresentation. Bilden kompliceras ytterligare av att delar av analysen bygger på 1999 års modell.

Total härdskadefrekvens redovisas som $2.5E-5$ /år för inre inledande händelser under effektdrift och nedgång/uppgång. Detta sägs vara lågt, som det verkar baserat på att Vattenfalls säkerhetsmål endast överskrids måttligt, kombinerat med en vag hänvisning till "flera konservativa antaganden". Resonemanget är inte invändningsfritt. Det finns visserligen en del uttalade eller förmodade konservatism, som dock successivt reducerats för att öka analysen realism. Det finns även icke-konservatism, vilket varken i denna eller andra resultatdiskussioner hanteras på ett systematiskt sätt. Att i detta läge betrakta ett tämligen högt resultat som acceptabelt med framförda argument framstår inte som rimligt. En ytterligare komplikation är att diskussionen bortser från härdskadebidraget från rumshändelser samt från avställningsperioden, se Tabell 4-2 för en komplett resultatsammanställning.

Känslighetsanalyser för delar av studien (nivå 1 inre händelser under effektdrift samt ned- och uppgång) har genomförts. Urvalet av känslighetsanalyser är rimligt, liksom presentation av dess resultat. Resultaten verkar också ha använts aktivt i resultatanalysen för PSA:n. Analysen omfattar dock inte rumshändelser eller kall avställning. Åtminstone för rumshändelser är detta en diskutabel inskränkning, som borde motiveras bättre. Ett antal viktiga fall saknas, som berör ändringar mellan 1999 och 2000 års modeller; ett exempel är H-rumskylning som antas ej behövas baserat på kompletterande analyser, men förutsattes behövas i tidigare versioner. Inverkan av den ändrade modelleringen borde utvärderas.

Osäkerhetsanalysen omfattar parametriska osäkerheter i PSA nivå 1 för inre händelser under effektdrift samt ned- och uppgång. Detta innebär att analysen ej omfattar nivå 2 PSA och ej heller rumshändelser eller händelser vid avställd reaktor. Den genomförda delen av analysen är ett grundligt arbete som, bortsett från de generella avgränsningarna, ger intrycket av att vara ambitiös och komplett.

Beslutskriterier för värdering av analysens resultat inom studiens användningsområden saknas i stor utsträckning; endast kriterium för totalresultat finns ($1E-5$ /år för härdskada och $1E-7$ /år för "stora utsläpp"). Dessa kriterier tillämpas dock ej på studiens totalresultat. I brandanalysen (Appendix D.1, avsnitt 8.3) anges (felaktigt?) att kriteriet $1E-5$ /år gäller för inledande händelse brand, samt $1E-6$ /år per brandfall.

Vad gäller *jämförbarhet* mellan studiens olika delar, så har man i PSA-2000 haft ett rimligt angreppssätt, d.v.s. först gjort en grundanalys med vissa förenklingar (delvis konservativa); sedan iterativt ökat realismen på ett antal områden med stor riskpåverkan. Även i studiens slutsatser identifieras utvecklingsområden som kommer att öka realismen i studien. Man verkar således ha eftersträvat realism i samtliga delanalyser, och successivt ökat denna på vissa punkter. För närvarande är dock jämförelse inte möjlig, eftersom delar av studien ej uppdaterats till 2000 års modell.

Ett kritiskt *randvillkor* gäller studiens applicerbarhet på Forsmark 2. Studien har genomförts för F1, men det antas generellt och utan djupare motivering att studien är direkt applicerbar på F2 med undantag för skillnader som ges av skilda erfarenhetsdata. Detta är ett av studiens viktigaste antaganden, men diskuteras inte alls, och kan på goda grunder ifrågasättas. Det förutsätter bland annat att anläggningarna är i princip identiska, och att eventuella skillnader är utan betydelse för en PSA.

PSA:ns *omfattning och täckningsgrad* är dåligt underbyggd. Ingen systematisk procedur har tillämpas för att identifiera möjliga källor till radioaktiva utsläpp, och vissa inledande händelser utelämnats utan motivering. Presenterad tabell över omfattningen av PSA-2000 är varken fullständig eller korrekt och den angivna täckningsgraden bedöms vara starkt överdriven. Definitionen av olika drifttillstånd (effektdrift, nedgång/uppgång och avställning) är konsekvent gjord men mycket otydligt och uppsplittrat beskriven.

Analysen av *inledande händelser* presenteras i ett eget avsnitt i huvudrapporten (kapitel 3), som fokuserar på inre inledande händelser under effekt drift. Inledande händelser under uppgång och nedgång berörs delvis av kapitlet, men hänvisas till större delen till ett separat analysdokument (Appendix G). Inledande händelser under brand och översvämning refereras kort i det överordnade kapitlet om inledande händelser, vilket är bra. Den detaljerade analysen sker dock i separata analysdokument (Appendix D.1 och D. 2). Kapitel 3 täcker således översiktligt alla typer av inledande händelser, men fokuserar på inre händelser under effekt drift. Kapitlet ger en god summerande överblick över analysen, inklusive en diskussion av olika grunder för indelning i olika kategorier av inledande händelser och olika anläggningstillstånd. Delar av kapitlet skulle kunna användas som underlag för den inledande kategorisering som saknas i PSA:n. Identifieringen av inledande händelser utnyttjar i stor utsträckning listor (driftstatistik, EPRI-listan och FSAR:s lista över transienter och haverier). Det hade varit önskvärt att bättre verifiera fullständigheten i analysen av inledande händelser, vilket kan göras med en deduktiv analys, t.ex. Master Logic Diagrams.

Analysen av *rörbrott* inkluderar rörbrott innanför inneslutningen (LOCA), oisolerade yttre rörbrott (Y-LOCA) och reaktortankbrott. Sammantaget gör analysen ett fullständigt och vederhäftigt intryck. Den är väl dokumenterad och har på ett ambitiöst sätt försökt utnyttja nya tillgängliga datakällor. Den kvalitativa analysen är väl genomförd, inklusive analysen av sekundära effekter. Isolerbara yttre rörbrott analyseras som rumshändelser (översvämning). Reaktortankbrott antas per definition leda till härdskada, och analyseras inte vidare i nivå 1, utan hänvisas till nivå 2-analysen, där den dock fallit bort. Sekundära effekter fås dels genom att spädmatning uteblir via drabbad rördel, dels genom dynamiska effekter, av vilka endast rörslag beaktats i analysen. En analys av avståndsseparation i inneslutningen har gjorts och ett antal fall definierats där rörbrott får sekundära effekter. I viss utsträckning utvärderas även sekundära effekter på annan utrustning än rör. I ansättningen av frekvenser för LOCA gör man skillnad på rörbrott (giljotinbrott) och läckage. Frekvenser för rörbrott och läckage har uppskattats. För stor och medelstor LOCA görs en nollpunktskattning baserat på att inget sådant rörbrott inträffat i en BWR under total 1960 driftår. För små rörbrott, läckage och bottenbrott utnyttjas drifterfarenheter från nordiska BWR. För yttre brott (Y-LOCA) har frekvenser beräknats på samma sätt. Oisolerat yttre brott (Y) antas alltid leda till härdskada, och hänförs till nivå 2-studien. Eftersom analysen i nivå 2-studien visar ett yttre brott inte alltid leder till härdskada, borde den återföras till nivå 1 och presenteras där. I analysen av nedgång och uppgång används samma LOCA-kategorier som under effekt drift. Använt förfarandet bedöms vara rimligt.

Transienter identifieras baserat på genomgång av ett antal listor, d.v.s. driftstatistik över inträffade stopp i Forsmark 1 och 2, transienter och haverier i FSAR samt den generella EPRI-listan över BWR-transienter. Frekvensen för transienter har beräknats baserat på drifterfarenheter från revisionen 1981 till 30/6 2000. Presenterade frekvenser skiljer sig avsevärt från de som presenteras i I-boken, och orsaken till skillnaden borde diskuteras i studien. För bortfall av yttre nät baseras frekvensen på en separat analys. I samma analys bestäms sannolikheten för återkomst av yttre nät efter olika tid. För nedgång finns den grundläggande transienten T_p . Under nedgången analyseras ett antal störningar; dessutom ingår rörbrott och rumshändelser. För uppgång finns den grundläggande transienten T_u . Samma störningar som under nedgång analyseras, och dessutom kriticitetsstörningar. Beroende på vilka störningar som inträffar under nedgång/uppgång, används olika händelsesträd (ur effekt driftanalysen) för analysen. Frekvensen för transienterna T_p och T_u beräknas baserat på en genomgång av driftstatistik. En motsvarande genomgång ingår i kapitel 3 "Inledande händelser".

Analys av CCI redovisas i kapitel 3 om inledande händelser, men även i kapitel 6 om beroenden; det vore bättre att inkludera analysen i sin helhet i kapitel 3. Analysen är systematisk, väl genomförd och beskriven i tillräcklig detalj. Den innehåller också en del intressanta nya grepp, såsom diskussionen av STF-initierade CCI och användning av anläggningssimulator för att analysera potentiella CCI som följd av skenbortfall. CCI identifieras i första hand med hjälp av listor över CCI i andra PSA (I-boken, F3 PSA, TVO PSA och O1 PSA). Som oberoende kontroll ingår värdering av CCI-potential i systemanalyserna. CCI kategoriseras genom att huvudkategorin alltid sätts till Tt eller Ttf, vilket i vissa fall är konservativt. Med tanke på det relativt stora riskbidraget från CCI kan denna medvetna konservatism ifrågasättas.

Sekvensanalysen är en väl dokumenterad analys, som också är ganska väl sammanhållen. Innehåll och genomförande är enligt aktuell praxis. Funktionsblocksdiagram, händelsetråd och sekvensbeskrivningar presenteras. I kapitlet definieras dels lyckat sluttillstånd och härdskada, dels anläggningstillstånd (PDS) för fortsatt analys i nivå 2-studien. Detta sker genom att i händelsetradsmodellen tilldela varje HS-sekvens två konsekvenser, en HS-konsekvens och en PDS. Huvudrapporten innehåller en väl underbyggd diskussion av systemkrav med en kompletterande presentation som en lätt överblickbar matris. För ned- och uppgångsanalysen gäller att systemfunktionskrav endast diskuteras i text, vilket gör det hela litet överskådligt, och dessutom inkonsistent med den överskådliga matrispresentation som finns både i fulleffektstudien och i analysen av avställd reaktor. Systemkrav i avställningsanalysen är sämre underbyggda (postulerade i metodbeskrivningen). Systemkraven för nivå 1 PSA har analyserats med MAAP, och resultaten från dessa analyser har använts på ett rimligt sätt.

Systemanalyserna är väl dokumenterade, och sammanför information från många olika håll i PSA:n. De ger därmed en god bakgrundsbeskrivning till den faktiska felträdsmodellen för systemet. Innehåll och genomförande är enligt dagens praxis. Den detaljerade systembeskrivningen sker via specifik referens till FSAR. Dessutom summeras i analysen systemkrav och växelverkan med anslutande system, samt listas förutsättningar för felträdsmodellen. El- och signalberoenden samt test och underhåll finns sammanställt i bilagor (Excelark). I en FMEA (Excelark) identifieras de felmoder och felorsaker som modelleras i felträden. Studien saknar en dokumentation av grunderna för systemanalysen som beskriver omfattning, växelverkan med andra analyser, m.m. Principer för uppdatering av informationstunga delar av PSA:n behöver tänkas igenom, eftersom systemanalysen innehåller en hel del mycket detaljerad information som kan bli svår att hålla uppdaterad. Detta gäller exempelvis logikskemor samt FMEA-tabeller (i vissa fall stämmer uppgifter i FMEA redan nu inte överens med aktuell status av PSA:n). Vissa driftsystem är modellerade med begränsad detaljeringsgrad, exempelvis matarvattensystemet, vars förenklade modellering påverkar resultaten i brandanalysen i både konservativ och icke-konservativ riktning. Fokus i systembeskrivningen ligger, liksom i större delen av dokumentationen, på nivå 1-analys av inre händelser under effektdrift. Med tanke på PSA:ns omfattning, bör beskrivningen spegla systemets funktion m.m. under alla i PSA:n inkluderade driftförhållanden.

Analysen av manuell ingrepp är omfattande och ambitiös. Den inkluderar en systematisk genomgång av anläggningsunderlag och har involverat relevant driftpersonal. Analysen innehåller en diskussion av otillgänglighet under test och underhåll och av otillgänglighet till följd av reparation av ej funktionshindrande fel. Metodik presenteras för kvantifiering av tre typer av fel med mänsklig anknytning, felaktig basläggning, kalibreringsfel samt felaktiga operatörsingrepp. Som underlag för analysen av operatörsingrepp har en utmärkt kvalitativ

analys av störningsinstruktioner gjorts. I denna beskrivs först störningssituationen och operatörsingreppet. Därefter bestäms kritisk information, relevanta instruktioner, tillgänglig tid för åtgärd och former för genomförande av ingreppet. Grundfelsesannolikheten för ett ingrepp beräknas med en kurva över tid/sannolikhet (Swain). I den kvantitativa analysen anpassas denna grundfelsesannolikhet till den specifika situationen med en expertbedömningsprocedur som värderar inverkan från ett antal miljöfaktorer. Beroenden mellan operatörsingrepp i samma händelsesekvens antas vara totalt (=1). I avställningsanalysen är analysmetodiken i stort sett densamma som under effektdrift, men den kvalitativa analysen av ingreppen mindre detaljerad. För nivå 2-är dokumentationen relativt spartanskt hållen; den är även splittrad på fler dokument mellan olika utförare.

Analys av beroenden presenteras i huvudsak i huvudrapportens Kapitel 6. Analysen av beroenden av CCF-typ är vad gäller omfattning och metodval i nivå med aktuell status inom området. Analysen bygger i mycket hög utsträckning på referenser till externa analyser, och dessa borde därför refereras fylligare i analysen. Modelleringen av funktionella beroenden sker explicit i felträden, och bedöms i huvudsak vara tillräckligt detaljerad för att fånga upp de funktionella beroenden som har PSA-mässig betydelse; undantag är t.ex. matarvattenssystemet. Lågregredundanta CCF (upp till 4 komponenter) modelleras enligt gängse praxis, d.v.s. med α -faktormetoden. Parametrar tas huvudsakligen från TVO PSA samt i ett fåtal fall från Super-ASAR. Användningen av TVO-metodiken är av grundläggande betydelse i F1/F2 PSA, eftersom den tillämpas för det stora flertalet komponenter. Detta innebär att metodiken måste presenteras, i nuvarande text finns inte ens en summering. Även högregredundanta CCF modelleras enligt gängse (svärgenomskådlig) praxis, d.v.s. med en s.k. "Common Load"-modell och kvantifiering med programmet HiDep. Utöver mycket allmänna referenser finns ingen beskrivning av metodik för analys av högregredundanta system, ej heller någon diskussion av resultatpåverkan från parametrar i Common Load-modellen eller motivering av ansatta parametrar.

Analys av erfarenhetsdata omfattar i första hand data för inledande händelser och för komponentotillgänglighet. Analysen av frekvensen för inledande händelser är väl genomförd och väl presenterad. Kopplingen till egna drifterfarenheter är god. Otillgänglighet till följd av kritiskt underhåll, d.v.s. fel som slår ut sub, har modellerats på komponentnivå. Otillgänglighet till följd av icke-kritiskt underhåll, d.v.s. fel som slår ut sub endast i samband med reparation har modellerats på subnivå. Otillgängligheten beräknas i systemanalyserna baserat på en genomgång av inträffade fel. Vad gäller komponentfeldata, så saknar studien en sammanhållande beskrivning av grunderna för dataanalysen. Komponentfeldata kommer dels från moderna datakällor av god kvalitet, dels i vissa fall från mera diskutabla eller omoderna källor. För feldata som anger andra nordiska PSA:er som referens borde referensen ha följts upp.

Analys av rumshändelser presenteras i två appendices. Studien saknar en definition av rumshändelser, och omfattar endast brand och översvämning/ångfrigoelse. Det finns dock även andra rumshändelser, som skulle kunna ge relevanta riskbidrag. Resultat för analys av rumshändelser är ej uppdaterade till version 2000. Det sägs att uppdateringarna förmodligen skulle innebära en "avsevärd minskning av härdskadefrekvenserna" från brand och översvämning/ångfrigoelse, vilket innebär att man måste ifrågasätta relevansen i hela resultatpresentationen för rumshändelser. Analyserna innehåller ingen känslighetsanalys.

Brandanalysen är i huvudsak väl dokumenterad och strukturerat presenterad, och har en bra resultatdiskussion. Relativt andra svenska brand-PSA har viss utveckling skett i riktning mot mera realistiska analyser; detta gäller dock i första hand ansatta brandfrekvenser. Samtidigt förblir analysen till stora delar starkt förenklad, vilket gäller exempelvis modellering av

brandspridning och av system för brandsläckning och -detektering, liksom av manuella insatser i samband med brand. Fördelningen av brandfrekvens på rum har gjorts baserat på en relativt enkel rumsklassning med tre kategorier. Med denna fördelningsmetodik fås en total brandfrekvens och en fördelning mellan byggnader som väl överensstämmer med X-boken. Brand antas genomgående leda till Ttf (i turbinbyggnad) och till Tt (övriga byggnader); antagandet är konservativt, och kan ha stor resultatpåverkan. Spridningsanalysen ger av flera skäl intryck av att vara förenklad på ett icke-konservativt sätt. Vad gäller brandbekämpning, så har varken brandvattensystem 762 eller brandlarmsystem 847 modellerats, vilket troligen begränsar brandanalysens framtida användbarhet. I analysen av uppgång och nedgång analyseras ett brandfall översiktligt, nämligen brand i icke kvävgasfylld reaktorinneslutning, eftersom detta gäller under delar av drifttillståndet. I övrigt antas det att bidraget från brand under uppgång och nedgång täcks av analysen för effektdrift. Brand under avställningsperioden avskrivs efter ett mycket kort resonemang. Eftersom många bränder inträffar under avställning, och normal brandcellsindelning kan antas vara satt ur funktion, verkar antagandet inte rimligt.

Analysen av *översvämning och ångfrigörelse* är väl dokumenterad och strukturerat presenterad, med en bra resultatdiskussion. Grafiken (översvämningssamband och avlastningsvägar) är dock obegriplig, och borde kompletteras med en beskrivning. Operatörsingrepp för isolering har analyserats med samma metodik som i Appendix C. Läckagefrekvenser baseras på statistik från amerikanska anläggningar och uttrycks som frekvens per komponenttyp (rörledning, ventil, gummibälg, etc.). Total läckagefrekvens för F1 är $1.4E-2$ /år. Vid rörbrott i hetvatten- och ångsystem antas dynamiska effekter i utrymmet. Det antas att bidraget från översvämning och ångfrigörelse under uppgång och nedgång täcks av analysen för effektdrift, vilket behöver underbyggas bättre. I avställningsanalysen avskrivs risker från översvämning efter ett kort resonemang, i första hand därför att de ligger utanför omfattningen för analysen; resonemanget är dock otillräckligt.

Analys av yttre (externa) händelser utgör en förstudie, som presenteras som en del av Kapitel 3, *Analys av inledande händelser*. Även om analysen är kort och översiktlig, är det positivt att en analys av yttre händelser har initierats. Analysen styrs av en enkel metodbeskrivning som innehåller en lista med 44 potentiella inledande händelser. Det är oklart på vilka grunder listan sammanställts och om den baserar sig på en systematisk procedur; den ger dock inte intryck av att vara komplett. En enkel uppsättning kriterier för frekvensansättning definieras och tillämpas. Kriterierna är inte invändningsfria, bl.a. därför att tillämpningen bygger på subjektiva bedömningar av vad som är en "låg frekvens", och eftersom anläggningen dessutom definitionsmässigt antas klara alla väderfenomen med återkomsttid kortare än 100.000 år. Urvalet av yttre händelser som identifieras som potentiellt viktiga verkar rimligt, även om fullständigheten i urvalet inte är särskilt väl underbyggd.

Analysen av avställd reaktor baseras på IAEA:s riktlinjer för avställningsanalys, tidigare avställningsanalys för F1/2/3 och på TVO avställningsanalys. Ett antal inledande händelser listas, baserat på en genomgång av 1998 års revisionsavställning, kompletterat med viktiga aktiviteter som ej utförts detta år. Det saknas en systematisk metodik för identifiering av potentiellt relevanta inledande händelser. Analyserade scenarier inkluderar antingen utläckage av vatten från reaktortanken (ovan eller under härd) eller förlust av resteffektkylning. LOCA-frekvens ansätts baserat på inträffade läckage i världens kraftproducerande reaktorer. Kvantifiering av förlust av resteffektkylning baseras på inträffade händelser under avställningar i F1/F2. En kvalitativ diskussion förs om tappad tung last, kall trycksättning, lokal kriticitet, tappad bränslepatron och friläggning av bränslepatron vid bränslebyte. Samtliga dessa inledande händelser exkluderas. Analysen gör ett oavslutat intryck. Brand och

översvämning försummas genom att ses som delmängd av förlust av resteffektkylning. Förfarandet är ej rimligt, det borde motiveras bättre och rumshändelser vid behov analyseras mera detaljerat. Analyserat sluttillstånd är härdskada och inte aktivitetsfrigörelse; fokus är således på händelser i härden. Begränsade mekaniska bränsleskador och kylning av bränslebassängen analyseras ej. Bränsleskador kan uppstå om kylning av bränslebassängen förloras. Denna typ av aktivitetsutsläpp har definierats ut ur studien, genom att endast aktivitetsutsläpp p.g.a. härdskador beaktas. Förlust av kylning av bränslebassäng bör dock ingå i F1/F2 PSA. Delar av analysen baseras på TVO-analyser, som dock knappast är relevanta för Forsmark 1/2, eftersom spädmatningskapaciteter, vattenvolymer och rördiametrar skiljer sig i många fall. Mänskliga ingrepp analyseras med expertbedömning med en anpassad version av metodiken för effektdrift (små skillnader). Fel i driftläggningar har inte alls analyseras (antas alltid vara korrekt), utan endast fel i utförande; denna begränsning ifrågasätts. Viktigaste sekvens är stor LOCA under härd vid HC-pumpservice, och studiens slutsats är att det är viktigt att inneslutningen är stängd vid kritiska arbeten under härdnivå. Ingen känslighetsanalys ingår i resultatanalysen, vilket gör det svårt att värdera resultatet. Uppenbart är att resultatet är starkt påverkat av en del grundläggande antaganden, t.ex. antaganden som styr fördelning av läckagefrekvens mellan olika typer av läckage och sannolikhet för att slussen står öppen.

2.3 Nivå 2 PSA

PSA nivå 2 ger vid en första anblick ett gediget och omfattande intryck där många nivå 2-relevanta problem tas upp och bearbetas.

Analysen har väsentligen genomförts av Fauske & Associates, Inc som ett delprojekt i hela PSA-projektet. Den består huvudsakligen av två fristående dokument där en nivå 2-modell utvecklas och kopplas till de då aktuella nivå 1-analyserna för effektdrift och ned- och uppgång respektive för kallt avställd reaktor. Vidare diskuteras och bedöms ett antal fenomen i sex rapporter kompletterade med en känslighetsanalys av dessa fenomen. Den största delen av arbetet är gjord under den del av projektet som föregick omstarten inför år 2000 och har inte uppdaterats i den slutliga studien. Efter omstarten har PSA nivå 1 effektdrift och ned- och uppgång omarbetats med vissa väsentliga skillnader vad beträffar exempelvis härdskadefrekvensen som följd. Vidare har även delar av nivå 2-analysen flyttats till nivå 1 PSA. Det medför att åtminstone kvantifiering och resultatanalys för effektdrift och ned- och uppgång till viss del är inaktuell och svår att bedöma värdet av. Avställningsanalysen omarbetades inte efter omstarten.

Sammanfattningsrapporten för nivå 2-delen, som är skriven som en projektrapport i FKA:s regi, är det enda dokument som beskriver den slutliga nivå 2-analysen. Eftersom denna rapport är relativt kortfattad blir resultatanalysen därefter.

Slutomdömet om PSA nivå 2 kan därför karakteriseras som något förvirrat och klart otillfredsställande. En stor arbetsinsats har gjorts inaktuell genom att inte uppdatera den med den övriga studien och den redovisade aktuella informationen är alldeles för mager.

Om vi bortser från denna omständighet är det ändå på sin plats med några kommentarer.

En PSA nivå 2 ärver i de flesta fall de inledande händelserna från PSA nivå 1 om nivå 2-delen konstrueras som en naturlig fortsättning på analysen. Så är fallet med den nu aktuella modellen. Däremot kan en nivå 2-analys ställa ytterligare krav att inkludera inledande händelser som inte är relevanta i nivå 1. En kompletterande analys och urval av inledande händelser kan därför vara på sin plats inför en nivå 2-analys. I PSA-2000 görs en relativt

grundlig genomgång av inledande händelser för nivå 1-analysen. Man nämner nivå 2 men inga explicita försök görs att identifiera nivå 2-specifika inledande händelser. I nivå 2-analysen görs heller inga försök att komplettera de inledande händelserna. Reaktortankbrott, som understundom kan vara kontroversiellt, är med i nivå 1 men har fallit bort från nivå 2-analysen utan någon kommentar. Beroende på vilka konsekvenser man antar följa på denna händelse så skulle den mycket väl kunnat ge ett signifikant om inte dominerande bidrag till frekvensen av stora utsläpp i PSA-2000!

