

Forsmark 2 - Analys av risker i samband med revisionsavställning

Erik Cederhorn



UPPSALA
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

Forsmark 2 - Analys av risker i samband med
revisionsavställning

Forsmark 2 - Probabilistic safety assessments during shutdown mode

Erik Cederhorn

Once per year the reactors at Forsmark are shutdown for overhaul. The shutdown operating mode has earlier been considered as a safe mode without significant risk for a major accident. During the last years however, the knowledge has improved regarding risks during shutdown mode.

During the shutdown period the risk management is governed by a number of documents. PSA can be a powerful tool to evaluate the effects of the requirements stated in these documents.

The first purpose of this project is to modify the existing PSA model of Forsmark 2 so that the overhaul of Forsmark 2 can be analyzed.

The second purpose is to identify system/functions that are effective in terms of reducing the risk for an accident by applying the developed PSA model.

Based on the study, three functions are identified that will have a large effect on the safety during overhaul at Forsmark 2. These functions are:

- ☐ Residual heat removal with system 322.
- ☐ Pressure relief system with system 314.
- ☐ Fill up reactor containment with fire water system 762/365/322.

If these functions are required to be operable with to the requirements stated in the Technical Specification (STF), the probability for core damage during overhaul is reduced from 1,6E-3 to 5,1E-5 a reduction of 97%.

Handledare: Johan Sandstedt
Ämnesgranskare: Jan Blomgren
Examinator: Elisabet Andrésdóttir
ISSN: 1650-8319, UPTEC STS09015

Populärvetenskaplig beskrivning

Varje år genomförs en revision av alla kärnkraftverk i Sverige. Vid revisionen genomförs bland annat underhåll av olika system samt anläggningsändringar. Under avställningsperioden ställs reaktorn av, vilket innebär att alla styrtavlar är inskjutna i härden och att det inte sker någon effektutveckling förutom resteffekten. Tidigare har det antagits att revisionsperioden inte nämnvärt bidrar till den totala risken för härdskada. Det har emellertid under senare år visat sig att revisionsperioden ger ett signifikant bidrag till den totala risken.

Riskhantering under revisionsperioden styrs upp av säkerhetstekniska driftförutsättningar (STF), revisionsspecifika driftkriterier (anger krav på tillgänglighet för system). Efterlevandet av dessa dokument skall säkerställa att en tillräcklig barriär finns mot härdskada för de händelser som kan inträffa under revisionen. För att försäkra sig om att dessa dokument resulterar i en tillräcklig barriär mot oönskade sluttillstånd kan Probabilistisk Säkerhetsanalys (PSA) utnyttjas. Detta kräver dock en anpassning av nuvarande PSA-modell för kall avställd reaktor, så att modellen blir tillräckligt flexibel med hänsyn till de specifika villkor som gäller för revisionen 2009 av Forsmark 2.

Syftet med examensarbetet är dels att modifiera den befintliga modellen så att det blir möjligt att analysera revisionen 2009 av Forsmark 2 för att sedan med hjälp av den modifierade modellen identifiera driftkriterier som reducerar sannolikheten för oönskade konsekvenser.

För att den specifika revisionen 2009 skall vara möjlig att analyseras måste modellen modifieras med avseende på ett antal faktorer. Dessa faktorer är:

- **Sub-avställning:** För att revisionen skall kunna genomföras måste delar av anläggningen ställas av. För Forsmark 1 och 2 innebär detta att två subar (A/C eller B/D) kommer att vara avställda växelvis under revisionsperioden. Vilken sub som är i drift kommer att påverka systemens tillgänglighet.
- **Vattennivå i kondensationsbassängen:** Under viss del av revisionsperioden töms kondensationsbassängen. De system som är beroende av vatten i kondensationsbassängen kommer därmed inte vara tillgängliga under denna del av revisionsperioden.
- **Kravställning på system:** Modellen skall vidare utformas så att det blir möjligt att beakta (slå av och på) valfria funktioner (system) för att möjliggöra identifiering av effektiva driftkriterier.

De konsekvenser som skall kunna analyseras är:

- Härdskada (HS).
- Kokning i C-bassäng (K2).
- Temperatur över 60°C i C-bassäng (K3).
- Spädmätning av C-bassäng med slang (K4).
- Bränsle i kontakt med brandvatten (K5).
- Utflöde från reaktorinneslutningen (K6).
- Utflöde från anläggningen (K7).

Utifrån de genomförda analyserna, med och utan vatten i kondensationsbassängen, föreslås att följande systemfunktioner skall ingå i driftkriterierna inför revisionsperioden 2009:

- Resteffektkylning med system 322.
- Tryckavlastning med system 314.
- Uppfyllning av reaktorinneslutningen med system 762/365/322.

Om de föreslagna driftkriterierna appliceras på 2009 års revision kommer den totala härskadesannolikheten reduceras från $1,6E-3$ då enbart systemfunktioner kravställda i STF beaktas till $5,1E-5$ då dessutom driftkriterierna beaktas. Detta är en reduktion med 97 %.

Innehållsförteckning

1 Inledning	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte	6
1.3 Avgränsningar	7
1.4 Tillvägagångssätt	7
1.5 Disposition	8
2 Bakgrund	9
2.1 Om Forsmark	9
2.2 Om revisionerna på Forsmark	9
2.2.1 Revisionen 2009	9
2.3 Kärnkraftsteknik och säkerhet	10
2.3.1 STF, driftinstruktioner och driftkriterier	12
2.3.2 Om säkerhetsfunktionerna	12
2.3.2.1 Reaktivitetskontroll	12
2.3.2.2 Tryckavsäkring	13
2.3.2.3 Härdnöd kylning	13
2.3.2.4 Resteffekt kylning	13
2.3.2.5 Säkerhetssystem under revision	14
3 Teori	15
3.1 PSA	15
3.2 Inledande händelse analys	16
3.2.1 Inledande händelse i befintlig modell	17
3.2.1.1 Inre läckage	17
3.2.1.2 Yttre läckage	17
3.2.1.3 Transienter	17
3.2.1.4 CCI	17
3.3 Sekvensanalys (Händelsetråd)	18
3.3.1 Blockdiagram	18
3.4 Systemanalys (Felträd)	19
3.4.1 Beroendeanalys	20
3.5 Konsekvenserna	21
3.6 Identifiering av faser	21
3.7 Beräkningar av konsekvenser och beräkningar i RiskSpectrum	22
3.7.1 Analysfall	23
3.8 Om HRA i denna studie	23
4 Modellanpassning	25
4.1 Inledande händelser under revisionen 2009	25
4.1.1 Kvantifiering av inledande händelser	27
4.2 Konsekvenserna	30
4.3 Kravställning på systemfunktioner	30
4.4 Kondensationsbassäng	31
4.5 Modellförändringar	31
5 Beskrivning av de modifierade händelseträden	33

5.1.1 LOCA (läckage) under hård - Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump	34
5.1.1.1 Sekvensbeskrivning	34
5.1.1.2 Modellförändringar	35
5.1.2 Yttre läckage - Läckage från reaktortanken (utanför reaktorinneslutningen) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	35
5.1.2.1 Sekvensbeskrivning	35
5.1.2.2 Modellförändringar	37
5.1.3 Bortfall av resteffektkylning - Bortfall av 321 (fas 4)	38
5.1.3.1 Sekvensbeskrivning	38
5.1.3.2 Modellförändringar	39
5.1.4 Tappat reaktortanklock	40
5.1.4.1 Sekvensbeskrivning	40
5.1.4.2 Modellförändringar	41
6 Resultat	42
6.1 Resultat funktionstillgänglighet	42
6.2 Resultat med avseende på HS	44
6.2.1 Resultat med vatten i kondensationsbassängen	45
6.2.2 Resultat utan vatten i kondensationsbassängen	48
6.3 Resultat med avseende på kokning i bränslebassäng (K2)	51
6.3.1 Resultat med vatten i kondensationsbassängen	51
6.3.2 Resultat utan vatten i kondensationsbassängen	52
6.4 Resultat med avseende på spädmatning med slang (K4)	53
6.4.1 Resultat med vatten i kondensationsbassängen	53
6.4.2 Resultat utan vatten i kondensationsbassängen	53
6.5 Resultat med avseende på bränsle i kontakt med brandvatten (K5)	54
6.5.1 Resultat med vatten i kondensationsbassängen	54
6.5.2 Resultat utan vatten i kondensationsbassängen	56
6.6 Resultat med avseende på utflöde från reaktorinneslutningen (K6)	56
6.6.1 Resultat med vatten i kondensationsbassängen	57
6.6.2 Resultat utan vatten i kondensationsbassängen	57
6.7 Resultat med avseende på bräddning av 342-tanken (K7)	58
6.7.1 Resultat med vatten i kondensationsbassängen	59
6.7 Resultat reaktoravställningen 2009	60
6.7.1 Analysfall: STF	61
6.7.2 Analysfall: STF + system 322 samt 762	61
6.7.3 Analysfall: STF + system 314 samt 322	62
6.7.4 Analysfall: Driftkriterier 2009	63
7 Resultat i sammanfattning	65
8 Sammanfattande diskussion	66
8.1 Förslag till framtida studier	67
9 Referenslista	68
9.1 Tryckt material	68
9.2 Rapporter	68
9.3 Hemsidor	69
9.4 Övriga	69

Bilageförteckning

Bilaga 1: Beräkning av frekvensen för respektive inledande händelse

Bilaga 2: Felsannolikhet för respektive driftfas

Bilaga 3: Blockdiagram för samtliga inledande händelser under revisionsavställningen 2009

Bilaga 4: Resultat med vatten i kondensationsbassängen

Bilaga 5: Resultat med vatten i kondensationsbassängen

1 Inledning

Denna rapport har utarbetats i form av ett examensarbete inom civilingenjörsutbildningen System i Teknik och Samhälle vid Uppsala Universitet och skall omfatta 30 hp. Examensarbetet är genomfört åt konsultfirman Risk Pilot AB som i sin tur har fått uppdraget att genomföra denna analys utav en av sina kunder, Forsmarks kraftgrupp AB. Målgruppen för rapporten är personer som jobbar inom kärnkraftsbranschen eller av någon anledning har goda kunskaper inom ämnet.

1.1 Bakgrund

Riskhantering under revisionsperioden styrs upp av säkerhetstekniska driftföreskrifter (STF), revisionspecifika driftkriterier (anger krav på tillgänglighet för system) samt störningsinstruktioner på anläggnings- och systemnivå. Efterlevandet av dessa dokument skall säkerställa att en tillräcklig barriär finns mot hårdskada för de händelser som kan inträffa under revisionen.

För att försäkra sig om att STF tillsammans med driftkriterierna resulterar i tillräcklig barriär mot oönskade sluttillstånd kan Probabilistisk Säkerhetsanalys (PSA) utnyttjas. Detta kräver dock en anpassning av nuvarande PSA-modell för kall avställd reaktor, så att modellen blir tillräckligt flexibel med hänsyn till de specifika villkor som gäller för revisionen 2009 av Forsmark 2.

Den befintliga PSA-studien av Forsmark 2 omfattar följande tre effektlägen:

- Effektdrift, dvs. drift då den termiska effekten är högre än 8 % av fulleffekt.
- Ned- och uppgång, nedgångsläget startar när den termiska effekten understiger 8 % och slutar då driftläget kall avställd reaktor startar. Uppgångsläget tar vid när kall avställning slutar och pågår tills dess att 8 % av fulleffekt uppnåts.
- Driftläget kall avställd reaktor definieras i enighet med STF som den tid då vattentemperaturen är lägre än 100°C och driftomkopplaren är i läge "0" eller då samtliga styrtavar är inskjutna i hårdan [1].

Detta examensarbete kommer alltså att utgå från modellen för kall avställd reaktor. Den ursprungliga modellen återspeglar en "normal" revisionsperiod. I denna modell görs ett antal antaganden, utifrån historiska data antas exempelvis vilka system eller komponenter som skall underhållas. Denna modell är tillräckligt bra för att analysera risken på årsbasis men är ej tillräcklig för att analysera en specifik revision.

Användningen av PSA för att utvärdera vilka driftkriterier som bör gälla under en specifik revision är nytt inom Forsmark 1 och 2. En liknande analys har gjorts för Forsmark 3 under 2008 med mycket lyckade resultat, vilket lett till att Forsmarks kraftgrupp beslutat om att genomföra denna analys för Forsmark 2.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att anpassa den befintliga PSA-modellen för kall avställd reaktor för Forsmark 2 så att revisionen av Forsmark 2 2009 kan analyseras. Med hjälp av den anpassade PSA-modellen skall sedan effektiva driftkriterier identifieras (d.v.s. identifiering av de system som utöver de som krävs i STF bör finnas tillgängliga under revisionen) för att reducera sannolikheten för att en hårdskada skall inträffa. I analysen skall även ett antal nya konsekvenser förutom hårdskada analyseras.

1.3 Avgränsningar

Den metod som används i detta arbete är PSA. Denna metod är det mest kraftfulla verktyget för att genomföra kvantitativa riskanalyser av komplexa tekniska system. Eftersom syftet med detta arbete är att använda en modell som är framtagen genom metoden PSA så finns det inget utrymme till val av en annan metod. Med anledning av detta kommer inget resonemang kring val av metod ingå i arbetet. Det bör dock nämnas att det finns ett antal andra kvantitativa metoder som skulle kunna användas vid en analys av detta slag. En presentation av dessa metoder har dock inte rymts i detta arbete. Vid detta arbete kommer den befintliga modellen för kall avställd reaktor av Forsmark 2 att användas. De olika funktionerna/systemen i PSA-modellen kommer inte beskrivas på detaljnivå. Dock kommer en förenklad och översiktlig beskrivning att ges av vissa utvalda system. I rapporten kommer endast ett urval av de sekvenser som analyseras att beskrivas. De sekvenser som beskrivs skall fungera som exempel på hur de olika sekvenserna kan se ut. I analysen av inledande händelser antas det att alla ingrepp under revisionen kan leda till en inledande händelse.

1.4 Tillvägagångssätt

Arbetet inleds med en litteraturstudie av Probabilistisk Säkerhetsanalys (PSA) eftersom det är den metod som skall användas i denna analys.

Litteraturstudien kommer även att innefatta material som beskriver hur en revisionsavställning skall analyseras. För att ta reda på hur revisionen av Forsmark 2 2009 är planerad kommer den tidplan som är framtagen att studeras. Utöver detta kommer även anläggningskännedom om Forsmark 2 att läsas in.

Befintlig PSA-modell kompletteras sedan så att risken under revisionsperioden 2009 för Forsmark 2 blir möjlig att analysera för de olika oönskade sluttillstånden. De sluttillstånd som skall vara möjliga att analysera är härdskada, kokning i C-bassäng, temperatur över 60 grader i C-bassängen, vatten utanför inneslutningen, vatten utanför anläggningen, utnyttjande av brandvatten samt utnyttjande av spädmatning med slang. Modellen skall vidare utformas så att det blir möjligt att beakta (slå av och på) valfria funktioner (system) för att möjliggöra identifiering av effektiva driftkriterier.

Dokumentation för planering och genomförande av revisionen 2009 för Forsmark kommer att studeras med avseende på planerade och genomförda aktiviteter, händelser, utnyttjade systemfunktioner m.m. PSA-modellen anpassas därefter så att den beskriver genomförd revision med avseende på ovanstående. När modellen är färdigställd skall den analyseras med avseende på modellerade sluttillstånd. Utifrån analyserna identifieras lämpliga driftkriterier, vilka jämförs med de förhållanden som skulle råda om endast driftklarhetskraven enligt STF beaktas.

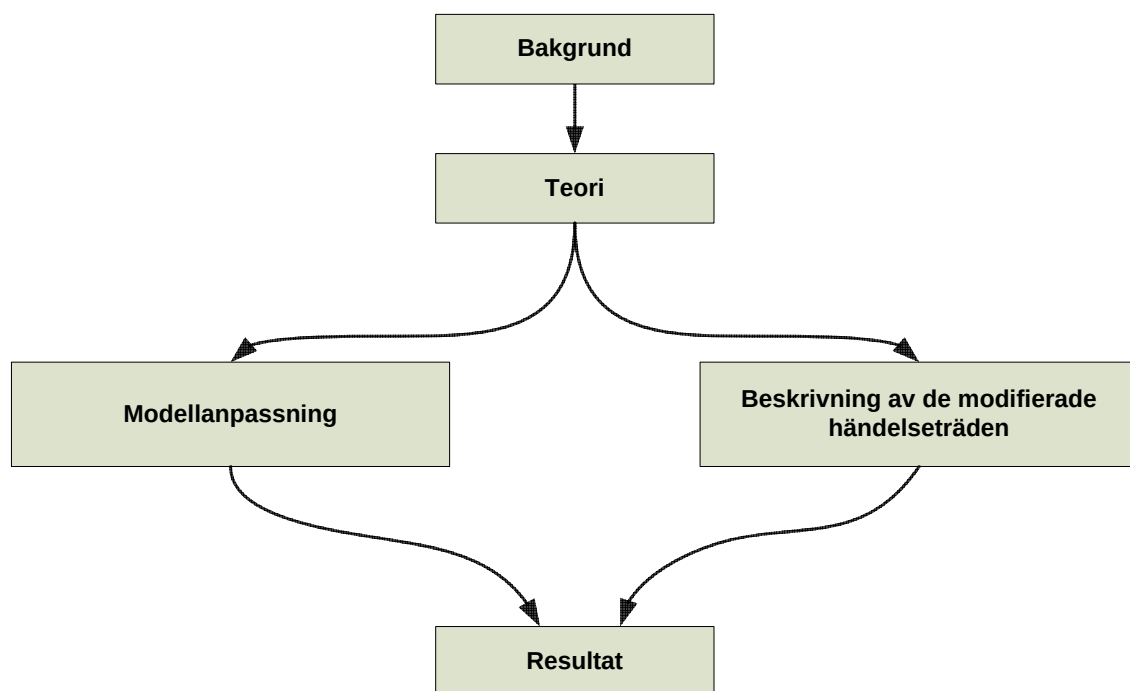
Utifrån de specifika förutsättningar som gäller under revisionen 2009 kommer sedan resultat tas fram och utifrån dem kommer nya effektiva driftkriterier presenteras.

Eftersom målet med examensarbetet är att hitta funktioner som det inte finns några driftklarhetskrav för, måste kartläggning först genomföras utifrån de funktioner som skall vara tillgängliga enligt STF. Därefter måste material som beskriver vilka inledande händelser som ingår den ursprungliga modellen studeras. Utifrån dessa kan sedan identifiering genomföras av vilka inledande händelser som är aktuella för den specifika

revisionen. Eftersom de flesta inledande händelserna orsakas av mänskliga fel kommer de inledande händelser som skall ingå i analysen bestämmas av vilka åtgärder (underhåll) som skall genomföras under aktuell revision. När detta är gjort görs en analys med de funktioner som skall finnas tillgängliga, vilken jämförs med andra analyser där funktioner lagts till som det i dagsläget inte finns några krav på. Därigenom blir det möjligt att identifiera vilka funktioner som reducerar sannolikheten för de olika konsekvenserna mest.