Efter att de inledande händelserna processats i nivå 1-delens händelseträdssekvenser når de fram till olika sluttillstånd. Dessa sluttillstånd karakteriseras väsentligen av vilken säkerhetsfunktion som felfungerat, spädmatning, kylning av reaktorinneslutningen etc. För nivå 2-analysen fordras ytterligare en finuppdelning med tanke på vilka parametrar som kan ha betydelse för ett eventuellt radioaktivt utsläpp. Den första parametern som identifieras är om den inledande händelsen är en transient eller ett inre rörbrott. Detta har betydelse för hur mycket luftburen aktivitet som är tillgängligt för utsläpp till omgivningen. Den andra parametern är om reaktorinneslutningen är inerterad eller luftfylld. Detta kan ha betydelse för om vissa fenomen som vätgasexplosion eller tankgenomsmältning vid högt reaktortanktryck kan hota inneslutningens integritet. Uppdelningen ger upphov till 20 stationstillstånd som verkar täcka de flesta möjligheter inför den fortsatta haveriutvecklingen.

Utvecklingen av de händelseträds som sedan skall modellera haveriutvecklingen sker på ett systematiskt sätt. Först identifieras de funktioner och händelser som har betydelse för reaktorinneslutningens långsiktiga integritet. De är fem till antalet och består enbart av säkerhetsfunktioner och övervägande av sådana som konstruerades under FILTRA/RAMA-projekten. Inga fysikaliska fenomen är med bland de händelser som kan äventyra reaktorinneslutningens integritet. Dessa har analyserats och förkastats i de sex fenomenrapporter som ingår i analysen. Mer om detta senare.

För att säkerställa att övergången mellan nivå 1- och nivå 2-delarna blir logiskt korrekt görs en genomgång av hur de valda säkerhetsfunktionerna använts tidigare i analysen. De används sedan endast i de sekvenser där deras funktion inte påkallats tidigare.

Innan man går in i händelseträden för haveriutvecklingen modelleras försök till återställning av felfungerande system, recovery. Denna återställning syftar först och främst till att förhindra härdskada, sedan att förhindra tankgenomsmältning och i tredje hand på att skydda reaktorinneslutningens integritet. Analysen görs för varje bassluttillstånd. Metoden går ut på att först ta reda på vilka de dominerande felfunktionerna är och bedöma om de är möjliga att återställa. Om så är fallet uppskattar man vilken tid man har till förfogande innan det är för sent. Den tillgängliga tiden uppskattas med hjälp av haverianalysprogrammet MAAP. Efter att ha dragit av två timmar för besluts- och aktiveringsprocessen bestäms sannolikheten för en misslyckad återställning med hjälp av den återstående tiden förutsatt att denna är större än en i förväg bestämd minsta reparationstid. Sannolikheten för ett misslyckande bestäms av en multiplikativ kombination av en generell felsannolikhet enligt Swain och fem formfaktorer som relaterar bland annat arbetets svårighetsgrad och personalens utbildning till det generella fallet. Formfaktorerna anges i rapporten och deras hopmultipliserade resultat anges till 20. Gör man om multiplikationen med angivna värden får man 100. Om det är en felräkning eller om några av formfaktorerna har fått fel värde i rapporten är oklart. Den manuella återställningen får antagligen en betydligt mindre betydelse om värdet på formfaktorn verkligen är 100. De sekvenser där återställningen lyckas samlas ihop till två sluttillstånd, recovery med intakt härd och recovery med skadad härd, som inte analyseras vidare i PSA-2000. Metoden är transparent och konsekvent genomförd och bedöms vara tillfyllest.

Det som beskrivs ovan gäller FAI:s behandling av recovery. Enligt sammanfattningsrapporten för PSA nivå 2 så har all recovery flyttats till nivå 1-delen av PSA 2000. Den används inte vid beräkningen av härdskadefrekvenser i nivå 1 men påstås appliceras i nivå 2 analysen. En titt på slutresultaten antyder dock att recovery inte används i nivå 2 heller eftersom totala frekvensen för utsläpp vid effektdrift och ned- och uppgång är exakt lika stor som frekvensen för härdskada (utan recovery).

De sekvenser där återställningen misslyckats analyseras nu vidare i ett händelsetråd för vart och ett av de sex basstationstillstånden. För att studera den finuppdelning av stationstillstånden till 20 stycken som gjordes tidigare analyseras först effektdrift och sedan upp- och nedgång. Man konstaterar att den enda i nivå 2-sammanhang signifikanta skillnaden är att reaktorinneslutningen är luftfylld under ned- och uppgång medan den är inerte vid effektdrift. Som tidigare nämnts har man dock i fenomenanalyserna dragit slutsatsen att inga fenomen hotar inneslutningens integritet med någon signifikant sannolikhet och därför kan strukturen för händelseträden göras lika vid effektdrift och upp- och nedgång. Uppdelningen mellan transienter och inre rörbrott gör heller ingen skillnad vad beträffar händelsetrådets struktur utan får betydelse först vid källtermsanalysen. Konstruktionen av händelseträden understöds av drygt 20 MAAP-analyser. Detta motsvarar ungefär hälften av samtliga sekvenser i de relativt enkla händelseträden från basstationstillstånden så täckningen får anses tillräcklig.

Reaktorinneslutningens brottryck har bestämts till 9.2 bara. Denna regel har kompletterats med att om system 362, den filtrerade tryckavlastningen, eller 365, den oberoende inneslutningssprinklingen, fungerar så kan trycket överstiga 9.2 bara under tio timmar innan inneslutningen går sönder. Det senare kriteriet borde kompletteras med en övre gräns. En sådan gräns används antagligen i praktiken vid stort inre rörbrott med felfungerande PS-funktion och tryckavlastningsfunktion men borde även ha formulerats explicit.

De fysikaliska fenomen som historiskt haft stor betydelse vid uppskattningen av frekvensen för stora utsläpp är som tidigare nämnts bedömda att inte utgöra något hot för integriteten av F1s och F2s reaktorinneslutningar. Det finns inget övergripande dokument som beskriver urvalet av fenomen men sex sådana analyseras grundligt i egna dokument. Fenomenen är vätgasförbränning, ångexplosion, återkriticitet, högtrycksgenomsmältning med DCH, härdens kylbarhet i nedre plenum och integriteten hos genomföringarna där, samt slutligen tankgenomsmältningen och krafterna på reaktortanken i samband med genomsmältningen. Eventuellt antyds det att fenomen som inte finns med bland MAAP-modellerna analyseras i egna dokument men å andra sidan används MAAP för att göra känslighetsanalyser av flera av dessa fenomen. Så anledningen att just de sex fenomenen analyseras speciellt är höljt i dunkel.

De sex fenomenen analyseras i ett dokument vardera, omfattande mellan 53 och 126 sidor plus i några fall appendices. En generell upplägg är att först gås fenomenets fysik igenom varefter de experimentella och teoretiska underlagen granskas. En metod för att uppskatta fenomenets aktualitet beskrivs och appliceras på F1/F2. Överlag kan man säga att den helt övervägande delen av rapporterna behandlar fenomenet och det övriga underlaget generellt, medan en mindre del behandlar appliceringen på F1/F2. Applikationsdelen är mellan fem och 30 sidor. I fallet ångexplosioner som behandlar F1/F2 på fem av de 126 sidorna känns det dock litet tunt speciellt som just det avsnittet inte är speciellt väl skrivet. Bland annat är det oklart hur dörren i nedre DW, som är den svagaste punkten i inneslutningen, har behandlats. En annan oklarhet är hur DDT (deflagration to detonation transition) vid vätgasförbränning behandlats. Det är svårt att avgöra från dokumentationen, men det finns en risk att delar av

härdskadefrekvensen används även i fenomenrapporten och att den logiska kopplingen inte är riktigt rätt utförd.

Ett kriterium för när ett fenomen skall bedömas utgöra ett signifikant hot mot inneslutningens integritet finns i rapporten som beskriver vätgasförbränning. Där anges att om den betingade sannolikheten, givet en härdskada, att ett fenomen orsakar brott på reaktorinneslutningen är mindre än $1E-3$ så kan man bortse från fenomenet. Anledningen till detta är att man då med god marginal ligger under frekvensen $1E-6$ per år för att detta fenomen skall orsaka en inneslutningsskada. Detta rimmar dock illa med de svenska kraftverkens målsättning att den totala frekvensen för stora utsläpp skall vara mindre än $1E-7$ per år. Det finns alltså ett gott argument för att gå igenom fenomenanalyserna igen och se om de bör omvärderas.

Känslighetsanalys som gjorts av fenomenen syftar främst till att studera osäkerheten i olika modellparametrar som beskriver fenomenen. Parametrarna varierar och konsekvenserna beräknas med MAAP. Parametrarnas giltiga värdeområde har tidigare bestämts med hjälp av experiment och finns beskrivna i den ordinarie MAAP-dokumentationen. Andra osäkerheter som varierar är geometriska definitionen av haverisekvenserna. Slutsatsen av känslighetsanalyserna blir återigen att fenomenen med god marginal inte hotar inneslutningens integritet. För fullständighetens skull hade det varit önskvärt om några konkurrerande teorier och åsikter hade diskuterats i denna rapport. Det pågår ju fortfarande en ganska stor forskningsverksamhet inom området, så alla kan ju inte vara helt överens om att fenomenen inte utgör något hot mot inneslutningen. Om möjligt hade även en osäkerhetsanalys varit önskvärd. En sådan ger ju ett mer kvantitativt mått på osäkerheterna och eventuellt kan man även få en uppskattning av storleken på frekvensfördelningens höga svansar.

Åter till händelseträden. Sekvenserna analyseras under 24 timmar efter den inledande händelsen och leder fram till olika sluttillstånd för nivå 2-delen. Det finns nio utsläppsklasser definierade plus ett tillstånd kallat SAM där man vid slutet av de 24 timmarna ännu ej fått något utsläpp men man ser att man inte kan undvika utsläpp inom nästa 24 timmarsperiod utan hjälp av (ospecificerade) manuella åtgärder den närmsta tiden. Ytterligare ett sluttillstånd definieras som lyckad inneslutningsfunktion men med skadad härd. Detta tillstånd ger endast upphov till små utsläpp av ädelgaser och försumbara utsläpp av övriga element och diskuteras inte vidare i PSA-2000. Utsläppsklasserna är definierade utifrån de sekvenser de har som ursprung. Exempel är manuell öppning av 362, tidig övertryckning vid LOCA och långsam övertryckning vid en transient. Det är inte klart om detta urval av sluttillstånd täcker in alla sekvenser, men eftersom dessa är relativt få så finns det en god möjlighet för detta. Dessutom finns inget explicit krav om att utsläppsklasserna skall innehålla någon tidsinformation eller information om att mängden utsläppt aktivitet ligger inom något visst intervall.

Den utsläppta aktivitetsmängd som karakteriserar de olika utsläppsklasserna bestäms i källtermsanalysen. För varje utsläppsklass identifieras det dominerande stationstillståndet och en sekvens definieras utifrån denna information. Denna regel modifieras på olika sätt för att få så stor täckning som möjligt av de olika möjliga kombinationerna av stationstillstånd och utsläppsklasser. 15 sekvenser definieras på detta sätt och analyseras med MAAP. Analysen görs för 48 timmar för att få med all utsläppt aktivitet även efter de första 24 timmarna.

En känslighetsanalys utförs för källtermsanalysen. Sex sekvenser väljs ut och varierar på olika sätt. Resultaten visar i vissa fall rätt stora variationer i utsläppt aktivitetsmängd men slutsatsen blir att det val man ursprungligen gjorde ger en övre gräns på de okontrollerade utsläppen.

Avställningsanalysen är enkel och en fortsättning på nivå 1-analysen av avställd reaktor. De tio sluttillstånden från nivå 1 PSA sammanförs i fyra stationstillstånd inför nivå 2-analysen. Händelseträden har en enda grind: manuell återställning av spädmatning eller förhindrande av vidare läckage från reaktortanken. I de fall man har minst fyra timmar på sig ansätts att återställningen misslyckas med en sannolikhet på $2E-4$. Felsannolikheten bestäms på samma sätt som vid effektdrift, men i detta fall är det svårt att se hur Swainkurvan avlästs. Min avläsning ger en faktor 7 högre sannolikhet att återställningen skall misslyckas. Detta kan ha betydelse för slutresultatet speciellt om problemet med formfaktorn är reellt och inte bara en felskrivning.

Så har vi slutligen kommit fram till resultatanalys och presentation. Denna är, som framgått tidigare, av en ganska mager karaktär. Den ganska fylliga presentationen som finns i FAI:s rapport är inaktuell eftersom den inte är uppdaterad med frekvenserna från PSA-2000 analysen. Den enda återstående resultatpresentationen finns i sammanfattningsrapporten för nivå 2-analysen och denna presentation är minst sagt kortfattad utan någon diskussion av MCS och dominerande bashändelser. Några punkter kan ändå diskuteras.

För effektdrift och ned- och uppgång dominerar de filtrerade utsläppen stort med över 98% av frekvensen. Absoluta frekvensen för dessa utsläppsklasser blir ungefär $2.53E-5$ per år. Man noterar här att denna utsläppsfrekvens är exakt lika stor som frekvensen för härdskada under effektdrift och ned- och uppgång (utan recovery). Det synes mig något märkligt att man inte verkar ha någon möjlighet att undvika ett utsläpp, filtrerat eller okontrollerat, vid Forsmark givet en härdskada. Dessbättre är ju frekvensen för de okontrollerade utsläppen betydligt lägre. Bland de okontrollerade utsläppen dominerar genomsmältning av genomföringarna i nedre DW med $1E-7$ per år. Den utsläppta mängden flyktig aktivitet, främst cesium, är dock mycket liten och jämförbar med ett nominellt filtrerat utsläpp. Frekvensen för de stora utsläppen på 1 % eller mer av härdens inventarium av cesium blir bara $1E-9$ per år, d.v.s. mer än fyra tiopotenser mindre än de filtrerade utsläppen. Detta föranleder två kommentarer. Fenomenen, där flera har potentialen att medföra stora utsläpp, bör analyseras ytterligare en gång. Det kriterium som använts för att förkasta dem från vidare händelseträdsanalys synes alldeles för grovt när man ser det aktuella resultatet. Den andra kommentaren gäller sluttillståndet SAM där inget utsläpp skett under de 24 första timmarna men där ett sådant kommer inom nästa 24-timmarsperiod om inte manuella åtgärder sätts in och lyckas. Frekvensen för SAM är $3.3E-7$. Vissa SAM-sekvenser har potentialen att medföra stora utsläpp. Det vore intressant att göra en känslighetsanalys på dessa sekvenser, exempelvis vad en längre analystid har för betydelse. 24 timmar kanske är i kortaste laget i en PSA nivå 2 speciellt som man valt denna tidsperiod utan någon djupare diskussion och motivering.

Även vid kallt avställd reaktor dominerar genomsmältning av genomföringarna i nedre DW de okontrollerade utsläppen. De stora utsläppen har en frekvens på $1.5E-9$ per år. Eftersom denna frekvens är direkt beroende av sannolikheten att den manuella återställningen misslyckas är det viktigt att klargöra de tveksamheter som framställdes ovan.

Slutligen så presenteras resultaten även i form av ett riskmått. Det riskmått som används är frekvensen för respektive utsläppsklass gånger utsläppt härdandel av lättflyktiga fissionsprodukter, väsentligen cesium. Det är i och för sig ett korrekt riskmått men man saknar ett försök att tolka betydelsen av måttet. Då man jämför utsläppsklasser som har så stor skillnad i konsekvenser i omgivningen som exempelvis ett filtrerat utsläpp, där inga deterministiska skador förväntas, med ett bypassutsläpp, där det åtminstone finns en potential för deterministiska skador, så är frågan om det enkla använda riskmättet kan få någon användbar tolkning. Utan att gå så långt som till en Nivå 3 analys är det kanske nödvändigt att

utveckla ett eller flera kompletterande riskmått för att rätt kunna jämföra och bedöma riskerna med de olika utsläppsklasserna som uppkommer i en PSA nivå 2-studie.

3 Organisatoriska frågor och kvalitetssäkring

3.1 Tillståndshavarens organisation m.a.p. PSA

En ganska detaljerad lista över projektdeltagare och ansvarsområden finns för nivå 1 PSA. Organisation i stort är dock ej beskriven, ej heller kopplingen mellan nivå 1 och nivå 2 PSA. För nivå 2 PSA finns knappast någon information om projektorganisation. Projektorganisation före/efter omstart finns heller inte beskrivet. Viss information ges även i kapitel 1.2 av sammanfattningsrapporten (FT-2001-12) samt i projekthandboken. Hela organisationen borde beskrivas i ett inledande och överordnat dokument, helst kompletterat med en grafisk översikt.

Baserat på information som ges i ett antal olika dokument fås följande bild:

Projektledning

- Projektledare: FTT (Per-Olof Waessman / Göran Hultqvist)
- Biträdande pl: Lennart Agrenius

Nivå 1 PSA

- Swedpower
- Projektledare: Anders Forss
- Vissa delmoment har lagts ut på TVO (granskning) VTT Automation (HRA, upp-/nedgång, avställning)

Nivå 2 PSA

- Fauske & Associates Inc (FAI)
- Projektledare: Bill Berger
- Teknisk koordinator: Lennart Agrenius

3.2 Kvalitetssäkring av PSA-verksamhet

Kvalitetssäkring (QA) berörs allmänt otillräckligt i PSA:n, endast mycket kort i metodbeskrivning A.1. Det finns inget fristående QA-program (kvalitetssäkringsprogram) för PSA-projektet.

Granskning verkar allmänt ha fungerat väl. Primär granskning har gjorts av blocken (F1 och F2) samt av Lennart Agrenius, och beskrivs kort i Appendix A.1 (QA-avsnitt) samt i FT-2001-12, avsnitt 1.2. Fristående granskning skedde främst av 1999 års version, och gjordes av FQS och Relcon. Det finns en viss oklarhet om vad som gäller för inlämnad version. Det framgår ej om och hur fristående granskning av FAI:s rapporter skett.

Restlistor har förts med ej åtgärdade viktigare kommentarer för hantering i framtida revideringar av PSA

En ytterligare kommentar på denna punkt är att ingen granskning verkar ha skett av helheten, d.v.s. hela PSA-2000, med fokus på konsistens, fullständighet, smidig växelverkan, dokumentstruktur, etc.

Det finns metodbeskrivningar för vissa analysmoment. Vissa viktiga metodbeskrivningar saknas, främst gäller detta för nivå 2 PSA. Övriga metodbeskrivningar är i första hand

inriktade på att specificera arbetet i PSA-2000-projektet. I flera fall upplevs metodbeskrivningarnas innehåll som inkonsekvens sammansatt eller för omfattande (främst A. 2 och A. 3).

Således är metodbeskrivningarna övervägande bra, men utgör ofta snarare en projektbeskrivning för planerat arbete än en beskrivning av den metod som faktiskt har tillämpats i PSA:n och skall tillämpas i framtida uppdateringar. Inaktuella eller ofullständiga metodbeskrivningar kan ej utnyttjas vid framtida användning av PSA-resultat eller vid uppdatering av PSA:n. En översyn av metodbeskrivningarna bör därför göras.

Metodbeskrivningen för översvämning summeras i några korta punkter, medan resten av metodbeskrivningen ägnas brandanalys. För översvämning skissas endast en översiktlig arbetsgång. Presenterade arbetsgång borde ersättas med en beskrivning av den metodik som i praktiken använts, och utvecklas åtminstone till samma detaljeringsgrad som metodbeskrivningen för brand.

3.3 PSA-dokumentationens status och dokumentkontroll

3.3.1 Status och dokumentkontroll

I Tillsynshandboken finns ett kriterium som innebär att PSA:n bör innehålla all relevant information. F1/2 PSA refererar i ganska hög utsträckning till resultat och analyser i andra PSA (främst TVO och F3). Informationen i dessa referenser borde för begriplighet och granskningsbarhet i vissa fall återges i PSA:n. Alternativt borde de vara mera specifika. Vissa komplexa delanalyser är otillräckligt beskrivna, främst gäller detta inom dataanalys, HRA och beroendefelsanalys.

PSA-dokumentationen innehåller en uppsättning pärmar benämnda "Viktiga referenser"; dessa pärmar har varit mycket användbara. Kriterierna för vilka rapporter som är inkluderade är dock oklara, vilket väcker frågan om FKA byggt upp ett "PSA-bibliotek" med viktigare i PSA:n utnyttjade externa referenser.

Enligt uppgift från FKA behandlas PSA-dokumentationen som anläggningsteknisk dokumentation (liknande FSAR och STF). Detta ställer krav på procedurer för uppdatering av PSA:n för att kunna uppnås.

3.3.2 Dokumentstruktur

F1/2 PSA är i princip strukturerad enligt följande:

- Sammanfattningsrapport PSA-2000
- Huvudrapport, kapitel 1-6 (2 pärmar)
Delar av nivå 1-analysen, främst inre händelser, effektdrift
- Appendix A-N (5 pärmar)
Resterande delar av nivå 1, rumshändelser, nedgång/uppgång, kvantifiering
- Avställningsanalys
- PSA nivå 2-(3 pärmar)
- Viktiga referenser (8 pärmar)

Generellt är studien omfattande och mycket svåröverblickbar. Det finns ett antal specifika problem som kort summeras nedan.

Studien saknar en inledande summering och översikt som knyter ihop PSA:n, vilket försvårar överblicken. En separat sammanfattningsrapport, har utarbetats (FT-2001-12). Dokumentet är

intressant och välskrivet, och fungerar utmärkt som fristående "Executive summary" till PSA-2000. Det fungerar dock ganska dåligt som inledande kapitel till studien. Detta är enda stället i PSA:n där den splittrade resultatpresentationen dras samman och diskuteras övergripande. Det är också i denna rapport som rekommendationer från PSA formuleras. Studien bör kompletteras med en mera omfattande inledande översikt, och den integrerade resultatpresentationen borde föras till ett eget avsnitt i slutet på huvudrapporten. FT-2001-12 kunde utgöra grund för båda dessa kapitel, men omfattningen skulle behöva utökas en hel del. Strukturen har många inkonsekventa drag. Huvudrapporten är i princip begränsad till nivå 1, inre händelser under effektdrift. Det finns en delvis godtycklig indelning i kapitel respektive appendices. Exempel är att kapitel 6 i huvudrapporten behandlar "Analys av beroenden", medan analysen av operatörsingrepp återfinns i Appendix C. Grundläggande analyser redovisas som bilagor; detta gäller exempelvis rumshändelser, avställningsperiod och analys av nedgång/uppgång. Nivå 2 PSA och avställningsanalysen hänger ej ihop med huvudrapporten.

Det underlag som presenteras i huvudrapportens kapitel är i första hand inriktat på nivå 1-analys av inre händelser under effektdrift. Innehållet i huvudrapporten och avsaknaden av en inledande översikt skapar en oklarhet om konsistensen mellan PSA:ns olika delanalyser, och gör det svårare att hitta i helheten. I samband med omarbetning av dokumentationen bör delanalyserna integreras bättre.

Referenser inom PSA-2000 görs inte på ett konsekvent sätt och sällan med angivande av kapitelnummer eller appendix. Detta gör ett inkonsekvent intryck, och gör det svårt att spåra information.

Sammantaget finns det en uppenbar risk att detta kommer att leda till problem både vid användning och uppdatering av studien. En genomgripande omarbetning av dokumentstrukturen bedöms vara angelägen.

3.4 Konfigurationskontroll och uppdatering av PSA

Ambitionsnivån när det gäller framtida utveckling av PSA:n verkar vara hög. Generellt är frågan om konfigurationskontroll i första hand relevant vid granskning av den fortlöpande PSA-verksamheten hos FKA. Ett antal specifika problem har dock noterats vid granskningen, och kommenteras nedan.

Första redovisningen av projektet hösten 1999 godkändes ej av FKA som slutredovisning utan en uppgradering måste ske inom ett antal områden. Denna genomfördes under år 2000. Det framgår ej av PSA:n på vilka punkter en uppdatering gjordes. För förståelse och värdering av studiens utveckling, och för ökad förståelse av ej uppdaterade delar av studien, borde en beskrivning av uppdateringen ingå i studien.

Uppdateringen omfattar endast PSA nivå 1 för inre händelser under effektdrift och uppgång/nedgång. PSA:n innehåller således för närvarande stora delar som formellt sett är inaktuella. Uppdateringen omfattar ej rumshändelser och analys av kall avställning, och endast till en del nivå 2 PSA (omräknade utsläppsfrekvenser). Det saknas en diskussion av relevansen i resultat från ej uppdaterade delar, samt en plan för uppdatering av studien till samma revisionsläge. Dessutom innebär den begränsade uppdateringen att relevansen i delar av analysen kan ifrågasättas. Uppdatering av hela studien till samma revisionsläge bör ske snarast.

4 Tillämpning av PSA

4.1 Användare och användningsområden

En samlad beskrivning av användningsområden saknas i studiens inledning. Ingen diskussion av användare finns, men dessa framgår indirekt ur användningsområden.