1.5 Disposition

Totalt innehåller rapporten 9 kapitel. I kapitel 1 presenteras syftet med detta examensarbete samt hur arbetet skall genomföras och disponeras. I det andra kapitlet ges en bakgrundsbeskrivning till Forsmark 2 och hur säkerheten kring reaktorn är uppbyggd. Dessutom ges en beskrivning till hur revisionen kommer att genomföras. I det tredje kapitlet presenteras den teori som används i analysen, nämligen Probabilistisk Säkerhetsanalys. I kapitel 4 innehåller en beskrivning de moment som leder fram till en PSA-modell för kall avställd reaktor. Kapitel 4 beskriver hur modell skall modifieras för att efterlikna revisionen 2009 av Forsmark 2. I kapitel 5 ges ett antal exempel på vilka ändringar som gjorts i modellen. I kapitel 6 presenteras resultaten, kapitel 7 och 8 innehåller sammanfattning av resultaten samt en sammanfattande diskussion.



Figur 1: Beskrivning av arbetets disposition.

2 Bakgrund

Syftet med detta kapitel är dels att ge läsaren en kort bakgrund till hur säkerheten kring Forsmark är uppbyggd samt vilka säkerhetssystem som är centrala vid kall avställd reaktor och hur dessa system fungerar. Dessutom kommer det ges en bakgrund till revisionsavställningarna på Forsmark 2 samt hur den specifika revisionen 2009 kommer att genomföras. Premisserna under en revisionsavställning skiljer sig avsevärt ifrån de under normal effektdrift. Det finns flera gynnsamma faktorer; den viktigaste faktorn är att effekten är mycket lägre under avställningsperioden i och med att den enda effektutvecklingen genereras av resteffekten¹. Dessutom är naturligtvis trycket och temperaturen mycket lägre under revisionen än under effektdrift. Det finns även ett antal faktorer som förhöjer risken under revisionsperioden. Eftersom många arbeten pågår i anläggningen kommer många system vara otillgängliga under vissa delar av revisionen vilket kan medföra att barriärer är delvis otillgängliga. Att det pågår mycket fler arbeten i anläggningen än normalt medför att risken för mänskliga felhandlanden ökar [2].

2.1 Om Forsmark

Forsmarks kraftstation är placerat vid ostkusten i Östhammars kommun, Uppsala län. Anläggningen består av tre aggregat, Forsmark 1, 2 och 3, och är tillsammans en av Sveriges största elproducenter. Anläggningen ägs av Forsmarks kraftgrupp som i sin tur samägs av Vattenfall (66 %), Mellansvensk Kraftgrupp (25,5 %) och E.ON Kärnkraft Sverige (8,5 %). Totalt produceras 25 TWh per år och Forsmarks kraftgrupp har en omsättning på cirka 4 miljarder kronor per år. Forsmark 2 är en kokarvattenreaktor (BWR75) med en termisk effekt på 2928 MW vilken invigdes i juli 1981 och är tillverkad av ASEA atom [25].

2.2 Om revisionerna på Forsmark

En gång om året genomförs en större revision av alla kärnkraftsanläggningar i Sverige. En standardrevision på Forsmark 1 och 2 är antingen kort (ca 1-2 veckor) eller lång (ca 6 veckor). Under revisionerna byts delar som är utslitna. Dessutom kontrolleras andra system eller komponenter så att dessa är intakta och kan klara ytterligare ett driftår. Vid en kort revision utförs typiskt ca 1500 arbetsordrar och vid en lång ca 3500. För att kunna genomföra underhåll och införa förnyelser av system och komponenter ställs delar av säkerhetsfunktionerna av under vissa delar av revisionen. Detta genomförs genom att ställa av delar av anläggningen. För Forsmark 1 och 2 innebär detta att två subar (A/C eller B/D) kommer att vara avställda växelvis under revisionsperioden [10].

2.2.1 Revisionen 2009

Normalt ställs varje aggregat av vart tredje år för en extra lång revision. Revisionen 2009 av Forsmark 2 kommer pågå under 42 dagar från den 13/9 till den 25/10, vilket är en ovanligt lång revision. Många av de arbeten som kommer att utföras är en del av den effekthöjning som planeras för Forsmark 2. I figuren nedan ges en översiktlig bild över tidplanen för revisionsavställningen [25].

¹ Resteffekten är den effekt som uppstår av radioaktivitet som fortsätter alstra energi trots att kärnklyvningen är avslutad.

Dag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Arbete B/D sub																					
Tom kondensationsbassäng																					
Arbete A/C sub																					
Dag	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Arbete B/D sub																					
Tom kondensationsbassäng																					
Arbete A/C sub																					

Figur 2: Översiktlig tidplan av revisionen 2009.

2.3 Kärnkraftsteknik och säkerhet

Principen för att producera el med hjälp av ett kärnkraftverk är enkel. Genom att koka vatten bildas ånga som leds in i en turbin som i sin tur driver en elgenerator som producerar el. Genom att primärt beskjuta uran-235 med neutroner frigörs energi som används för att värma upp vatten i reaktortanken. Kärnklyvningsprocessen är självgående, eftersom varje klyvning skapar nya neutroner som kan klyva nya uranatomer. Ångan som framställs leds sedan vidare och fördelas till två olika turbinaggregat där el genereras. Vattenången kondenseras till vatten i kondensorn och pumpas tillbaka in i reaktorn med hjälp av de så kallade matarvattenpumparna. Vattnet cirkuleras sedan i härden med hjälp av huvudcirkulationspumpen. Effekten i reaktorn regleras främst med hjälp av styrtavarna, genom att skjuta in styrtavarna minskar effekten. Styrtavarna innehåller borkarbid som mycket effektivt absorberar neutroner och på så sätt minskar antalet kärnklyvningar. Effekten kan också regleras genom att öka eller minska huvudcirkulationspumparnas flöde. Ju högre flöde desto mer vatten förångas och därmed ökar effekten. Vid full effektdrift är den termiska effekten 2928 MW. Även efter att reaktorn blivit avställd kommer effektutvecklingen i härden fortsätta. Detta beror på att flera av restprodukterna som bildas vid uranklyvningen är radioaktiva och söderfallet av dessa restprodukter avger tillräckligt med effekt för att en härdskada skall kunna inträffa [2].

Eftersom konsekvenserna av en olycka vid ett kärnkraftverk blir stora är det mycket viktigt att kärnkraftsanläggningen är säker.

I grunden till säkerheten vid kärnkraftverken i Forsmark ligger den så kallade inherent säkerheten. Inherent säkerhet eller naturlagsbaserad säkerhet gör reaktorn säkrare utan att tekniska säkerhetssystem behöver aktiveras. Som en del av denna säkerhet används void-principen. För att kunna klyva urankärnorna måste neutronerna modereras, dvs. neutronernas rörelseenergi sänks. Det medel som används för att sänka neutronernas rörelseenergi kallas för moderator och är vid Forsmarks reaktorer flytande vatten. Om effekten i reaktorn ökar kommer vattnet övergå till gasform (void), vilket innebär att färre neutroner bromsas och därmed minskar antalet kärnklyvningar. Vid extremfallet kokar allt vatten bort varvid kärnklyvningarna stoppar helt (dock finns en stor risk för härdskada p.g.a. resteffekten). En annan inherent princip som används vid reaktorerna i Forsmark är den så kallade dopplereffekten. Kortfattat kan dopplereffekten beskrivas som ett temperaturberoende som innebär att neutroner absorberas av uran 238 istället för att klyva uran 235-kärnor vid för hög temperatur. Detta medför att det finns en negativ återkoppling vilket gör reaktor "lugn" [26].

En grundprincip som används vid konstruktion och drift av ett så pass komplext system som ett kärnkraftverk är djupförsvarsprincipen. Denna princip innebär att det finns flera olika nivåer av säkerhetstänkande. Om någon nivå misslyckas skall nästa nivå istället träda in som försvar. De olika nivåerna i djupförsvarsprincipen är:

- Förebyggande av driftstörningar och fel. Detta innebär att anläggningen skall vara konstruerad för att minimera risken för en olycka.
- Kontroll av driftstörningar och detektering av fel. Denna nivå innebär att anläggningen ständigt skall övervakas för att identifiera störningar.
- Kontroll över förhållanden som kan uppkomma vid konstruktionsstyrda haverier. Denna nivå innebär att om en störning i anläggningen inträffar skall det finnas säkerhetsfunktioner som motverkar att en onormal händelse utvecklas till ett haveri.
- Om en olycka ändå skulle inträffa skall det finnas konsekvenslindrande system som gör att utsläppen till omgivningen minimeras [3].

Det finns flera fysiska barriärer för att skydda det radioaktiva materialet i kärnkraftverket, så att det inte sprids till omgivningen. Tanken med barriärerna är de skall stoppa eller fördröja en oönskad händelsesekvens. Om en barriär bryts skall nästa barriär ta vid. Det finns totalt fem barriärer. Dessa utgörs av:

- 1, Bränslekutsen
- 2, Bränslekapslingen
- 3, Reaktortanken
- 4, Reaktorinneslutningen
- 5, Reaktorbyggnaden.

I arbetet med att utforma funktionssäkerheten i djupförsvaret används redundans. Redundans innebär att alla de viktiga funktionerna är uppbyggda i flera parallella funktionskedjor, så kallade stråk som skall vara helt oberoende av varandra. Inom kärnkraften finns det ofta fyra funktionskedjor för ett säkerhetssystem och dessa är dimensionerade så att det räcker med att en (alternativt två för vissa typer av händelser) av dem fungerar. Dessa olika funktionskedjor kallas för en "sub". Enligt STF är definitionen av en sub följande: "Avser en av flera redundanta fysiskt och elektriskt separerade systemdelar som tillsammans utgör en säkerhetsfunktion" [4]. Anläggningens elkraftsmatning är uppdelad i 4 separata "subar", där varje sub har en egen dieselgenerator och egna batterier som skall kunna förse stråket med hjälpkraft om exempelvis det yttre nätet skulle bli otillgängligt. På komponentnivå innebär redundans att det ofta sitter flera seriekopplade ventiler för att säkerhetsställa en stängningsmanöver eller flera parallella ventiler för att säkerhetsställa en öppningsmanöver [3].

Inom kärnkraften används diversifierade system. Med diversifiering menas att varje säkerhetsfunktion har minst ett reservsystem som är uppbyggda enligt andra funktionsprinciper d.v.s. om det primära säkerhetssystemet av någon anledning inte skulle fungera finns ett sekundärt system som kan utföra säkerhetsfunktionen. De diversifierade systemen behöver inte ha samma kapacitet men skall vara tillräckliga för att utföra säkerhetsfunktionen. Exempelvis kan styrstavsinskjutningen utföras med två olika system. Primärt skall styrstavarna skjutas in hydrauliskt, men om detta inte fungerar kan de också skruvas in med ett annat system. Dessutom kan reaktorn ställas

av med hjälp av borsystemet genom att pumpa in borerat vatten in i reaktortanken och på så sätt stoppa klyvningsprocessen [3].

2.3.1 STF, driftinstruktioner och driftkriterier

I STF anges inom vilka ramar anläggningen får drivas med hänsyn till omgivningens säkerhet. I STF anges bland annat vilka funktioner som skall vara driftklara i olika driftlägen. Med ett driftklart system eller komponent avses i STF att komponenten eller systemet omedelbart kan tas i bruk och uppfylla specificerad prestanda inom erforderlig tid. I STF specificeras även högsta tillåtna gränsvärden samt provningsintervall av olika komponenter [4].

Utöver STF finns även drift- och störningsinstruktioner. I dessa instruktioner finns information om hur driftpersonalen skall hantera anläggningen på ett säkert sätt samt hur de skall ingripa vid olika störningar [5].

För att komplettera STF och driftinstruktionerna tar driftledningen för respektive anläggning fram så kallade driftkriterier. I driftkriterierna skall det framgå vilka system som skall vara tillgängliga under revisionen.

2.3.2 Om säkerhetsfunktionerna

I detta kapitel kommer en kortfattad beskrivning ges av de system som är viktigast under effektdrift samt vilka system som är viktiga under revision. De system som vid underhåll kan leda till en inledande händelse kommer inte att beskrivas i denna rapport. Vid effektdrift samt upp- och nedgång måste ett antal säkerhetsfunktioner fungera för att för att föra reaktorn till ett säkert och stabilt sluttillstånd. De säkerhetsfunktioner som beaktas i PSA-modellen är:

- Reaktivitetskontroll
- Tryckavsäkring av reaktortank och primärsystem
- Spädmätning av reaktortanken
- Resteffektkylning

Varje säkerhetsfunktion kan upprätthållas av ett antal systemfunktioner som i korthet kommer att beskrivas i detta kapitel. Under den största delen av revisionen behöver inte de två första säkerhetsfunktionerna beaktas. Eftersom styrtavarna redan är fullt inskjutna i härden och behövs inte säkerhetsfunktionerna för reaktivitetskontroll beaktas. Dessutom är reaktortanklocket bortmonterat under en stor del av revisionen och därför behövs inte heller säkerhetsfunktioner för tryckavsäkring beaktas [11].

2.3.2.1 Reaktivitetskontroll

Reaktivitetskontrollens funktion är att vid behov göra reaktorn underkritisk och därefter hålla kvar reaktorn i det tillståndet. Detta kan genomföras genom att antingen skjuta in styrtavarna i härden eller genom att pumpa in borerat vatten i reaktorhärden och på så sätt stoppa kärnklyvningen. De system som i första hand används för reaktivitetskontroll är system 354 (det hydrauliska snabbstoppet) alternativt system 532 (skruvsnabbstopp). System 354 består av 18 snabbstoppsgrupper som i sin tur förgrenar sig till 161 drivdon. Systemets uppgift är att vid ett snabbstopp hydrauliskt skjuta in styrtavarna i härden [12]. System 532 är ett reservsystem till 354, om det hydrauliska snabbstoppet inte fungerar skall system 532 automatiskt skruva in de styrtavar som inte blivit helt inskjutna. Vid normal drift ska systemet även kunna användas tillsammans med system 221 för att manuellt manövrera styrtavarna. Systemet aktiveras direkt efter

utlöst snabbstopp och misslyckad inskjutning av styrtavarna med system 354 [13]. Definitionen av kall avställning innebär att styrtavarna är helt inskjutna vilket medför att säkerhetsfunktionen reaktivitetskontroll inte är aktuell vid kall avställd reaktor.

2.3.2.2 Tryckavsäkring

System 314 har som primär uppgift att tryckavsäkra reaktortanken vid konstant tryck eller vid trycknedtagning genom att blåsa ut ånga via säkerhetsventilerna från reaktortanken ned till kondensationsbassängen vid konstant tryck eller vid trycknedtagning. Systemets funktion är aktuell då ångtillförseln till turbinanläggningen är avstängd samtidigt som en störning i reaktordriften inträffar. Systemets viktigaste uppgift är att tryckavsäkra reaktortanken för att undvika att tanken övertrycks. Systemet består av 12 säkerhetsventiler som helt mekaniskt skall öppna när reaktortrycket överstiger 80 bar. Om tryckavsäkringen med de 12 säkerhetsventilerna skulle misslyckas finns det fyra diversifierade vattenblåsande ventiler som skall fungera som reserv till de ordinarie ventilerna [11].

Vid kallavställning behövs tryckavsäkring endast då reaktortanklocket är monterat (den största delen av avställningsperioden är reaktortanklocket bortmonterat).

2.3.2.3 Härdsnödkylning

För härdsnödkylning används hjälpmatarvattensystem (system 327) och/eller nödkylsystem för reaktorhärden (system 323) tillsammans med tryckavsäkring med system 314 för att skydda reaktorn mot överhettning vid olika typer av rörbrott. Med lyckad härdsnödkylning avses att härden hålls vattentäckt då den normala matarvattenfunktionen (system 415) inte fungerar eller av andra orsaker inte är tillgänglig.

System 327 består av fyra separata och av varandra oberoende stråk som kan tillföra reaktortanken vatten med flödet 25 kg/s. System 327 tar vatten från en extern tank med avsaltat vatten (system 733) och skall klara av att få in vatten i reaktortanken (reaktortanken) vid högt tryck, upp till 80 bar [14].

System 323 består av fyra separata och av varandra oberoende stråk och kan tillföra reaktortanken vatten med en mycket hög kapacitet. System 323 tar vatten från kondensationsbassängen och har en större kapacitet än 327 men kräver att trycket i reaktorn tagits ned till under 10 bar.

Vid kall avställd reaktor är system 415 inte tillgängligt då systemet är bortkopplat. Under kall avställd reaktor finns även möjligheten till att spädmata reaktortanken och bränslebassängen med bland annat vatten från tank 733 eller från brandvattentanken (system 762) [15].

2.3.2.4 Resteffektkylning

För att ta ned temperaturen ytterligare krävs det kylning av vattnet i reaktortanken. Om resteffektkylningen lyckas kommer spädmattning med system 323 inte att fungera i långtidsförloppet då pumparna antas kavitera. Dessutom riskeras inneslutningens integritet. Vid effektdrift är det första alternativet till resteffektkylning kylning genom kylkedjan 322/711/715. Kylkedjan skall alltid startas vid ett snabbstopp. Om inte system 322 lyckas med kylning kan istället system 321 överta kylningen. System 321 är kylsystemet för kall avställd reaktor och har två huvuduppgifter. Systemet används vid nedgången till kall avställd reaktor för att kyla vattnet i reaktortanken. Systemet förser reningssystemet (system 331) med reaktorvatten. System 331 har i uppgift att rensa bort lösa föroreningar i vattnet för att upprätthålla en bra

vattenkemi. Vid kall avställning när reaktortanklocket är bortmonterat och reaktortanken är toppfylld och luckorna mellan reaktortanken och bränslebassängerna är öppna kan system 321 tillsammans med kyl- och reningssystemet för bränslebassängerna, (system 324), kyla bort resteffekten i dels bränslebassängerna och dels reaktortanken. Under övriga driftlägen och när bränslebassängerna och reaktortanken inte är ihopkopplad skall system 324 enbart kyla bränslebassängerna. Vid kall avställd reaktor skall både system 321 och 324 ha kapacitet att ensamma kyla bort resteffekten så att underhåll kan genomföras på respektive systemen. Vid kall avställd reaktor kan även system 322 användas för resteffektkylning [6].

2.3.2.5 Säkerhetssystem under revision

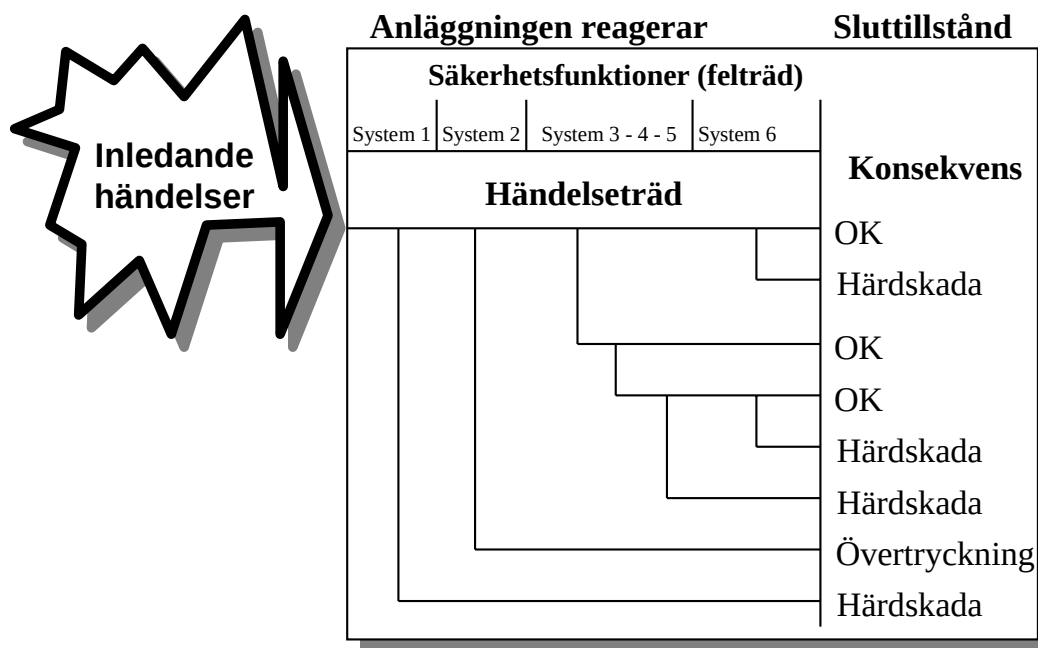
Under revisionsavställning skall härden hållas täckt med vatten antingen genom resteffektkylningen med hjälp av system 322, 321 eller 324 och på så sätt behålla vattnet i reaktortanken eller genom att spädmatning med system 323 eller 327. Alternativt kan reaktortanken, bränslebassängerna eller kondensationsbassängen spädmatas med vatten från antingen system 733 eller system 762.

3 Teori

I detta kapitel ges en teoretisk bakgrund till PSA och de olika moment som krävs för att genomföra denna analys.

3.1 PSA

Syftet med PSA är att skapa en grundläggande modell av en specifik anläggning där samtliga funktioner som påverkar säkerheten finns representerade. PSA-studien kan analyseras för tre olika nivåer. Nivå 1 beskriver hur anläggningen hanterar en inledande händelse eller andra störningar. I analysen för nivå 1 beräknas en frekvens för hur många gånger per år konsekvensen härdskada kan antas inträffa. I analysen för nivå 2 används resultaten från nivå 1 för att beräkna en frekvens för hur ofta en härdskada som leder till utsläpp av radioaktiva ämnen till omgivningen kan förväntas. Även sammansättningen av utsläppen analyseras, samt hur stort det radioaktiva utsläppet till omgivningen kommer att bli. I nivå 3 användes resultaten i nivå 2 för att analysera hur människor, djur och växtlighet kommer att påverkas av utsläppet. Syftet är att svara på frågor som hur många människor som kommer påverkas av utsläppet eller hur stora landområden som kommer kontamineras. Denna analys kommer genomföras på nivå 1, men kommer förutom härdskada även analysera ett antal andra sluttillstånd. Resultaten från PSA-studien kan användas till flera områden. Några av tillämpningarna är identifiering av förbättringsområden, som kan användas vid beslutsfattande angående anläggningsändringar, utvärdera olika säkerhetstekniska dokument så som exempelvis STF eller till underhållsoptimering. I PSA-modellen bygger på resultat från så kallade deterministiska analyser. Dessa analyser använder fysikaliska samband i olika system. Den deterministiska analysen används även för att beräkna vilka påfrestningar som anläggningen klarar, exempelvis hur många tryckavskärade ventiler som måste fungera för att tanken skall klara trycket vid en viss händelse. En PSA-studie innehåller ett antal huvudaktiviteter. Till att börja med måste det beslutas om vilken omfattning studien skall ha. Därefter måste det identifieras vilka inledande händelser som kan inträffa och ifall de kan grupperas i kategorier. Därefter måste kartläggning genomföras av hur anläggningen kommer att reagera vid den inledande händelsen. Detta genomförs genom att undersöka hur händelsesekvenserna efter den inledande händelsen ser ut, vilket innebär identifiering av vilka funktioner som krävs för att föra reaktorn till ett säkert sluttillstånd. Därefter kartläggs varje enskild funktion som skall beaktas i modellen. Först när kartläggningen av inledande händelser, sekvenser och funktioner är klar kan modellering av fel- och händelsesträd genomföras.



Figur3: Översiktlig bild av PSA-analysen.

Figur 3 ger en översiktlig bild av identifieringen av sekvenser och konsekvenser för en inledande händelse [7].

3.2 Inledande händelse analys

En inledande händelse är en störning i anläggningen som kräver att en eller flera automatiska eller operatörsinitierade åtgärder lyckas för att föra anläggningen till ett "säkert" och "stabil" sluttillstånd där utebliven åtgärd medför risk för ett fortsatt förlopp som kan leda till utsläpp av radioaktivt material till omgivningen [16].

I ett så pass komplext system som ett kärnkraftverk finns det ett mycket stort antal inledande händelser. Att hantera alla dessa händelser separat skulle inte vara möjligt. Istället grupperas de olika händelserna beroende på hur den efterföljande sekvensen ser ut. Exempelvis finns det ett antal händelser som leder till bortfall av matarvattensystemet, vilket skulle kunna beror på felaktig reglering eller fel på matarvattenpumparna. Båda dessa inledande händelser grupperas in i gruppen matarvattenbortfall. Vid kall avställning är mänskligt felhandlande orsaken till de flesta inledande händelserna till skillnad från effektdrift då majoriteten av de inledande händelserna beror på tekniska eller externa orsaker. En stor inventering av vilka inledande händelser som är möjliga under kall avställning har gjorts inom det så kallade NOG-projektet ("Säkerhet under revisionsavställning") [16]. Utifrån NOG-projektet har de händelser som är aktuella för revisionsavställningen av Forsmark 1 och 2 identifierats.

I PSA-modellen för kall avställd reaktor finns ett antal inledande händelser. Dessa är uppdelade i olika kategorier.

- Reaktivitetsmissöden
- Läckage från reaktortank (LOCA)
- Bortfall av resteffektkylning
- Övertryckning av RCPB

- Common Cause Initiator (CCI)
- Externa händelser
- Tappat lyft
- Tappad bränslepatron
- Oavsiktlig friläggning av använd bränslepatron

3.2.1 Inledande händelse i befintlig modell

I denna analys kommer det utgå ifrån redan fördefinierade inledande händelserna när det skall undersökas vilka som är möjliga under 2009. Dessa inledande händelser finns redan modellerade i RiskSpectrum. I PSA-modellen av reaktoravställningen 2009 kommer dessa inledande händelser delas in i fyra huvudkategorier; inre läckage, yttre läckage, transienter samt CCI:er [21].

3.2.1.1 Inre läckage

Ett inre läckage innebär helt enkelt läckage från reaktortanken ut till reaktorinneslutningen. I denna kategori kommer endast händelser som initieras av manuella ingrepp att undersökas. Läckage som uppstår spontant på grund av exempelvis sprickbildning kommer alltså inte analyseras. Anledningen till detta är att trycket i reaktortanken är mycket lägre än under effektdrift så det antas att om inga sådana läckage skett under effektdrift kommer de heller inte ske under kall avställd reaktor. Inre läckage kan delas upp i två kategorier; läckage över hårdnivå respektive läckage under hårdnivå.

3.2.1.2 Yttre läckage

Samma förutsättningar som vid inre läckage gäller även här men till skillnad från dem kommer ett yttre läckage att innebära ett utflöde utanför inneslutningen om inte läckaget isoleras. Detta kommer självklart att leda till värre konsekvenser än ett inre läckage. Anledningen till detta är att ett yttre läckage inte ger möjligheten att återbörda vattnet till reaktortanken, eftersom det inte leds ner till kondensationsbassängen. Liksom vid de inre läckagen kommer det att skiljas på läckage som är över hårdnivå respektive läckage som är under hårdnivå.

3.2.1.3 Transienter

I denna huvudkategori ingår reaktivitetsmissöde, bortfall av resteffektkylning, tappat lyft och övertryckning av primärsystemet. Ett reaktivitetsmissöde är en sekvens som leder till att lokal kriticitet uppstår i antingen reaktortanken eller bränslebassängen. Bortfall av resteffektkylning innebär att funktionen tappas hos system 324 eller 321 (gäller inte de händelser som inbegriper läckage på 321 eller 324) [16]. Tappat lyft är en händelse som innebär att ett lyft med traversen misslyckas. I denna studie kommer endast händelser som innebär tapp av reaktortanklock, ångseparator, fuktavskiljare och moderatortanklock att undersökas.

3.2.1.4 CCI

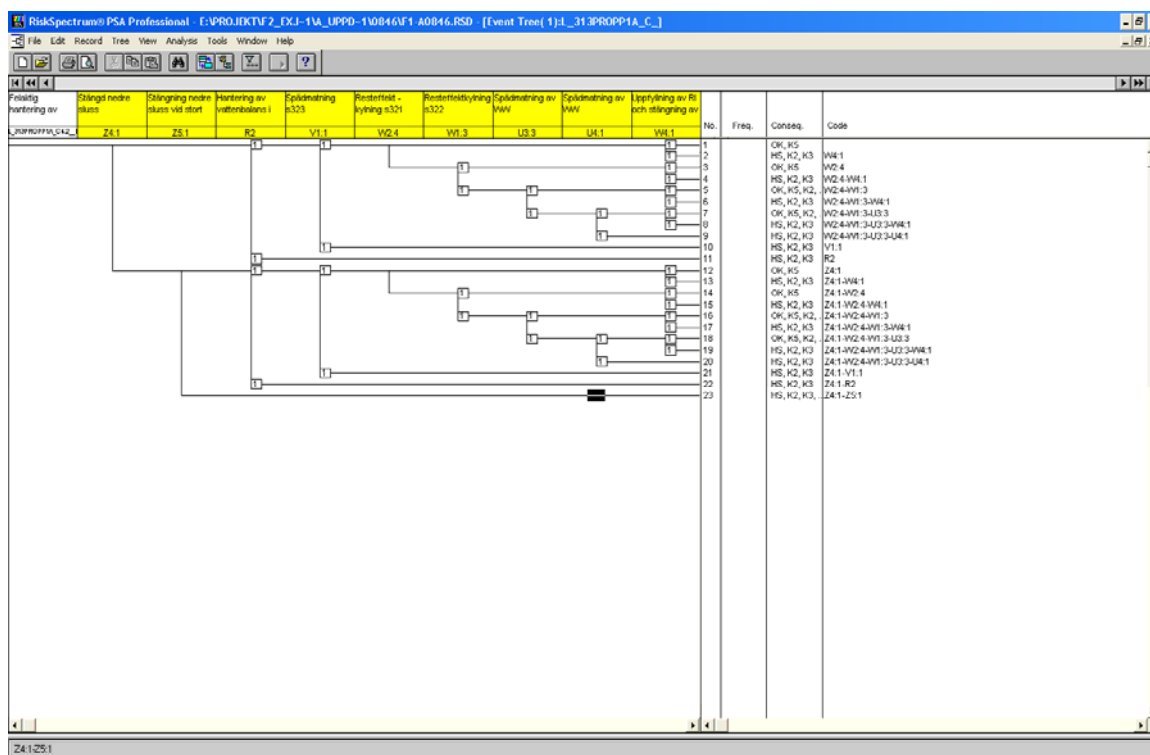
Definitionen av en CCI-händelse under kall avställning är att en eller flera funktioner krävs för att föra anläggningen till ett säkert tillstånd. Samtidigt skall en CCI-händelse medföra en försämrad eller utebliven funktion hos en eller flera av dessa funktioner. Typiska CCI-händelser är bortfall av elskenor som kraftmatar olika system i

anläggningen. Ett annat exempel är bortfall av ett hjälpsystem som används till flera olika system [16].

3.3 Sekvensanalys (Händelseträd)

I sekvensanalysen sker identifiering av dels vilka funktioner som krävs för att i första hand undvika hårdskada, och dels i vilken ordning de krävs. Sekvensen består av de olika barriärer som finns i de flesta säkra system. Varje barriär består av en funktion som är modellerad som ett felträd. Barriärerna är till för att skydda anläggningen från att hamna i ett icke önskat sluttillstånd ². Sekvensanalysen utgår från de olika inledande händelser som identifierats tidigare. Givet att den inledande händelsen inträffat kommer det krävas att ett antal säkerhetsfunktioner skall fungera för att hårdskada skall undvikas. Händelseträdets skall modelleras från höger till vänster och skall modelleras i rätt tidsordning, dvs. funktionerna skall hamna i samma tidsordning som det funktionsbehov som uppstår [18].

I figur 4 ges ett exempel på hur ett händelseträd ser ut i *RiskSpectrum*. Exemplet motsvarar samma händelse som i exemplet på blockdiagram.



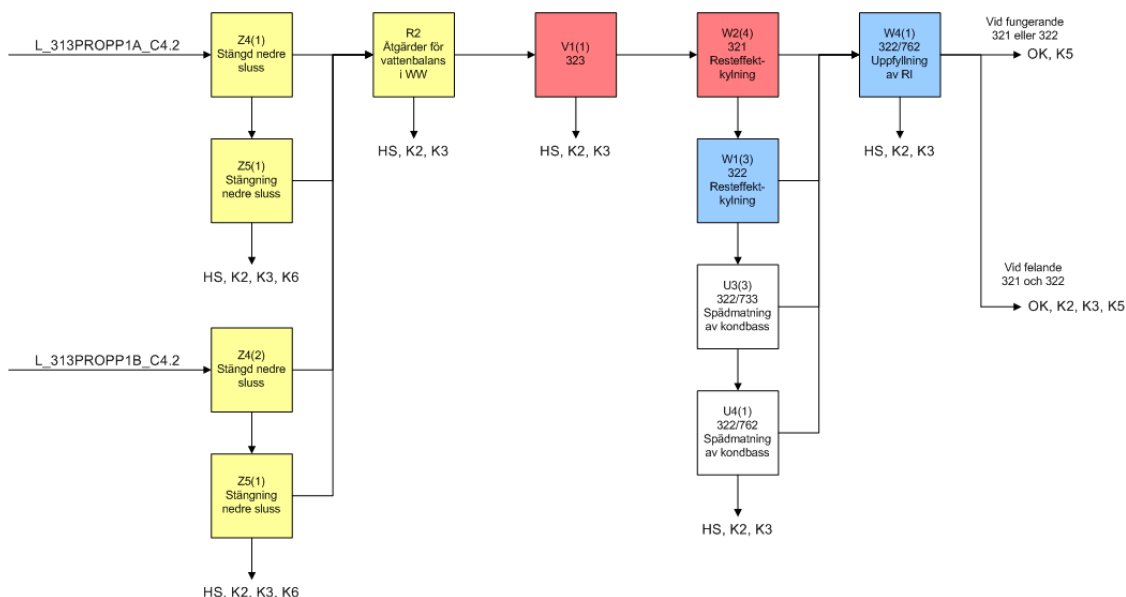
Figur 4: Exempel på ett händelseträd.

3.3.1 Blockdiagram

Sekvensanalyserna modelleras och presenteras i normala fall i form av blockdiagram. I blockdiagrammet redovisas varje funktion i form av ett så kallat funktionsblock (dvs. en box). Blockdiagrammet inleds med en inledande händelse, varefter diagrammet följs från vänster till höger. Om en funktion lyckas sker en förflyttning åt höger i blockdiagrammet, men om den misslyckas sker en förflyttning nedåt. Blockdiagrammet slutar antingen med ett misslyckat förlopp då en förflyttning nedåt till slut leder till ett icke önskat sluttillstånd, alternativt ett lyckat förlopp som slutar längst till höger i

² Mer om vilka sluttillstånd som gäller i denna studie återfinns i kapitel 4.

blockdiagrammet och leder till ett önskat sluttillstånd. I figur 5 nedan ges en illustration av ett blockdiagram för LOCA i system 313. Det motsvarar även händelseträdet som fungerade som exempel tidigare. Ett exempel på hur blockdiagrammet för LOCA i system 313 ser ut ges i figur 5.

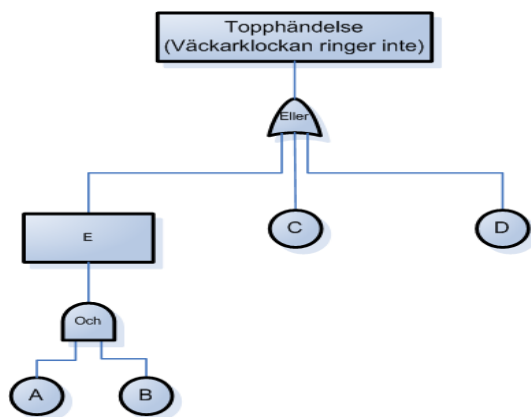


Figur 5: Exempel på ett blockdiagram

3.4 Systemanalys (Felträd)

Felträdsanalysen introducerades för första gången 1962 av Bell Telephone Laboratories i samband med säkerhetsarbetet kring ett avfyrningssystem för missiler. De ville helt enkelt säkerhetsställa att missilerna inte avfyrares av misstag. Felträdstekniken vidareutvecklades sedan av Boeing. I och med datorernas framfart började också dataprogram som anammade felträdstekniken utvecklas. Felträdsanalys är en effektiv metod för att logiskt bygga upp modeller över komplexa system. Ett felträdsdiagram åskådliggör beroenden och relationer mellan olika orsaker till en kritisk händelse.

Utgångspunkten i felträdsmodellen är oönskade händelser som skall analyseras. Den oönskade händelsen kallas för topphändelsen, och resultatet av felträdsanalysen blir en frekvens för att topphändelsen skall inträffa. Därefter definieras vilka olika potentiella händelser som kan orsaka topphändelsen. Dessa händelser kopplas sedan till topphändelsen genom logiska grindar. De vanligaste grindarna är "och-grindar" samt "eller-grindar". Felträdet konstrueras genom att bryta ned det kausala samband som leder till topphändelsen. Orsakerna kommer att placeras i den ordning de sker i den tänkta kausala orsakskedjan. De händelser som hamnar längst ned i trädet kallas för bashändelser. Dessa händelser antar med en viss sannolikhet värde 1 eller 0 dvs. antingen har händelsen inträffat eller så har den inte inträffat. Med hjälp av felträdet kan sedan olika kombinationer av bashändelser som kan leda till topphändelsen identifieras. Minimerade kombinationer av händelser som kan leda till topphändelsen kallas för ett minimal cut set (MCS). Inom PSA analyser användes felträd för att modellera sannolikheten för att en enskild funktion i systemet inte fungerar. Topphändelsen kommer således att innebära att en funktion inte fungerar. För att åskådliggöra hur felträdsmetodiken fungerar presenteras ett enkelt exempel i figuren nedan [23].



Figur 6 – exempel felträd.

Topphändelsen i detta exempel är den oönskade händelsen att väckarklockan inte ringer den tid som den ska ringa. Att väckarklockan inte ringer kan bero på ett antal orsaker. Antingen har väckarklockan ingen strömförsörjning (händelse E). Att väckarklockan inte ringer kan också orsakas av att man glömt att sätta på larmfunktionen i väckarklockan (händelse C). En annan orsak skulle kunna vara att det är ett mekaniskt fel på väckarklockan (händelse D).

Ingen av dessa händelser får inträffa för att larmfunktionen skall vara tillgänglig. Men eftersom felträdsanalysen resulterar i en sannolikhet för att systemfunktionen är otillgängligheten vänds resonemangen d.v.s. väckarklockan är otillgänglig om någon av händelserna E, C eller D är uppfyllda. Händelsen E är uppdelad i två olika bashändelser, för att. Väckarklockan inte ska få ström krävs dels att strömmen i vägguttagen av någon anledning inte fungerar (händelse A) samt att batterierna som skall fungera som reservsystem för strömförsörjningen är slut (händelse B). De MCS som finns i systemet kan enkelt identifieras, de MCS som finns i systemet A och B eller B respektive C.