I appendix A1 "Övergripande metodbeskrivning" listas ett antal mål med PSA-2000 och användningsområden för PSA:n:

1. Utveckla studien till god internationell standard
2. Beslutsunderlag i Forsmark 1 och 2:s dagliga säkerhetsarbete.
3. Studien skall anpassas för att med god kvalitet kunna genomföra olika PSA-tillämpningar
4. Levande PSA, vilket sägs ställa krav på modellens detaljeringsgrad, beräkningsmodellens flexibilitet, dokumentationens kvalitet och anläggningspersonalens deltagande
5. Uppdaterbarhet: Modell och dokumentation skall vara genomskådlig så att uppdateringar är lätta att införa och lätta att granska. Detta sägs kräva en PSA-förvaltning och en instruktion för uppdatering.
6. Utvärdering av anläggningsändringar, vilket ställer krav på redovisning av osäkerheter och på utveckling av beslutskriterier för jämförelse av resultat
7. Analys av drift och underhåll: Optimering av testintervall och planering av underhållsarbeten
8. Riskuppföljning av inträffade händelser
9. (Riskmonitoring nämns som en möjlig senare tillämpning)

I FT-2001-12 görs en avslutande värdering av områden inom vilka studien bedöms kunna användas:

1. Bedömning av anläggningens svaga och starka sidor
2. Utvärdering och prioritering av säkerhetshöjande åtgärder
3. Utvärdering av effekten av anläggningsändringar
4. Identifiering av säkerhetsförbättrande åtgärder (betonas att detta kräver kännedom om studiens svagheter)
5. LPSA-analyser, t.ex. avseende förändring av provintervall och reparationstider (under beaktande av modell och randvillkor)
6. Riskmonitoring (medelvärde över året; dominerade riskbidrag från reaktoravställningsfunktionen kommer att dölja mindre förändringar i andra säkerhetsfunktioner)

Uttalade framtida användningsområden som nuvarande studie inte är anpassad till är riskmonitoring och analys av provintervall och tillåtna reparationstider. Nuvarande studie är väl användbar som utgångspunkt för utveckling till dessa användningsområden. Ett problem, som också diskuteras i PSA:n, är de långa beräkningstider som modellen för närvarande kräver.

En PSA bör, förutom att kunna användas av tillståndshavarnas säkerhetsavdelningar, även fungera som en redovisning till SKI (samhället) som visar att anläggningen är tillräckligt säker. Dessutom bör andra intressenter med god kunskap om kärnkraftverk, men som inte är PSA-expert, kunna överblicka och förstå PSA:n och dess resultat. Den första delen av

kriteriet är delvis uppfyllt. Däremot kan studien vara mycket svår att överblicka för en utomstående inte minst på grund av den svåröverblickbara och delvis ologiska dokumentationsstrukturen. Detta har kommenterats på annat håll.

4.2 Resultatpresentation

Kvantifiering och resultatpresentation nivå 1 PSA presenteras på ett flertal olika håll i PSA:n:

- FT-2001-12 - Sammanfattningsrapport PSA-2000
- Kapitel 1, Sammanfattning nivå 1 PSA
- Kapitel 2, Sammanställning av genomförda analyser och resultat
- Kapitel 5, Felträdsanalyser (kvantifiering av systemfelträäd)
- Appendix A.4, Metodbeskrivning "Analyser (kvantifiering, känslighet och osäkerhet)"
- Appendix H, Känslighetsanalyser
- Appendix I, Osäkerhetsanalyser
- Appendix L, Sekvens- och konsekvenskvantifiering

Detta är en av de mest uppsplittrade och svåröverblickbara aktiviteterna i PSA:n. Med nuvarande struktur är det i princip omöjligt att överblicka och förstå PSA:ns kvantifiering och resultatpresentation. Sammanfattningsrapporten FT-2001-12 är det enda dokument som innehåller delar av en sammanhållen resultatpresentation och -analys. Detta sker dock på en ganska låg detaljeringsnivå. Bilden kompliceras ytterligare av att den detaljerade nivå 2-specifika analysen bygger på 1999 års modell.

En fullständig och ganska omfattande resultatpresentation behövs, och borde vara en del av huvudrapporten. Delpresentationerna enligt ovan kan förstås stå kvar; det viktiga är att det dessutom finns en rimligt detaljerad sammanhållen analys av resultaten för hela PSA-2000 .

Slutsatser och rekommendationer skall formuleras. Dessa skall inte enbart beröra de föreliggande resultaten, utan också specifikt diskutera modifierings- och utvecklingsbehov för att förbättra de framtida möjligheterna att använda PSA:n. Förslag till och värdering av anläggningsändringar som förbättrar säkerheten bör ingå i slutsatserna. Den övergripande diskussionen av resultat finns i kapitel 0 (FT-2001-12). Diskussionen innehåller rekommendationer som berör både anläggning (hårdvara och instruktioner) och PSA-modell.

För nivå 2-analysen finns den enda uppdaterade resultatpresentationen i sammanfattningsrapporten FT-2001-18. Denna är ganska kortfattad och omfattar endast frekvenser och risker för effektdrift och ned- och uppgång. Den något mer omfattande resultatanalysen i FAI/99-81 måste betraktas som inaktuell, främst på grund av de nya förutsättningarna med ändrade frekvenser för stationstillstånden och att behandlingen av recovery ändrats och flyttats till nivå 1 PSA.

4.2.1 Totala resultat

Härdskadefrekvens redovisas i nivå 1 PSA som $2.5E-5$ /år för inre inledande händelser under effektdrift och nedgång/uppgång. Detta sägs vara lågt. Det är oklart på vilka grunder resultatet sägs vara lågt, eftersom det omfattar en begränsad del av analysen och överskrider Vattenfalls säkerhetsmåttal. En vag hänvisning görs till "flera konservativa antaganden". Resonemanget är inte invändningsfritt. Det finns i PSA-2000-projektet en uppenbar strävan

efter realistiska resultat, vilket inte minst framgår av det iterativa arbetssättet. Det finns också en del uttalade konservatism (ofta med obetydlig resultatpåverkan), och en del förmodade konservatism (potentiellt med betydande resultatpåverkan). Det finns dock också icke-konservatism, vilket varken i denna eller andra resultatpresentationer diskuteras på ett systematiskt sätt. Att i detta läge betrakta ett högt resultat som acceptabelt med framförda argument framstår inte som rimligt.

Den totala utsläppsfrekvensen i nivå 2 PSA är $2.5E-5$ /år, medan frekvensen för stora utsläpp ($> 0.6\%$ av hårdinventariet av cesium och jod) är $1E-7$ /år. Man noterar här att den totala utsläppsfrekvens är exakt lika stor som frekvensen för härdskada under effekt-drift och ned- och uppgång (utan recovery). Det synes något märkligt att man inte verkar ha någon möjlighet att undvika ett utsläpp, filtrerat eller okontrollerat, vid Forsmark givet en härdskada. Dessbättre är ju frekvensen för de okontrollerade utsläppen ($1E-7$ /år) betydligt lägre, och domineras av utsläpp som endast obetydligt överskrider gränsen för nominellt filtrerat utsläpp. Stora utsläpp med en utsläppt mängd aktivitet som är betydligt större än ett nominellt filtrerat utsläpp har en frekvens på $1E-9$ /år. Denna låga frekvens är dock mycket osäker och starkt ifrågasatt i denna granskning, bland annat på grund av behandlingen av fysikaliska fenomen och möjligen utelämnandet av spontant reaktortankbrott i nivå 2-analysen.

I Tabell 4-1 och i Tabell 4-2 ges dels en översikt över omfattning av F1/2 PSA:s redovisning och analys av resultat, dels en sammanställning av studiens kvantitativa resultat.

Tabell 4-1 Översikt över omfattning av F1/2 PSA:s redovisning och analys av resultat

Minimikrav på resultatutformningen i en PSA - Kvantitativa resultat	
1. Absolutnivå för risk	Totalt sett mestadels tillfredsställande, men i huvudsak splittrat på delanalyser. Brister finns i sammanvägningen av resultat från delanalyser. I allmänhet diskuteras delanalysernas resultat var för sig. För nivå 2-nästan genomgående baserat på 1999 års modell. Nivå 1: Ja men med föga diskussion; avställning ingår dock ej Nivå 2: Ingår ej.
2. Presentation av de viktigaste bidragen till totalrisken	
3. Listor över minimala cutsets (med tillräckligt upplösning).	
4. Listor presenteras på olika nivåer (per inledande händelse, per sluttillstånd, per sekvens)	
5. Viktighetsmått på system- och komponentnivå (möjliggör identifiering av potentiellt stora riskbidrag)	
6. Presentation av osäkerheter.	
Minimikrav på resultatutformningen i en PSA - Kvalitativa resultat	
1. Tolkning av resultaten utgående från anläggningens utformning (t.ex. inverkan från otillräcklig subseparation)	Ja, t.ex. i brandanalysen
2. Viktiga slutsatser (kvalitativt uttryckt)	Begränsat
3. Beskrivning och värdering av viktiga förutsättningar och begränsningar	Delvis, oklart hur systematiskt detta gjorts
4. Presentation av svaga (eller viktiga) punkter m.a.p. system, komponenter, mänsklig växelverkan m.m.	Delvis, ingen samlad redovisning
5. Identifiering och värdering av svagheter, kunskapsluckor eller osäkerheter med stor resultatpåverkan	I sammanfattningsrapporten (FT-2001-12)
6. Värdering av inverkan från faktorer som kan påverka eller försvåra prioritering av åtgärder (t.ex. med känslighetsanalyser)	Delvis, oklart hur känslighetsanalysernas resultat beaktats i resultatdiskussionen.

Tabell 4-2 Sammanställning av F1/2 PSA:s kvantitativa resultat (hela studien)

Inledande händelser	Nivå 1 [HS / år]			nivå 2 [Stora utsläpp / år]		
	Effekt drift	Upp/Nedgång	Avställning	Effekt drift	Upp/Nedgång	Avställning
Transienter	2.2E-5	1.3E-6		1.0E-7		
LOCA	1.0E-6	8.1E-8				
CCI	2.2E-6	Ej analyserat				
Brand	2.1E-5	1.8E-6	Ej analyserat < 2.2E-7	Ej analyserat		Ej analyserat
Översvämning	4.7E-7	Antas ingå i effekt drift.	Ej analyserat < 1.1E-7			
Avställnings-specifika händelser			7.8E-6			1.1E-7
	4.7E-5	3.2E-6	>8E-6	1.0E-7		1.1E-7

Not: "Stora utsläpp" definieras som utsläpp av > 0.6% av härdinventariet av cesium och jod

4.2.2 Känslighetsanalys

Känslighetsanalyser för delar av studien (nivå 1 inre händelser under effekt drift samt ned- och uppgång) har genomförts och redovisats i Appendix H. Urvalet av känslighetsanalyser är bra, liksom presentation av dess resultat. Resultaten av känslighetsanalysen verkar också ha använts aktivt i resultatanalysen för hela PSA:n. Analyserna fokus ligger på nivå 1 effekt drift samt upp/nedgång, inre händelser. Inverkan på nivå 2-resultat har ej beräknats. Det finns inga diskussioner av resultatet av osäkerhetsanalysen.

Känslighetsanalysen omfattar således inte rumshändelser eller kall avställning. Åtminstone för rumshändelser är detta en diskutabel inskränkning, som borde motiveras bättre.

Känslighetsanalysen borde utökas till att omfatta även rumshändelser. Alternativt kunde känslighetsanalysen för rumshändelser inkludera relevanta fall av de som redovisas för inre händelser. För avställningsanalysen kan en separat känslighetsanalys vara befogad. Någon sådan ingår dock ej i analysen.

I nivå 2 PSA har en hel del känslighetsanalyser gjorts på haveriutveckling, t.ex. för källtermsbestämning, tidsaspekter samt fenomen. Inga känslighetsanalyser har genomförts för frekvenser och ingen osäkerhetsanalys har genomförts.

I bilaga 2 summeras genomförda fall och deras resultat; resultat som avviker mer än 25% från grundfallet har gråmarkerats.

I resultatdiskussionen görs ett viktigt konstaterande: "I tolkning av resultat bör observeras att utebliven reaktoravställning klart ger det största bidraget till härdskadefrekvensen. Detta medför att i känslighetsanalyser syns inte betydelsen av spädmatnings- och resteffekt kylningsfunktioner så tydligt som reaktoravställningen."

Känslighetsanalysen innehåller många intressanta fall, men ger intrycket av att vara delvis inkomplett. Detta konstateras delvis mot bakgrund av den föredömliga urvalsprocedur som presenteras i metodbeskrivning A.1: "Ett viktigt underlag till självbedömningen av kvalitet fås från känslighets- och osäkerhetsanalyser. Dessa systematiska metoder används för att

utvärdera osäkerheter både kvalitativt och kvantitativt i modellen. Den kvalitativa osäkerhetsanalysen utförs under projektets lopp genom att dokumentera begränsningar i analyser och osäkerheter i antaganden. Bilaga 1 innehåller en blankett för dokumentering av osäkerheterna. "

Ett antal uppenbart intressanta fall, som berör ändringar mellan 1999 och 2000 års modeller, saknas. Ett exempel är H-rumskylning som antas ej behövas baserat på kompletterande analyser, men förutsattes behövas i tidigare versioner. Inverkan av den ändrade modelleringen borde utvärderas. Komplettering av känslighetsanalysen med (om möjligt) samtliga ändringar mellan 1999 och 2000 års modeller rekommenderas.

Det kan noteras att fall 2.3, "Ändring av SS-kriteriet till max. 3 intilliggande i stället för max 2" ger ett mått på andelen begränsade lokala härdsador (c:a 25 % av total HS-frekvens), och även illustrerar hur starkt utebliven reaktoravställning dominerar den totala härdsadefrekvensen.

I kapitlet ingår också en presentation av riskviktigheten (riskökningsfaktor) för modellerade driftsystem. Beräkningen visar en mycket stark riskpåverkan från vissa el- och turbinsystem.

Matarvattensystem (fall 2.7-6) sägs i känslighetsanalysen ha "liten betydelse (riskökningsfaktor 2,6 och riskminskningsfaktor 0,98)". Detta kan vi knappast hålla med om - riskökningsfaktorn 2.6 pekar tvärtom på mycket stor betydelse för systemet, och den obetydliga riskminskningsfaktorn visar att näst intill maximal kredit tagits för systemet. Den stora betydelsen understryker också att den förenklade systemmodellen bör utvecklas till större detaljeringsgrad.

Känslighetsanalyser i PSA nivå 2-delen

Det utförs känslighetsanalyser inom två områden i nivå 2-analysen:

- Källtermsanalysen
- Fenomenanalysen

Källtermsanalysen uppskattar hur stor mängd radioaktivt material som släpps ut i respektive utsläppsklass. Eftersom en utsläppsklass representerar ett antal olika sekvenser så vill man säkerställa att den är representativ för samtliga sekvenser med avseende på något kriterium. Det kriterium som används är att utsläppsklassen skall utgöra en övre gräns för den utsläppta mängden aktivitet för sekvenserna som ingår i klassen.

Sex sekvenser varierar på olika sätt. Några urvalskriterier för sekvenser eller typ av variation redovisas inte. Med analyserna stärks slutsatsen att utsläppsklassernas utsläppsmängder utgör en övre gräns för de sekvenser som ingår. Några punkter som kan vara värda att ta upp är

- Utsläppet via normalt inneslutningsläckage är mindre än om man aktiverar den filtrerade tryckavlastningen,
- För vissa utsläppsklasser kan variationen av utsläppt mängd aktivitet mellan olika sekvenser variera med flera tiopotenser. Utsläppsklassen redovisar dock den övre gränsen,
- Vid ett stort brott i reaktortankens nedre plenum med aktivering av 361 och felfungerande härdkylning finns en möjlighet att härdsadorna uppträder så snabbt att man får ett signifikant aktivitetsutsläpp genom 361 innan det stänger automatiskt.

Det är önskvärt att en känslighetsanalys styrs upp av en metodbeskrivning som redovisar mål och urvalskriterier för känslighetsanalyserna. Detta gör det möjligt att bedöma om urvalet är tillräckligt.

I fenomenanalysen studeras sex olika fenomen. Slutsatsen från denna analys är att fenomenen inte utgör något signifikant hot mot reaktorinneslutningen och därför kan undantas från den fortsatta haverianalysen. För att säkerställa denna slutsats utförs en känslighetsanalys.

Analysen styrs upp på följande sätt

- Varje fenomen karakteriseras och viktiga parametrar identifieras. Parametrarna kan utgöras av modell-, geometriska eller sekvensparametrar,
- Dokumentera hur dessa parametrar kan studeras med MAAP,
- En variationsmatris bestående av MAAP-analyser konstrueras,
- Köra analyserna och dokumentera resultaten.

Analyserna identifierar ett stort antal parametrar och variationsmatrisen innehåller drygt 50 sekvenser. Resultatet blir att slutsatsen att fenomenen inte hotar reaktorinneslutningen står fast. Några kommentarer och frågor kan vara värda att ta upp

- I anslutning till känslighetsanalysen av härdresternas kylbarhet i nedre DW konstateras att yttemperaturen på genomföringarnas värmesköldar i alla lägen är betydligt under smälttemperaturen 1800 K. Frågan är om detta räcker för att säkerställa genomföringarnas integritet. Sköldarnas hållfasthet försämras redan vid betydligt lägre temperatur och det beror då på vilka krafter de utsätts för från härdresterna. Eventuellt skulle sköldarna kunna deformeras så att vattnet trängs undan och temperaturen i genomföringarna öka så mycket att deras integritet äventyras. En sådan diskussion borde ingå i känslighetsanalysen.
- I analysen om härdresternas kylbarhet i nedre DW har man antagit en jämnt fördelad härdrest med konstant tjocklek. Vad händer om härdresten snarare bildar en toppig hög med betydligt större tjocklek i mitten. Och om detta kombineras med en finfördelad härdrestfraktion som lägger sig över högen och täpper till flödesvägarna in i högen och försämrar kylningen av resterna. Detta scenario har diskuterats i andra sammanhang och borde kanske omnämnas i känslighetsanalysen.
- En diskussion om DCH vid luftfylld reaktorinneslutning saknas.
- Känslighetsanalysen innehåller inga andra modeller än de som redan använts i fenomenrapporterna. FAI har gjort en grundlig genomgång av empiriska försök och teoretiska modeller och kondenserat ned dessa till modeller som i vissa fall införts i MAAP-koden. Man kan förstå att FAI anser att det är bra modeller. Eftersom de leder fram till slutsatsen att inga fenomen hotar inneslutningens integritet, vilken kan uppfattas som djärv om inte annat beroende på den omfattande forskning om vissa fenomen som fortfarande pågår, så borde även några ”konkurrerande” teorier åtminstone diskuteras i en känslighetsanalys.

4.2.3 Osäkerhetsanalys

Analysen omfattar parametriska osäkerheter. Osäkerheter m.a.p. modellering hanteras i någon mån i känslighetsanalysen, medan osäkerheter m.a.p. fullständighet inte diskuteras.

Osäkerhetsanalysen omfattar nivå 1 inre händelser under effektdrift samt ned- och uppgång. Detta innebär att analysen ej omfattar nivå 2 PSA och ej heller rumshändelser eller händelser

vid avställd reaktor. Den genomförda delen av analysen är ett grundligt arbete som, bortsett från de generella avgränsningarna, ger intrycket av att vara ambitiös och komplett. Målet bör dock vara en fullständig analys.

För beräkning av härdskadefrekvensens osäkerhetsfördelningen tilldelas varje relevant indata i F1/F2's PSA-modell i Risk Spectrum en osäkerhetsfördelning. De osäkerhetsfördelningar som utnyttjas är betafördelning för sannolikheter och gammafördelning för frekvenser och felintensiteter. I något enstaka fall utnyttjas även lognormal fördelning för frekvenser och felintensiteter. Parametrar för felsannolikheter beräknas baserat på T-bokens komponentfeldata. Parametrarna i en betafördelning (medelvärde = T-bokens medelvärde, alfafaktor och betafaktor) räknas fram genom anpassning till T-bokens angivna 95%-fraktil. Tabellerna har granskats som ett stickprov, och i ett antal fall har slarvfel vid omräkningen upptäckts. I tabell 2 verkar flera av anpassningarna till T-bokens fördelningar vara dåliga (det skiljer en eller flera tiopotenser mellan 95%-värdena). Troligen är resultatpåverkan ringa, detta kan dock behöva undersökas. I Tabell 4-3 beskrivs resultaten av osäkerhetsanalysen.

Tabell 4-3 Resultat av osäkerhetsanalys (endast inre händelser under effektdrift samt ned- och uppgång)

Analysfall	Härdskadefrekvens [1/år]			
	Medelvärde	Median	5%-fraktiler	95%-fraktiler
HS alla inledande händelser	2,48E-5	1,53E-5	2,34E-6	7,68E-5

4.3 Beslutskriterier

Beslutskriterier för värdering av analysen resultat inom studiens användningsområden bör finnas. Detta är ej uppfyllt; endast kriterium för totalresultat finns (1E-5/år för härdskada och 1E-7/år för "stora utsläpp"). Dessa kriterier tillämpas dock ej på studiens totalresultat. I brandanalysen (Appendix D.1, avsnitt 8.3) anges (felaktigt?) att kriteriet 1E-5/år gäller för inledande händelse brand, samt 1E-6/år per brandfall.

Tillståndshavaren bör ha en strategi för hantering av avvikelser mellan beräknad risk (härdskadefrekvens eller frekvens för stora utsläpp) och koncernens säkerhetsmål. Någon sådan strategi verkar inte finnas. Resultaten (härdskadefrekvens) överstiger målet med en faktor 5, vilket accepteras med ganska vag argumentation.

I appendix A1 konstateras att kriterier behövs för jämförelse av resultat vid utvärdering av anläggningsändringar; något sådant kriterium presenteras dock ej.

Generellt finns alltså ett behov av att utveckla och tillämpa beslutskriterier.

De sex fenomenrapporterna som ingår i nivå 2 PSA analyserar olika fysikaliska fenomen. I rapporterna görs även en bedömning om fenomenen skall inkluderas i händelseträden för kvantifieringen av nivå 2-konsekvenserna. I samtliga fall resulterar bedömningen i att fenomenen inte används i händelseträden, de bedöms inte ge något signifikant bidrag till utsläppsfrekvensen.

Ett beslutskriterium har redovisats i anslutning till analysen av vätgasförbränning och det kan ha använts även för de andra fenomenen. Beslutskriteriet uttrycker att om den betingade sannolikheten att vätgasförbränning ger upphov till en tidigt inneslutningsskada är mindre än 1E-3 så kan den undantas från kvantifieringen av konsekvenser i nivå 2-analysen. Argumentet

är att om totala härdskadefrekvensen ligger under $1E-4$ per år så blir vätgasförbränningens bidrag till nivå 2-resultatet högst $1E-7$ per år. I rapporten hänvisar man till att detta med god marginal underskrider industrirekommendationerna (current industry guidance) som anger $1E-6$ per år för att ett enskilt fenomen skall medföra krav på anläggningsmodifieringar. Det är oklart vilken industristandard som man syftar på men det är tveksamt om kriteriet är kompatibelt med de svenska kraftbolagens allmänna kriterium för stora utsläpp på $1E-7$ per år. Det är möjligt att ett starkare krav medfört annorlunda bedömningar av vätgasförbränningens konsekvenser i denna PSA nivå 2.

Det är oklart om de övriga fenomenrapporterna utnyttjar samma kriterium.

4.4 Jämförbarhet

Vid val av data, parametrar och förutsättningar bör realism eftersträvas. Målet bör vara att uppnå jämförbarhet mellan de olika riskbidrag som uppskattas i PSA:n, d.v.s. både från olika kategorier av inledande händelser och från olika drifttillstånd.

Man har i PSA-2000 haft ett rimligt angreppssätt, d.v.s. först gjort en grundanalys med vissa förenklingar (delvis konservativa); sedan har man iterativt ökat realismen på ett antal områden med stor riskpåverkan. Även i studiens slutsatser identifieras utvecklingsområden som kommer att öka realismen i studien. I ansättande av parametrar och data har man i stor utsträckning utnyttjat anläggnings specifika data eller andra data applicerbara på F1/2. Realistiska beräkningar har genomförts för att förbättra realismen jämfört med onödigt konservativa FSAR-krav. I ett antal fall har analyser för TVO I/II utnyttjats.

FKA verkar således ha eftersträvat realism i samtliga delanalyser, och successivt ökat denna på vissa punkter. För närvarande är dock jämförelse mellan delanalyser inte möjlig, eftersom delar av studien ej uppdaterats till 2000 års modell.

5 Genomförande av PSA

Kommentarerna ges i separata avsnitt för PSA:ns olika delmoment. Inledningsvis ges nedan ett antal generella kommentarer.

Studien har genomförts för Forsmark 1. Det antas generellt och utan djupare motivering att studien är direkt applicerbar på Forsmark 2, med undantag för de skillnader som ges av skilda data för inledande händelser (I-boken m.m.) och komponentfalddata (T-boken m.m.). Detta är ett av studiens viktigaste antaganden, men diskuteras inte alls. Den enda anpassning som görs är i ett av fallen i känslighetsanalysen, där studien omkvantifieras med transient- och T-boksdata för F2. För att vara giltigt, förutsätter antagandet att anläggningarna är i princip identiska, och att eventuella skillnader är utan betydelse för en PSA. Med tanke på att F1 och F2 åtminstone tidvis haft helt skilda underhållsorganisationer, är det inte självklart att denna förutsättning är uppfyllt. Således måste det i studien presenteras tillräckliga argument för att anläggningarna faktiskt är PSA-mässigt identiska.

Studien utnyttjar i ibland data eller analyser från TVO PSA. Detta inkluderar mer eller mindre omfattande utnyttjande av data, delanalyser eller hela analyser på flera håll i PSA-2000. Detta behöver i och för sig inte vara något problem, men måste underbyggas väl. Beskrivningen av i vilken utsträckning underlag från TVO har utnyttjats är dock i allmänhet ganska knapphändig. Dessutom diskuteras sällan applicerbarheten på Forsmark 1/2. Utökad beskrivning behövs av hur och varför TVO-data eller -analyser utnyttjas. Relevansen i TVO-underlaget behöver i vissa fall verifieras.

Generella sammanhållande översikter som spänner över hela PSA:n saknas. Detta gäller t.ex. drifttillstånd, inledande händelser, dokumentationsöversikt och resultatsammanställning. PSA:n bör kompletteras med nödvändiga integrerade översikter.

Det är mycket svårt att överblicka de antaganden och randvillkor som gäller i analysen, eftersom de endast i undantagsfall finns listade och presenterade listor är i flera fall uppenbart inkompleta. Normalt nämns de i den löpande texten, vilket gör dem mycket svåra att identifiera. En inventering och sammanställning borde göras i samtliga större delanalyser.

5.1 PSA:s omfattning och täckningsgrad

En systematisk procedur bör tillämpas för att identifiera möjliga källor till radioaktiva utsläpp. Det finns i PSA-2000 brister i systematiken, vilket medför att vissa källor till radioaktiva utsläpp och kategorier av inledande händelser utelämnats utan motivering. Som ett exempel definieras rumshändelser som "brand och översvämning"; ingenstans i PSA:n framgår vilka andra rumshändelser som kan inträffa och varför de exkluderats. Ett annan exempel är missöden som berör bränslebassängen, som utesluts utan motivering, eftersom endast händelser som medför härdskada analyseras. Övriga möjligheter till aktivitetsfrigörelse berörs ej eller bedöms vara försumbara med ganska begränsad motivering.

Varje PSA bör inkludera ett kort sammanhållet dokument som förtecknar alla aktuella PSA för anläggningen och hur dessa hänger ihop och därmed ger en heltäckande bild av säkerheten. Inget sådant dokument finns, men en tabell presenteras. Denna är varken fullständig eller korrekt; den angivna täckningsgraden bedöms vara starkt överdriven. Omfattning visas i Figur 5-1 (omfattning enligt PSA-2000) och i Figur 5-2 (bedömd omfattning enligt granskningen).

Definitionen av olika drifttillstånd (effekt drift, nedgång/uppgång och avställning) är konsekvent gjord men mycket otydligt beskriven och uppsplittrad i flera dokument, främst i

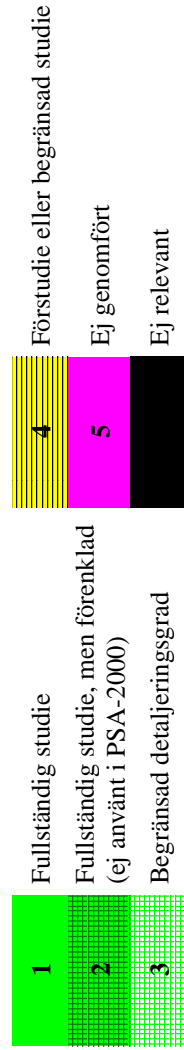
kapitel 3 "Inledande händelser", i analysen av nedgång och uppgång, och i avställningsanalysen. Presentationerna ser olika ut på varje håll, och saknar konsekvent koppling till den indelning som gjorts i PSA-2000. Det vore önskvärt med en inledande och detaljerad presentation, t.ex. baserad på den detaljerade tabell som ingår i avställningsanalysen. Alternativa presentationer bör sedan undvikas, eftersom de försvårar förståelsen av omfattning och avgränsning av de olika analyserna. I PSA-2000 tillämpad uppdelning presenteras i Tabell 5-1, som också visar hur en inledande översikt kunde se ut.

Tabell 5-1 Definitionen av olika drifttillstånd - effektdrift, nedgång/uppgång och avställning

Driftläge	Stationsläge	Fas	Beskrivning	Delanalys PSA
			Urfasning generator 1. Atmosfärsbyte i RI påbörjas. Effekt > 15%	EFFEKTDRIFT
Varm avställd reaktor	A Underkritisk (nedkörning)	A	V-kedjan utlöst. Resteffekt kyls till värmesänkor via kondensor/414/415 eller Kondensationsbassäng/314/327 eller 321/331/713	NEDGÅNG
		B. 1	Reaktortryck < 12 bar. Resteffekt kylning med system 321/711/715.	
Kall avställd reaktor	B Resteffekt kylning börjar	B. 2	Trycket 1 bar. Locket monterat.	AVSTÄLLNING
		B. 3	Toppfyllning. Locket monterat.	
	C Primärkrets öppnas	C	Primärkretsen öppen. Trycklös reaktor. Locket öppet.	
Bränslebyte	D Bassäng kylning börjar	D. 1	Bassänger fyllda. Kylning med system 321.	
		D. 2	Bassänger fyllda. Kylning med system 324.	
D. 3		C-bassäng tömd. Locket demonterat.		
Kall avställd reaktor	E Underkritisk (uppkörning)	E	Trycklös reaktor. Locket monterat.	
Nukleär värmning	F Kriticitetsskörning, uppvärmning	F	Reaktortrycket lägre än 70 bar. Styrstavar dras ut.	UPPGÅNG
Varm beredskap	G Kritisk (uppkörning)	G	Reaktortryck 70 bar. En turbin driftklar.	
			Fasning turbin 1 och 2. Kvävgasfylld RI. Effekt > 15%	EFFEKTDRIFT

PSA-2000 – Omfattning enligt FTA

Inledande händelser	Nivå 1			nivå 2		
	Effektdrift	Upp/Nedgång	Avställning	Effektdrift	Upp/Nedgång	Avställning
Transienter	1	3		1	3	
LOCA	1	3		1	3	
CCI	1	3		1	3	
Brand	1	3	3	1	3	3
Översvämning	1	3	3	1	3	3
Jordbävning		5			5	
Yttre (externa) händelser		4			4	
Avställningsspecifika händelser			4			4



Figur 5-1 Översikt över FI/2 PSA:s omfattning (FT 2001-12)

F1/2 PSA - Omfattning enligt granskning

		Nivå 1			nivå 2		
Inledande händelser	Effekt drift	Upp/Nedgång	Avställning	Effekt drift	Upp/Nedgång	Avställning	
Transienter	1 / Fullständig	2 / Strömningar under nedgång uppgång		1 / Fullständig	3 / Värdeexplosion möjlig annars som Effekt drift		
LOCA	1 / Fullständig	2 / Fördelning av 10% av effekt drift frekvens, f. ö. samma modell		1 / Fullständig	3 / Värdeexplosion möjlig annars som Effekt drift		
CCI	1 / Fullständig	5 / Ej diskuterat i appendix G		1 / Fullständig (CCI från nivå 1)	5 / Ej diskuterat i appendix G, d.v.s. ej i nivå 2		
Brand	2 / Fullständig, men förenklad	3 / Brand i reaktorinne-slutning kvantifierat. Antas i övrigt täckas av effekt drift analysen.	4 / Avskrivet efter kort resonerande.				
Översvämning	2 / Fullständig, men förenklad	3 / Antas täckas av effekt drift analysen.	4 / Avskrivet efter kort resonerande.	5 / Ingår ej			
Övriga rumshändelser	5 / Ingen diskussion av rumshändelser utom brand och översvämning.			5 / Ingen diskussion av rumshändelser utom brand och översvämning.			
Jordbävning	5 / Uttalad begränsning i PSA:s omfattning			5 / Uttalad begränsning i PSA:s omfattning			
Yttre (externa) händelser	4 / Grov sällning gjord; detaljerade diskuteras ej			5 / Den genomförda sällningen kan knappast sägas täcka in nivå 2.			
Avställningsspecifika händelser			4 / Efflöden och förlust av resteffekt kylning.			4 / Avställningsanalysen är en förstudie med större osäkerheter (E-2001-E8 ss 3)	

1	Fullständig studie	4	Förstudie eller begränsad studie
2	Fullständig studie, men förenklad (ej använt i PSA-2000)	5	Ej genomfört
3	Begränsad detaljeringsgrad		Ej relevant

Figur 5-2 Översikt över F1/2 PSA:s omfattning (enligt granskning)

5.2 Inledande händelser

Analysen presenteras i följande delavsnitt av PSA-2000:

- Kapitel 3, Analys av inledande händelser
- Kapitel 6, Analys av beroenden (kvalitativ CCI-analys)
- Appendix A.2, Metodbeskrivning ”Inledande händelser, sluttillstånd, systemkrav och händelseträdsanalys, nivå 1”
- Appendix A.7, Metodbeskrivning ”Ned- och uppgång”
- Appendix B, Systemanalys (diskussion CCI-potential)
- Appendix G, Analys av ned- och uppgång
- Appendix K, CCI-test med F1-simulator

Analysen av inledande händelser presenteras i ett eget avsnitt i huvudrapporten (kapitel 3). Kapitlet är välskrivet och väl strukturerat. Det täcker översiktligt alla typer av inledande händelser, men fokuserar på inre händelser under effektdrift.

Kapitlet ger en god summerande överblick över analysen, inklusive en översiktlig diskussion av grunder för indelning i olika kategorier av inledande händelser och anläggningstillstånd. Denna information kunde med fördel ha kommit tidigare i PSA:n. Delar av kapitlet (avsnitt 3.3 och 3.4) skulle kunna användas som underlag för den inledande kategorisering som saknas i PSA:n.

Inledande händelser under uppgång och nedgång berörs delvis av kapitlet, men hänvisas till större delen till ett separat analysdokument (Appendix G).

Inledande händelser under brand och översvämning refereras kort i det överordnade kapitlet om inledande händelser, vilket är bra. Den detaljerade analysen sker dock i separata analysdokument (Appendix D.1 och D. 2)

En översiktlig genomgång och viktighetsvärdering av yttre händelser ingår i PSA-2000. Den presenteras i sin helhet i kapitel 3 om inledande händelser.

I analysen av LOCA och CCI finns en delvis förutsättningslös systematik i definitionen av möjliga inledande händelser. Detta gäller ej transienter där man utnyttjar ett antal listor (driftstatistik, EPRI-listan och FSAR:s lista över transienter och haverier), vilket bekräftar I-bokens kategorisering. Det hade varit önskvärt att bättre verifiera fullständigheten i analysen av inledande händelser. Detta kan göras med en deduktiv analys, t.ex. Master Logic Diagrams.

Analysen av inledande händelser saknar en samlad dokumentation av viktiga antaganden och randvillkor. En sådan sammanställning borde ingå. Viktiga antaganden som görs är exempelvis:

- Det antas att rörbrottsfrekvensen är proportionell mot med rörlängden, och inte påverkas av rörmaterial, transporterat medium, antal T-stycken, svetsar, fästningar, ventiler, m.m.

- Det verkar som om endast rörslag inkluderats i analysen av dynamiska effekter efter rörbrott. Någon motivering till att andra dynamiska effekter (jetstråle och missiler) exkluderas ges ej.
- Transientdata från I-boken används ej.

PSA nivå 2 ärver i de flesta fall de inledande händelserna från nivå 1-delen om nivå 2 PSA konstrueras som en naturlig fortsättning på analysen. Så är fallet med den nu aktuella modellen. Däremot kan en nivå 2-analys ställa ytterligare krav att inkludera inledande händelser som inte är relevanta i nivå 1. Det beror framförallt på att det allmänna beslutskriteriet för stora radioaktiva utsläpp, som är en av de viktiga konsekvenserna av en nivå 2-analys, är mycket strängare än motsvarande kriterium i nivå 1 PSA. Enligt de svenska kraftbolagen skall frekvensen för stora utsläpp vara $1E-7$ per år vilket är två tiopotenser lägre än frekvensen för härdskada vilket gäller för nivå 1.

För att identifiera de inledande händelser som inte är signifikanta i en PSA nivå 1 men som potentiellt kan ge ett signifikant bidrag till resultatet i en nivå 2-analys kan en kompletterande analys och urval av inledande händelser därför vara på sin plats inför en nivå 2-analys. I PSA-2000 görs en relativt grundlig genomgång av inledande händelser för nivå 1-analysen. Man nämner nivå 2, men inga explicita försök görs att identifiera nivå 2-specifika inledande händelser. I nivå 2-analysen görs heller inga försök att komplettera inledande händelserna. Reaktortankbrott, som understundom kan vara kontroversiellt, är med i nivå 1 PSA men har fallit bort från nivå 2-analysen utan någon kommentar. Beroende på vilka konsekvenser man antar följa på denna händelse så skulle den mycket väl kunnat ge ett signifikant om inte dominerande bidrag till frekvensen av stora utsläpp i PSA-2000 .

5.2.1 Rörbrott

5.2.1.1 Effektdrift

Analysen av rörbrott inkluderar rörbrott innanför inneslutningen (LOCA), oisolerade yttre rörbrott (Y-LOCA) och reaktortankbrott. Isolerbara yttre rörbrott analyseras som rumshändelser (översvämning). Reaktortankbrott antas per definition leda till härdskada, och analyseras inte vidare i nivå 1, men sägs ingå i nivå 2-analysen (där de dock ej är behandlade).

Indelningen av LOCA baseras på gängse sätt efter de krav som ställs på spädmatning och tryckavsäkring i kategorierna stor (A), mellanstor (S1) och liten (S2) LOCA. Indelning sker även efter brottställe i toppbrott, mellanbrott och bottenbrott. Mellanbrott inträffar mellan härdens överkant och normal vattennivå. De medför till en början vattenutflöde, men övergår sedan till att vara toppbrott.

Definitionen av relevanta rördelar görs dels baserat på läge och utflödesmängd, dels på sekundära effekter av en LOCA.

Analysen av rörbrott innanför inneslutningen utgår från en kvalitativ kartläggning av LOCA-känsliga rördelar. Här har längden uppskattats för varje definierad rördel. Det antas således att rörbrottsfrekvensen är proportionell mot med rörlängden, och inte påverkas av rörmaterial, transporterat medium, antal T-stycken, svetsar, fästningar, ventiler, m.m. I analysen uttrycks detta med att antal diskontinuiteter enligt ovan antas korrelera med längden. Detta har dock inte verifierats.

Sekundära effekter fås dels definitionsmässigt genom att spädmatning uteblir via drabbad rördel, dels via dynamiska effekter på närliggande ledningar, komponenter eller instrumentering (via rörslag, jetstrålar eller missiler). En analys av avståndssparation i inneslutningen har gjorts och ett antal fall definierats där rörbrott får sekundära effekter. I viss utsträckning utvärderas även sekundära effekter på annan utrustning än rör. Det verkar som om endast rörslag inkluderats i analysen. Någon motivering till att andra dynamiska effekter exkluderas ges ej.

I ansättningen av frekvenser för LOCA gör man skillnad på rörbrott (giljotinbrott) och läckage (1/16 av utflödet vid rörbrott, d.v.s. motsvarande ett rör med 1/4 av rördiametern). Detta innebär att ett och samma röravsnitt kan bidra till frekvensen för rörbrott både i t.ex. kategori A och kategori S2.

Rörlängder i primärkretsen har uppmätts för F1/2. För att kunna utnyttja generiska data (GE BWR och WASH-1400) har rörlängden i en genomsnittlig BWR uppskattats.

Frekvenser för rörbrott och läckage har uppskattats. För stor och medelstor LOCA görs en nollpunktskattning baserat på att inget sådant rörbrott inträffat i en BWR under total 1960 driftår. För små rörbrott, läckage och bottenbrott utnyttjas drifterfarenheter från nordiska BWR, dessa har hämtats ur TUD-systemet och SLAP, SKI:s rörhändelsedatabas.

För yttre brott (Y-LOCA) har frekvenser beräknats på samma sätt. Brott i 321, 411 och 415 inkluderas. De inledande händelserna har delats upp m.a.p. om brott i ett viss röravsnitt inträffar nära skalventil eller ej. Vid brott nära skalventilen antas den slås ut av dynamiska effekter.

Övriga potentiellt relevanta system (323, 326, 327 och 351) exkluderas med hänvisning till att de är i stand-by under normal drift, och att kritisk tid med öppna skalventiler under manöverprov antas vara försumbar. System 327 och 351 är högtryckssystem, men har även dessa exkluderas. Den antagna försumbarheten bygger på att det är tid i drift som är styrande för riskbidraget från dessa två system. Det är troligare att riskbidraget styrs av andra parametrar, såsom latent fel under stand-by-tiden som visar sig i samband med testet. Det är möjligt att bidraget trots detta är försumbart, detta måste dock underbyggas bättre. Diskussionen borde utvecklas till att inkludera andra aspekter än drifttid..

Oisolerat yttre brott antas alltid leda till härskada, och därför ritas ingen funktionsblocksdiagram. En förfinad analys görs i nivå 2-studien. Analysen i nivå 2-studien visar ett yttre brott inte alltid leder till härskada. Därför borde analysen återföras till nivå 1 och presenteras där.

Som frekvens för reaktortankbrott används väntevärdet från WASH-1400. Reaktortankbrott (R) ges således en frekvens av $2.7E-7$ per år. I nivå 2 PSA finns dock reaktortankbrott inte med eftersom den inte ger upphov till något bidrag i nivå 1 (ej modellerad med händelsetråd). Själva händelsen analyseras i en känslighetsanalys i FAI/99-81 där man visar att om brottet begränsas till 2 m^2 så kommer reaktorinneslutningen att hålla men det finns en risk att man får ett radioaktivt utsläpp via 361. Händelsen finns i övrigt inte med i resultatdokumentationen.

Sammantaget gör dock analysen ett i huvudsak vederhäftigt och fullständigt intryck. Den är väl dokumenterad och har på ett ambitiöst sätt försökt utnyttja nya tillgängliga

datakällor. Den kvalitativa analysen är väl genomförd, inklusive analysen av sekundära effekter.

5.2.1.2 Analys av nedgång och uppgång

I analysen av nedgång och uppgång används samma LOCA-kategorier som under effektdrift. Det bedöms att 10% av rörbrotten inträffar vid ned- och uppgång och att detta fördelar sig med 5% för varje fas. Frekvensen fördelas proportionellt mellan olika typer av nedgång/uppgång (planerad, oplanerad, etc.). Kvantifieringen görs sedan med samma händelsetråd som för effektdrift, men med anpassade randvillkor (t.ex. postulering av lyckad avställning, PLI ej möjlig, etc.). Använt förfarandet bedöms vara rimligt.

5.2.2 Transienter

5.2.2.1 Effektdrift

Identifieringen av relevanta transientkategorier baseras på genomgång av ett antal listor, d.v.s. driftstatistik över inträffade stopp i Forsmark 1 och 2, dels transienter och haverier i FSAR samt den generella EPRI-listan över BWR-transienter. Samtliga poster i dessa listor har klassats efter transientkategori eller CCI. Efter genomgång har detta medfört att med ett undantag samma transienter utnyttjas som i I-boken. Undantaget är transient Tf (matarvattenbortfall) som slagits samman med kategorin Ttf. För ett antal speciella transienter, t.ex. rusande matarvattensystem, diskuteras klassificeringen litet mera i detalj. Bland transienter ingår även den yttre händelsen bortfall av yttre nät (Te)

Frekvensen för transienter har beräknats baserat på drifterfarenheter från revisionen 1981 till 30/6 2000. Presenterade frekvenser skiljer sig avsevärt från de som presenteras i I-boken, och skillnaden kan inte mer än till en del förklaras med att tidsintervallet är längre. Troligen ligger förklaringen i ändrad fördelning mellan anläggningsillstånd och i omklassning till CCI av vissa transienter. Detta borde dock diskuteras i studien. En jämförelse med I-boken redovisas nedan i Tabell 5-2.

För bortfall av yttre nät baseras frekvensen på en separat analys. I samma analys bestäms sannolikheten för återkomst av yttre nät efter olika tid.

Tabell 5-2 *Transientfrekvenser - Jämförelse mellan I-boken och PSA-2000I*

Transient	F1/ I-boken		Forsmark 1		F2 / I-boken		Forsmark 2	
	Frekvens [//år]	Antal 81-93	Frekvens [//år]	Antal 81-00	Frekvens [//år]	Antal 81-93	Frekvens [//år]	Antal 81-00
Tp	1.8	23	1.9		2.0	24	1.7	
Ts	0.85	9	0.34	6	0.81	9	0.39	7
Tf+Ttf	0.38	5	0.34	6	0.47	5	0.24	4
Tt	0.51	12	0.29	5	0.57	8	0.50	9
Te	0.033	0	0.068	1	0.084	2	Samma som för F1	
Summa	3.6		2.9		3.9		2.9	

5.2.2.2 Analys av nedgång och uppgång

För nedgång finns den grundläggande transienten T_p . Under nedgången analyseras ett antal störningar: bortfall av matarvatten, bortfall av kondensator, bortfall av resteffektkylning med 321 samt bortfall av yttre nät. Dessutom ingår rörbrott och rumshändelser (se dessa avsnitt).

För uppgång finns den grundläggande transienten T_u . Samma störningar som under nedgång analyseras, samt kriticitetsstörningar.

Beroende på vilka störningar som inträffar under nedgång/uppgång, används olika händelseträdd (ur effektdriftanalysen) för analysen.

I en bilaga till analysen av ned- och uppgång beräknas frekvensen för transienterna T_p och T_u baserat på en genomgång av driftstatistik. En motsvarande genomgång ingår i kapitel 3 "Inledande händelser". I denna ingår alla transienter, oberoende av drifttillstånd. Klassningen i kapitel 3 omfattar också T_p , planerade nedgångar, men inte T_u . I stället verkar transienter under uppgång ha inkluderats i effektdriftstatistiken (markerade i kolumn "effektdrift". Detta väcker frågan om konsistensen i genomgångarna. En gemensam klassning borde göras, omfattande både effektdrift och ned- och uppgång.

5.2.3 CCI

Analys av CCI redovisas i kapitel 3 om inledande händelser, men även i kapitel 6 om beroenden. Det är inte klart varför analysen av CCI är uppdelad mellan kapitlen. Eftersom det handlar om en kategori av inledande händelser, borde det mera naturligt att inkludera analysen i sin helhet i kapitel 3. Som det är upplagt nu, har analysen splittrats på ett till synes ganska godtyckligt sätt mellan två kapitel, vilket delvis kräver en del dubblering av information, dels ger ett splittrat intryck och försvårar förståelsen av analysen.

Analysen är dock systematisk, väl genomförd och beskriven i tillräcklig detalj. Den innehåller också en del intressanta nya grepp, såsom diskussionen av STF-initierade CCI och användning av anläggningssimulator för att analysera potentiella CCI som följd av skenbortfall.

CCI identifieras i första hand med hjälp av listor över CCI i andra PSA (I-boken, F3 PSA, TVO PSA och O1 PSA). Som oberoende kontroll ingår värdering av CCI-potential i systemanalyserna. Analyserade CCI faller inom följande kategorier:

- Obefogade 516-processsignaler (inga CCI modelleras)
- Elektriska kraftsystem (flera CCI modelleras)
- Hjälpsystem (712/716 och 754 modelleras, flera andra ingår i redan modellerade inledande händelser)

Uttalade begränsningar i CCI-analysen är att detaljerad analys av icke säkerhetsklassade system saknas och att STF-initierade CCI ej systematiskt analyserats. Det är dock positivt att dessa diskuterats i viss detalj.

CCI sägs kategoriseras genom att välja den huvudkategori av IH som närmast motsvarar anläggningspåverkan. I praktiken visar det sig (kap 6.4) att huvudkategorin alltid sätts till T_t eller T_{tf} . Detta sägs i vissa fall vara konservativt. Med tanke på det relativt stora

riskbidraget från CCI kan denna medvetna konservatism ifrågasättas. En mera realistisk analys av transient efter CCI vore önskvärd.

I resultatpresentationen presenteras bidrag från CCI inte som egen kategori, utan nästan genomgående som del av kategori Tt och Ttf. Detta försvårar resultattolkningen och döljer betydelsen av CCI för anläggningen. Förfarandet gör det svårt att värdera riskbidraget från CCI, i flera resultatsammanställningar krävs handräkning för att se CCI-bidraget. Det är dessutom inkorrekt, eftersom modelleringen som Tt/Ttf är ett antagande, som måste kunna ifrågasättas.

Ingen separat diskussion av CCI förs i analysen av nedgång och uppgång. Modellerade störningar under nedgång och uppgång är dock av CCI-karaktär, se avsnittet om transienter.

5.3 Sekvensanalys

Analysen presenteras i följande delavsnitt av PSA-2000:

- Kapitel 4, Händelseträdsanalys
- Appendix A.2, Metodbeskrivning ”Inledande händelser, sluttillstånd, systemkrav och händelseträdsanalys, nivå 1”
- Appendix A.8, Metodbeskrivning ”Modellering och beteckningssystem med Risk Spectrum”
- Appendix G, Analys av ned- och uppgång
- Appendix J, Systemkravsanalyser (MAAP)
- Appendix J. 1, Uppgradering av PSA-2000 – Analys av systemfunktioner med MAAP4
- Avställningsanalys
- Viktiga referenser pärm B och C, Viktiga underlagsrapporter

5.3.1 Generellt

Detta är en väl dokumenterad analys, som också är ganska väl sammanhållen. Innehåll och genomförande är enligt aktuell praxis. Funktionsblocksdiagram, händelseträdd och sekvensbeskrivningar presenteras.

Säkerhetssystem, hjälpsystem och mänsklig växelverkan som aktivt eller passivt bidrar till att säkerhetsfunktioner etableras och upprätthålls skall identifieras. Intrycket är att detta skett på ett systematiskt sätt; det framgår dock inte ur analysen. Omfattande listningar, bilagor etc. finns däremot.

Analysen saknar en samlad sammanställning av viktiga antaganden och randvillkor. Dessutom borde sekvensanalys (systemkrav, tillkommande funktioner, etc) vid andra driftlägen summeras i kapitlet, eller en inledande översikt med referenser inkluderas.