3.4.1 Beroendeanalys

I ett så pass komplext system som ett kärnkraftverk finns det många olika källor till beroenden mellan olika komponenter och funktioner. I beroendeanalysen undersöks vilka beroenden som finns i modellen. Dessa används sedan till systemanalysen för att få en komplett modell. De olika beroendena kan delas in i ett antal kategorier några av dessa är:

Funktionella beroenden – ett visst objekts funktion kan vara beroende av andra system för att kunna fungera. Exempelvis kräver flera olika pumpar i ett system att de kraftmatas från en och samma elskena. Det kan som exempel också finnas objekt som är beroende av samma källa till rumskylning.

Common Cause Failure (CCF) – Som tidigare nämnts är säkerheten vid Forsmark uppbyggd enligt filosofin med redundanta system. Med ett redundant system menas att systemet är uppbyggt med flera parallella objekt som vart och ett kan fullgöra systemets uppgift. Dessa redundanta objekt kan ibland uppvisa inbördes beroenden. Det kan t.ex. vara så att de är tillverkade av samma leverantör eller blivit monterade av samma montör. Denna typ av beroenden kallas CCF och kan kortfattat definieras som att multipla fel hos objekt som ingår i redundanta system inträffar inom en kort tidshorisont.

I beroendeanalys kartläggs alltså denna typ av beroende och gör modellen mer realistisk [19].

3.5 Konsekvenserna

Konsekvenserna i PSA-modellen beskriver de olika sluttillstånd som kan erhållas efter en inledande händelse. Om de funktioner som krävs för en lyckad sekvens fungerar kommer konsekvensen ”OK” att uppnås. Om däremot de funktioner som krävs för en lyckad sekvens inte lyckas så kommer ett oönskat sluttillstånd erhållas.

I de ordinarie PSA analyserna av Forsmark är de oönskade sluttillstånden härdskada (HS) eller övertryckning av reaktortanken (ÖT). I denna analys kommer modellen att komplettera så att ett antal andra konsekvenser ska kunna analyseras.

3.6 Identifiering av faser

I detta moment bestäms vilka faser som skall användas och vilka händelser som inträffar i respektive fas. Till skillnad från effektdrift ändras förutsättningarna vid kall avställd reaktor med avseende på vilka system som finns tillgängliga samt vilka krav på säkerhetsfunktioner som finns. Vid kall avställd reaktor kommer tillgängligheten av systemen styras av flera olika parametrar, och förutsättningarna ändras bland annat om primärsystemet är öppet eller stängt. Dessutom kommer resteffekten att avta ju längre tid som har gått av avställningsperioden, vilket i sin tur innebär att kraven på resteffektkylningen förändras och att tidsaspekten vid vissa ingrepp blir längre. Utöver detta styrs faserna av de krav som ställs i driftkriterierna och STF, eftersom dessa ställer olika krav på systemen beroende på hur lång tid avställningen har pågått.

Som nämnts tidigare inleds avställningsfasen när vattentemperaturen i reaktortanken är lägre än 100 °C samt driftomkopplaren är ställd i läge ”0”, eller när samtliga styrtavar är inkörda i härden. Resteffektkylningen sker nu med system 321 mot reaktortanken och system 324 mot bränslebassängerna. När väl avställningsfasen påbörjats är det första momentet att toppfylla reaktortanken med vatten. När den är fylld med vatten monteras reaktortanklocket av, varefter påfyllningen av vatten i reaktortanken och C-bassängen fortsätter. När hela C-bassängen är fylld med vatten kan system 321 och 324 kopplas samman så att de tillsammans kyler den gemensamma vattenmassan. I och med att momentet nukleär värmning påbörjas är avställningsläget enligt definitionen avslutat [21].

I analysen av kall avställd reaktor av Forsmark 2 har följande faser använts.

Tabell 1: Faser under revisionen 2009

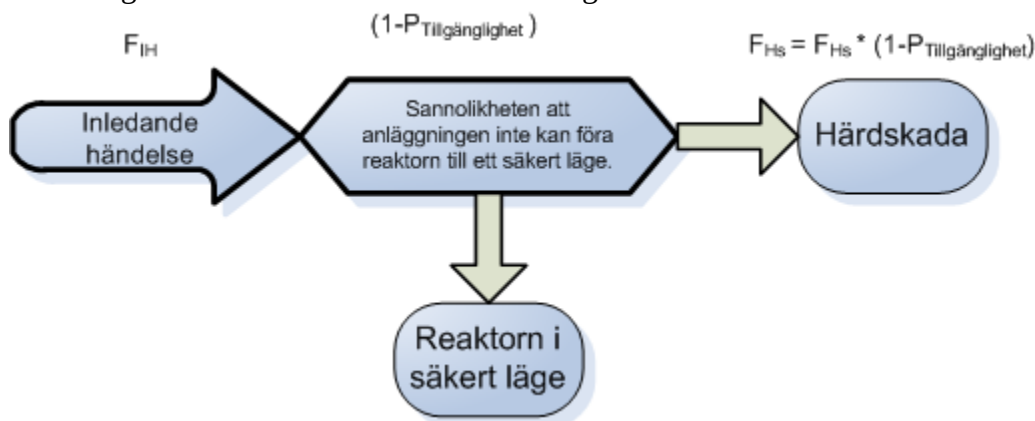
Fas	Slutet/öppet primärsystem	Nivå reaktortank/ C-bassäng	Driftläggning resteffektkylning
Fas1	Slutet	Normal	321 mot reaktortank 324 mot bassänger
Fas2	Slutet	Toppfyllning/ toppfylld	321 mot reaktortank 324 mot bassänger
Fas3	Öppet	Tom C-bassäng	321 mot reaktortank 324 mot bassänger

Fas4	Öppet	Fylld C-bassäng	321 mot reaktortank 324 mot bassänger
Fas4	Öppet	Fylld C-bassäng	321 och 324 ihopkopplade
Fas4	Öppet	Fylld C-bassäng	324
Fas4	Öppet	Fylld C-bassäng	321 mot reaktortank 324 mot bassänger
Fas5	Öppet	Tom C-bassäng	321 mot reaktortank 324 mot bassänger
Fas6	Slutet	Normal	321 mot reaktortank 324 mot bassänger

3.7 Beräkningar av konsekvenser och beräkningar i RiskSpectrum

För att genomföra beräkningar för att topphändelsen i felträden skall inträffa och för att beräkna sannolikheten för att olika konsekvenser i händelseträdet skall inträffa används programmet Risk SpectrumTM. Detta program kommer från leverantören Relcon och har används under många år. I denna analys kommer modellen byggas upp genom att använda resultaten från sekvensanalysen och sedan överföra resultatet till händelseträden i RiskSpectrum. De olika boxarna i blockdiagrammet motsvaras av funktioner i överkanten i händelseträdsvyn. Om en funktion lyckas utförs en förflyttning horisontellt till höger och om en funktion misslyckas görs en förflyttning nedåt i blockdiagrammet. På detta sätt byggs noder för de olika sekvenserna (se figur 5). Varje funktion i händelseträdsvyn är länkad till ett felträd vilket skapas utifrån en kartläggning av de olika systemen. Felträden är som beskrevs i kapitel 3.1.3 uppbyggda av bashändelser kopplade till logiska grindar, oftast ”och-grindar ”alternativt” eller-grindar”.

För att beräkna sannolikheten för att en viss inledande händelse orsakar en härdskada beräknar RiskSpectrum först frekvensen för den specifika inledande händelsen. I RiskSpectrum beräknas sedan den totala otillgängligheten för varje händelsesekvens i händelseträdet. Denna totala otillgänglighet multipliceras sedan med frekvensen (i denna analys sannolikheten) för den inledande händelsen. Produkten blir då en sannolikhet att den specifika konsekvensen skall inträffa [20]. I figur 7 illustreras beräkningen av sannolikheten för härdskada givet en viss inledande händelse.



Figur 7 – Beräkning av frekvens för härdskada.

3.7.1 Analysfall

För varje identifierad inledande händelse som kan inträffa under reaktoravställningen 2009 skapas ett analysfall i RiskSpectrum som sedan analyseras enligt metodiken i kapitel 3.

För varje inledande händelse kommer fyra olika analysfall att skapas för vilka barriären mot de olika konsekvenserna beräknas med hjälp av RiskSpectrum. De analysfall som analyseras är:

- A/C sub finns tillgänglig och kondensationsbassängen är fylld.
- B/D sub finns tillgänglig och kondensationsbassängen är fylld.
- A/C sub finns tillgänglig och kondensationsbassängen är tom.
- B/D sub finns tillgänglig och kondensationsbassäng är tom.

3.8 Om HRA i denna studie

Under kall avställning finns det flera gynnsamma faktorer med avseende på risken för en härdskada. Vid kall avställning är effekten mycket lägre än vid effektdrift detta eftersom samtliga styrtavar är inkörda i härden och den enda effekt som utvecklas är resteffekten. Temperaturen har också tagits ned till under 100°C och trycket är 1 bar. Dessa faktorer medför exempelvis att risken för spontana brott på rör är obefintliga. Tyvärr finns även mindre gynnsamma faktorer under kall avställning som gör att detta effektläge tillför ett relativt stort bidrag till den totala risken. Detta beror på att det under kall avställning sker många mänskliga ingrepp samtidigt som flera barriärer i form av säkerhetsfunktioner inte finns tillgängliga på grund av exempelvis underhåll. Med anledning av dessa omständigheter är det viktigt med att göra en gedigen analys av mänskligt felhandlande.

Analysen av manuella ingrepp är uppdelad i två steg. I det första steget genomförs en så kallad screeninganalys av vilka mänskliga ingrepp som kan leda till de inledande händelser som redan är identifierade i NOG-rapporten [24]. Genom att intervjua operatörer och revisionsarbetare kan sedan sannolikheter uppskattas för de mänskliga handlingar som kan leda till att en incident inträffar. Dessutom analyseras möjligheten till handlingar som kan återställa felet som ett visst ingrepp lett till. Det krävs således både att ett mänskligt ingrepp som leder till en inledande händelse inträffar samtidigt som återställning av ingreppet misslyckas för att den inledande händelsen skall inträffa. När screeninganalysen är klar analyseras vilka bidrag de olika ingreppen har på den totala härdskadefrekvensen. De händelser som ger ett stort bidrag analyseras sedan en gång till men denna gång mer noggrant. De övriga händelserna utelämnas i analysen då bidraget från dessa anses vara försumbara.

I analysen är de mänskliga felhandlingarna uppdelade i tre olika typer:

- Typ A, en felhandling som genomförs innan den inledande händelsen utan att vara den direkt utlösande faktorn.
- Typ B, en felhandling som direkt startar en inledande händelse eller en handling som medför att mänskligt ingrepp som direkt stoppar händelseutvecklingen misslyckas.

- Typ C, innebär att det en tid efter den inledande händelsen misslyckas med en förhindring eller mildring av konsekvenserna av den [27].

I den befintliga HRA analysen av kall avställd reaktor har 23 stycken ingrepp av typen A och/eller B samt 11 ingrepp av typen C identifierats. Den typ av ingrepp som inverkar mest på härdskadefrekvensen är händelser av typen A [10].

4 Modellanpassning

Som tidigare nämnts måste den befintliga modellen för kall avställd reaktor att anpassas så att revisionen 2009 blir möjlig att analysera. I föreliggande kapitel redovisas de faktorer som modellen är anpassad till. Modellen kommer först att modifieras med avseende på de inledande händelser som är möjliga under revisionen 2009. Bara de händelser som är möjliga skall ingå i den modifierade modellen. Dessutom måste sannolikheten för den inledande händelsen beräknas om eftersom sannolikheten för den inledande händelsen är beroende av den specifika revisionen. Sedan presenteras de nya konsekvenserna som modellen kompletterats med. Modellen kommer även att modifieras så att funktioner enkelt kan slås av respektive slås på beroende på ett antal faktorer. Den första faktorn är huruvida kondensationsbassängen är fylld respektive tömd, medan den andra faktorn är vilka funktioner som krävs med avseende på de olika dokument som tidigare beskrivits (STF, driftinstruktioner och driftkriterier). Den sista faktorn är ifall A/C-sub alternativt B/D-sub inte är tillgänglig.

4.1 Inledande händelser under revisionen 2009

För att identifiera vilka inledande händelser som kan inträffa under revisionen 2009 kommer den tidsplan som är framtagen att utnyttjas. Ur tidplanen som delvis presenteras i kapitel 2.2.1 kommer det att framgå vilka aktiviteter som ska genomföras samt när under revisionsperioden de kommer att ske. Dessutom framgår det av tidplanen när under revisionen som A/C-sub respektive B/D-sub kommer ställas av samt under vilken period som kondensationsbassängen kommer att vara tömd. Utifrån tidplanen för 2009 års revision av Forsmark 2 antas följande arbeten kunna medföra en inledande händelse:

- Arbete på system 313 (2 st. huvudcirkulationspumpaxlar).
- Arbete PRM-sonder (7 st).
- Arbete 211 (2 st. ventiler).
- Arbete 411 (samtliga inre 411 ventiler).
- Arbete 314 (5 st. ventiler).
- Arbete 321 (2 st. ventiler).
- Arbete 323.
- Arbete drivdon, service på 11 st.
- Tapp av RT-lock, ångseparator, fuktavskiljare, moderatortanklock.
- Felladdning av bränslepatron i supercell där styrtaven är utmanövrerad.

Samtliga manuellt initierade händelser kan endast inträffa under fas 4.

De inledande händelser orsakade av tekniska fel, som kommer analyseras RA-09 är:

- Bortfall av system 321 under fas 1 och 6.
- Bortfall av system 321 under fas 2.
- Bortfall av system 321 under fas 3 och 5.
- Bortfall av system 321/324 under fas 4.

Utöver dessa händelser kan även ett antal CCI:er inträffa samt händelsen yttre nätbortfall.

Figur 8 redovisar vilka inledande händelser som är möjliga under reaktoravställningen 2009, samt när under revisionen de kan inträffa.

Inledande händelse	Arbete på B/D	Arbete på B/D + tom kondbass	Arbete på A/C + tom kondbass	Arbete på A/C
CCI:er (4 fall)	JA	JA	JA	JA
Yttre nätbortfall	JA	JA	JA	JA
Bortfall av system 321, fas 1	JA	NEJ	NEJ	NEJ
Bortfall av system 321, fas 2	JA	NEJ	NEJ	NEJ
Bortfall av system 321, fas 3	JA	NEJ	NEJ	NEJ
Bortfall av system 321, fas 4	JA	JA	JA	JA
Läckage i system 221 (Litet inre läckage)	JA	NEJ	NEJ	NEJ
Läckage i system 313 (S tor inre LOCA under härd. 2 Fall)	JA	JA	JA	NEJ
Läckage i system 314 (S tor inre LOCA över härd)	JA	JA	JA	JA
Läckage i system 314 (Medelstort inre LOCA över härd)	JA	JA	JA	JA
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	JA	JA	JA	JA
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	JA	JA	JA	JA
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över härd)	JA	JA	JA	JA
Läckage vid arbete med sondrör, litet inre läckage under härd. (2 fall)	JA	NEJ	NEJ	NEJ
Läckage i system 411 (S tort yttre läckage, över härd, 3 fall)	JA	JA	JA	JA
Obefogad start av matarvatten	JA	NEJ	NEJ	NEJ
Temperaturökning i bassängerna pga. av återcirkulation.	JA	JA	JA	JA
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrstaven är utmanövrerad.	JA	JA	JA	JA
Tapp av RT-lock, ångseparator, fuktavskiljare, moderatortanklock	JA	NEJ	NEJ	JA

Figur 8 – Möjliga inledande händelser under reaktoravställningen 2009.

4.1.1 Kvantifiering av inledande händelser

För de händelser som orsakas av mänskligt felhandlande kommer den befintliga HRA-analysen att användas. I denna analys har intervjuer genomförts med kontrollrumspersonal och med personer som arbetar med att utföra olika jobb under revisionen. Utifrån dessa intervjuer har sannolikheterna för att de olika mänskliga felen kan inträffa uppskattats [10].

Även vid analys av tekniska fel kommer den befintliga modellen att användas. De händelser som orsakas av tekniska fel är i denna analys:

- Bortfall av resteffektkylningen.
- CCI.
- Externa händelser (yttre nätbortfall).

Vid beräkningen av sannolikheterna för de olika inledande händelser som kan inträffa under reaktoravställningen 2009 kommer samma beräkningsmodell som för den befintliga PSA-modellen att användas. I denna analys kommer dock dessa beräkningar att modifieras med avseende på de förhållanden som råder under reaktoravställningen 2009. Förhållanden som påverkar frekvensen för de olika inledande händelserna är vilka olika arbeten som kommer genomföras, hur många objekt eller komponenter som berörs samt hur lång tid ingreppen tar.

Hur frekvensen för respektive inledande händelse beräknas framgår av bilaga 1. När beräkningen för den specifika inledande händelsen har anpassats till de omständigheter som råder under reaktoravställningen 2009 kommer frekvensen ersättas med en sannolikhet för att den specifika inledande händelsen skall inträffa under reaktoravställningen 2009. Denna sannolikhet skall sedan fördelas beroende på när under revisionsperioden som den inledande händelsen kan inträffa.

Utifrån tidplanen kan sannolikheten för den inledande händelsen viktas med avseende på följande olika alternativ:

- arbete på A/C-sub.
- arbete på B/D-sub.
- arbete på A/C-sub och tom kondensationsbassäng.
- arbete på B/D-sub och tom kondensationsbassäng.

Hur sannolikheten för den inledande händelsen är fördelad med avseende på sub-avställning och kondensationsbassäng framgår av bilaga 2.

Tabell 2 redovisar frekvensen för de olika inledande händelserna när B/D – suben är avställd.

Tabell 2: frekvens inledande händelser vid arbete på B/D sub.