5.3.2 Sluttillstånd

I kapitlet definieras dels lyckat sluttillstånd och härdskada, dels anläggningstillstånd (PDS) för fortsatt analys i nivå 2-studien. Detta sker genom att i händelseträdsmodellen tilldela varje HS-sekvens två konsekvenser, en HS-konsekvens och en PDS.

Sluttillstånden i PSA nivå 1-analysen är definierad med hänsyn till att de skall vara utgångspunkt för nivå 2-analysen.

Sluttillstånden i avställningsanalysen inkluderar, liksom i analysen av effektdrift, endast härdskada. Vissa fall av mekanisk bränsleskada diskuteras dock kort kvalitativt. Detta innebär att varken i avställningsanalysen eller i andra delar av PSA-2000 diskuteras aktivitetsfrigörelse generellt, som utgångspunkt för att definiera de sluttillstånd som analysen i stort bör ske mot. En sådan diskussion borde ingå i huvudrapporten.

5.3.3 Systemkrav

Huvudrapporten innehåller en väl underbyggd diskussion av systemkrav som även presenteras som en lätt överblickbar matris. Det finns en bra kvalitativ beskrivning av grunderna för modellering av säkerhetsfunktioner, och det sätt olika system krediteras och modelleras i samband med detta. För ned- och uppgångsanalysen gäller att systemfunktionskrav endast diskuteras i text, vilket gör det hela litet överskådligt, och dessutom inkonsistent med den överskådliga matrispresentation som finns både i fulleffektstudien och i analysen av avställd reaktor. Det rekommenderas att summera systemkrav i en matris och presentera som bilaga. Systemkrav i avställningsanalysen är otillräckligt underbyggda (postulerade i metodbeskrivningen).

För varje säkerhetsfunktion (reaktoravställning, tryckavsäkring, spädmatning/TB, resteffekt kylning och RI:s integritet) diskuteras system som kan upprätthålla säkerhetsfunktionen, acceptanskriterium, systemkrav samt tidsaspekter (underlag för bl.a. HRA).

Kraven skall baseras på FSAR eller verifierande beräkningar av mer realistiska krav, vilket är uppfyllt. Systemkraven för nivå 1 PSA har analyserats med MAAP. Dessa analyser ger mer realistiska krav. Analysen verkar rimlig och man har dragit rimliga slutsatser.

Kraven på system som är aktuella i nivå 2-analysen är uppskattade i olika analyser och uppfattas som realistiska. Detta gäller framför allt reaktorinneslutningens hållfasthet. Den filtrerade tryckavlastningens filtrerförmåga tycks dock ha behandlats konservativt vilket resulterar i dominerande risk för de sekvenser där manuell aktivering av filtret ingår.

Oisolerat yttre brott (Y) antas alltid leda till härdskada, men en förfinad analys görs i nivå 2-studien. Eftersom denna analys visar ett yttre brott inte alltid leder till härdskada, borde analysen återföras till nivå 1 och presenteras där.

En separate analys, genomförd under uppdateringen år 2000, visas att H-rumskylning ej behövs. Detta har haft stor resultatpåverkan.

5.3.4 Återställning av felande system/komponent (recovery)

Den enda återställning (recovery) som krediteras i nivå 1 är återstart av matarvatten-systemet efter Te vid återkomst av yttre nät. I nivå 1-analysen tas för övrigt ingen kredit

för recovery (1999 års version) utan denna ingår helt i inledningen till nivå 2-analysen. I 2000 års version har (antagligen) denna flyttats till slutet av nivå 1-analysen. I nivå 2-analysen, 1999 års version, är recovery mycket viktigt. Frekvensen för ofiltrerade utsläpp ökar med en storleksordning om man sätter felsannolikheten till 1 för recoveryåtgärder (FAI/99-81 sida 125). Vilken betydelse recovery har för nivå 2-resultaten i 2000 års version är ej dokumenterat men slutresultaten antyder att recovery slutligen inte används i PSA nivå 2 heller.

Händelseträden har kompletterats med en "Recovery"-funktionshändelse som möjliggör modellering av reparation av felande komponenter eller system i nivå 2-analysen. I nivå 2-analysen tillgodoräknas vissa recoveries relativt nivå 1-modellen, vilket leder till en reducering av HS-frekvensen med cirka 5%. Krediterade recoveries är:

1. Manuell utlösning av SS- och V-kedjor om matarvattensystemet är tillgängligt (P=0.5).
2. Utebliven PS-funktion medför inte direkt HS.
3. Oisolerat yttre brott medför inte HS om operatörerna lyckas hantera vattenförluster (P = 0.1).

Eftersom åtgärderna inte berör haverihantering, framstår det som inkonsekvent att modellera dem i nivå 2-analysen. Det rekommenderas att inkludera dessa recoveries i nivå 1-studien.

5.3.5 Specifikt för nivå 2 PSA

Sekvensanalysen i nivå 2-analysen behandlas i appendix N.2, främst i rapporten FAI/99-81 "Source Term Analysis". Denna rapport beskriver egentligen hela PSA nivå 2 för effektdrift och upp- och nedgång. Analysen består av bland andra följande avsnitt som diskuteras i det följande (Även fenomenanalysen kommenteras under sekvensanalysen):

- Inneslutningsanalys
- Stationstillståndsanalys
- Sekvensanalys
- Källtermsanalys

Allmänt kan sägas att det saknas styrande dokument för nivå 2-analysen vilket medför att det i vissa fall är svårt att följa utvecklingen av analysen och att avgöra om den utförts på ett systematiskt sätt.

Inneslutningsanalys

I inneslutningsanalysen diskuteras reaktorinneslutningens möjlighet att förhindra att radioaktiviteten släpps ut till omgivningen. En viktig parameter är inneslutningens hållfasthet och brottryck. Denna analyseras i två steg. Först rekapituleras ett antal internationella experiment och därefter appliceras detta på F1/F2 för att ta fram ett kriterium för när reaktorinneslutningen kan gå sönder. Kriteriet innebär att om stålstrukturens sträckgräns, som är 9.2 bar absoluttryck, överstigs under högst tio timmar så håller inneslutningen. Detta anses gälla om antingen den filtrerade tryckavlastningen, 362, eller den oberoende inneslutningssprinklingen, 365, är

aktiverade. Om dessa system inte är tillgängliga så går inneslutningen sönder när sträckgränsen uppnås.

Detta är ett bra steg mot en realistisk behandling av inneslutningens trycktålighet. En nackdel med kriteriet är att det inte finns en brottgräns även med fungerande 362 och 365. Detta gör sekvensanalysen oklar i några fall då trycket överstiger sträckgränsen betydligt men under kortare tid än tio timmar.

Vidare konstateras att om reaktorinneslutningen går sönder på grund av övertryckning så sker detta inte på ett katastrofalt sätt utan på ett relativt kontrollerat sätt. Detta medför att systemen i åtminstone två av de fyra subarna kommer att fungera även efter inneslutningsbrottet. Även detta är ett sätt att på ett realistiskt sätt ta kredit för den fysiska separeringen som utgör en av de moderna reaktorerna kännetecken. Som grund till detta ligger en genomgång av systemens rördragningar men det framgår inte om man även undersökt eventuell påverkan i rummen utanför brottet.

De system som kan bevara reaktorinneslutningens integritet identifieras. Förutom system som redan identifieras i nivå 1-delen är det en grupp av system som utvecklades under FILTRA/RAMA-projekten. De är

- Filtreerad tryckavlastning med system 362
- Vattenfyllning av nedre DW med system 322
- Oberoende inneslutningssprinkling, system 365
- Tryckavsäkring av inneslutningen med 361, samt
- Kylning med 2 stycken 322 kretsar.

För att få en korrekt logisk koppling av dessa funktioner till nivå 2-analysen undersöks deras tidigare användning i nivå 1 PSA. Denna undersökning verkar riktig och säkerställer att de olika systemen inte krediteras flera gånger i samma analys. Detta gäller 1999 års version. I PSA-2000, där nivå 1 och 2 modellerna är integrerade i samma Risk Spektrum-modell bör detta också gälla men det verkar inte vara dokumenterat i rapportform.

Stationstillståndsanalys

Sluttillstånden i PSA nivå 1 användas som begynnelsestillstånd i nivå 2-analysen. För att passa en systematisk haveriutvecklingsanalys måste sluttillstånden differentieras med avseende på de system och parametrar vars värden har betydelse för haveriets utveckling. De differentierade sluttillstånden kallas stationstillstånd. De utvecklas med hjälp av händelseträdsteknik där toppnoderna utgörs av de nyss nämnda systemen och parametrarna.

Metoden resulterar i 17 stationstillstånd väsentligen karakteriserade av vilken av säkerhetsfunktionerna reaktoravställning, tryckavsäkring av reaktorn, spädmatning av reaktorn och kylning av inneslutningen som felfungerat, om den inledande händelsen var en transient eller rörbrott samt slutligen om inledande händelsen skedde vid effektdrift eller vid upp- och nedgång. Tyvärr saknas det en överblickbar genomgång av ett antal karakteristiska parametrar exempelvis reaktor- och inneslutningstryck, tidsinformation och inneslutningens status. Det som ytterligare komplicerar intrycket är

att den slutliga versionen PSA-2000 innehåller 20 delvis olika stationstillstånd med i vissa fall helt olika frekvenser. Framtagningen av dessa är odokumenterad.

Fenomenanalys

En viktig och karakteristisk del av en PSA nivå 2 är analysen av de fysikaliska fenomen som potentiellt kan skada reaktorinneslutningen och därmed medföra ett radioaktivt utsläpp. I PSA nivå 2 för F1/F2 ingår en omfattande fenomenanalys där sex fenomen är speciellt utvalda och vardera diskuteras i ett dokument. Tyvärr finns det inget övergripande dokument som styr upp fenomenanalysen och urvalsprocessen eller åtminstone förklarar varför just dessa sex fenomen är så intressanta. I sammanfattningsrapporten för PSA nivå 2 antyds att dessa sex fenomen inte modelleras i MAAP-programmet men det kan bara vara delvis rätt. MAAP innehåller modeller för flera av fenomenen och används ju också för att göra känslighetsanalys på flera av fenomenen. De sex fenomenen är

- Vätgasbrand
- Ångexplosion
- Återkriticitet
- ”Direct Containment Heating”
- Krafter på reaktortanken i samband med tankgenomsmältningen
- Genomsmältning av genomföringarna i nedre drywell.

Rapportstrukturen är relativt lika i de sex fenomenrapporterna. Först beskrivs fenomenet och därefter görs en, ofta omfattande och gedigen, genomgång av tillgänglig experimentell och teoretisk information. Denna information appliceras på Forsmark 1 och 2 och slutsatser dras om fenomenets potential att hota reaktorinneslutningens integritet.

Slutsatsen är i samtliga fall att fenomenen inte utgör ett signifikant hot mot inneslutningens integritet.

Några kommentarer angående fenomenen redovisas i anslutning till avsnittet om känslighetsanalyser. Ytterligare några är

- I analysen av vätgasbrand konstateras att reaktorinneslutningen klarar den kvasistatiska tryckökning som blir resultatet av såväl en stationär förbränning som en deflagration även om allt syre i en luftfylld inneslutning förbrukas i processen. Ett krav är dock att inneslutningen inte vattenfylts mer än vad störningsinstruktionerna föreskriver. När det gäller detonation konstateras att inneslutningen inte håller för en sådan men att det inte finns någon energikälla tillgänglig för att initiera en detonation. Därefter uppskattas den betingade sannolikheten att en deflagration skall övergå till en detonation, DDT, till 2E-3 givet att en härdskada inträffat. Vid denna beräkning är det oklart om även en del av härdskadefrekvensen inkluderas och därmed ingår två gånger i slutresultatet. DDT är ett fenomen som kan ge upphov till stora radioaktiva utsläpp och som bör tas med i händelseträden för upp- och nedgång för att säkerställa den logiska kopplingen i frekvensanalysen.

- Ångexplosioner diskuteras i en rapport på 126 sidor plus ett appendix på 53 sidor. I denna analys behandlas Forsmark endast på en handfull sidor vilket inte känns tillräckligt genomträngande. Speciellt saknas en systematisk och kvantitativ analys av dörren i nedre DW som ju är den svagaste punkten i reaktorinneslutningen och antagligen mest utsatt vid en eventuell ångexplosion. Eftersom detta också utgör en dokumenterad skillnad mellan analyserna för TVO och F1/F2 bör den tas upp betydligt mer utförligt.
- Angående den potentiella effektrusningen vid återflödning av en styrvastfri härd så konstateras att den utvecklade energin i bränslet antagligen blir betydligt mindre än de 280 cal/g som anses som undre gräns för bränsleskada. Nyare experiment har påvisat en betydligt lägre gräns på ca 70 g/cal för bränsle med hög utbränning. Denna gräns ligger i paritet med den för Forsmark framräknade energin och eventuella konsekvenser av detta borde diskuteras eller nämnas.

Sekvensanalys

Händelseträden byggs upp på ett metodiskt sätt genom en växelverkan mellan automatisk eller manuell aktivering av de tillgängliga systemen och MAAP-analyser för validering av sekvenserna. Ungefär 20 sekvenser har analyserats med MAAP och detta utgör ungefär hälften av samtliga sekvenser om man inte gör skillnad på effektdrift och upp- och nedgång. Detta bör vara tillräckligt för att säkerställa att händelseträden utgör en realistisk modellering av haveriutvecklingen med givna toppnoder utan fysikaliska fenomen. Inga uppenbara avvikelser eller missade haverisekvenser har kunnat identifieras.

Den enda fysikaliska skillnaden mellan effektdrift och upp- och nedgång är inneslutningens gassammansättning och eftersom man i fenomenrapporterna visar att denna inte utgör något hot används samma händelseträd där den enda skillnaden blir frekvensen för stationstillstånden. Eftersom resteffekten skiljer sig väsentligt vid en uppgång efter en revisionsperiod borde konsekvenserna av detta diskuteras. Dels blir haveriet antagligen långsammare och dels kommer innehållet av lättflyktiga fissionsprodukter att vara mindre. Det är dock antagligen konservativt att behandla uppgång på samma sätt som nedgång och tillvägagångssättet bedöms därför vara acceptabelt.

Haverianalysens sluttillstånd kallas utsläppsklasser och nio sådana definieras. De kategoriseras främst med avseende på vilken typ av sekvens som leder fram till sluttillståndet. Även här saknas en systematisk redovisning av tidsinformation även om denna i vissa fall ligger implicit i utsläppsklassernas definition.

Källtermsanalys

I källtermsanalysen görs ett urval av haverisekvenser för vidare detaljerade studier som skall resultera i en representativ källterm för respektive utsläppsklass. Haverisekvenserna väljs huvudsakligen ut på följande sätt. För varje utsläppsklass väljs två sekvenser ut, en som härstammar från en LOCA och en från en transient. Sekvenserna passerar de frekvensmässigt dominerande stationstillstånden. I vissa fall väljs andra stationstillstånd ut för att få en bättre spridning på sekvenserna. De 15 utvalda sekvenserna analyseras med MAAP och ett antal parametrar karakteristiska för

haveriutvecklingen noteras. Även detta bör vara ett tillräckligt antal sekvenser för att få fram en representativ källterm för respektive utsläppsklass. I känslighetsanalysen gör man ytterligare analyser för att visa att de framtagna källtermerna utgör en övre gräns inom respektive utsläppsklass.

Det som saknas i källtermsanalysen är en övergripande diskussion om hur man tagit fram och definierat utsläppsklasserna. Hur har man säkerställt att dessa är en tillräckligt bra representation av sluttillstånden från alla de möjliga haverisekvenserna.

5.4 Systemanalys

Analysen presenteras i följande delavsnitt av PSA-2000:

- Kapitel 5, Felträdsanalyser
- Appendix A.3, Metodbeskrivning "Systemanalyser"
- Appendix A.8, Metodbeskrivning "Modellering och beteckningssystem med Risk Spectrum"
- Appendix B, Systemanalyser (32 delkapitel)
- Appendix E, Felträd

Studien innehåller väl dokumenterade systemanalyser, som sammanför information från många olika håll i PSA:n. De ger därmed en god bakgrundsbeskrivning till den faktiska felträdsmodellen för systemet:

- FMEA (identifiering av felmoder att modellera i FTA)
- Hjälpsystem och andra angränsande system (för modellering i FTA)
- Aktivering/förregling
- Elmatning (för modellering i FTA)
- AU, PLI och tester (för modellering i FTA)
- Operatörsingripanden vid systemfel (underlag för HRA)
- Definition av CCF-grupper (underlag för CCF-analys)
- Övriga förutsättningar för felträdsmodell

Innehåll och genomförande är enligt dagens praxis. Den detaljerade systembeskrivningen redovisas via specifik referens till FSAR. Dessutom summeras i analysen systemkrav och växelverkan med anslutande system, samt listas förutsättningar för felträdsmodellen. El- och signalberoenden samt test och underhåll finns sammanställt i bilagor (Excelark). I en FMEA (Excelark) identifieras de felmoder och felorsaker som modelleras i felträden.

Studien saknar en dokumentation av grunderna för systemanalysen som beskriver omfattning, växelverkan med andra analyser, m.m. Viss information ges i metodbeskrivningen, Appendix A.3. PSA:n borde kompletteras med en inledning till systemanalysen. Denna kunde med fördel placeras in som kapitel 5 i huvudrapporten,

och bör inkludera delar av vad som idag endast presenteras i metodbeskrivningen, t.ex. listan över analyserade system.

Principer för uppdatering av informationstunga delar av PSA:n behöver tänkas igenom. Systemanalysen innehåller en hel del mycket detaljerad information som blir svår att hålla uppdaterad. Detta gäller exempelvis

- Logikskemor (bättre med referens till revisionsstatus)
- FMEA-tabeller (i vissa fall stämmer uppgifter i FMEA redan nu inte överens med aktuell status av PSA:n, gäller t.ex. system 323s beroende av H-rumskylning)

Vissa driftsystem är modellerade med begränsad detaljeringsgrad, exempelvis matarvattensystemet. Matarvattensystemets förenklade modellering påverkar resultaten i brandanalysen i både konservativ och icke-konservativ riktning. Alla PSA-mässigt viktiga driftsystem bör modelleras med tillräcklig detaljeringsgrad. Detta kan i vissa fall innebära samma detaljeringsgrad som säkerhetssystem, men det kan ofta vara befogat att förenkla modellen.

Fokus i systembeskrivningen ligger, liksom i större delen av dokumentationen, på nivå 1-analys av inre händelser under effektdrift. Med tanke på PSA:ns omfattning, bör beskrivningen spegla systemets funktion under alla i PSA:n inkluderade driftförhållanden.

Växelverkan med andra analysmoment är viktig och bör planeras omsorgsfullt. I vissa fall kräver detta iterationer, t.ex. vid analys av manuella ingrepp. Hur denna eventuellt har planerats framgår ej. Allmänt så saknar studien i stor utsträckning övergripande beskrivningar av växelverkan mellan olika delanalyser. För systemanalysen kan som ett exempel nämnas att definitionen av CCF-grupper ligger i systemanalysen, men att detta inte nämns i Kapitel 6, Beroenden.

Modelleringen av test och underhåll (förebyggande såväl som avhjälpande) är anläggningsspecifik, d.v.s. har för varje komponent i görligaste mån baseras på anläggningsspecifika drifterfarenheter. För avhjälpande underhåll har 2 timmars ställtids adderats till otillgängligheten.

Anläggningsspecifika drifterfarenheter bör analyseras och redovisas; vid behov skall systemmodellen anpassas eller känslighetsanalyser utföras. Detta saknas i systemanalyserna, bortsett från den indirekta information som fås via redovisning av funktionshinderreparationer. Vad som avses är dock en beskrivning i löptext av viktigare erfarenheter, t.ex. återkommande problem som föranlett ombyggnader i systemet. Detta kunde ingå som en fast punkt i systemanalysdokumenten.

Kapitel 5 innehåller mängder av Risk Spectrum-utskrifter och en mycket kort summering av systemvisa resultat. Det är voluminöst men innehåller egentligen ganska litet information. Det försvarar i nuvarande form inte sin status av delkapitel i huvudrapporten utan skulle bättre passa som appendix. Informationen kunde summeras enligt bilaga 3.

5.5 Analys av manuell ingrepp

Analysen presenteras i följande delavschnitt av PSA-2000:

- Appendix A.2, Metodbeskrivning ”Inledande händelser, sluttillstånd, systemkrav och händelseträdsanalys, nivå 1”
- Appendix A.3, Metodbeskrivning ”Systemanalyser”
- Appendix C, Operatörsingrepp och mänskligt felhandlande
- Appendix D.1, Översvämningsanalys, bilaga 7
- Viktiga referenser pärm D, Viktiga underlagsrapporter
- Avställningsanalys, bilaga 4 och 5 (HRA)

En omfattande och ambitiös analys har genomförts. Den har inkluderat en omfattande systematisk genomgång av anläggningsunderlag och involverat relevant driftpersonal. Analysen innehåller en diskussion av otillgänglighet under test och underhåll och (viktigare) av otillgänglighet till följd av reparation av ej funktionshindrande fel (registreras ej i TUD).

En noggrann analys av manuella ingrepp sker i appendix C. Även vissa nivå 2-ingrepp finns med. Identifieringen av relevanta ingrepp verkar vara baserad på ett systematiskt förfarande, men detta finns inte tydligt beskrivet. PSA:n bör kompletteras med en samlad beskrivning av var och hur olika slag av manuella ingrepp identifieras.

Analysen av mänsklig växelverkan måste dokumenteras noggrant och skall innehålla alla väsentliga steg och information kring dessa. I Appendix C är analysen föredömligt presenterad med en detaljerad kvalitativ analys av varje modellerat ingrepp.

I avställningsanalysen är analysmetodikerna i stort sett densamma, men den kvalitativa analysen av ingreppen mindre detaljerad. För nivå 2 PSA är dokumentationen relativt spartanskt hållen. Den är även splittrad på fler dokument mellan olika utförare.

Metodik presenteras för kvantifiering av tre typer av fel med mänsklig anknytning:

- Felaktig basläggning
- Kalibreringsfel
- Operatörsingrepp

För felaktig basläggning och kalibreringsfel används en metodik som beaktar proceduren vid basläggning/kalibrering, kontroller efter åtgärden, eventuell indikering av fel och upptäckbarhet vid funktionsprovning. Beroenden med avseende på felaktig basläggning av redundanta komponenter antas vara försumbar, eftersom tester och underhåll ej sker samtidigt, utan under subveckor. För felkalibrering av redundanta komponenter antas beroendet vara totalt, eftersom kalibrering sker vid samma tillfälle i alla subar.

Som underlag för analysen av operatörsingrepp har en kvalitativ analys av störningsinstruktioner gjorts. I denna beskrivs först störningssituationen och operatörsingreppet. Därefter bestäms kritisk information, relevanta instruktioner, tillgänglig tid för åtgärd och former för genomförande av ingreppet.

Grundfels sannolikheten för ett ingrepp beräknas med en kurva över tid/sannolikhet (Swain). I den kvantitativa analysen anpassas denna grundfels sannolikhet till den specifika situationen med en expertbedömningsprocedur som värderar inverkan från fem miljöfaktorer: instruktion – utbildning – återkoppling – stress – samordning. Två experter från Forsmark med drift- och kontrollrumskännedom gjorde bedömningarna efter att ha fått ta del av det kvalitativa underlaget. En liknande, men något modifierad procedur har använts för analys av personalingrepp under avställningsperioden. Skillnaden är främst att miljöfaktorerna instruktion och utbildning slagits samman till en, och att en miljöfaktor för verktyg tillkommit.

Beroenden mellan operatörsingrepp i samma händelsesekvens antas vara totalt (=1). Som ett medel att identifiera multipla operatörsingrepp har funktionsblocksdiagram utarbetats med varje manuellt ingrepp markerat.

Det sägs att modellen ej krediterar recovery. Det stämmer att det inte görs explicit, men möjligheten beaktas implicit genom miljöfaktorn ”återkoppling”.

Det vore en fördel om analysen av manuella ingrepp presenterades i en separat och sammanhållen metodbeskrivning, i stället för som nu uppdelat på metodbeskrivning A.2 och A.3.

Viktiga delar av analysen, t.ex. presentation av miljöfaktorer och den grundläggande tid/sannolikhet-kurvan presenteras endast i metodbeskrivningen. Dessa delar borde ingå även i analysdokumentet.

Analys av operatörsingrepp och av mänskligt felhandlande ingår även i flera andra delanalyser, i första hand Appendix D.1, Översvämningsanalys, bilaga 7 och i Avställningsanalys, bilaga 4 och 5. HRA-analyser i andra delanalyser presenteras som en del av dessa och använd metodik är konsistent med den som tillämpas i Appendix C. Det vore en fördel m.a.p. överblickbarhet och uppdaterbarhet att i stället samla alla analyser av operatörsingrepp och av mänskligt felhandlande inom PSA-2000 i ett och samma dokument, och referera till detta i de olika delanalyserna.

I vissa fall, exempelvis för 361, 362 och 365, står det "nivå 2" som kommentar vid analysen av störningsinstruktioner. Det är oklart hur dessa fall analyserats vidare. Det vore önskvärt att hela analysen, även de delar som främst har bäring på nivå 2 PSA analyseras i samma dokument.

Modellering av planerade ingrepp under drift (PLI) beskrivs i tabell 1 i Appendix C. Det finns ett antal oklarheter i tabellen. Endast ett PLI-bidrag verkar vara modellerat i PSA:n, nämligen PLI på dieselaggregat. Enligt tabellen försummas PLI på system 321 (antas ingå i avhjälpande underhåll) och för systemen 322, 323, 327 och 715 antas PLI täckas av modellerat diesel-PLI. Antagandena är ej underbyggda, och verkar uppenbart icke-konservativa. Om 362 och 711 sägs att F1 ej gör PLI på 711; det sägs inte om detta även gäller för F2. Analysen måste antingen visa att icke-konservatismen är försumbar eller inkludera PLI för 321, 322, 323, 327 och 711 och 715 i modellen.

Mänsklig växelverkan bör utvärderas på så sätt att kvalitativa insikter och grunder för rekommendationer till förbättringar kan redovisas. Det är oklart om detta skett. Viss analys av manuella ingrepp ingår i Appendix H, Känslighetsanalys. Någon systematisk utvärdering i syfte att exempelvis identifiera förbättringar i procedurer och instruktioner verkar ej ingå.

5.6 Analys av beroenden

Analysen presenteras i följande delavsnitt av PSA-2000:

- Kapitel 6, Analys av beroenden
- Appendix A.3, Metodbeskrivning "Systemanalyser"
- Appendix B, Systemanalyser (definition av CCF-grupper)
- Appendix C, Operatörsingrepp och mänskligt felhandlande (beroende mellan operatörsingrepp)
- Dessutom står funktionella beroenden och rumsberoenden i fokus i analysen av rumshändelser, Appendix D.1 och D.2.

Vad gäller det viktigaste avsnittet, kapitel 6, så framstår den kvalitativa analysen av CCI som en litet främmande fågel i detta kapitel, och skulle nog passa bättre i kapitel 3, Inledande händelser.

Det saknas en beskrivning av grunder för definition av CCF-grupper och en referens till systemanalyserna, där dessa identifieras.

Analysen av beroenden av CCF-typ är vad gäller omfattning och metodval i nivå med aktuell status inom området i Sverige. Analysen baseras på den föregående beroendefelsanalysen, men har modifierats m.a.p. anläggningsändringar, tillkommande systemanalyser och nya komponentfaldata.

Analysen bygger i mycket hög utsträckning på referenser till externa analyser (NKA-RAS, VTT, JRC Ispra, TVO PSA, Ringhals PSA, SUPER-ASAR). Dessa borde refereras fulligare i analysen.

Modelleringen av funktionella beroenden sker explicit genom utveckling av detaljerade systemmodeller. Dessa bedöms i huvudsak vara tillräckligt detaljerade för att fånga upp de funktionella beroenden som har PSA-mässig betydelse. Eventuella undantag, t.ex. vad gäller modelleringen av matarvattenssystemet, kommenteras separat.

Lågregredundanta CCF (upp till 4 komponenter) modelleras enligt gängse praxis, d.v.s. med α -faktormetoden, med parametrar huvudsakligen från TVO PSA samt i ett fåtal fall från Super-ASAR.

TVO-metodik används för ansättning av alfafaktorer för flertalet komponenttyper. Metodiken innebär att komponenterna anses tillhöra en viss s.k. "generisk klass" (1, 2 eller 3), svarande mot litet, medelstort eller stort beroende. Baserat på detta och på grundförelikheten för komponenten ansätts sedan generiska α -faktorer. Metodiken sägs baseras på genomgång av ett antal namngivna referenser. Användningen av TVO-metodiken är av grundläggande betydelse i F1/F2 PSA, eftersom den tillämpas för det stora flertalet komponenter. Detta innebär att metodiken måste presenteras i tillräcklig detalj för att CCF-analysen skall kunna förstås och granskas; i nuvarande text finns inte ens en summering. Det kan noteras att listade referenser ej täcker alla komponenter som tilldelats alfafaktor baserat på TVO-metodik.

Även högregredundanta CCF modelleras enligt gängse tämligen svårgenomskådlig praxis, d.v.s. med en s.k. "Common Load"-modell och kvantifiering med programmet HiDep.

Högredundanta CCF har modellerats för styrcylindrar, hydrauliska snabbstoppssystemet, ventiler i 314 (tryckavsäkring, återstängning och tvångsnedblåsning) samt vakuumbrytare i system 328. Av oklara skäl modelleras fel i frekvensomformare 649 med förenklade α -faktorer (systemkrav 3 av 8). Modelleringen framstår som inkonsekvent; det är oklart varför α -faktorer i just detta fall används i stället för CL-modellen.

Utöver mycket allmänna referenser finns ingen beskrivning av metodik för analys av högredundanta system. Modellen sägs vara beskriven i metodbeskrivningen (Appendix A.3), vilket inte stämmer. Modellen är av grundläggande betydelse för F1/F2 PSA, eftersom högredundanta CCF har mycket stor resultatpåverkan. Mot denna bakgrund måste studien i beskrivningen av metodiken stå på egna ben, d.v.s. det är knappast acceptabelt att endast ge allmänna referenser.

PSA:n innehåller ingen diskussion av resultatpåverkan från parametrar i Common Load-modellen (HiDep), och ingen motivering av ansatt parametrar. Av dokumentationen att döma har HiDep använts som en svart låda. Således saknar studien information om på vilka grunder CLM-analysens CCF-korrelationsfaktorer för basbelastning c_{co} , respektive för extremlastning c_{cx} väljs. Dessutom förs ingen diskussion om hur känsliga resultaten är för osäkerheter/variationer i dessa parametrar. Med tanke på den stora resultatpåverkan av högredundanta CCF, borde detta ingå i studien.

5.7 Analys av erfarenhetsdata

Analysen (exklusive data för rumshändelser) presenteras i

- Kapitel 3, Analys av inledande händelser (IH-frekvenser)
- Appendix A.2, Metodbeskrivning "Inledande händelser, sluttillstånd, systemkrav och händelseträdsanalys, nivå 1" (kort omnämnt)
- Appendix A.3, Metodbeskrivning "Systemanalyser", kapitel 7 "Feldata"
- Appendix B.x, Systemanalyser (Otillgänglighet p.g.a. test, förebyggande underhåll samt avhjäljande underhåll av icke-kritiska fel)
- Appendix F, Feldata (komponentfel samt otillgänglighet p.g.a. avhjäljande underhåll av kritiska fel)

Analysen av frekvensen för inledande händelser är väl genomförd och väl presenterad. Kopplingen till egna drifterfarenheter är god. Det finns en klart beskriven hierarkisk princip för ansättning av data; i första hand används data för Forsmark 1 och 2, därefter data för nordiska BWR, för BWR generellt och slutligen generiska data. Hierarkin har tillämpats i analysen, d.v.s. man har medvetet försökt hämta data så högt som möjligt.

En genomgång av under analysperioden inträffade rapportervärda omständigheter bör ingå i PSA, eftersom det är endast i dessa som inträffade avvikelser från konstruerad säkerhetsnivå analyseras. Genomgången kan ge viktiga uppslag till känslighetsanalyser. Det har i granskningen ej kunnat verifieras att detta är genomfört.

En kartläggning av tillgängliga och relevanta datakällor bör göras som en del av PSA:ns dataanalys. PSA:n saknar sammanhållande beskrivning av grunderna för dataanalysen, och saknar även den efterfrågade kartläggningen. Komponentfeldata är i vissa fall uppenbart undermåliga (gamla databaser av tvivelaktig kvalitet).

Otillgänglighet till följd av kritiskt underhåll, d.v.s. fel som slår ut sub, har modellerats på komponentnivå. Otillgänglighetsbidraget beräknas baserat på reparationstid enligt T-boken plus två timmar ställtid.

Otillgänglighet till följd av icke-kritiskt underhåll, d.v.s. fel som slår ut sub endast i samband med reparation har modellerats på subnivå. Otillgängligheten beräknas i systemanalyserna, appendix B, baserat på en genomgång av inträffade fel (TUD-databasen). I felträden har NOT-grindar använts för att undvika otillåtna kombinationer av underhåll. (Detta kan ha haft stark påverkan på Risk Spectrum-modellens exekveringstid.)

Otillgänglighet till följd av test och förebyggande underhåll beräknas i systemanalyserna, Appendix B. Detta verkar dock utan motivering försummas vid sidan av PLI, planerade ingrepp under drift.

Komponentfeldata kommer dels från moderna datakällor av god kvalitet, dels i vissa fall från mera diskutabla källor. Data från i första hand F3 tillförlitlighetsanalys är omoderna och av svårkontrollerad kvalitet. Analysen utfördes som en pilotapplikation i slutet av 1970-talet, baserat på ett mycket begränsat erfarenhetsunderlag och med helt andra kvalitetskrav än som skulle ställas idag. Dessa data bör bytas ut mot moderna data. Delvis av samma skäl kan användandet av IEEE Std 500 ifrågasättas (utkom 1984 och drogs tillbaka av IEEE 1991).

För vissa feldata anges andra PSA:er som referens; detta gäller F3 PSA, TVO PSA och F1 PSA-94. I dessa fall borde referensen ha följts upp i stället. Särskilt oklar är referensen till F1 PSA.

Som sannolikhet för misslyckad övergång till husturbindrift används "en erfarenhetsbaserad bedömning: $q = 0,25$. Referens: J-E Stenmark, PSA-möte i Forsmark 00-08-17 beträffande elhändelseträdet.". Erfarenheten ifrågasätts, eftersom statistiken visar på betydligt högre felsannolikhet. Det kan noteras att använt värde är det lägsta som förekommer i någon svensk PSA. Antagandet har stor potentiellt riskpåverkan; visserligen visar känslighetsanalysen på en god robusthet, men detta beror på att i första hand ändringar med påverkan på avställningsfunktionen får genomslag.

5.8 Analys av rumshändelser

Analyserna diskuteras nedan i var sitt delavsnitt. Här ges dock först några gemensamma kommentarer.

Det kan inledningsvis konstateras att studien saknar en definition av rumshändelser. Det närmaste man kommer en allmän definition av rumshändelser är i T-SEA 99/070 "s.k. rumshändelser, d.v.s. bränder och översvämningar och ångutsläpp". Den givna definitionen är inte korrekt, eftersom det finns även andra rumshändelser. Exempel är haveri i roterande utrustning och explosion av trycksatta tankar. En definition av

rumshändelser borde finnas i PSA:n. En sådan borde ges i ett överordnat kapitel om rumshändelser.

Således omfattar analysen av rumshändelser endast brand och översvämning/ångfrigörelse. Det finns dock även andra rumshändelser, som skulle kunna ge relevanta riskbidrag, se ovan. Det är inte osannolikt att man i en förenklad sållningsanalys kan visa att riskbidraget är obetydligt, men detta kan inte tas för givet. En konsekvens av detta är att beskrivningarna av omfattningen av PSA-2000 ej är korrekt; kategorin "övriga rumshändelser" skall anges som ej analyserade.

I studien används för rumshändelser omväxlande benämningen "rumshändelser" och "yttre händelser", vilket kan leda till förväxlingar, eftersom även yttre händelser översiktligt analyseras i studien (med benämning "externa händelser").

Resultat för analys av rumshändelser är ej uppdaterade till version 2000. Det sägs att uppdateringarna förmodligen skulle innebära en "avsevärd minskning av härdskadefrekvenserna" från brand och översvämning/ångfrigörelse. Om påverkan antas vara stor borde en uppdatering ha gjorts. Konstaterandet innebär att man måste ifrågasätta relevansen i hela resultatpresentationen för rumshändelser.

Analyserna innehåller ingen känslighetsanalys och rumshändelser är ej inkluderade i känslighetsanalysen, Appendix H. En känslighetsanalys av viktigare antaganden bör ingå, exempelvis val av antagen transient. Dessutom borde även rumshändelser ingå i den känslighetsanalys som presenteras i appendix H.

Analysen har genomförts för Forsmark 1, men "bedöms som gällande även för Forsmark 2". Detta kan inte utan vidare antas.

Inga rumshändelser är analyserade med avseende på PSA nivå 2.

5.8.1 Brand

Analysen presenteras i följande delavsnitt av PSA-2000:

- Appendix A.5, Metodbeskrivning "Yttre händelser"
- Appendix D.1, Brand
- Viktiga referenser pärm E, Viktiga underlagsrapporter (brand)

Analysen är i huvudsak väl dokumenterad och strukturerat presenterad, och har en bra resultatdiskussion. Man går dock som läsare lätt vilse i flera steg av iterativt ökad realism, där det sista steget dessutom lämnas oavslutat (bilaga 8).

Relativt andra svenska brand-PSA har viss utveckling skett i riktning mot mera realistiska analyser; detta gäller dock i första hand ansatta brandfrekvenser. Samtidigt förblir analysen till stora delar starkt förenklad, vilket gäller exempelvis modellering av brandspridning och av system för brandsläckning och -detektering, liksom av manuella insatser i samband med brand.

Första steget av analysen har gjorts enligt gängse praxis, d.v.s. kartläggning av säkerhetssystemens utbredning och av komponenters signal- och elberoende.

Efter den första (konservativa) kvantifieringen görs en fördjupad analys med mera realistiska förutsättningar av rum med härdskadebidrag större än 5E-7/år. I detta steg tas kredit för automatisk sprinkling och för avståndseparation.

Fördelningen av brandfrekvens på rum har gjorts baserat på en relativt enkel rumsklassning med tre kategorier, ett normalrum (klass 1, basfrekvens $6E-4/\text{år}$), ett mindre brandfarligt rum (klass 2, basfrekvens/10) och ett mera brandfarligt rum (klass 3, basfrekvens*10). Med denna fördelningsmetodik fås en total brandfrekvens och en fördelning mellan byggnader som väl överensstämmer med X-boken. För klass 3 verkar dock beskriven metodik ej följas. Där verkar använd faktor vara betydligt mindre än 10, exempelvis $1.0E-3/\text{år}$ för K1.06, Dieselaggregat.

Brand antas genomgående leda till transient Ttf (i turbinbyggnad) och till Tt (övriga byggnader). Ttf väljs delvis därför att matarvattensystemet är förenklat modellerat. Antagandet är konservativt, och kan ha stor resultatpåverkan p.g.a. den relativt höga betingade HS-sannolikheten efter de antagna transienterna. Det bör undersökas om inte antagandet är onödigt konservativt.

Obefogad spänningssättning (hot shorts) diskuteras inte explicit, och det framgår inte klart ur underlaget om detta har modellerats. Dock antas att den värsta av felmoderna utebliven vaktfunktion/obefogad vaktfunktion inträffar. Huruvida detta även gäller övriga inkommande signaler till objektlogiken är oklart. Detta kan vara ett alltför konservativt antagande, eftersom avbrott kan antas vara betydligt troligare än obefogad spänningssättning. Praxis i svenska brandanalyser har varit att anta att obefogad spänningssättning ej inträffar, men att konsekvent beakta obefogade signaler som beror på avbrott (viloströmskopplade villkor). Det bör förtydligas hur obefogade signaler modellerats, både för vaktfunktioner och för övriga signaler till objektlogiken.

En beräkning med alternativa brandfrekvenser görs i en separat bilaga (bilaga 8). Redovisningen gör ett oavslutat intryck, eftersom den i princip endast är en screeninganalys med nya brandfrekvenser, motsvarande innehållet i bilaga 1. Frekvensen visas minska med en faktor 5. Intressantare vore att få se analysen avslutad, d.v.s. med en fördjupad analys motsvarande bilaga 4. Eftersom den mera detaljerade analysen redan genomförts, skulle detta kunna göras med en minimal insats, och presenteras som en känslighetsanalys.

Den förenklade modelleringen av matarvattensystemet i PSA-2000 tvingar fram både konservativa och icke-konservativa förenklingar i brandanalysen. Således antas det vid brand i turbin- och mellanbyggnad att matarvattensystemet är otillgängligt (transient Ttf), medan det i alla andra sammanhang antas att systemet är tillgängligt. Det förra antagandet är konservativt, medan det senare kan vara icke-konservativt, nämligen om det finns rumsberoenden via kabeldragning som egentligen skulle ha slagit ut systemet.

Enligt förutsättningarna antas spridning endast kunna ske via ventilationskanaler i samband med övertändning. Brandspjäll förutsätts stänga. Spridningsanalysen ger av flera skäl intryck av att vara förenklad på ett icke-konservativt sätt:

- Spridningsanalysen beaktar inte spridning från icke-PSA-rum (20-50 % av brandfrekvensen i de olika byggnaderna) till PSA-rum
- Rum förutsätts vara stängda och tillslutna (ingen spridning om så är fallet)
- Brandspjäll postuleras stänga vid behov

- Manuell brandbekämpning krediteras endast för bränder i kontrollrummet. Indirekt kredit tas genom antagandet att spridning ej sker mellan brandsäkra rum.
- Spridning mellan subar i kablestegar (A/C eller B/D) antas ske om automatisk sprinkling misslyckas (0.05/behov).

I rapporten sägs att en viss ickekonservatism kan finnas i resultaten genom att en detaljerad genomgång och värdering av alla möjligheter till brandspridning mellan rum inte genomförts. Förutsättningar enligt ovan beskrivs i rapporten, men det framgår inte om det efter applicering av dessa förutsättningar finns några spridningsfall kvar i modellen. Intrycket är att spridning inte modellerats, eftersom presenterade beräkningsfall i bilagor verkar uppta ett rum vardera; detta framgår dock inte klart.

Vad gäller brandbekämpning, så har varken brandvattensystem 762 och brandlarmsystem 847 modellerats. I stället antas förenklat att sannolikheten för misslyckad sprinkling är 0.05/behov, vilket troligen är baserat på amerikanska erfarenhetsdata. Gassläckning med inergen finns i två kabelutrymmen och skumsläckning finns i de fyra dieselrummen. Varken utrymmena eller de båda släcksystemen ingår i den detaljerade analysen. System 847 är också inblandat i manöver av brandspjäll, vilka förutsatts fungera och förhindra spridning. Sammantaget är intrycket att brandsystem modellerats alltför förenklat, vilket troligen begränsar brandanalysens framtida användbarhet. Det bör övervägas om inte relevant framtida användning av brand-PSA:n förutsätter modellering av brandsystemen 762/847.

Listan över förutsättningar och antaganden saknar flera viktiga antaganden och behöver kompletteras, t.ex. rörande:

- modellering av obefogade signaler
- effekter från släckmedel
- kreditering av manuell släckning
- HRA-analysen för inre händelser antas gälla
- ingen brandspridning mellan rum förbundna med brandspjäll
- antaganden om utlösande transient (Tt eller Ttf)
- modellering av obefogad spänningssättning (oklart vad som gäller)

Total härdskadefrekvens till följd av rumshändelse brand beräknas till $2.1E-5$ /år, vilket är ungefär lika stort som bidraget från inre händelser. Resultatets relevans kan dock ifrågasättas efter uppdatering år 2000 av delar av PSA:n (men ej av analysen av rumshändelser).

Analysen visar att olika elutrymmen främst i elbyggnaden ger de största riskbidragen, och att utebliven spädmatning dominerar. Det rör sig nästan genomgående om utrymmen som innehåller utrustning från två subar (A/C eller B/D, d.v.s. el- och apparatrum, kabelutrymmen, relärum och ställverk.

I resultatdiskussionen sägs att ”den totala HS-frekvensen från yttre händelse brand skall ej överstiga $1E-5$ /år”. Detta säkerhetsmål (som formulerat på motsvarande sätt finns även i översvämningsanalysen) är inte beskrivet någon annanstans, och stämmer ej

överens med det överordnade säkerhetsmålet, som inte gör skillnad mellan olika kategorier av inledande händelser.

Brandanalys, ned- & uppgång

I metodbeskrivningen för analysen av ned- och uppgång anges att analysen skall inkludera en "bedömning av konsekvensen av brand för de utrymmen som i fulleffektstudien ger störst härdskaidebidrag". I brandanalysen antas det utan vidare motivering att bidraget från brand under uppgång och nedgång täcks av analysen för effektdrift. Detta är en inkonsekvens som bör rättas till i endera av dokumenten.

Ett fall analyseras översiktligt och modelleras, nämligen brand i icke kvävgasfylld reaktorinneslutning, eftersom detta gäller under delar av drifttillståndet. Analysen görs under uppgång, eftersom systemkraven då är hårdare (reaktoravställning krävs). Brandfrekvensen skattas med en nollpunktskattning (inga bränder inom reaktorinneslutningen under uppgång/nedgång under 164 driftår). Modellering sker i övrigt på samma sätt som för brand under effektdrift. Använt förfarandet bedöms vara rimligt. Dessa resultat har dock ej förts tillbaka till brandanalysen, vilket varit önskvärt.

I övrigt antas det att bidraget från brand under uppgång och nedgång täcks av analysen för effektdrift. Argumentet är att systemfunktionskrav och barriärer mot brandhändelser är i stort sett likvärdiga. Antagandet behöver underbyggas bättre. Under förutsättning att rumsberoenden är desamma, eller att skillnader i rumskonfiguration är utan betydelse för riskbilden, så är antagandet rimligt. Detta måste dock visas.

Brandanalys, avställd reaktor

Studien skall enligt förutsättningarna inkludera en "bedömning av konsekvenserna av brand för de utrymmen som i fulleffektstudien ger störst härdskaidebidrag.". Resonemanget är inte invändningsfritt, eftersom anläggningens rumsberoenden m.a.p. brand kommer att skilja sig åt mellan effektdrift och avställning. Metodiken för brandanalys under avställning bör utvecklas. Troligen är det rimligare att göra detta i metodbeskrivningen för brandanalys.

I praktiken avskrivs risker från brand under avställningsperioden efter ett mycket kort resonemang. Eftersom många bränder inträffar under avställning, och normal brandcellsindelning kan antas vara satt ur funktion, verkar antagandet inte rimligt.

5.8.2 Översvämning och ångfrigörelse

Analysen presenteras i följande delavsnitt av PSA-2000:

- Appendix A.5, Metodbeskrivning "Yttre händelser"
- Appendix D.2, Översvämning och ångbrott

Analysen är väl dokumenterad och strukturerat presenterad, med en bra resultatdiskussion. Grafiken (översvämningssamband och avlastningsvägar) är dock obegriplig, och borde kompletteras med en beskrivning.

Första steget av analysen har gjorts enligt gängse praxis, d.v.s. kartläggning av säkerhetssystemets utbredning och av komponenters signal- och elberoende. Efter en första (konservativ) kvantifiering görs fördjupad analys med mera realistiska

förutsättningar av rum med härdskaidebidrag större än $1E-8/\text{år}$. Här tas kredit för manuella ingrepp för isolering av utflöden. Passiva skydd (trösklar, täta dörrar etc) förutsätts fungera. Operatörsingrepp för isolering av utflöden har analyserats med samma metodik som i Appendix C.

En anläggningsmodell skapas med flödesvägar, avlastningsvägar, vattenvolymer varefter utflödesfall definieras. Läckagefrekvenser baseras på statistik från amerikanska anläggningar och uttrycks som frekvens per komponenttyp (rörledning, ventil, gummibälg, etc.). Total läckagefrekvens per system beräknas som en summering i ett Excelark; totalt ger detta $1.4E-2/\text{år}$. I texten sägs att erfarenheten pekar på att frekvensen normalt ligger i intervallet $3E-2/\text{år}$ till $5E-2/\text{år}$. Det är oklart om avvikelser innebär att den använda metodiken underskattar frekvensen, eller om det finns skäl att anta att frekvensen är 50-70% lägre för F1 och F2.

Det kan noteras att SKI 99:1 "Systemvisa utflödesfrekvenser..." ej har kunnat använda p.g.a. att dess stränga definition av läckage ($> 20 \text{ l/h}$) ej är relevant för analysen, som sätter gränsen vid $> 3 \text{ l/s}$. Det kan noteras att läckagefrekvensen i SKI 99:1 är $1.5/\text{år}$ för Forsmark 1, d.v.s. en faktor 100 högre än det mera realistiska värde som används i analysen.

Vid rörbrott i hetvatten- och ångsystem antas dynamiska effekter i utrymmet. Felträdmässigt görs detta genom att använda brandrandvillkor för utrymmet. Detta innebär att även kablar antas slås ut i utrymmet.

Totalt har 180 utflödesförlopp analyserats med avseende på flödesväg, utsläppets storlek, utslagna rum, transient eller ej, etc.

Totalt härdskaidebidrag efter fördjupad analys är $4.7E-7/\text{år}$. Utflöden från 443 (huvudkylvattensystem) och system 733 dominerar resultaten.

Översvämningsanalys, ej effektdrift

Det antas att bidraget från översvämning och ångfrigörelse under uppgång och nedgång täcks av analysen för effektdrift. Argumentet är att systemfunktionskrav och barriärer mot översvämningshändelser är i stort sett likvärdiga. Antagandet behöver underbyggas bättre. Under förutsättning att rumsberoenden är desamma, eller att skillnader i rumskonfiguration är utan betydelse för riskbilden, så är antagandet rimligt. Detta måste dock visas.

I avställningsanalysen avskrivs risker från översvämning efter ett kort resonemang, i första hand därför att de ligger utanför omfattningen för analysen. Resonemanget är otillräckligt. Översvämnningar under avställning har inträffat och påverkat systemfunktioner. En analys bör utföras, eller antagandet underbyggas bättre.

5.9 Analys av yttre (externa) händelser

Analysen presenteras i följande delavsnitt av PSA-2000:

- Kapitel 3, Analys av inledande händelser (inkluderar hela förstudien)
- Appendix A.6, Metodbeskrivning "Externa händelser"

En översiktlig genomgång och viktighetsvärdering av yttre händelser (i PSA-2000 kallat *externa händelser*) ingår i studien, och presenteras i sin helhet i kapitel 3 om inledande

händelser. Även om analysen är kort och översiktlig, är det positivt att en analys av yttre händelser har initierats.

Analysen styrs av en enkel metodbeskrivning (appendix A6), som innehåller en lista med 44 potentiella inledande händelser. Det är oklart på vilka grunder listan sammanställts och om den baserar sig på en systematisk procedur; den ger dock inte intryck av att vara komplett.