Inledande händelse	PSA beteckning	P _{IH} , B/D	P _{IH} , B/D + tom kondensationsbassäng
Bortfall av system 321, fas 1	T 321STOPP 1BDC 1	1,4E-03	5,1E-02
Bortfall av system 321, fas 2	T 321STOPP 2BDC 1	1,4E-03	-
Bortfall av system 321, fas 3	T 321STOPP 3BDC 1	1,4E-03	-
Bortfall av system 321, fas 4	T 321STOPP 4BDC 1	1,1E-02	-
CCI, elskena 654B	C 654A BDC 1	2,3E-04	1,1E-03
CCI, elskena 654D	C 654C BDC 1	2,3E-04	1,1E-03
CCI, elskena 656B	C 656A BDC 1	2,3E-04	1,1E-03
CCI, elskena 656D	C 656C BDC 1	2,3E-04	1,1E-03
CCI, elskena 664B	C 664A BDC 1	2,5E-04	1,2E-03
CCI, elskena 664D	C 664C BDC 1	2,5E-04	1,2E-03
CCI, elskena 665B	C 665A BDC 1	6,3E-04	3,1E-03
CCI, elskena 665D	C 665C BDC 1	6,3E-04	3,1E-03
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrtaven är utmanövrerad.	T FELLADDN BDC 1	4,5E-07	2,2E-06
Läckage i system 221 (Litet inre läckage)	L 221DRIVDON BDC 1	1,1E-05	-
Läckage i system 313 (S tor inre LOCA under hård.)	L 313PROPP1A BDC 1	2,0E-06	9,9E-06
Läckage i system 313 (S tor inre LOCA under hård.)	L 313PROPP1B BDC 1	2,0E-06	9,9E-06
Läckage i system 313 (S tor inre LOCA under hård.)	L 313PROPP2 BDC 1	3,3E-09	1,6E-08
Läckage i system 314 (Medelstort inre LOCA över hård)	L 314VENTIL2 BDC 1	9,3E-03	4,4E-04
Läckage i system 314 (S tor inre LOCA över hård)	L 314VENTIL BDC 1	1,8E-05	8,9E-07
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över hård)	L 321VENTIL BDC 1	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över hård)	LY321VENTIL BDC 1	4,0E-04	-
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över hård)	L 323VENTIL BDC 1	2,0E-04	2,0E-04
Läckage i system 411 (S tort yttre läckage, över hård)	LY411SKALV BDC 1	5,0E-06	5,0E-06
Läckage i system 411 (S tort yttre läckage, över hård)	LY411SKALV2 BDC 1	5,0E-06	5,0E-06
Läckage i system 411 (S tort yttre läckage, över hård)	LY411PROV BDC 1	1,0E-06	1,0E-06
Läckage vid arbete med sondrör, litet inre läckage under hård.	L SONDROR1 BDC 1	7,0E-04	-
Läckage vid arbete med sondrör, litet inre läckage under hård.	L SONDROR2 BDC 1	2,0E-07	-
Obefogad start av matarvatten	T 415START BDC 1	1,0E-08	-
Tapp av RT-lock, ångseparator, fuktavskiljare, moderatortanklock	T TAPPINTERN BDC 1	2,0E-07	-
Tapp av RT-lock, ångseparator, fuktavskiljare, moderatortanklock	T TAPPLUCKA BDC 1	2,0E-07	-
Tapp av RT-lock, ångseparator, fuktavskiljare, moderatortanklock	T TAPPTOPP BDC 1	1,0E-07	-
Temperaturökning i bassängerna pga. av återcirkulation.	T ATERCIRK BDC 1	4,7E-07	2,3E-06
Yttre nätbortfall	E TE BDC 1	6,2E-03	3,0E-02

Den inledande händelsen med högst frekvens är bortfall av system 321 under fas 1 med tom kondensationsbassäng. Denna inledande händelse har frekvensen 5,1E-02 / år.

Tabell 3 redovisar frekvensen för de olika inledandehändelserna när A/C – suben är avställd.

Tabell 3: Frekvens inledande händelser vid arbete på A/C sub.

Inledande händelse	PSA beteckning	P _{IH} , A/C	P _{IH} , A/C + tom kondensationsbassäng
Bortfall av system 321, fas 4	T 321STOPP 4ACC 1	4,6E-02	5,3E-03
CCI, elskena 654B	C 654B ACC 1	9,9E-04	1,1E-04
CCI, elskena 654D	C 654D ACC 1	9,9E-04	1,1E-04
CCI, elskena 656B	C 656B ACC 1	9,9E-04	1,1E-04
CCI, elskena 656D	C 656D ACC 1	9,9E-04	1,1E-04
CCI, elskena 664B	C 664B ACC 1	1,1E-03	1,3E-04
CCI, elskena 664D	C 664D ACC 1	1,1E-03	1,3E-04
CCI, elskena 665B	C 665B ACC 1	2,7E-03	3,2E-04
CCI, elskena 665D	C 665D ACC 1	2,7E-03	3,2E-04
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrtstaven	T FELLADDN ACC 1	2,0E-06	2,2E-07
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under hård.)	L 313PROPP1A ACC 1	5,5E-07	-
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under hård.)	L 313PROPP1B ACC 1	5,5E-07	-
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under hård.)	L 313PROPP2 ACC 1	8,9E-10	-
Läckage i system 314 (Medelstort inre LOCA över hård)	L 314VENTIL2 ACC 1	1,0E-05	2,2E-04
Läckage i system 314 (Stor inre LOCA över hård)	L 314VENTIL ACC 1	2,1E-08	8,7E-07
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över	L 321VENTIL ACC 1	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över	LY321VENTIL ACC 1	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över	L 323VENTIL ACC 1	2,0E-04	2,0E-04
Läckage i system 411 (Stort yttre läckage, över hård)	LY411PROV ACC 1	1,0E-06	1,0E-06
Läckage i system 411 (Stort yttre läckage, över hård)	LY411SKALV ACC 1	5,0E-06	5,0E-06
Läckage i system 411 (Stort yttre läckage, över hård)	LY411SKALV2 ACC 1	5,0E-06	5,0E-06
Temperaturökning i bassängerna pga. av	T ATERCIRK ACC 1	2,0E-06	2,3E-07
Yttre nätbortfall	E TE ACC 1	2,7E-02	3,1E-03

Den inledande händelsen med högst frekvens är bortfall av system 321 under fas 1 med tom kondensationsbassäng. Denna inledande händelse har frekvensen 4,6E-02 / år.

4.2 Konsekvenserna

I den ursprungliga PSA-modellen för kall avställd reaktor kan analyser endast genomföras med avseende på topphändelsen härdskada (HS). För att kunna analysera andra topphändelser måste modellen kompletteras med nya konsekvenser. Förutom HS är de nya konsekvenserna som ska kunna analyseras:

- Kokning av C-bassäng (K2).
- Temperatur över 60°C i C-bassäng (K3).
- Spädmätning av C-bassäng med slang (K4).
- Bränsle i kontakt med brandvatten (K5).
- Utflöde från reaktorinneslutningen (K6).
- Utflöde från anläggningen (K7).

Anledningen till att dessa konsekvenser valts är att om de inträffar kommer de att på ett eller annat sätt innebära en mycket stor kostnad för Forsmark p.g.a. den långa avställning som då skulle ha skett för sanering av anläggningen. Det skulle även innebära en kostnad i form av "badwill". För att anpassa modellen till de nya konsekvenserna krävs ett noggrant arbete med att identifiera var i händelseträdet de nya konsekvenserna uppstår. Eftersom PSA-modellen för kall avställd reaktor består av 30 olika händelseträd där varje händelseträd har många olika sluttillstånd är detta arbete mycket tidskrävande. Varje sluttillstånd måste analyseras för att bestämma vilka konsekvenser som kommer att erhållas. I somliga fall krävs att händelseträdet utvidgas för att rätt konsekvens skall kunna bestämmas.

4.3 Kravställning på systemfunktioner

I kapitel 2 beskrevs de olika instanser som kan sätta krav på vilka system som skall vara tillgängliga under revisionen. Genom att noggrant undersöka dessa dokument kan en kartläggning göras av var varje funktion/system finns angiven. Beroende på var funktionen finns angiven kommer blocken i blockdiagrammet få olika färger, se figur 9.



Figur 9 – Blockdiagram - kravställda funktioner

Resultatet illustreras med nedanstående tabell.

Tabell 4: Funktioner i analysen av reaktoravställningen 2009

Funktion	Beskrivning	STF	Ev. DrKr RA-09	DI-2910	Alltid möjlig
M2:3	Tryckavsäkring system 314 diversifierad (N-kedja)	0	0	1	0
M2:4	Avtappning med system 314	0	1	0	0
R1	Recovery patron, styrtav eller 351	0	0	0	1
R2	Hantering av vattenbalans i RT, RI och kondensationsbassäng	0	0	0	1
R3	Portöppning mot C-bassängen	0	0	0	1
R4	Avtappning till kondensationsbassängen via system 324	0	1	0	0
R6	Korrigerande åtgärd avseende återcirkulation	0	0	0	1
T	Avlockning av reaktortanken	0	0	0	1
U1:3	Spädmätning med system 327	1	0	0	0
U3:1	Spädmätning av C-bassängen med system 733	0	0	1	0
U3:3	Spädmätning av kondensationsbassängen med system 733	0	1	0	0
U3:4	FAB av kondensationsbassängen med system 733 och 342	0	1	0	0
U3:5	Spädmätning av bassänger med slang från system 733	0	1	0	0
U4:1	Spädmätning av kondensationsbassängen med system 762	0	1	0	0
U4:2	FAB av kondensationsbassängen med system 762 och 342	0	1	0	0
U4:3	Spädmätning av bassänger med slang från system 762	1	0	0	0
V1:1	Spädmätning med system 323	1	0	0	0
V1:2	Nivå släpps till läckagenivå, ej manuell start av system 323	0	0	0	1
V1:3	Fyllning av C-bassängen med system 323	1	0	0	0
W1:3	Resteffektkylning med system 322	0	0	1	0
V2	Nivåreglering med hjälp av system 323	0	0	0	1
W2:4	Resteffektkylning med system 321 (omkoppling)	1	0	0	0
W2:5	Resteffektkylning med system 324	1	0	0	0
W2R	Återstart av resteffektkylning (321 och/eller 324)	0	0	0	1
W4:1	Uppfyllning av RI med system 762	0	0	1	0
Z4:1	Stängd nedre sluss	0	0	0	1
Z4:2	Stängd nedre sluss (felsannolikhets 1/behov)	0	0	0	1
Z5:1	Stängning nedre sluss (felsannolikhets 1/behov)	0	0	0	1
Z5:2	Stängning av nedre sluss	0	0	0	1
Z6	Isolering av läckage	0	0	0	1

4.4 Kondensationsbassäng

Eftersom kondensationsbassängen under en viss tid av revisionsperioden kommer vara tom måste en identifiering ske av vilka funktioner som är beroende av att det finns vatten i kondensationsbassängen för att kunna fylla sin funktion. Enligt tidsplanen kommer kondensationsbassängen att tömmas dag 4 (av totalt 42).

Kondensationsbassängen kommer sedan att vara tom i 22 dagar (fram till dag 26). De system som identifierats som direkt beroende av att det finns vatten i kondensationsbassängen är:

- Spädmätning med system 323.
- Resteffektkylning med system 322.

4.5 Modellförändringar

För att PSA-analysen skall kunna genomföras med olika konfigurationer måste ett antal modifieringar genomföras i modellen. Till och börja med måste modellen anpassas så att de nya konsekvenserna kan analyseras. Detta kommer leda till att händelseträden i vissa fall måste utökas med nya funktioner eftersom den ursprungliga modellen bara beskriver konsekvenserna OK respektive HS. Sluttillstånd som tidigare varit OK kommer alltså att utvecklas och delas in i de nya konsekvenserna. Vidare skall modellen göras mer detaljerad så att de nya konsekvenserna kan bestämmas.

Modellen kommer sedan att kompletteras med de nya konsekvenserna, vilket sker på händelseträdsnivå. I slutet på varje sekvens bestäms vilket sluttillstånd som kommer att erhållas. Eftersom denna analys innehåller ett antal nya konsekvenser måste

bedömningar göras vid varje sekvens för att kunna konstatera vilket sluttillstånd som kommer att inträffa.

Utifrån kartläggningen av var de olika funktionerna kravställs kommer sedan modellen att kompletteras med randvillkor (hushändelser) för att kunna aktivera eller inaktivera funktioner beroende på var den specifika funktionen finns kravställd, samt om funktionen slås ut om kondensationsbassängen är tom. Randvillkoren har placerats på de olika funktioner som stöds av de olika instanserna. Detta medför att funktionen enkelt kan inaktiveras genom att sätta randvillkoret till sant och aktiveras genom att sätta randvillkoret till falskt. Detta sker på felträdsnivå i PSA-modellen. Utöver detta har modellen i vissa fall också kompletterats då helt nya funktioner har införts i modellen. I de fall fel hittats i modellen har de naturligtvis korrigerats.

5 Beskrivning av de modifierade händelseträden

I detta avsnitt presenteras en del av det arbete som genomförts i uppdateringen av blockdiagram och modellen för kall avställd reaktor – Forsmark 2. Dokumenteringen av arbetet avgränsas till fyra inledande händelser. Varje inledande händelse skall beskriva en av de fyra olika typer av inledande händelser som ingår i modellen för kall avställning; dessa är LOCA under hård, LOCA över hård, förlorad resteffekt kylning och tappad last. Den inledande händelsen som presenteras skall vara typisk för just den kategorin av inledande händelser. Varje inledande händelse beskrivs först kort och sedan ges en förklaring till hur händelsesekvenserna ser ut i den modell som kommer att användas i analysen av revisionen 2009. Vidare ges även en förklaring till anläggningens respons vid en störning och hur missödessekvenserna är modellerade i PSA-modellen för Forsmark 1 och 2. Sedan redogörs det för vilka ändringar av den befintliga modellen som genomförts. Modellerna för de olika inledande händelserna kommer illustreras i form av blockdiagram, vilka är direkt överförbara till PSA-modellen i RiskSpectrum.

För varje sekvens bestäms vilka konsekvenserna blir om respektive funktion lyckas eller misslyckas. Utöver detta har det bestämts från vilken instans respektive funktion finns angiven. De olika instanserna är STF, driftkriterierna (DK), driftinstruktioner (DI), funktioner som alltid är möjliga (alltid möjliga) samt övriga funktioner (övriga).

5.1.1 LOCA (läckage) under hård - Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump

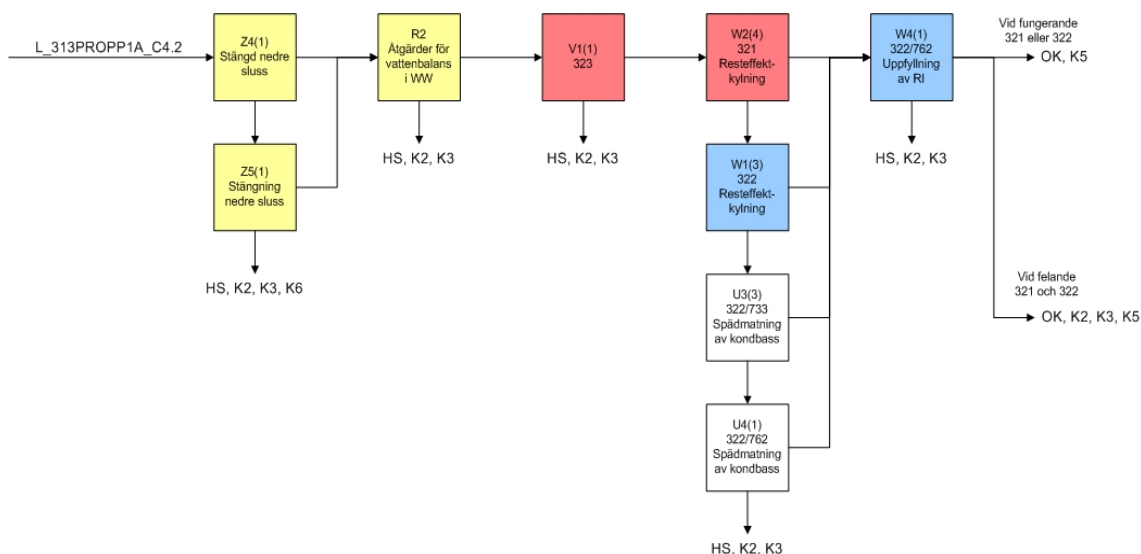
Händelsen ”felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump” medför en stor inre LOCA under hård (bottenläckage). Händelsen antas bara inträffa under fas 4 eftersom inget underhåll på 313 görs under de andra faserna: (uppfylld C-bassäng samt system 321 och 324 ihopkopplade).

5.1.1.1 Sekvensbeskrivning

För lyckad sekvens krävs i det första skeendet att den nedre slussen är stängd alternativt stängs innan dess att för stor volym vatten dränerats från bränslebassängen och kondensationsbassängen. I så fall kommer vattnet att rinna ut utanför inneslutningen, vilket innebär att läckaget blir för stort för att det ska gå att ersätta det vatten som läcker ut. Någon barriär mot härdskada finns då inte. För lyckad stängning av sluss krävs även spädmatning med system 323. För att drift med system 323 skall lyckas krävs först lyckad hantering av vattenbalansen i kondensationsbassängen. Detta innebär att operatörerna tar hand om vattenbalansen i reaktortanken, så att reaktorhärden hålls vattentäckt hela tiden. Dessutom skall antingen dörren mellan nedre drywell (DW)³ och wetwell (WW) öppnas, eller så skall luckorna mellan övre DW och WW bortmonteras så att vatten flödar till kondensationsbassängen. Anledningen till detta är att system 323 tar vatten från kondensationsbassängen, så om inget vatten leds in i kondensationsbassängen kommer pumparna att gå sönder. Det behövs även en lyckad resteffektkylning med i första hand system 321. Då nivån sjunker i bränslebassängen krävs omkoppling så att system 321 tar vatten från reaktortanken istället för system 324. Om system 321 skulle misslyckas finns även möjlighet att kyla vattnet nere i kondensationsbassängen med hjälp av system 322. Om även detta skulle misslyckas kan spädmatning av kondensationsbassängen ske med externt vatten genom system 733 eller system 762 (brandvatten) och på så sätt ersätta det vatten som kokar bort, vilket i så fall skulle förhindra HS. I långtidsförloppet krävs även uppfyllning av reaktorinneslutningen med system 762 för att erhålla ett stabilt sluttillstånd.

Om inte nedre slussen är stängd eller i fall den står öppen och inte stängs kommer inte det vatten som läcker ut att kunna ersättas. Denna sekvens kommer leda till HS, K2, K3 samt K6. Om inte vattenbalansen i kondensationsbassängen hålls konstant kommer inte någon spädmatning av reaktortanken att kunna ske med system 323 eftersom pumparna går sönder då det inte finns något vatten att pumpa. Detta leder till att reaktorhärden inte kan hållas vattentäckt och konsekvenserna blir HS, K2 och K3. Om kylning av härden med något av systemen 321 och 322 skulle misslyckas, alternativt om spädmatning av reaktortanken med system 322/733 inte lyckas, kommer konsekvenserna bli HS, K2 och K3 eftersom kylning uteblir, vattnet kokar bort och härden friläggs. Vid lyckad drift av system 322/733 kommer det att börja koka i reaktortanken. Till sist krävs även att reaktortanken fylls upp med vatten från brandvattentanken med hjälp av system 322 för att HS skall undvikas i långtidsförloppet.

³ Reaktorinneslutningen är grovt sett uppdelad i två delar där den övre delen är torr och därmed kallas drywell, medan den nedre delen kallas wetwell eller kondensationsutrymmet. Vid ett läckage från reaktortanken kommer vattenånga att fylla drywell. Genom att trycket i drywell är högre än i wetwell kommer ångan tvingas ned i wetwell där den kondenserar.



Figur 10 – Blockdiagram - Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump.

5.1.1.2 Modellförändringar

Modellen har uppdaterats med avseende på de nya konsekvenserna, dessutom har modellen etiketteras med avseende på vart kraven på de olika funktionerna finns angivna.

5.1.2 Yttre läckage - Läckage från reaktortanken (utanför reaktorinneslutningen) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321

Händelsen ”läckage från reaktortanken (utanför reaktorinneslutningen) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321” medför en yttre LOCA över hård. Händelsen kommer innebära att vatten kommer att läcka ut från reaktortanken och reaktorinneslutningen genom de felaktigt öppna ventilerna i system 321. Händelsen antas inträffa under fas 4 (uppfylld C-bassäng samt system 321 och 324 ihopkopplade).

5.1.2.1 Sekvensbeskrivning

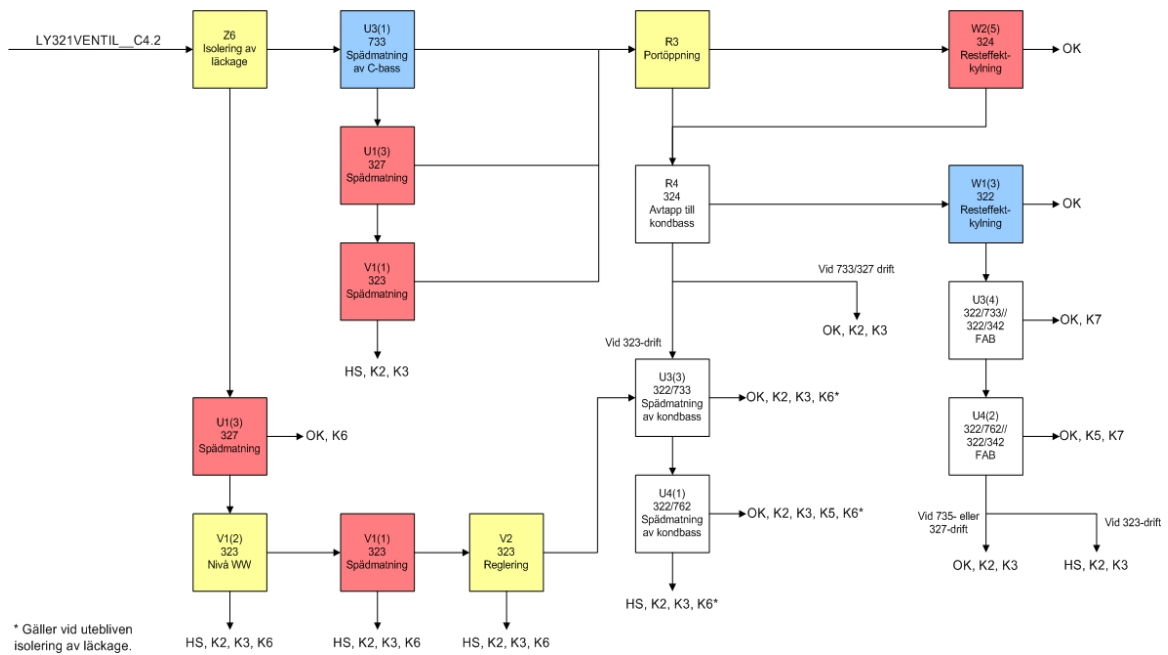
För lyckad sekvens krävs först och främst lyckad isolering av läckaget (Z6)⁴ innan dess att för mycket vatten förlorats. Om isoleringen av läckaget lyckas krävs även lyckad spädmätning av reaktortanken eller bränslebassängen med hjälp av system 733 (U3(1)), 327 (U1(3)) alternativt 323 (V1(1)). Om spädmätningen inte lyckas kommer vattnet till slut att koka bort och hårdan kommer att friläggas. Detta kommer att innebära konsekvenserna HS, K2 och K3. För en lyckad sekvens krävs även att kylningen av vattnet i reaktortanken lyckas. I detta fall kan åstadkommas resteffektkyllning med något av följande två alternativ:

Genom lyckad resteffektkyllning med system 324 (se funktion W2(5) i figur 11). För att kylning med system 324 skall lyckas måste även öppningen av portarna mellan de olika sektionerna i bränslebassängen (R3) lyckas.

⁴ Beteckningen beskriver vilken box i blockdiagrammet funktionen avser.

Alternativet är att kyla vattnet nere i kondensationsbassängen. Då krävs först lyckad avtappning av vatten till kondensationsbassängen (R4) och sedan lyckad resteffektkylning av kondensationsbassängen med hjälp av system 322 (W1(3)). Vattnet i reaktortanken kyls då indirekt eftersom det kylda vattnet pumpas från kondensationsbassängen in i reaktortanken. Vid misslyckad kylning med 322 och 324 kan kondensationsbassängen spädmatas med vatten från två alternativa vattentankar, 733 eller 762 (brandvatten) via system 322 och sedan tappa av vatten till en vattentank utanför anläggningen. Därigenom erhålls resteffektkylning (OK) genom att kallt vatten tillförs och varmt vatten tappas av från kondensationsbassängen. Om system 762 utnyttjas kommer bränslet att komma i kontakt med brandvatten (K5). Alla dessa alternativ kräver att vatten kan tappas av till kondensationsbassängen (R4). Om denna funktion inte fungerar blir konsekvenserna under alla omständigheter K2 och K3. I de fall spädmatning av reaktortanken med system 323 lyckas måste spädmatning av kondensationsbassängen lyckas med vatten från tank 733 (U3(3)) eller tank 762 (U4(4)). Detta krävs för att fylla på vatten i kondensationsbassängen, system 323 tar sitt vatten ifrån och sedan pumpar upp till reaktortanken, där det kokar bort eftersom någon kylning inte är tillgänglig. Om detta lyckas erhålls alltså K2, K3 samt K5 när brandvatten används. Om inte spädmatningen av kondensationsbassängen lyckas erhålls HS, K2 och K3.

Om isoleringen av läckaget (Z6) misslyckas kommer vattnet att rinna ut utanför reaktorinneslutningen, men trots det kan HS undvikas. Om det vatten som rinner ut ur reaktortanken kan ersättas genom spädmatning med system 327 (U1(3)) kommer konsekvenserna bli K2, K3 samt K6. Om spädmatningen med system 327 misslyckas kan spädmatning av reaktortanken ske med system 323. För att detta skall lyckas måste först ett manuellt ingrepp som innebär att vattennivån tillåts att sjunka under läckagestället lyckas innan system 323 (V1(2)) startas detta för att inte pumpa ut allt vatten från kondensationsbassängen genom läckaget. Sedan måste manuell reglering ske så att vattennivån hålls under läckaget, även detta för att inte allt vatten ska tömmas genom läckaget. Om någon av dessa tre funktioner; V1(2), V1(1) eller V2 misslyckas kommer vatten att strömma ut ur inneslutningen vilket kommer att leda till att härden friläggs, vilket i sin tur kommer att leda till konsekvenserna K2, K3, K6 samt HS. Eftersom ingen kylning utförs vid lyckad V1(2), V1(1) och V2 kommer vattnet att koka bort om inte vatten tillförs. Därför måste spädmatning med vatten från tank 733 eller 762 lyckas för att undvika HS. Vid lyckad spädmatning blir konsekvenserna K2, K3 och K6. I fallet då spädmatning sker med vatten från tank 762 kommer det även att erhållas läckage utanför inneslutningen, K6.



Figur 11 – Blockdiagram Läckage från reaktortanken (innanför reaktorinneslutningen) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321

5.1.2.2 Modellförändringar

Modellen har uppdaterats med avseende på de nya konsekvenserna. Dessutom har modellen etiketteras med avseende på vart kraven på de olika funktionerna finns angivna.

5.1.3 Bortfall av resteffektkylning - Bortfall av 321 (fas 4)

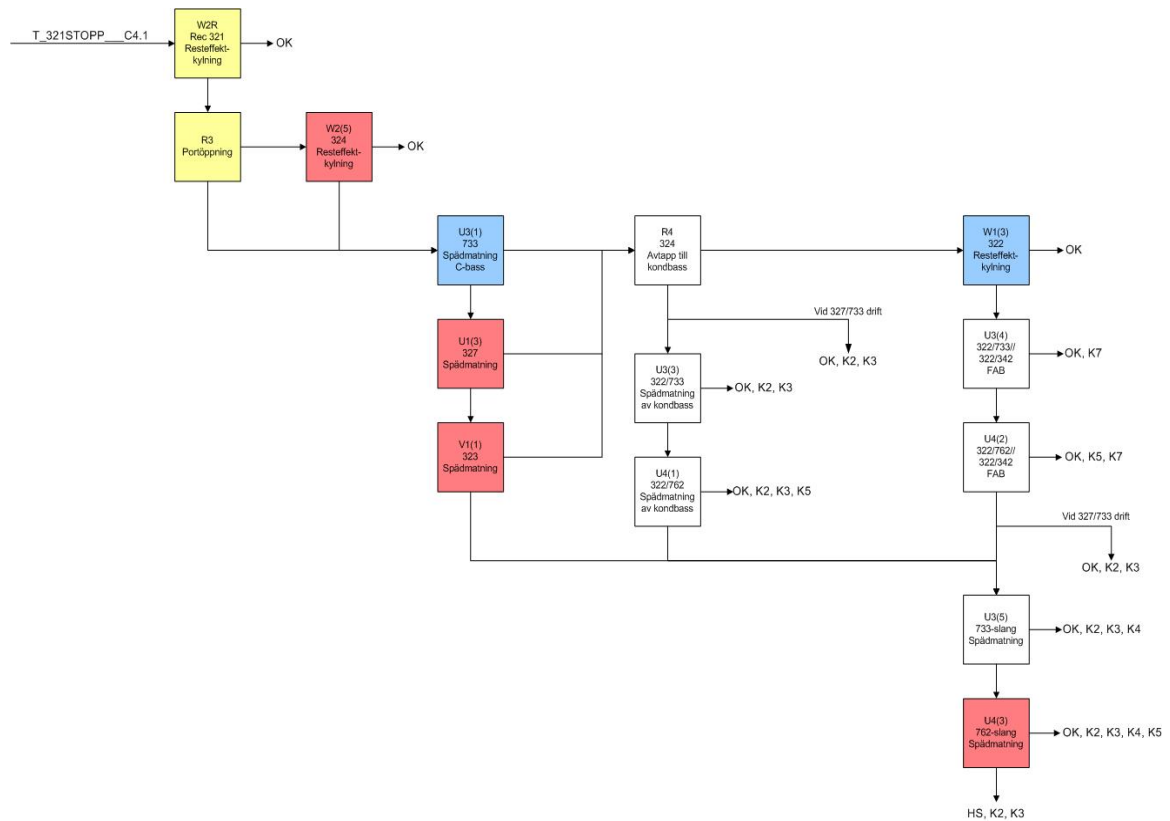
Händelsen ”bortfall av 321 (fas 4)” medför bortfall av resteffektkylning. Händelsen antas inträffa under fas 4 (uppfylld C-bassäng samt system 321 driftlagd för kylning av reaktortanken).

5.1.3.1 Sekvensbeskrivning

För lyckad sekvens krävs i första hand återstart av system 321 (W2R) eller uppfyllning av kondensationsbassängen (V1(3)) och övergång till resteffektkylning med system 324 (W2(5)). Om ingen av dessa två sekvenser lyckas krävs lyckad spädmatning med någon av funktionerna U3(1), U1(3) eller V1(1). Om inget av dessa spädmatningsalternativ lyckas kommer spädmatning med slang av reaktortanken med vatten från tank 733 eller 762 att vara det sista alternativet. Om detta lyckas erhålls konsekvenserna K2, K3, K4 samt vid utnyttjande av tank 762 även K5. Vid lyckad spädmatning krävs lyckad avtappning till kondensationsbassäng (R4) och resteffektkylning med 322 för att få en OK sekvens. I sådana fall kommer vattnet nere i kondensationsbassängen att kunna kylas med system 322 och sedan pumpas tillbaka till reaktortanken med system 323.

Om avtappningen misslyckas vid drift av 323/327 kommer konsekvenserna K2 och K3 att erhållas. Om istället 323 är i drift krävs spädmatning av kondensationsbassängen med system 322 (dvs. U3(3) eller U4(1)) för att ersätta det vatten som kokar bort. Om detta lyckas kommer konsekvenserna K2 och K3 att erhållas, samt K5 när funktion U4(1) utnyttjas eftersom tank 762 då används. Om spädmatning av kondensationsbassäng misslyckas måste istället reaktortanken spädmatas med vatten via slang från tank 733 eller 762. I sådana fall kommer det vatten som kokar bort att kunna ersättas och HS undvikas, men konsekvenserna K2, K3, K4 och K5 (för de sekvenser då vatten från tank 762 används) kommer att erhållas. Om spädmatningen med hjälp av slang misslyckas kommer allt att vatten koka bort och härdskada erhålls.

Om istället resteffektkylningen med system 322 (W1(3)) misslyckas kan HS undvikas om spädmatning av kondensationsbassängen sker med vatten från tank 733/762, och avtappning av vattnet sker med system 342. På detta sätt kommer kondensationsbassängen att kunna kylas. Dock kommer ett utflöde att erhållas från anläggningen (K7) eftersom den tank som system 342 pumpar vattnet till kommer att fyllas upp i förlängningen. Om även detta misslyckas kommer konsekvenserna HS, K2 och K3 att erhållas.



Figur 12 – Blockdiagram Felaktig Bortfall av 321.

5.1.3.2 Modellförändringar

Modellen har uppdaterats med avseende på de nya konsekvenserna. Dessutom har modellen etiketteras med avseende på vart kraven på de olika funktionerna finns angivna.

5.1.4 Tappat reaktortanklock

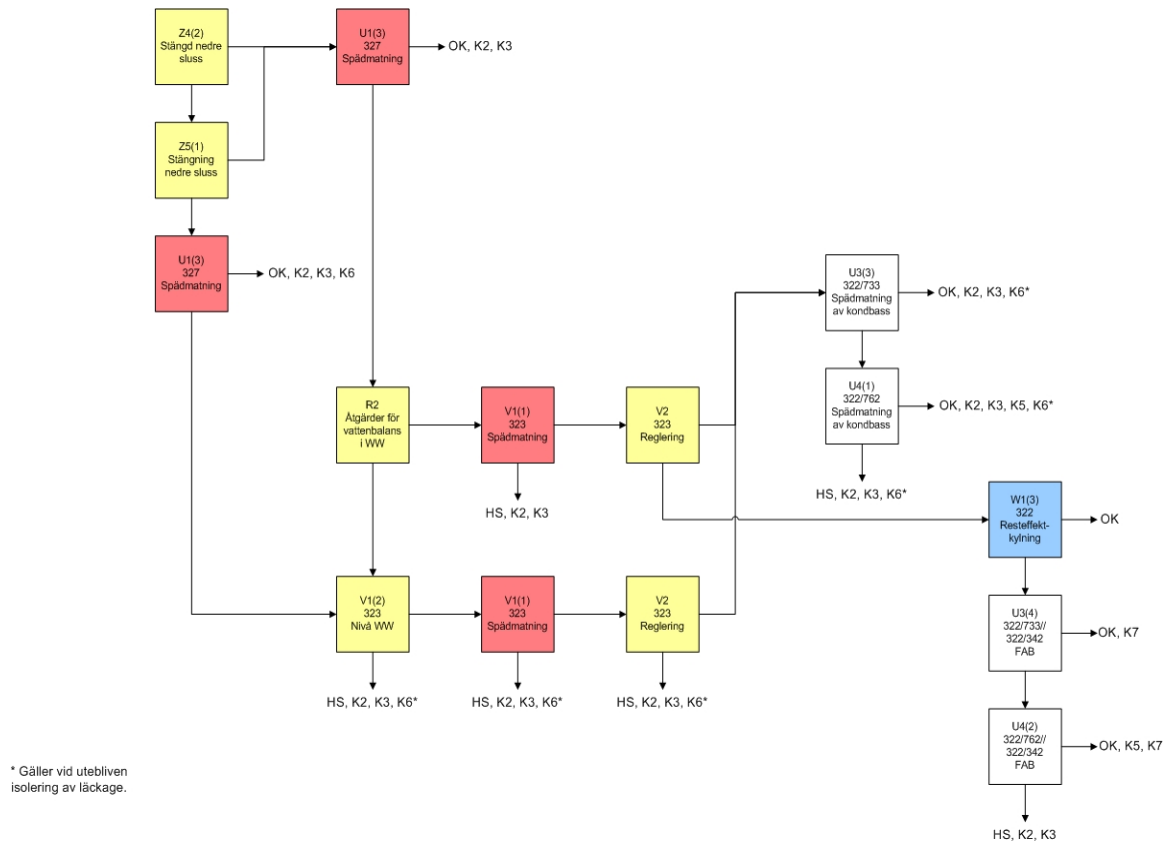
Händelsen ”tappat reaktortanklock” antas konservativt medföra att reaktortanklocket skadar systemet 321 så att en inre LOCA uppstår. Det antas också att det inte finns någon möjlighet att återgärda skadan. Anledningen till LOCA i system 321 beaktas är att denna LOCA har sämst barriär mot härdskada. Händelsen antas inträffa under fas 3 (öppen reaktortank och tom C-bassäng).

5.1.4.1 Sekvensbeskrivning

Eftersom system 321 är ur funktion kan systemet inte användas till resteffekt kylning. Eftersom läckaget inte kan isoleras kommer först spädmatning med system 327 att testas. Om detta lyckas kommer i värsta fall konsekvenserna K2 och K3 att erhållas. För lyckad sekvens krävs att den nedre slussen är stängd eller att den stängs.

Om slussen inte är stängd eller av någon anledning inte stängs kommer vatten att flöda ut ur inneslutningen. I så fall krävs att nivån tillåts sjunka till läckaget V1(2), att spädmatning med system 323 lyckas (V1(1)), och att vattennivån hålls under läckaget. Om någon av dessa tre funktioner misslyckas kommer konsekvenserna K2, K3 och HS att erhållas. Om de däremot lyckas måste kondensationsbassängen spädmatas med vatten från 733 eller 762 för att ersätta det vatten som resteffekten kokar bort. Om spädmatning av kondensationsbassängen misslyckas kommer K2, K3 och HS att erhållas. Om spädmatning däremot lyckas kommer härden inte att friläggas eftersom det vatten som resteffekten kokar bort ersätts. Dock erhålls konsekvenserna K2, K3 samt K5 (vid spädmatning med vatten från tank 762, brandvatten).

Om slussen stängs finns möjligheter till en OK sekvens. Då krävs lyckad spädmatning med system 323. Om detta misslyckas kommer härden att friläggas och en härdskada erhålls. Om spädmatningen lyckas görs ett försök med att kyla kondensationsbassängen med system 322, och konsekvensen OK erhålls. Om detta misslyckas finns möjligheten att spädmata kondensationsbassängen med vatten från tank 733 eller tank 762 och sedan tappa av vattnet till en tank utanför anläggningen. Då kommer vattnet att kylas och konsekvenserna K7 (utflöde från anläggningen (brädning av tank i avfallssystemet, system 342)) och K5 att erhållas för de sekvenser då tank 762 används.



Figur 13 – Blockdiagram - Tappat reaktortanklock

5.1.4.2 Modellförändringar

Modellen har uppdaterats med avseende på de nya konsekvenserna. Dessutom har modellen etiketteras med avseende på vart kraven på de olika funktionerna finns angivna.

6 Resultat

I följande kapitel kommer de resultat som analyserna lett till att presenteras. Inledningsvis presenteras funktionstillgängligheten med avseende på de faktorer som måste särskiljas för att den specifika revisionen skall kunna analyseras. Därefter presenteras resultaten från analysen med avseende på de olika konsekvenserna. Dock kommer inte resultaten för konsekvensen K3 att presenteras. Anledningen är att dessa resultat är identiska med konsekvensen K2.