Analysen presenteras sedan som en del av kapitel 3 (inledande händelser) där en enkel uppsättning kriterier för frekvensansättning definieras. Kriterierna är inte invändningsfria. Tillämpningen bygger på subjektiva bedömningar av vad som är en "låg frekvens", och anläggningen antas dessutom definitionsmässigt klara alla väderfenomen med återkomsttid kortare än 100.000 år, vilket ej kan förutsättas utan analys. Bland de värderingar som gjorts i bilaga 9 finns säkert en del gränsfall, och i en fördjupad analys av yttre händelser bör kriterierna om möjligt förfinas och göras mindre subjektiva.

Urvalet av yttre händelser som identifieras som potentiellt viktiga verkar rimligt, även om fullständigheten i urvalet inte är särskilt väl underbyggd:

- Total igensättning av kylvattenintag (flera möjliga orsaker)
- Igensättning av rumsventilation (skorstenar)
- Brand i närheten av gasturbiner
- Extrema väder (djupare analys av väderstatistik)

5.10 Analys av avställd reaktor

Analysen presenteras i följande delavsnitt av PSA-2000:

- Avställningsanalys
- Metodbeskrivning, aktivitet G "Kall avställning"

Analysen och dess metodbeskrivning hänger fritt dokumentationsmässigt, d.v.s. har inget kapitel- eller appendixnummer.

Analysen baseras på IAEA:s riktlinjer för avställningsanalys, tidigare avställningsanalys för F1/2/3 och TVO avställningsanalys. Troligen har TVO avställningsanalys haft stor betydelse för utformning och innehåll. Analysen modellerar 1998 års avställning, men sägs även beakta återkommande ingrepp som ej förekom detta år.

Analysen skall (enligt metodbeskrivningen) innehålla en beskrivning av avställningen inklusive ned- och uppgång i matrisform; ett exempel presenteras som bilaga 1 till analysen. En sådan presentation hade varit mycket användbar, men har ej utarbetats. Det kan noteras att matrisen även var tänkt som ett verktyg för identifieringen av potentiellt viktiga inledande händelser under avställningens olika faser.

Ett av målen med avställningsanalysen är enligt dokumentationen att tillsammans med analysen av ned- och uppgång redovisa hårdskaderisken för en revisionsavställning (bränslebyte). Detta skulle vara intressant, men är ej gjort. I stället är analysen av ned- och uppgång i hög grad integrerade i effektdriftanalysen, medan analysen av avställd

reaktor presenteras helt separat, och med delvis starkt avvikande randvillkor. En diskussion av den totala riskbilden under en revisionsavställning, inklusive ned- och uppgång borde ingå i den summerande resultatdiskussionen.

Urval och rimlighetsbedömningar verkar i flera fall ha gjorts av driftpersonal. Dessa aktiviteter har inte dokumenterats och är därmed inte granskningsbara. Detta gäller t.ex. urvalet av inledande händelser och bestämning av HS-sekvenser.

Inledande händelser

Ett antal inledande händelser listas, baserat på en genomgång av 1998 års revisionsavställning, kompletterat med viktiga aktiviteter som ej utförts detta år. Den beskrivna identifieringsmetoden verkar vara byggd uteslutande på diskussioner inom projektet. Därmed saknas en systematisk metodik för identifiering av potentiellt relevanta inledande händelser. Uppenbara informationskällor är internationella guider och analyser utförda för andra anläggningar.

Tre scenarier analyseras, vardera med flera delhändelser:

- Utläckage av vatten från reaktortanken, ovan härd
- Utläckage av vatten från reaktortanken, under härd
- Förlust av resteffektkylning

Läckage kan orsakas av tunga lyft, obefogad ventilöppning och obefogad demontering av rör. Rörbrott antas ej ske p.g.a. lågt tryck..

Total LOCA-frekvens ansätts baserat på två inträffade läckage i världen under 1733 reaktorår. Baserat på ingenjörsmässig bedömning antas fördelningen av olika LOCA-fall vara att 90% inträffar ovanför reaktorhärden och 10% under härden. Vidare antas att fördelningen av LOCA ovanför härd är 1/3 för stor, medelstor respektive liten LOCA. Under härd antas små utsläpp stå för hälften av fallen, medelstora för 1/3 och stora för 1/6. Med gjorda antaganden härrör omkring 1.7 % av läckagefrekvensen från stora läckage under härdnivå. Detta är alltså antaganden med stor resultatpåverkan, som borde underbyggas bättre.

Även kvantifiering av förlust av resteffektkylning baseras på inträffade händelser; 2 händelser har inträffat under 32 avställningar i F1/F2.

En kvalitativ diskussion förs om tappad tung last, kall trycksättning, lokal kriticitet, tappad bränslepatron och friläggning av bränslepatron vid bränslebyte. Samtliga dessa inledande händelser exkluderas. Analysen gör ett oavslutat intryck. Det finns en diskussioner av förutsättningar för stora skador i samband med tunga lyft, men utan en sannolikhetsbetraktelse eller annan grund för att försumma riskbidraget. I ett fall (tappad bränsleflaska) finns en cirkelreferens till analysen av yttre (externa) händelser, som i sin tur refererar till avställningsanalysen.

Brand och översvämning försummas genom att ses som delmängd av förlust av resteffektkylning. Förfarandet är ej rimligt, det borde motiveras bättre och rumshändelser vid behov analyseras mera detaljerat.

Sekvensanalys etc.

Sluttillstånd är OK, HS, KN (kokning), STRÅL (förhöjd strålnivå i reaktorhall) och BFR (bränslefriläggning).

Systemkrav under avställning redovisas ej i rapporten. I metodbeskrivningen finns en redovisning i en bilaga, som dock sägs vara ett exempel. Systemkraven är svåra att överblicka, och borde redovisas i analysen.

Analyserat sluttillstånd är härdskada och inte aktivitetsfrigörelse. Fokus är således på händelser i härden. Begränsade mekaniska bränsleskador och kylning av bränslebassängen analyseras ej.

Bränsleskador kan uppstå om kylning av bränslebassängen förloras. Denna typ av aktivitetsutsläpp har definierats ut ur studien, genom att endast aktivitetsutsläpp p.g.a. härdsador beaktas. Förlust av kylning av bränslebassäng bör dock ingå i F1/F2 PSA. Lämplig delanalys kan vara avställningsanalysen, men eftersom kylbehovet finns under hela året, är även andra lösningar möjliga.

Tid till härdfriläggning baseras på TVO-analyser. Dessa kan knappast vara relevanta för Forsmark 1/2, eftersom spädmatningskapaciteter, vattenvolymer och rördiametrar skiljer sig i många fall.

Mänskliga ingrepp analyseras med expertbedömning med en anpassad version av metodiken för effekt drift (små skillnader). Metodiken för analys av mänskliga ingrepp sägs vara densamma som i grundstudien. Detta stämmer ej, eftersom påverkansfaktorerna inte är desamma (två av fem skiljer sig); detta borde framgå av beskrivningen.

Den administrativ styrning under revision beskrivs, och det konstateras att "systemet är effektivt och att betrakta som säkert så länge uppgjorda tidplaner hålls". Utöver den oklarhet som med denna formulering råder om hur säkert systemet är när tidplaner ej hålls (vilket rimligtvis inträffar ganska ofta), så innebär detta att fel i driftläggningar inte alls analyseras, utan endast fel i utförande. Det rimliga i att på detta sätt utesluta fel i driftläggningar ifrågasätts. En diskussion och motivering behövs.

Resultat

Härdskaidebidraget under avställning presenteras som:

- LOCA ovan härd 4E-10 / år
- LOCA under härd 8E-6 / år
- Förlust av resteffektkylning 1E-7 / år

Viktigaste sekvens är stor LOCA under härd vid HC-pumpservice. Härden kommer att börja friläggas efter 1.5 timmar. Studiens slutsats är att det är viktigt att inneslutningen är stängd vid kritiska arbeten under härdsnivå.

Ingen känslighetsanalys ingår i resultatanalysen. Avsaknaden av känslighetsanalys gör det svårt att värdera resultatet. Uppenbart är att resultatet är starkt påverkat av en del grundläggande antaganden, t.ex. antaganden som styr fördelning av läckagefrekvens mellan olika typer av läckage och sannolikhet för att slussen står öppen.

I nivå 2 PSA ansätts att den filtrerade tryckavlastningen, system 362, alltid är otillgänglig under den kalla avställningen. Därför är alla radioaktiva utsläpp

okontrollerade under detta driftläge. Utsläppen domineras dock av genomsmältning av genomföringarna i nedre DW med en frekvens på $1E-7$ per år. Den utsläppta mängden cesium är $1E-3$ % av härdinventariet och mycket mindre än det nominella filtrerade utsläppet. Frekvensen för stora utsläpp är $1.5E-9$ per år. Värdet beror förutom på härdskadefrekvensen endast på sannolikheten att misslyckas med recovery. Det en diskrepans på en faktor 35 mellan den dokumenterade sannolikheten och den man får fram om man själv beräknar den enligt givna värden i rapporterna (produkten av påverkansfaktorerna beräknas till 100, men är satt till 20 i analysen; i Swainkurvan borde värdet för 2 timmar användas, men värdet för 20 timmar verkar vara använt). Det är viktigt att reda ut denna oklarhet även om frekvensen för stora utsläpp ändå kommer att hamna under $1E-7$ per år.

6 Referenser

1. SKI, Tillsynshandbok PSA, SKI Rapport 99:48; koncept daterat 1999-12-03.

Bilaga 1 F1/2 PSA –Omfattning av SKI:s granskning

Granskningsomfattning för dokument	
D	Detaljerad granskning
Ö	Översiktlig genomgång
S	Dokumentet skummat
-	Ej granskat

Kapitel	Titel	Rapport	Rev.	Författare	Pärm	Granskn.
	HUVUDRAPPORT					
Ej i PSA	Forsmark 1 och 2 – Redovisning av säkerhetsstudier inom ASAR, delprojekt 2	FT-2001-42	1	Lennart Agrenius, Göran Egemalm	Ej i PSA	D
0	Sammanfattningsrapport om PSA-2000-projektet rörande Forsmark 1 och 2, nivå 1 och 2-studie	FT-2001-12	1	Göran Hultqvist	Kapitel 1-4	D
1	Sammanfattning	T -SEA 99/070	3	Jan Holmberg	Kapitel 1-4	D
2	Sammanställning av genomförda analyser och resultat	T -SEA 99/071	3	Jan Holmberg	Kapitel 1-4	Ö
3	Analys av inledande händelser	GES 25/98	3	Jan Holmberg	Kapitel 1-4	D
4	Händelseträdsanalys	GES 67/98	3	Anders Forss, Jan Holmberg	Kapitel 1-4	D
5	Felträdsanalyser	T -SEA 99/072	3	Gunnar Jung	Kapitel 5-6	S
6	Analys av beroenden	GES 115/98	3	JanHolmberg	Kapitel 5-6	D
	APPENDICES					
A	Metodbeskrivning					
A 1	Övergripande beskrivning av metod	GES 183/97	1.0	Anders Forss, Jan Holmberg	Appendix A-D. 1	Ö
A. 2	Inledande händelser, sluttillstånd, systemkrav och händelseträdsanalys för nivå 1	GES 184/97	1.0	Anders Forss, Jan Holmberg	Appendix A-D. 1	Ö
A. 3	Systemanalyser	GES 185/97	0.5	Anders Forss, Jan Holmberg, Urban Boström, Pekka Pyy	Appendix A-D. 1	Ö
A. 4	Analyser (kvantifiering, känslighet och osäkerhet)	GES 95/98	1	Jan Holmberg	Appendix A-D. 1	Ö
A. 5	Yttre händelser	T -SEA 99/079	1	Urban Boström	Appendix A-D. 1	Ö

Kapitel	Titel	Rapport	Rev.	Författare	Pärm	Granskn.
A. 6	Externa händelser	GES 97/98	0.1	Jan Holmberg	Appendix A-D. 1	Ö
A. 7	Ned- och uppgång	GES 71/98	1	Jan Holmberg	Appendix A-D. 1	Ö
A. 8	Modellering och beteckningssystem med Risk Spectrum	GES 42/98	3	Jan Holmberg	Appendix A-D. 1	S
B	Systemanalyser.					
B. 1	Systemanalys 221/222	177/98	1.0	Anders Forss, Jan Holmberg	Appendix B, pärm 1	Ö
B. 2	Systemanalys 314	93/98	2	Urban Boström	Appendix B, pärm 1	Ö
B. 3	Systemanalys 321	52/98	2	Gunnar Jung, Jan Holmberg	Appendix B, pärm 1	Ö
B. 4	Systemanalys 322	21/98	2	Anders Forss	Appendix B, pärm 1	D
B. 5	Systemanalys 323	24/98	3	Urban Boström	Appendix B, pärm 1	D
B. 6	Systemanalys 327	43/98	2	Gunnar Jung	Appendix B, pärm 1	Ö
B. 7	Systemanalys 328	123/98	2	Anders Forss, Gunnar Jung	Appendix B, pärm 1	Ö
B. 8	Systemanalys 331	53/98	1	Gunnar Jung	Appendix B, pärm 1	Ö
B. 9	Systemanalys 354	49/98	2	Urban Boström	Appendix B, pärm 1	Ö
B. 10	Systemanalys 361	116/98	0.1	Anders Forss	Appendix B, pärm 1	D
B. 11	Systemanalys 362	117/98	1.1	Gunnar Jung	Appendix B, pärm 2	D
B. 12	Systemanalys 365	118/98	0.1	Anders Forss	Appendix B, pärm 2	D
B. 13	Systemanalys 415/414	181/98	3	Anders Forss, Urban Boström	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 14	Systemanalys 516	182/98	2	Urban Boström	Appendix B, pärm 2	D
B. 15	Systemanalys 532	139/98	1	Urban Boström	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 16	Systemanalys 600-system	202/98	4	Urban Boström	Appendix B, pärm 2	D
B. 17	Systemanalys 649/313/534	174/98	2	Urban Boström	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 18	Systemanalys 651/652	56/98	2	Urban Boström	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 19	Systemanalys 711	41/98	2.0	Urban Boström	Appendix B, pärm 2	D
B. 20	Systemanalys 712	54/98	0.1	Gunnar Jung	Appendix B, pärm 2	Ö

Kapitel	Titel	Rapport	Rev.	Författare	Pärm	Granskn.
B. 21	Systemanalys 713	55/98	2.0	Gunnar Jung	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 22	Systemanalys 715	26/98	2.0	Urban Boström	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 23	Systemanalys 716	80/98	2.0	Gunnar Jung	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 24	Systemanalys 721	51/98	2.0	Urban Boström	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 25	Systemanalys 733, 732	039/99	3	Gunnar Jung	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 26	Systemanalys 751	74/98	20	Urban Boström	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 27	Systemanalys 754	68/98	3	Urban Boström	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 28	Systemanalys 342	T -SEA 00/035	1	Gunnar Jung	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 29	Systemanalys 351	T -SEA 00/034	1	Gunnar Jung	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 30	Systemanalys 413	T -SEA 00/048	1	Urban Boström	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 31	Systemanalys 762	T -SEA 00/040	1	Gunnar Jung	Appendix B, pärm 2	Ö
B. 32	Systemanalys likriktare	T -SEA 00/066	2	Jan Holmberg	Appendix B, pärm 2	Ö
C	Operatörsingrepp och mänskligt felhandlande	GES 64/98	2	Per Eveneus, Jan Holmberg, Pekka Pyy	Appendix A-D. 1	D
D	Yttre händelser					
D 1	Brand	T -SEA 99/100	1	Urban Boström	Appendix A-D. 1	D
D. 2	Översvämning och ångbrott	T-SEA 99/101	1	Urban Boström	Appendix D.2-J	D
E	Felträäd	T-SEA99/049	1.3	GunnarJung	Elektronisk redovisning (Risk Spectrum)	Ö
F	Feldata	T -SEA 99/043	3	Gunnar Jung	Appendix D.2-J	Ö
G	Analys av ned- och uppgång	T -SEA 99/085	4	Jan Holmberg	Appendix D.2-J	D
H	Känslighetsanalyser	T -SEA 99/090	3	Jan Holmberg	Appendix D.2-J	Ö
I	Osäkerhetsanalys	T -SEA 99/083	3	Gunnar Jung	Appendix D.2-J	Ö
J	MAAP-systemkravsanalyser	GEK 59/98	1	Håkan Wennerström	Appendix D.2-J	Ö

Kapitel	Titel	Rapport	Rev.	Författare	Pärm	Granskn.
J. 2	Analys av systemfunktionskrav med beräkningsprogrammet MAAP4	T -SEK 37/2000		Håkan Wennerström	Appendix J. 2-N	Ö
K	CCI-test F1-simulator	T -SEA 00/082		Urban Boström	Appendix J. 2-N	Ö
L	Konsekvens- och sekvensanalyser	T -SEA 00/080	1	Jan Holmberg	Appendix J. 2-N	Ö
M	Förkortningar	T -SEA 99/123	1	Mats Eriksson	Appendix J. 2-N	S
N	Projektmedtagare	T -SEA 99/143	1	Ulrika Broman	Appendix J. 2-N	S
Avst	Avställningsanalys					
Avst. 1	Metodbeskrivning - Aktivitet G "Analys av kall avställning"	GES 72/98	1	Lars Bennemo	Appendix J. 2-N	Ö
Avst. 2	Avställningsanalys	T -SEA 99/018	1	Lars Bennemo	Appendix J. 2-N	D
N2	Säkerhetsstudie nivå 2					
N2.1.1	PSA 2000 – Sammanfattning av nivå 2-analysen	FT-2001-18		Lennart Agrenius	PSA nivå 2, pärm 1	D
N2.1.2	Forsmark Units 1 and 2 – Source Term Analysis	FAI/99-81	0	W. E. Berger, R. E. Henry	PSA nivå 2, pärm 1	D
N2.1.3	Forsmark Units 1 and 2 – Level II Analysis of the Cold Shutdown Period	FAI/00-33	0	W. E. Berger	PSA nivå 2, pärm 1	D
N2.2.1	A Phenomenological Evaluation Summary on Deflagration and Detonation of Hydrogen for the Forsmark Units 1 and 2 PSA	FAI/98-80	0	G. T. Elicson	PSA nivå 2, pärm 2	Ö
N2.2.2	A Phenomenological Evaluation of In-Vessel and Ex-Vessel Steam Explosions for Forsmark Units 1 and 2 PSA	FAI/98-94	0	R. E. Henry	PSA nivå 2, pärm 2	Ö
N2.2.3	Potential for Recriticality of the Core Material at Forsmark Units 1 and 2 Under Recovery Conditions From a Severe Accident	FAI/98-65	0	G. T. Elicson	PSA nivå 2, pärm 2	Ö
N2.2.4	A Phenomenological Summary on Direct Containment heating in Support of Forsmark Units 1 and 2 PSA	FAI/98-61	0	W. E. Berger	PSA nivå 2, pärm 2	Ö
N2.3.1	A Phenomenological Evaluation Summary on Debris Attack of Lower Drywell for Forsmark Units 1 and 2 PSA	FAI/98-66	0	G. T. Elicson	PSA nivå 2, pärm 3	Ö
N2.3.2	A Position Paper on Vessel Failure and Vessel Thrust Forces	FAI/98-59	0	W. E. Berger	PSA nivå 2, pärm 3	Ö
N2.3.3	Forsmark Units 1 and 2 Uncertainty Analysis of Severe Accident Phenomena	FAI/99-9	0	W. E. Berger, B Schlenger-Faber	PSA nivå 2, pärm 3	D
Viktiga referenser	A - Generellt					
VR. A1	Kommentarer till tidigare genomförda PSA-analyser	FT 99/023		Lennart Agrenius	Referenser, pärm A	S

Kapitel	Titel	Rapport	Rev.	Författare	Pärm	Granskn.
VR. A2	Jämförelse av PSA-metoder i Forsmark 1 och 2 med Olkiluoto 1 och 2	TVONS-TR-M-139/99		Risto Himanen, Heikki Sjövall	Referenser, pärm A	S
VR. A3	TVO-svar om MAAP-MELCOR med följande bilagor: OH om MELCOR VBB/ TVO 1 and 2 Steam Explosion Study Sehgal mfl/ Assessment of Ex-Vessel Steam Explosion Loads in the TVO NPP			(Heikki Sjövall)	Referenser, pärm A	S
VR. A4	PSA-2000 – Kvalitetssäkring av modellen	T-SEA 00/094		Gunnar Jung	Referenser, pärm A	-
VR. A5	PSA-2000 – Modifiering av PSA-modellen	FT-2000-111		Lennart Agrenius	Referenser, pärm A	S
VR. A6	PSA-2000 – Sammanställning av genomförda analyser och resultat; kapitel 2 i slutrapport	FT-2000-112 (ej utgiven)		Lennart Agrenius	Referenser, pärm A	-
VR. A7	PSA-2000 – Projektrapport ”sammanfattning”; kapitel 1 i slutrapport	FT-2000-113 (ej utgiven)		Lennart Agrenius	Referenser, pärm A	-
Viktiga referenser	B – Härd - reaktoravställning					
VR. B1	F3/O3 – Analys av förväntade transienter med antagande av uteblivet reaktorsnabbstopp (ATWS)	ABB Atom/KP 83-31	1	Yngve Waaranperä	Referenser, pärm B	S
VR. B2	F3 – Uppskattning av effektutveckling och påkänningar på bränslet i händelse av felfungerande snabbstoppgrupper	FTB-1999/20		Bo Söderqvist	Referenser, pärm B	S
VR. B3	Forsmark 1 och 2 – Utvärdering av felhändelser för styrtavar	ABB Atom/SPC 99-048		Mikael Heldesjö	Referenser, pärm B	S
VR. B4	Forsmark 1 och 2 – Avstängningsmarginaler för PSA-Analys och värmeutveckling vid ATWS	FT-98/331		Jesper Ericsson	Referenser, pärm B	-
VR. B5	O3 – Systematisk tillförlitlighetsstudie. Effektutveckling vid ofullständigt snabbstopp	ABB Atom/BR 82-293		Ann Barnekov	Referenser, pärm B	S
VR. B6	F1 – Tider för reaktivitetssläckning med bor	F1-96/054		Joakim Persson	Referenser, pärm B	S
VR. B7	F1 – Konsekvenser för härd vid inskjutning SS-grupper utan nedstyrning	FT-95/404		Jesper Ericsson	Referenser, pärm B	S
VR. B8	F1 – Konsekvenser för härd vid utlösning av V-kedja	FT-95/405		Jesper Ericsson	Referenser, pärm B	S
VR. B9	PSA-2000 – Effektproduktion under inskrivningsförlopp och total energifrigörelse under inskrivningsförlopp	FT-2000-489		Göran Hultqvist	Referenser, pärm B	S
VR. B10	BWR-marginaler i de nukleära avstängningsfunktionerna	Vattenfall/KS 80/84		P-O :Waessman	Referenser, pärm B	-
Viktiga referenser	C – Systemkapacitet, processfunktioner, pärm 1					

Kapitel	Titel	Rapport	Rev.	Författare	Pärm	Granskn.
VR. C1.1	F1/F2 kylkapacitet i system 321 och 331 s. f. a. reaktortemperatur	FT-2000-480		Anita Hartman-Persson	Referenser, pärm C1	S
VR. C1.2	Psa-2000 – Analys av temperturhöjning i H-utrymme	FT-98/433:01	1	Lars-Peter Sonesson	Referenser, pärm C1	S
VR. C1.3	Batteriurladdningsprofil (graf, 1 sida), rubrik VR111, I-isol, R97				Referenser, pärm C1	S
VR. C1.4	System 66x batteriets kapacitet och uthållighet vid störning	F2-95/044		Tommy Källman	Referenser, pärm C1	S
VR. C1.5	Forsmark 1 och 2 – SÄKIS; Integrerad Säkerhetsanalys	FT-95/425:1		Göran Hultqvist, Peter Lundgren	Referenser, pärm C1	S
VR. C1.6	F1/F2: Analys av mjuk TB med det diversifierade 314-systemet	FT-97/437		Lars-Peter Sonesson, Ferenc Müller	Referenser, pärm C1	S
VR. C1.7	Forsmark 1 och 2 – Analys av det diversifierade 314-systemets funktion (med Goblin)	W Atom/SPE 00-169	0	Wojciech Baltyn	Referenser, pärm C1	S
VR. C1.8	F1/F2: Oisolerat yttre rörbrott. Strategier för att minimera förlusten av vatten från primärsystem och reaktorinneslutning; Sammanfattning	T-SEK 30/2000		Peter Vikström	Referenser, pärm C1	S
VR. C1.9	Tryckavsäkringsstudie för svenska BWR	KS 76/84		N-G Johansson, T Hedlund	Referenser, pärm C1	-
Viktiga referenser	C – Systemkapacitet, processfunktioner, pärm 2					
VR. C2.1	Forsmark 1-2 – Missile Protection	ABB Atom/TQB A5/A8-1121		Erik Nordesjö	Referenser, pärm C2	S
VR. C2.2	Component External Leakage and Rupture Frequency Estimates	EGG-SSRE 9689		S. A. Eide et. al. (Idaho Material Engineering Lab.)	Referenser, pärm C2	S
VR. C2.3	RA-STF – Forsmark 1 och 2, TVO I/II. Arbeten i/under härdnivå	ABB Atom/TQB 83-427		Tomas Öhlin	Referenser, pärm C2	S
VR. C2.4	Forsmark 1 – Kall avställning – Analys av händelseförloppet vid maximalt läckage genom hålet för en HCP-axel.	Safetech/89/22		Safetech Engineering AB	Referenser, pärm C2	S
VR. C2.5	Vattenblåsning - Utvärdering gentemot Forsmark	ABB Atom/KVB 81-229		G Melder, Tommy Öhman	Referenser, pärm C2	S
VR. C2.6	Forsmark 1 och 2 – Alternativa rörbrottsfilosofier med tillämpning av brott i system 321	ABB Atom/NTE 95-039		Peter Hägglöf, Tomas Öhlin	Referenser, pärm C2	-
VR. C2.7	F3/O3 FSAR – Brottflöden vid postulerade bottenbrott	ABB Atom/KPA 82-329		Peter Hägglöf	Referenser, pärm C2	S
Viktiga referenser	D – Operatörsingrepp					
VR. D1	PSA-2000 – Arbetsrapport – presentationsmaterial avseende expertbedömningar för den kvantitativa analysen av operatörsingrepp och expertbedömningarna	GES 99/026		Jan Holmberg	Referenser, pärm D	Ö