6.1 Resultat funktionstillgänglighet

För att kunna identifiera effektiva driftkriterier inför reaktoravställningen 2009 inleds analysen med att beräkna funktionstillgängligheten för samtliga modellerade systemfunktioner. Funktionstillgängligheten är beräknad med avseende på vilka system som finns driftklara (STF, driftinstruktioner driftkriterierna). Röd cell innebär att funktionen inte beaktas. Ljusröd cell innebär att funktionen beaktas men att den inte är tillgänglig. I tabell 3 och 4 redovisas funktionstillgängligheten vid arbete på A/C- resp B/D- sub.

Tabell 5: Funktionstillgängligheten under reaktoravställningen 2009, vid avställd A/C - sub

Funkti	Beskrivning	A/C		A/C +		
M2(3)	Utebliven tryckavsäkring 1 av 4 diversifierade	1	1,0E-04	1,0E-04	1	1,0E-04
M2(4)	Utebliven tryckavsäkring 1 av 4 diversifierade	1	6,9E-04	6,9E-04	1	6,9E-04
R1	Uteblivna åtgärder m a p reaktivitet	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
R2(1)	bottenläckage	1,2E-03	1,2E-03	1,2E-03	1,2E-03	1,2E-03
R2(2)	bottenläckage samt toppläckage	5,1E-05	5,1E-05	5,1E-05	5,1E-05	5,1E-05
R2(3)	bottenläckage samt toppläckage	8,2E-06	8,2E-06	8,2E-06	8,2E-06	8,2E-06
R2(4)	bottenläckage samt toppläckage	1,8E-06	1,8E-06	1,8E-06	1,8E-06	1,8E-06
R3(1)	Utebliven portöppning mot C-bass	3,0E-04	3,0E-04	3,0E-04	3,0E-04	3,0E-04
R3(2)	Utebliven portöppning mot C-bass	5,9E-04	5,9E-04	5,9E-04	5,9E-04	5,9E-04
R4(1)	Uteblivet avtapp till kondbass s324	1	1	3,0E-04	1	1
R4(2)	Uteblivet avtapp till kondbass s324	1	1	5,9E-04	1	1
R6	Utebliven recovery avseende recirkulation	2,0E-03	2,0E-03	2,0E-03	2,0E-03	2,0E-03
T	Utebliven avlockning av RT	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
U1(3:1)	Utebliven spädmatning s327 3 av 4 kretsar (1 av 2)	4,8E-02	4,8E-02	4,8E-02	4,8E-02	4,8E-02
U1(3:2)	Utebliven spädmatning s327 4 av 4 kretsar (2 av 2)	1,2E-03	1,2E-03	1,2E-03	1,2E-03	1,2E-03
U1(3:3)	Utebliven spädmatning s327 4 av 4 kretsar (2 av 2)	1,8E-03	1,8E-03	1,8E-03	1,8E-03	1,8E-03
U1(3:4)	2), manuell nivåreglering	4,2E-03	4,2E-03	4,2E-03	4,2E-03	4,2E-03
U3(1:1)	Utebliven spädmatning av C-bassäng s733	1	2,4E-03	2,4E-03	1	2,4E-03
U3(1:2)	Utebliven spädmatning av C-bassäng s733	1	2,7E-03	2,7E-03	1	2,7E-03
U3(3:1)	kondensationsbassängen s323/322/733	1	1	2,4E-03	1	1
U3(3:2)	kondensationsbassängen s323/322/733	1	1	2,7E-03	1	1
U3(4:1)	s323/322/733/322/342	1	1	2,4E-03	1	1
U3(4:2)	s323/322/733/322/342	1	1	2,7E-03	1	1
U3(5:1)	s733	1	1	2,4E-03	1	2,4E-03
U3(5:2)	s733	1	1	2,7E-03	1	2,7E-03
U4(1:1)	kondensationsbassängen s322/365/762	1	1	5,0E-04	1	1
U4(1:2)	kondensationsbassängen s322/365/762	1	1	8,0E-04	1	1
U4(2:1)	s322/365/762/342	1	1	5,0E-04	1	1
U4(2:2)	s322/365/762/342	1	1	8,0E-04	1	1
U4(3:1)	kondensationsbassängen s322/365/762	3,6E-04	3,6E-04	3,6E-04	3,6E-04	3,6E-04
U4(3:2)	kondensationsbassängen s322/365/762	6,6E-04	6,6E-04	6,6E-04	6,6E-04	6,6E-04
W	Utebliven resteffektkylning s321/324	1,7E-03	1,7E-03	1,7E-03	1,7E-03	1,7E-03
V1(1:1)	Utebliven spädmatning s327 3 av 4 kretsar (1 av 2)	3,5E-02	3,5E-02	3,5E-02	1	1
V1(1:2)	Utebliven spädmatning s323 4 av 4 kretsar (2 av 2)	7,1E-04	7,1E-04	7,1E-04	1	1
V1(1:3)	Utebliven spädmatning s323 4 av 4 kretsar (2 av 2)	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03	1	1
V1(2)	Utebliven nivåsenkning till under läckagestället	3,0E-03	3,0E-03	3,0E-03	3,0E-03	3,0E-03
V1(3)	Utebliven fyllning av C-bassäng s323	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03
W1(3:1)	Utebliven resteffektkylning s322	1	4,4E-04	4,4E-04	1	1
W1(3:2)	Utebliven resteffektkylning s322	1	7,3E-04	7,3E-04	1	1
V2	Utebliven reglering s323	3,0E-03	3,0E-03	3,0E-03	3,0E-03	3,0E-03
W2(4)	Utebliven resteffektkylning s321	3,9E-03	3,9E-03	3,9E-03	3,9E-03	3,9E-03
W2(5:1)	Utebliven resteffektkylning s324	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
W2(5:2)	Utebliven resteffektkylning s324	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
W4(1:1)	Utebliven vattenfyllning av RI s322/365/762	1	1,7E-01	1,7E-01	1	1,7E-01
W4(1:2)	Utebliven vattenfyllning av RI s322/365/762	1	4,4E-03	4,4E-03	1	4,4E-03
Z4:1	Stängd nedre sluss (313-arbeten)	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02
Z4:2	Stängd nedre sluss (ej 313-arbeten)	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
Z5:1	Stängning nedre sluss vid stort utflöde	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
Z5:2	Stängning nedre sluss vid litet utflöde	1,4E-03	1,4E-03	1,4E-03	1,4E-03	1,4E-03
Z6	Isolering av läckage.	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00

Tabell 6: Funktionstillgängligheten under reaktoravställningen 2009, vid avställd B/D - sub

Funktion	Beskrivning	BD			B/D + tom kondensationsbassäng		
		1	1,01E-04	1,0E-04	1	1,0E-04	1,0E-04
M2(3)	Utebliven tryckavsäkring 1 av 4 diversifierade	1	6,9E-04	6,9E-04	1	6,9E-04	6,9E-04
M2(4)	Utebliven tryckavsäkring 1 av 4 diversifierade	1	6,9E-04	6,9E-04	1	6,9E-04	6,9E-04
R1	Uteblivna åtgärder m a p reaktivitet	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
R2(1)	Utebliven hantering av vattenbalansen vid stort bottenläckage	1,2E-03	1,21E-03	1,2E-03	1,2E-03	1,2E-03	1,2E-03
R2(2)	Utebliven hantering av vattenbalansen vid små bottenläckage samt toppläckage	5,1E-05	5,06E-05	5,1E-05	5,1E-05	5,1E-05	5,1E-05
R2(3)	Utebliven hantering av vattenbalansen vid små bottenläckage samt toppläckage	8,2E-06	8,18E-06	8,2E-06	8,2E-06	8,2E-06	8,2E-06
R2(4)	Utebliven hantering av vattenbalansen vid små bottenläckage samt toppläckage	1,8E-06	1,80E-06	1,8E-06	1,8E-06	1,8E-06	1,8E-06
R3(1)	Utebliven portöppning mot C-bass	3,0E-04	2,95E-04	3,0E-04	3,0E-04	3,0E-04	3,0E-04
R3(2)	Utebliven portöppning mot C-bass	5,9E-04	5,90E-04	5,9E-04	5,9E-04	5,9E-04	5,9E-04
R4(1)	Uteblivet avtapp till kondbass s324	1	1	3,0E-04	1	1	1
R4(2)	Uteblivet avtapp till kondbass s324	1	1	5,9E-04	1	1	1
R6	Utebliven recovery avseende recirkulation	2,0E-03	2,00E-03	2,0E-03	2,0E-03	2,0E-03	2,0E-03
T	Utebliven avlockning av RT	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
U1(3:1)	Utebliven spädmatning s327 3 av 4 kretsar (1 av 2)	7,1E-02	7,12E-02	7,1E-02	7,1E-02	7,1E-02	7,1E-02
U1(3:2)	Utebliven spädmatning s327 4 av 4 kretsar (2 av 2)	2,8E-03	2,76E-03	2,8E-03	2,8E-03	2,8E-03	2,8E-03
U1(3:3)	Utebliven spädmatning s327 4 av 4 kretsar (2 av 2)	3,3E-03	3,34E-03	3,3E-03	3,3E-03	3,3E-03	3,3E-03
U1(3:4)	Utebliven spädmatning s327 4 av 4 kretsar (2 av 2), manuell nivåreglering	5,7E-03	5,74E-03	5,7E-03	5,7E-03	5,7E-03	5,7E-03
U3(1:1)	Utebliven spädmatning av C-bassäng s733	1	1,0E+00	1,0E+00	1	1,0E+00	1,0E+00
U3(1:2)	Utebliven spädmatning av C-bassäng s733	1	1,0E+00	1,0E+00	1	1,0E+00	1,0E+00
U3(3:1)	Utebliven spädmatning av kondensationsbassängen s323/322/733	1	1	1,0E+00	1	1	1
U3(3:2)	Utebliven spädmatning av kondensationsbassängen s323/322/733	1	1	1,0E+00	1	1	1
U3(4:1)	Utebliven Feed and Bleed av kondensationsbass s323/322/733/322/342	1	1	1,0E+00	1	1	1
U3(4:2)	Utebliven Feed and Bleed av kondensationsbass s323/322/733/322/342	1	1	1,0E+00	1	1	1
U3(5:1)	Utebliven spädmatning av bassänger med slang s733	1	1	1,0E+00	1	1	1,0E+00
U3(5:2)	Utebliven spädmatning av bassänger med slang s733	1	1	1,0E+00	1	1	1,0E+00
U4(1:1)	Utebliven spädmatning av kondensationsbassängen s322/365/762	1	1	4,6E-04	1	1	1
U4(1:2)	Utebliven spädmatning av kondensationsbassängen s322/365/762	1	1	7,6E-04	1	1	1
U4(2:1)	Utebliven Feed and Bleed av kondensationsbass s322/365/762/342	1	1	4,6E-04	1	1	1
U4(2:2)	Utebliven Feed and Bleed av kondensationsbass s322/365/762/342	1	1	7,6E-04	1	1	1
U4(3:1)	Utebliven spädmatning av kondensationsbassängen s322/365/762	3,2E-04	3,21E-04	3,2E-04	3,2E-04	3,2E-04	3,2E-04
U4(3:2)	Utebliven spädmatning av kondensationsbassängen s322/365/762	6,2E-04	6,16E-04	6,2E-04	6,2E-04	6,2E-04	6,2E-04
W	Utebliven resteffektkyllning s321/324	4,0E-05	4,00E-05	4,0E-05	4,0E-05	4,0E-05	4,0E-05
V1(1:1)	Utebliven spädmatning s327 3 av 4 kretsar (1 av 2)	3,5E-02	3,45E-02	3,5E-02	1	1	1
V1(1:2)	Utebliven spädmatning s323 4 av 4 kretsar (2 av 2)	7,1E-04	7,14E-04	7,1E-04	1	1	1
V1(1:3)	Utebliven spädmatning s323 4 av 4 kretsar (2 av 2)	1,3E-03	1,30E-03	1,3E-03	1	1	1
V1(2)	Utebliven nivåsenkning till under läckagestället	3,0E-03	3,00E-03	3,0E-03	3,0E-03	3,0E-03	3,0E-03
V1(3)	Utebliven fyllning av C-bassäng s323	1,3E-03	1,30E-03	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03
W1(3:1)	Utebliven resteffektkyllning s322	1	4,39E-04	4,4E-04	1	1	1
W1(3:2)	Utebliven resteffektkyllning s322	1	7,33E-04	7,3E-04	1	1	1
V2	Utebliven reglering s323	3,0E-03	3,00E-03	3,0E-03	3,0E-03	3,0E-03	3,0E-03
W2(4)	Utebliven resteffektkyllning s321	3,9E-03	3,94E-03	3,9E-03	3,9E-03	3,9E-03	3,9E-03
W2(5:1)	Utebliven resteffektkyllning s324	3,4E-04	3,43E-04	3,4E-04	3,4E-04	3,4E-04	3,4E-04
W2(5:2)	Utebliven resteffektkyllning s324	6,4E-04	6,36E-04	6,4E-04	6,4E-04	6,4E-04	6,4E-04
W4(1:1)	Utebliven vattenfyllning av RI s322/365/762	1	1,70E-01	1,7E-01	1	1,7E-01	1,7E-01
W4(1:2)	Utebliven vattenfyllning av RI s322/365/762	1	4,37E-03	4,4E-03	1	4,4E-03	4,4E-03
Z4:1	Stängd nedre sluss (313-arbeten)	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02
Z4:2	Stängd nedre sluss (ej 313-arbeten)	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
Z5:1	Stängning nedre sluss vid stort utflöde	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
Z5:2	Stängning nedre sluss vid litet utflöde	1,4E-03	1,4E-03	1,4E-03	1,4E-03	1,4E-03	1,4E-03
Z6	Isolering av läckage	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00

6.2 Resultat med avseende på HS

I detta kapitel redovisas sannolikheten för den inledande händelsen samt härdskaidesannolikheten. I kapitel 6.2.1 presenteras resultaten då kondensationsbassängen är fylld och i kapitel 6.2.2 presenteras resultaten då kondensationsbassängen är tom. Analysen har även delats in beroende på vilka system som finns kravställda. För varje tabell kommer de 10 mest dominerande händelserna att presenteras. De inledande händelser som har en härdskaidesannolikhet som är större än 1E-5 är rödmarkerade.

6.2.1 Resultat med vatten i kondensationsbassängen

I tabell 7 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på härdskada då endast de funktioner som finns kravställda i STF beaktas.

Tabell 7: Sannolikheten för härdskada, 10 mest dominerande inledande händelserna.

Inledande händelse	Arbete på sub	P_{IH}	P_{HS} (STF)
Bortfall av system 321, fas 1	B/D	1,4E-03	1,4E-03
Bortfall av system 321, fas 2	B/D	1,4E-03	1,4E-04
Läckage i system 221 (Litet inre läckage)	B/D	1,1E-05	1,1E-05
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	B/D	4,0E-04	2,3E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	B/D	4,0E-04	2,3E-06
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under härd.)	B/D	2,0E-06	2,0E-06
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under härd.)	B/D	2,0E-06	2,0E-06
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	A/C	4,0E-04	1,7E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	A/C	4,0E-04	1,7E-06
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över härd)	B/D	2,0E-04	1,2E-06

I bilaga 4 framgår resultaten för samtliga inledande händelser i form av ett stapeldiagram. Varje stapel redovisar sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för härdskada.

Totalt erhålls härdskaadesannolikheten 1,6E-3. Det höga resultatet beror framför allt på att flera inledande händelser helt saknar barriär mot härdskada då endast funktioner som kravställs i STF beaktas.

Vid den inledande händelsen bortfall av system 321 under fas 1 då reaktortanklocket är monterat kommer trycket att öka i reaktortanken. Om system 314 (de vattenblåsande ventilerna) inte finns tillgängligt kommer reaktortanken att övertryckas, vilket antas leda till härdskada. Om system 314 fungerar erhålls en flödesväg för vattnet till kondensationsbassängen. Även om tryckavlastningen samt spädmatning med antingen system 327 (med externt vatten) eller system 323 (med vatten från kondensationsbassängen) lyckas kommer härdskada att erhållas om inte resteffektkylning kan etableras. Det enda alternativet till system 321 är kylning med system 322 (eftersom 321 inte kan återstartas då det antas att återstart inte kan ske tillräckligt snabbt). Varken system 314 eller system 322 kravställs i STF.

Under fas 2 gäller samma resonemang vid misslyckad avlockning av reaktortanklocket. Under fas 2 anses det dock att avlockning av reaktortanklocket är möjlig. I sådana fall behövs ej system 314 för tryckavlastning men resteffektkylning kommer ändå att krävas om återstart av system 321 misslyckas.

Blockdiagrammen för händelserna bortfall av 321 under fas 1 samt fas 2 återfinns i bilaga 3.

Vid läckage i system 221 alternativ ett stort läckage i system 313 saknas barriär mot härdskada när endast funktioner som anges i STF beaktas, eftersom det i analysen antas att ett stabilt slutillstånd inte kommer att uppnås om inte reaktorinneslutningen fylls med vatten. Uppfyllning av reaktorinneslutningen sker med vatten från system 762 (brandvatten) och pumpas in i reaktorinneslutningen med hjälp av system 322. Som tidigare kravställs inte system 322 i STF.

I tabell 8 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på härdskada då de funktioner som finns krävda i STF samt angivna i DI-2910 beaktas.

Tabell 8: Sannolikheten för härdskada, 10 mest dominerande inledande händelserna

Inledande händelse	Arbete på sub	P_{IH}	P_{HS} (DI - 2910)
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	B/D	4,0E-04	2,3E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	B/D	4,0E-04	2,3E-06
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under härd.)	B/D	2,0E-06	2,0E-06
Bortfall av system 321, fas 2	B/D	1,4E-03	2,0E-06
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	A/C	4,0E-04	1,7E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	A/C	4,0E-04	1,7E-06
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över härd)	B/D	2,0E-04	1,2E-06
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över härd)	A/C	2,0E-04	8,4E-07
Läckage i system 314 (Medelstort inre LOCA över härd)	B/D	9,3E-03	7,6E-07
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvärdet är utmanövrerat.	B/D	4,5E-07	4,5E-07

Totalt erhålls härskadesannolikheten 1,6E-5. Resultatet är lågt i jämförelse med fallet då endast krävda funktioner i STF beaktas. Anledningen till att resultatet reducerats är framför allt att system 322 samt system 314 anges i driftinstruktionerna vilket medför en bättre barriär mot härdskada vid händelserna bortfall av 321 samt läckage i system 221. Den mest dominerande händelsen är nu läckage i system 321.

I tabell 9 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på härdskada då samtliga funktioner beaktas.

Tabell 9: Sannolikheten för härdskada, 10 mest dominerande inledande händelserna

Inledande händelse	Arbete på sub	P_{IH}	P_{HS} (Övriga)
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under härd.)	B/D	2,0E-06	2,0E-06
Bortfall av system 321, fas 2	B/D	1,4E-03	2,0E-06
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	B/D	4,0E-04	1,2E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	B/D	4,0E-04	1,2E-06
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	A/C	4,0E-04	1,2E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	A/C	4,0E-04	1,2E-06
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över härd)	B/D	2,0E-04	6,1E-07
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över härd)	A/C	2,0E-04	6,1E-07
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvägen är utmanövrerad.	B/D	4,5E-07	4,5E-07
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under härd.)	B/D	2,0E-06	4,2E-07

Totalt erhålls härdskaidesannolikheten 1,2E-5. Härdskaidesannolikheten minskar marginellt (25 %) i jämförelse med fallet då endast funktioner kravställda i STF samt angivna i DI-2910 beaktas.