Kapitel	Titel	Rapport	Rev.	Författare	Pärm	Granskn.
VR. D2	PSA-2000 – Beskrivning av Recoveryfunktionen i händelseträden	T-SEA 00/089		Gunnar Jung	Referenser, pärm D	Ö
VR. D3	PSA-2000 – Arbetsrapport – Kompletterande expertbedömningarna 2000	T-SEA 00/083		Jan Holmberg	Referenser, pärm D	-
VR. D4	PSA-2000 – Hantering av recoveries i nivå 2-modellen	FTT-1999-76		Peter Karnik	Referenser, pärm D	Ö
Viktiga referenser	E– Brand + Yttre händelser					
VR. E1	Data för brandanalys inom Forsmark PSA 200 projektet	ES-konsult 1999-11-10		Anders Angner	Referenser, pärm E/F	Ö
VR. E2	Från pilotbrand till säkerhetsrisk – Kvalitativ genomgång av rapporterade bränder i X-boken	Impera-K AB/ MK9751		Michael Knochenhauer, Kurt Pörn	Referenser, pärm E/F	S
Viktiga referenser	F– Reaktorinneslutning					
VR. F1	Reaktorinneslutningarnas funktion vid utebliven kontrollerad tryckavlastning	VBB/ 2107190-1		Alf Engelbrektsson	Referenser, pärm E/F	Ö
VR. F2	Inneslutningens hållfasthet	FAI 99/106, appendix A		Fauske& Associates, Inc.	Referenser, pärm E/F	Ö
Viktiga referenser	G– Svåra haverier – pärm 1					
VR. G1.1	Forsmark Units 1 and 2 –HS2 Sequence Analyses	FAI/00-11	1	W. E. Berger, R. E. Henry	Referenser, pärm G1	S
VR. G1.2	Forsmark Units 1 and 2 – HS2 Sensitivity Analyses	FAI/00-43	0	W. E. Berger	Referenser, pärm G1	S
VR. G1.3	Forsmark Unit 3 –HS2 Sequence Analyses	FAI/00-24	1	R. E. Henry	Referenser, pärm G1	S
VR. G1.4	Forsmark Units 1 and 2 – HS2_NV Sequence Analyses: 362 Filtered Vent Operation Strategy	FAI/00-38	0	R. E. Henry	Referenser, pärm G1	S
VR. G1.5	Forsmark Units 1 and 2 – HS2_NV Sequence Analyses: 3221 Spray Operation Strategy	FAI/00-29		R. E. Henry	Referenser, pärm G1	S
VR. G1.6	Forsmark Units 1 and 2 – HS2_NV Sequence Analyses: Executive Summary of 3221 Spray Operation Strategy	FAI/00-31		R. E. Henry	Referenser, pärm G1	S
VR. G1.7	Influence of Spraying the Reactor Vessel under Severe Accident Conditions	FAI/00-20		R. E. Henry	Referenser, pärm G1	S
VR. G1.8	Forsmark Units 1 and 2 – HS2_NV Sequence Analyses: Executive Summary of 362 Filtered Vent Operation Strategy	FAI/00-10		R. E. Henry	Referenser, pärm G1	S
Viktiga referenser	G– Svåra haverier – pärm 2					
VR. G2.1	FRISK – Radiologiska konsekvenser av diffust läckage, Forsmark 1 och 2	PK-126/87		Erika Appelgren	Referenser, pärm G2	S
VR. G2.2	APRI 3 – Minutes of “Meeting on Risk of Containment Failure During a Severe Accident in Swedish LWR:s”	Safetech 99-04-14		Stig Rolandsson	Referenser, pärm G2	S

Kapitel	Titel	Rapport	Rev.	Författare	Pärm	Granskn.
VR. G2.3	TOM FLIK				Referenser, pärm G2	
VR. G2.4	PSA 2000 – Level 2 Study – Probabilistic Input Data from Level 1	FT-2000- 110		Lennart Agrenius	Referenser, pärm G2	S

Bilaga 2 Känslighetsanalys (summering av resultat)

Ref app H	Analysfall	Beskrivning av analysfall	Resultat [HS/år]	Faktor	Kommentar
		Grundmodell	2.50E-05	100 %	
2.1-1	Spädmätning kondensorn felfri	System 342/733 fungerar felfritt för spädmätning av kondensorn med avseende på flödet i det inledande skedet av händelseförloppet.	2.50E-05	99.9 %	
2.1-2	Spädmätning 733T1 från 732 felfri	System 732 fungerar felfritt för spädmätning av 733T1	2.50E-05	99.9 %	
2.2	Rensning av dieselskenor vid I sker ej	Antaget att rensning ej sker vid I-isolering då yttre nätet är tillgängligt.	2.34E-05	93.5 %	
2.3	SS-kriteriet max 3 intilliggande stavar	Ändring av kriterium till "max. 3 intilliggande ute." (i stället för max 2)	1.89E-05	75.5 %	Ger ett mått på andelen begränsade lokala härdsador. Illustrerar avställningsfunktionens starka dominans i de totala resultaten.
2.4	Automatisering av borsystemet (känslighetsanalys ej genomförd).	Borsystemet krediteras ej, p.g.a. att det är betydligt långsammare än snabbstopp och skruvstopp (10–20 min) och kräver manuellt ingrepp.	Ej kvantifierat	-	
2.5	323 H2-stopp (on-off-reglering)	Inpumpning med system 323 sker oregerat. Känslighetsanalys för att studera vad det innebär om system 323 har on-off-reglering enligt ursprungligt utförande. Modellen har kompletterats med krav på funktioner för on-off reglering.	2.71E-05	108 %	
2.6	Införandet av div. 314-ventiler	En känslighetsanalys har genomförts genom att koppla bort diversifierade 314-ventiler från modellen. I analysen tillgodoräknas endast de ordinarie 314-ventiler för tryckavsäkring resp. tvångsnedblåsning.	4.54E-05	182 %	Införandet av diversifierad 314 har påverkat HS-sannolikheten betydligt
2.7-1	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 342	2.53E-05	101 %	
2.7-2	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 361	2.53E-05	101 %	
2.7-3	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 362	2.53E-05	101 %	
2.7-4	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 412	3.53E-05	141 %	
2.7-5	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 413	3.50E-05	140 %	

Ref app H	Analysfall	Beskrivning av analysfall	Resultat [HS/år]	Faktor	Kommentar
		Grundmodell	2.50E-05	100 %	
2.7-6	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 414/415	6.48E-05	259 %	
2.7-7	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 611	3.63E-04	1450 %	
2.7-8	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 612	2.50E-05	100.0 %	
2.7-9	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 622	3.40E-04	1360 %	
2.7-10	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 625	7.18E-05	287 %	
2.7-11	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 641	7.65E-05	306 %	
2.7-12	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 644	1.27E-04	509 %	
2.7-13	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 645	2.53E-05	101 %	
2.7-14	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 649	6.93E-05	277 %	
2.7-15	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 712	2.50E-05	100.0 %	
2.7-16	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 713	2.50E-05	100.0 %	
2.7-17	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 716	2.50E-05	100.0 %	
2.7-18	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 732	2.53E-05	101 %	
2.7-19	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 733 (exkl. T1)	2.50E-05	100.0 %	
2.7-20	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 751/753	2.50E-05	100.0 %	
2.7-21	Riskviktighet (RIF) för driftfunktioner	Ingen kreditering av system 754	2.70E-05	108 %	
2.8-1	P(HT-drift)=0,1	Basvärde P(misslyckad övergång till husturbindrift)=0.25/ behov. Känslighetsanalys har genomförts med olika sannolikhetsvärden.	2.43E-05	97 %	Effekten döljs av stort bidrag från avställningssystem?
2.8-2	P(HT-drift)=0,5		2.72E-05	109 %	
2.8-3	P(HT-drift)=1		3.22E-05	128 %	
2.9-1	CCF-koppling borttagen	CCF-koppling mellan lågredundanta CCF-grupper borttagen; högredundanta CCF fortfarande modellerade.	1.58E-05	63 %	Relativt bidrag blir ännu större om HS-sekvenser med CCF i system 354 och 221/222 (styrstavar) borträknas.

Ref app H	Analysfall	Beskrivning av analysfall	Resultat [HS/år]	Faktor	Kommentar
		Grundmodell	2.50E-05	100 %	
2.9-21	P(4-CCF 576A654sekvstart) x 10	Ökning av de 5 viktigaste lågredundanta CCF-bidragen med en faktor 10	5.74E-05	230 %	
2.9-22	P(4-CCF 516SSändrelä) x 10		4.36E-05	174 %	
2.9-23	P(4-CCF 327V#02öppna) x 10		3.26E-05	130 %	
2.9-24	P(4-CCF 651GDG1#0stopp) x 10		2.87E-05	115 %	
2.9-25	P(4-CCF 327V#07stänga 30ggr) x 10		2.71E-05	108 %	
2.10	TB-2 villkor behövs ej för TB	Känslighetsanalys avseende manuell tvångsnedblåsning (TB) betydelse. Det antas att inget miljövillkor behövs utan att TB utlöses vid L4.	2.34E-05	93 %	
2.11	Yttre skalventiler felar	Ingen kreditering av yttre skalventiler vid yttre rörbrott.	3.28E-05	131 %	Stor ökning med tanke på yttre brotts låga sannolikhet och med tanke på konsekvenser av sådana härskadesekvenser (containment by-pass).
2.12	F2-DATA	Blockspecifika data felfrekvenser från T-boken och transient-frekvenser från anläggnings-erfarenheter.	2.35E-05	94 %	Otillräckligt för att belysa skillnaden mellan anläggningarna.
2.13	Ingrepp spädmatning krediteras ej	Många manuella ingrepp är modellerade för spädmatning. Kvantifiering med antagandet inga operatörsingrepp rörande spädmatning tillgodoräknas	6.34E-05	253 %	Manuell omkoppling från diesel till ordinarie nät eller gasturbin behövs vid obefogat stopp av alla dieslar (CCF). Manuell tvångsnedblåsning är ett nödvändigt ingrepp för 323-inpumpning i många händelsesekvenser p.g.a. 4 av 4 kravet för diversifierad TB.
2.14	Ingrepp resteffekt krediteras ej	Många manuella ingrepp är modellerade för RE-kylning. Kvantifiering med antagandet inga operatörsingrepp rörande RE-kylning tillgodoräknas	2.57E-05	103 %	
2.15-1	2 DG felar vid TE	Det finns en osäkerhet avseende de lokala nätens stabilitet. För att studera detta analyseras två fall med olika antaganden avseende otillgängligheten för dieselgeneratorerna: ett med två otillgängliga dieslar samt ett med tre otillgängliga.	4.21E-05	168 %	
2.15-2	3 DG felar vid TE		2.14E-04	855 %	

Ref app H	Analysfall	Beskrivning av analysfall	Resultat [HS/år]	Faktor	Kommentar
		Grundmodell	2.50E-05	100 %	
2.16	Likriktare recovery krediteras ej	Känslighetsanalys för att studera betydelsen av reparation av likriktare m. h. a. reservliktare.	2.69E-05	108 %	
2.17	System 362 krediteras ej	Känslighetsanalys för att studera betydelsen av system 362 för resteffektkyllning. Systemet tillgodoses då spädmatning sker med matarvatten- eller hjälpmatarvattensystemet.	2.95E-05	118 %	
2.18	323/321 krediteras ej	Nya MAAP-analyser visar att positiv NPSH-marginal i 323 kan hållas med kylning via 321. Detta resultat har beaktats i PSA-modellen. Känslighetsanalys för att studera betydelsen av system 321 för resteffektkyllning då spädmatning sker med härdsnödkylsystemet 323.	2.50E-05	100.0 %	
2.19	nivå 2-recovery	I nivå 2-analysen tillgodoses vissa recoveries relativt nivå 1-modellen: Manuell utlösning av SS- och V-kedjor om matarvattensystemet är tillgängligt (P=0.5). Utebliven PS-funktion medför inte direkt HS. Oisolerat yttre brott medför inte HS om operatörerna lyckas hantera vattenförluster (P = 0.1).	2.37E-05	95 %	I praktiken redovisar detta fall resultatet från nivå 1-analysen. Eftersom åtgärderna inte berör haverihantering, verkar det litet inkonsekvent att modellera dem i nivå 2-analysen.

Not: Resultat som avviker mer än 25% från grundfallet har gråmarkerats.

Bilaga 3 Systemanalys (summering av resultat)

System	Resultat	Dominerade felmoder
314 M1	6.27E-06	<ul style="list-style-type: none"> 12 av 12 huvudventiler felar p.g.a. CCF.
314 M2	9.05E-05	<ul style="list-style-type: none"> 3 av 12 huvudventiler felar pga CCF.
314 M3	3.04E-04	<ul style="list-style-type: none"> utebliven öppning minst 2 av ventilerna V81, 83, 85, 87 (CCF).
314 P	1.58E-02	<ul style="list-style-type: none"> utebliven återstängning av en eller flera huvudventiler, utebliven återstängning av tryckstyrd impulsventil i kombination med utebliven manuell stängning, utebliven återstängning av elpilotventil i kombination med utebliven manuell tvångsstängning.
314 X VID LOCA	2.42E-04	<ul style="list-style-type: none"> utebliven funktion hos 576/654-sekvensstartautomatik p.g.a. CCF.
314 X VID MANUELL TB	2.78E-03	<ul style="list-style-type: none"> utebliven manuell överkoppling TB2 i kombination med fel i någon 654-underspänningsrelä (U<65%, U>85%) utebliven funktion hos 576/654-sekvensstartautomatik p.g.a. CCF utebliven manuell överkoppling TB2 i kombination med utebliven öppning av minst en av de diversifierade ventilerna (314V081, V083, V085 eller V087).
314 X. P EN VENTIL FELAR ÖPPEN	1.94E-04	<ul style="list-style-type: none"> utebliven funktion hos 576/654-sekvensstartautomatik p.g.a. CCF.
321/711/715 W2[2]	7.76E-02	<ul style="list-style-type: none"> utebliven öppning reglerventil 321V30 utebliven öppning 754V106 fel i någon 654-underspänningsrelä (U<65%, U>85%) uteblivet operatörsingrepp för inkoppling av 321/711/715 efter TB.
321/331) W2[1]	7.79E-03	<ul style="list-style-type: none"> utebliven öppning reglerventil 321V30 i kombination med utebliven öppning 331V20, V26, V27, V32 eller v33, uteblivet operatörsingrepp för inkoppling av 321/331.
322 LOCA W1[2]	4.37E-04	<ul style="list-style-type: none"> utebliven öppning för yttre skalventiler 322VX05 p.g.a. CCF.
322 TRANSIENT W1[1]	3.68E-05	<ul style="list-style-type: none"> utebliven funktion hos 576/654-sekvensstartautomatik p.g.a. CCF utebliven öppning av yttre skalventil 322VX04 p.g.a. CCF.
323 V	1.95E-04	<ul style="list-style-type: none"> obefogat stopp av 323P00X p.g.a. CCF, utebliven automatisk öppningssignal till 323VX04, utebliven öppning 323VX14, utebliven öppning av yttre skalventil 323VX04.
327 U1	4.81E-04	<ul style="list-style-type: none"> utebliven öppning av 327VX02 (motormanövrerade slidventiler) p.g.a. CCF, utebliven stängning av 327VX07 (motormanövrerade kulventiler) , inget vatten i 733-tank, utebliven öppning av 327VX07 p.g.a. CCF.
327 U1.AS1	2.05E-03	<ul style="list-style-type: none"> utebliven öppning av 327VX02 (motormanövrerade slidventiler) p.g.a. CCF utebliven funktion hos 576/654-sekvensstartautomatik p.g.a. CCF utebliven stängning av 327VX07 (motormanövrerade kulventiler) p.g.a. CCF inget vatten i 733-tank utebliven öppning av 327VX07 p.g.a. CCF utebliven öppning av 322VX05 p.g.a. CCF.
327 U2	8.37E-04	<ul style="list-style-type: none"> utebliven öppning av motormanövrerad kulventil (V107, V207, V307 och V407) CCF 2 eller fler.
328 D1 (MEDELSTOR LOCA)	2.55E-03	<ul style="list-style-type: none"> utebliven öppning av motormanövrerad kulventil (V107, V207, V307 och V407) CCF 2 eller fler.
328 D1 (STOR LOCA)	6.55E-03	<ul style="list-style-type: none"> läckage i mellanbjälklaget på 300–3000 cm² vid LOCA, uteblivet demontage av luckorna över nedblåsningsrören efter revisionsavställning.
328 D2 (STOR LOCA)	2.06E-03	<ul style="list-style-type: none"> uteblivet demontage av luckorna över nedblåsningsrören efter revisionsavställning.
342 SPÄDMATNING AV KONDENSOR	8.90E-04	<ul style="list-style-type: none"> Obefogat stopp pump 342P014.
354 C	3.60E-05	<ul style="list-style-type: none"> CCF på 3 eller fler intilliggande SS-grupper,
361 D2 (öppning)	2.03E-02	<ul style="list-style-type: none"> felmonterat sprängbleck (V001).
361 D3 (återstängning)	1.32E-03	<ul style="list-style-type: none"> utebliven stängning av 361 V002 och V003 (CCF).
362 W3	4.06E-05	<ul style="list-style-type: none"> felaktigt monterat sprängbleck i kombination med utebliven öppning av pneumatisk ventil 362V004 (fjäderstängande), 362-ledningen igensatt, felaktigt monterat sprängbleck i kombination med utebliven manuell tryckavlastning.

System	Resultat	Dominerade felmoder
413 Q4	2.67E-03	<ul style="list-style-type: none"> uteblivet vatten för 24 timmar i 342 och 733 i kombination med utebliven öppning ventil 732V006, uteblivet vatten för 24 timmar i 342 och 733 i kombination med utebliven funktion nivåvakt 733K406.
413 S	6.81E-02	<ul style="list-style-type: none"> Utebliven stängning ventil 415V013/V014
414 Q3	7.95E-02	<ul style="list-style-type: none"> uteblivet återvändande yttre nät mellan 0,5 och 7 tim samt utebliven start gasturbin, Utebliven funktion spänningsreläer i 641, 644 eller 654.
415 Q1	4.17E-02	<ul style="list-style-type: none"> utebliven stängning av motormanövrerad slidventil 415V013/V014, utebliven öppning 415V051-1/V052-1.
415 Q2	2.16E-01	<ul style="list-style-type: none"> uteblivet operatörsingrepp inom 0,5 tim på återstående 415/414-funktion.
532	8.19E-06	<ul style="list-style-type: none"> CCF i 516 ändreläer.
644 4 AV 4	5.39E-07	<ul style="list-style-type: none"> förlust av 400 kV nät samt utebliven funktion 576/644 omkopplingsreläer (CCF), förlust av 400 kV nät samt förlust av 70 kV-nät samt förlust av en gasturbin, förlust av 400 kV nät samt utebliven funktion 576/644 reläer (rensning).
649/313	2.16E-05	<ul style="list-style-type: none"> utebliven nedstyrning av 3-8 HC-pumpar (CCF).
654 4 AV 4	1.79E-07	<ul style="list-style-type: none"> utebliven aktivering sekvensreläer samt uteblivet yttre nät givet transient, utebliven aktivering sekvensreläer samt uteblivet frånslag generatorbrytare (CCF).
664 4 AV 4	1.79E-07	<ul style="list-style-type: none"> utebliven aktivering sekvensreläer samt uteblivet yttre nät givet transient, utebliven aktivering sekvensreläer samt uteblivet frånslag generatorbrytare (CCF).
665 4 AV 4	4.54E-09	<ul style="list-style-type: none"> utebliven funktion 665-batterier (CCF) samt förlust av 400kV-nätet, utebliven funktion 665-batterier (CCF) samt uteblivet frånslag generatorbrytare 20kV.
711 AC KYLNING AV 321 E1	1.08E-02	<ul style="list-style-type: none"> misslyckad inkoppling av 321 värmväxlare mot fullt tryck (operatörinrepp), utebliven stängning av pneumatisk ventil 711V111 eller 711V112, obefogat stopp centrifugalpump.
711 BD KYLNING AV 321 E2	1.08E-02	
711 VID LOCA	3.25E-04	<ul style="list-style-type: none"> utebliven funktion hos 576/654-sekvensstartautomatik p.g.a. CCF utebliven funktion 663 batterier CCF obefogat stopp 711- och 715-pumpar CCF.
712 KYLNING FRÅN PUMPSTRÅK	2.12E-04	<ul style="list-style-type: none"> uteblivet frånslag generatorbrytare i kombination med utebliven funktion spänningsrelä (654), utebliven mätsignal från flödestransmitter i kombination med obefogat stopp i centrifugalpump (gäller såväl 712 som 716), obefogat stopp 716-pump CCF, bortfall av 400 kV i kombination med utebliven funktion spänningsrelä (654), obefogat stopp i 716-pump i kombination med utebliven manuell start av reservpump.
713 UTEBLIVEN KYLNING 331	5.16E-03	<ul style="list-style-type: none"> utebliven öppning av reglerventil V310.
715 3 AV 4 LOCA	2.90E-04	<ul style="list-style-type: none"> utebliven funktion hos 576/654-sekvensstartautomatik p.g.a. CCF utebliven funktion batterier system 663 (CCF) i kombination med utebliven lokal aktivering av pumpar obefogat stopp 715-pumpar (CCF).
716 KYLNING FRÅN PUMPSTRÅK	1.71E-04	<ul style="list-style-type: none"> uteblivet frånslag generatorbrytare i kombination med utebliven funktion spänningsrelä (654), utebliven mätsignal från flödestransmitter i kombination med obefogat stopp i centrifugalpump, obefogat stopp 716-pumpar CCF, bortfall av 400 kV i kombination med utebliven funktion spänningsrelä (654), obefogat stopp i 716-pump i kombination med utebliven manuell start av reservpump.
721 PUMPSTRÅK SUB A	3.71E-02	<ul style="list-style-type: none"> PLI under drift, obefogat stopp på centrifugalpump.
732	4.99E-03	<ul style="list-style-type: none"> utebliven öppning av pneumatisk ventil 732V006 (fjäderstängande), utebliven vaktfunktion nivåvakt 733K406.
733 VATTEN TILL KONDENSORER	2.96E-04	<ul style="list-style-type: none"> uteblivet vatten i 733-tank, utlösta säkringar (system 654, 656, 663), uteblivet frånslag generatorbrytare i kombination med utebliven funktion spänningsrelä (654).
733 U3	7.30E-03	<ul style="list-style-type: none"> utebliven återställning 327-reglering, Utebliven öppning 732V006, Utebliven vaktsignal 733K406.
751 MANÖVERLUFT UTANFÖR REAKTORBYGGNAD	7.48E-05	<ul style="list-style-type: none"> funktionsfel hos tryckdifferensmätare(CCF), obefogad öppning av säkerhetsventil V078, utebliven funktion hos alla kompressorer.

System	Resultat	Dominerade felmoder
751 FÖR FRISK-SYSTEMEN	8.51E-07	<ul style="list-style-type: none"> • funktionsfel hos tryckdifferensmätare(CCF), utslagen reservmatning (753) och utebliven användning av gasflaskor, • obefogad öppning av säkerhetsventil V078, utslagen reservmatning (753) och utebliven användning av gasflaskor, • utebliven funktion hos alla kompressorer , utslagen reservmatning (753) och utebliven användning av gasflaskor.
751 MANÖVERLUFT I REAKTORBYGGNAD	7.72E-05	<ul style="list-style-type: none"> • funktionsfel hos tryckdifferensmätare(CCF) och utslagen reservmatning (753), • obefogad öppning av säkerhetsventil V078 och utslagen reservmatning (753), • utebliven funktion hos alla kompressorer och utslagen reservmatning (753).
754 STAM 1	5.41E-04	<ul style="list-style-type: none"> • funktionsfel hos tryckdifferensmätare(CCF), utslagen reservmatning (753), • obefogad öppning av säkerhetsventil 754V301, • obefogad öppning av säkerhetsventil 751V078 samt utebliven reservmatning (753), • obefogade utlösningar av säkringar (system 654,656 och 663), • rörbrott (754).
754 STAM 2	4.50E-04	<ul style="list-style-type: none"> • funktionsfel hos tryckdifferensmätare(CCF), utslagen reservmatning (753), • obefogad öppning av säkerhetsventil 754V301, • obefogad öppning av säkerhetsventil 751V078 samt utebliven reservmatning (753), • obefogade utlösningar av säkringar (system 654,656 och 663), • rörbrott (754).
754.5 9 BARS STATIONSNÄT	4.01E-03	<ul style="list-style-type: none"> • utebliven öppning av pneumatisk ventil 754V107 (fjäderöppnande).