6.2.2 Resultat utan vatten i kondensationsbassängen

I tabell 10 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på härdskada då endast de funktioner som finns kravställda i STF beaktas.

Tabell 10: Sannolikheten för härdskada utan vatten i kondensationsbassäng, 10 mest dominerande inledande händelserna.

Inledande händelse	Arbete på sub	P _{IH}	P _{HS} (STF)
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under härd.)	B/D	9,9E-06	9,9E-06
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under härd.)	B/D	9,9E-06	9,9E-06
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	B/D	4,0E-04	2,3E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	B/D	4,0E-04	2,3E-06
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvägen är utmanövrerad.	B/D	2,2E-06	2,2E-06
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvägen är utmanövrerad.	A/C	2,0E-06	2,0E-06
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	A/C	4,0E-04	1,7E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	A/C	4,0E-04	1,7E-06
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över härd)	B/D	2,0E-04	1,2E-06
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över härd)	A/C	2,0E-04	8,4E-07

Totalt erhålls härdskaidesannolikheten 3,5E-5. Resultatet är förhållandevis bra trots att ett antal funktioner helt saknar barriär mot härdskada. Det låga resultatet förklaras istället av att de händelser som är möjliga under perioden då kondensationsbassängen är tom har en relativt låg sannolikhet. Detta förklaras i sin tur av att den mest dominerande händelsen i föregående kapitel, bortfall av system 321 under fas 1 respektive 2 inte kan inträffa då kondensationsbassängen är tom.

I tabell 11 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på härdskada då de funktioner som finns kravställda i STF samt angivna i DI-2910 beaktas.

Tabell 11: Sannolikheten för härdskada utan vatten i kondensationsbassäng, 10 mest dominerande inledande händelserna.

Inledande händelse	Arbete på sub	P _{IH}	P _{HS} (DI-2910)
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under hård.)	B/D	9,9E-06	9,9E-06
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under hård.)	B/D	9,9E-06	9,9E-06
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över hård)	B/D	4,0E-04	2,3E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över hård)	B/D	4,0E-04	2,3E-06
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvägen är utmanövrerad.	B/D	2,2E-06	2,2E-06
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvägen är utmanövrerad.	A/C	2,0E-06	2,0E-06
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över hård)	A/C	4,0E-04	1,7E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över hård)	A/C	4,0E-04	1,7E-06
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över hård)	B/D	2,0E-04	1,2E-06
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över hård)	A/C	2,0E-04	8,4E-07

Totalt erhålls härskadesannolikheten 3,5E-5. Resultatet ändras inte när från fallet då bara STF kravställda funktioner beaktades. Anledningen till att resultatet inte förbättras är att de funktioner som tillkommer då även funktioner som kravställs i DI-2910 beaktas är beroende av att det finns vatten i kondensationsbassängen, eftersom kondensationsbassängen är tom kommer dessa funktioner inte kunna utnyttjas och därmed påverkas inte sannolikheten för härskada. Exempelvis kan inte system 322 utnyttjas när kondensationsbassängen är tom eftersom 322 kyler vattnet i kondensationsbassängen.

I tabell 12 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på härskada då samtliga funktioner beaktas.

Tabell 12: Sannolikheten för härskada utan vatten i kondensationsbassäng, 10 mest dominerande inledande händelserna.

Inledande händelse	Arbete på sub	P _{IH}	P _{HS} (Övriga)
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under hård.)	B/D	9,9E-06	9,9E-06

Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under härd.)	B/D	9,9E-06	9,9E-06
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	B/D	4,0E-04	2,3E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	B/D	4,0E-04	2,3E-06
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvägen är utmanövrerad.	B/D	2,2E-06	2,2E-06
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvägen är utmanövrerad.	A/C	2,0E-06	2,0E-06
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	A/C	4,0E-04	1,7E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	A/C	4,0E-04	1,7E-06
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över härd)	B/D	2,0E-04	1,2E-06
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över härd)	A/C	2,0E-04	8,4E-07

Totalt erhålls härdskadesannolikheten 3,5E-5. Resultatet ändras inte jämfört med fallet då endast funktioner krävda i STF beaktas. Anledningen till detta är att tillkommande funktioner inte kan utnyttjas då kondensationsbassängen är tom.

6.3 Resultat med avseende på kokning i bränslebassäng (K2)

I detta kapitel kommer sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen K2 att presenteras. I kapitel 6.3.1 presenteras resultaten då kondensationsbassängen är fylld och i kapitel 6.3.2 presenteras resultaten då kondensationsbassängen är tom. Analysen har även delats in beroende på vilka system som finns kravställda.

6.3.1 Resultat med vatten i kondensationsbassängen

I tabell 13 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på kokning i bränslebassängen då kondensationsbassängen är fylld. Tabellen är sorterad efter sannolikheten som erhålls då endast de funktioner som kravställs i STF beaktas.

Tabell 13: Sannolikheten för kokning i bränslebassängen då kondensationsbassängen är fylld, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	Sub	P _{IH}	P _{HS} (STF)	P _{HS} (DI-2910)	P _{HS} (Övriga)
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över hård)	B/D	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över hård)	A/C	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över hård)	B/D	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-04
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över hård)	A/C	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-04
Läckage i system 314 (Medelstort inre LOCA över hård)	B/D	9,3E-03	3,7E-05	3,7E-05	3,7E-05
Läckage i system 221 (Litet inre läckage)	B/D	1,1E-05	1,1E-05	7,5E-08	7,5E-08
Bortfall av system 321, fas 4	B/D	1,1E-02	1,1E-05	1,1E-05	6,8E-09
Yttre nätbortfall	A/C	3,1E-03	8,1E-06	8,1E-06	4,0E-07
Bortfall av system 321, fas 4	A/C	5,3E-03	5,3E-06	5,3E-06	3,3E-09

I bilaga 4 framgår resultaten för samtliga inledande händelser i form av ett stapeldiagram. Varje stapel redovisar sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen.

Totalt beräknas sannolikheten för kokning till 1,3E-3 då endast funktioner kravställda i STF beaktas. Sannolikheten för kokning förändras inte heller då funktioner angivna i DI-2910 beaktas. Sannolikheten för kokning ändras inte heller då samtliga funktioner beaktas. Anledningen till att sannolikheten endast reduceras marginellt är att de funktioner som tillkommer endast reducerar sannolikheten för kokning för inledande händelser som redan har låga resultat. För att reducera sannolikheten för kokning måste återgårdar vidtas som stärker barriären vid läckage över hård det vill säga läckage i system 321, 323 samt 314, då dessa dominerar med avseende på kokning.

6.3.2 Resultat utan vatten i kondensationsbassängen

I tabell 14 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på kokning i bränslebassängen då kondensationsbassängen är tom. Tabellen är sorterad efter sannolikheten som erhålls då endast de funktioner som krävs i STF beaktas.

Tabell 14: Sannolikheten för kokning i bränslebassängen då kondensationsbassängen är tom, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	Sub	P _{IH}	P _{HS} (STF)	P _{HS} (DI)	P _{HS} (Övriga)
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under härd.)	B/D	9,9E-06	9,9E-06	9,9E-06	9,9E-06
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under härd.)	B/D	9,9E-06	9,9E-06	9,9E-06	9,9E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	B/D	4,0E-04	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	B/D	4,0E-04	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvägen är utmanövrerad.	B/D	2,2E-06	2,2E-06	2,2E-06	2,2E-06
Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvägen är utmanövrerad.	A/C	2,0E-06	2,0E-06	2,0E-06	2,0E-06
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över härd)	A/C	4,0E-04	1,7E-06	1,7E-06	1,7E-06
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över härd)	A/C	4,0E-04	1,7E-06	1,7E-06	1,7E-06
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över härd)	B/D	2,0E-04	1,2E-06	1,2E-06	1,2E-06
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över härd)	A/C	2,0E-04	8,4E-07	8,4E-07	8,4E-07

I bilaga 4 framgår resultaten för samtliga inledande händelser i form av ett stapeldiagram. Varje stapel redovisar sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen.

Totalt beräknas sannolikhet för kokning till 3,5E-5 då bara STF funktioner tillgodoses. Sannolikheten för kokning förändras inte om funktioner som krävs i DI-2910 tillgodoses eller då samtliga funktioner beaktas.

6.4 Resultat med avseende på spädmatning med slang (K4)

I detta kapitel kommer sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen K4 att presenteras. I kapitel 6.4.1 presenteras resultaten då kondensationsbassängen är fylld och i kapitel 6.4.2 presenteras resultaten då kondensationsbassängen är tom.

6.4.1 Resultat med vatten i kondensationsbassängen

I tabell 15 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på konsekvensen spädmatning med slang då kondensationsbassängen är fylld. Tabellen är sorterad efter sannolikheten som erhålls då endast de funktioner som kravställs i STF beaktas.

Tabell 15: Sannolikheten för spädmatning med slang då kondensationsbassängen är fylld, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	Sub	P _{IH}	P _{HS} (STF)	P _{HS} (DI-2910)	P _{HS} (Övriga)
Yttre nätbortfall	A/C	2,7E-02	5,1E-06	5,1E-06	5,1E-06
Bortfall av system 321, fas 2	B/D	1,4E-03	1,0E-06	8,2E-08	8,1E-08
Yttre nätbortfall	B/D	6,2E-03	7,7E-07	7,7E-07	7,7E-07
CCI, elskena 664D	A/C	1,1E-03	3,0E-08	3,0E-08	3,0E-08
Bortfall av system 321, fas 4	B/D	1,1E-02	2,9E-08	2,9E-08	6,1E-10
CCI, elskena 654D	A/C	9,9E-04	2,4E-08	2,4E-08	2,4E-08
CCI, elskena 665D	A/C	2,7E-03	9,4E-09	9,0E-09	9,0E-09
CCI, elskena 665B	A/C	2,7E-03	7,4E-09	7,0E-09	7,0E-09
Bortfall av system 321, fas 4	A/C	5,3E-03	6,3E-09	3,4E-10	3,4E-10
CCI, elskena 665B	B/D	6,3E-04	1,5E-09	1,5E-09	1,5E-09

I bilaga 4 framgår resultaten för samtliga inledande händelser i form av ett stapeldiagram. Varje stapel redovisar sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen.

Totalt beräknas sannolikheten för spädmatning med slang till 7,0E-6 då endast funktioner krävställda i STF beaktas. Om dessutom funktioner angivna i DI-2910 beaktas blir den totala sannolikheten för spädmatning med slang 6,1E-6. Om samtliga funktioner beaktas blir sannolikheten 6,0E-6. Anledningen till att sannolikheten endast reduceras marginellt är att de funktioner som tillkommer endast reducerar sannolikheten för spädmatning med slang för inledande händelser som redan har en låga resultat. För att reducera sannolikheten för spädmatning med slang krävs att system 322 kan utnyttjas för resteffektkylning, och för detta krävs en flödesväg från reaktortanken till kondensationsbassängen. System 322 kravställs inte i STF.

6.4.2 Resultat utan vatten i kondensationsbassängen

I tabell 16 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på spädmatning med slang då kondensationsbassängen är tom. Tabellen är sorterad efter sannolikheten som erhålls då endast de funktioner som kravställs i STF beaktas.

Tabell 16: Sannolikheten för konsekvensen spädmatning med slang då kondensationsbassängen är tom, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	Sub	P _{IH}	P _{HS} (STF)	P _{HS} (DI-2910)	P _{HS} (Övriga)
Yttre nätbortfall	A/C	2,7E-02	5,1E-06	5,1E-06	5,1E-06
Yttre nätbortfall	B/D	3,0E-02	3,8E-06	3,8E-06	3,8E-06
Bortfall av system 321, fas 4	B/D	5,1E-02	1,4E-07	1,4E-07	1,4E-07
CCI, elskena 664D	A/C	1,1E-03	3,0E-08	3,0E-08	3,0E-08
CCI, elskena 654D	A/C	9,9E-04	2,4E-08	2,4E-08	2,4E-08
CCI, elskena 665D	A/C	2,7E-03	9,4E-09	9,0E-09	9,0E-09
CCI, elskena 665B	A/C	2,7E-03	7,4E-09	7,0E-09	7,0E-09
CCI, elskena 665B	B/D	3,1E-03	7,3E-09	7,3E-09	7,3E-09
Bortfall av system 321, fas 4	A/C	5,3E-03	6,3E-09	3,4E-10	3,4E-10
CCI, elskena 665D	B/D	3,1E-03	5,3E-09	5,3E-09	5,3E-09

I bilaga 4 framgår resultaten för samtliga inledande händelser i form av ett stapeldiagram. Varje stapel redovisar sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen.

Totalt beräknas sannolikheten för spädmatning med slang till 9,1E-6 då endast funktioner krävställda i STF beaktas. Resultatet påverkas inte då funktioner angivna i DI-2910 beaktas. Sannolikheten för spädmatning förändras inte heller då samtliga funktioner beaktas.

6.5 Resultat med avseende på bränsle i kontakt med brandvatten (K5)

I detta kapitel kommer sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen K5 att presenteras. I kapitel 6.5.1 presenteras resultaten då kondensationsbassängen är fylld och i kapitel 6.5.2 presenteras resultaten då kondensationsbassängen är tom.

6.5.1 Resultat med vatten i kondensationsbassängen

I tabell 17 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på konsekvensen bränsle i kontakt med brand vatten då kondensationsbassängen är fylld. Tabellen är sorterad efter sannolikheten som erhålls då endast de funktioner som krävställs i STF beaktas.

Tabell 17: Sannolikheten för konsekvensen bränsle i kontakt med brandvatten då kondensationsbassängen är fylld, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	Sub	P _{IH}	P _{HS} (STF)	P _{HS} (DI - 2910)	P _{HS} (Övriga)
Bortfall av system 321, fas 2	B/D	1,4E-03	1,0E-06	8,2E-08	9,9E-08
Yttre nätbortfall	B/D	6,2E-03	7,7E-07	7,7E-07	7,9E-07
Yttre nätbortfall	A/C	3,1E-03	5,9E-07	5,9E-07	4,1E-07
Bortfall av system 321, fas 4	B/D	1,1E-02	2,9E-08	2,9E-08	1,9E-09
Bortfall av system 321, fas 4	A/C	5,3E-03	6,3E-09	3,4E-10	2,3E-10
CCI, elskena 664D	A/C	1,3E-04	3,4E-09	3,4E-09	1,9E-10
CCI, elskena 654D	A/C	1,1E-04	2,8E-09	2,8E-09	5,4E-10
CCI, elskena 665B	B/D	6,3E-04	1,5E-09	1,5E-09	1,5E-09

CCI, elskena 665D	B/D	6,3E-04	1,1E-09	1,1E-09	1,1E-09
CCI, elskena 665D	A/C	3,2E-04	1,1E-09	1,0E-09	6,7E-10

I bilaga 4 framgår resultaten för samtliga inledande händelser i form av ett stapeldiagram. Varje stapel redovisar sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen.

Totalt beräknas sannolikheten för bränsle i kontakt med brandvatten till 2,4E-6 då endast funktioner kravställda i STF beaktas. Om dessutom funktioner angivna i DI-2910 beaktas blir den totala sannolikheten för bränsle i kontakt med brandvatten 3,5E-6. Om samtliga funktioner beaktas blir sannolikheten till 6,6E-6. Anledningen till att sannolikheten ökar är att tillkommande funktioner medför sekvenser som leder till spädmatning/resteffektkylning med brandvatten istället för värre konsekvenser som härskada eller kokning.

6.5.2 Resultat utan vatten i kondensationsbassängen

I tabell 18 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på konsekvensen bränsle i kontakt med brandvatten då kondensationsbassängen är tom. Tabellen är sorterad efter sannolikheten som erhålls då endast de funktioner som kravställs i STF beaktas.

Tabell 18: Sannolikheten för kokning i bränslebassängen då kondensationsbassängen är tom, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	Sub	P_{IH}	P_{HS} (STF)	P_{HS} (DI)	P_{HS} (Övriga)
Yttre nätbortfall	A/C	2,7E-02	5,1E-06	5,1E-06	5,1E-06
Yttre nätbortfall	B/D	3,0E-02	3,8E-06	3,8E-06	3,77E-06
Bortfall av system 321, fas 1	B/D	5,1E-02	1,4E-07	1,4E-07	1,42E-07
CCI, elskena 664D	A/C	1,1E-03	3,0E-08	3,0E-08	3,0E-08
CCI, elskena 654D	A/C	9,9E-04	2,4E-08	2,4E-08	2,4E-08
CCI, elskena 665D	A/C	2,7E-03	9,4E-09	9,0E-09	9,0E-09
CCI, elskena 665B	A/C	2,7E-03	7,4E-09	7,0E-09	7,0E-09
CCI, elskena 665B	B/D	3,1E-03	7,3E-09	7,3E-09	7,26E-09
Bortfall av system 321, fas 4	A/C	4,6E-02	6,3E-09	3,4E-10	3,4E-10
CCI, elskena 665D	B/D	3,1E-03	5,3E-09	5,3E-09	5,33E-09

I bilaga 4 framgår resultaten för samtliga inledande händelser i form av ett stapeldiagram. Varje stapel redovisar sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen.

Totalt beräknas sannolikhet för bränsle i kontakt med brandvatten till 9,1E-6 då endast funktioner krävda i STF beaktas. Resultatet påverkas inte då funktioner angivna i DI-2910 beaktas. Sannolikheten för spädmatning förändras inte heller då samtliga funktioner beaktas. Anledningen är att de funktioner som kan tillföras inte påverkar denna konsekvens.

6.6 Resultat med avseende på utflöde från reaktorinneslutningen (K6)

I detta kapitel kommer sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen K6 att presenteras. I kapitel 6.6.1 presenteras resultaten då kondensationsbassängen är fylld och i kapitel 6.6.2 presenteras resultaten då kondensationsbassängen är tom.

6.6.1 Resultat med vatten i kondensationsbassängen

I tabell 19 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på utflöde från reaktorinneslutningen då kondensationsbassängen är fylld. Tabellen är sorterad efter sannolikheten som erhålls då endast de funktioner som krävs i STF beaktas.

Tabell 19: Sannolikheten för utflöde från reaktorinneslutningen då kondensationsbassängen är fylld, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	Sub	P_{IH}	P_{HS} (STF)	P_{HS} (DI)	P_{HS} (Övriga)
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över hård)	A/C	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över hård)	A/C	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över hård)	B/D	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över hård)	B/D	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över hård)	A/C	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-04
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över hård)	B/D	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-04
Läckage i system 314 (Stor inre LOCA över hård)	B/D	1,8E-05	1,8E-05	1,8E-05	1,8E-05
Läckage i system 314 (Stor inre LOCA över hård)	B/D	9,3E-03	1,3E-05	1,3E-05	1,3E-05
Läckage i system 411 (Stort yttre läckage, över hård)	A/C	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06
Läckage i system 411 (Stort yttre läckage, över hård)	A/C	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06

I bilaga 4 framgår resultaten för samtliga inledande händelser i form av ett stapeldiagram. Varje stapel redovisar sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen.

Totalt beräknas sannolikhet för utflöde från reaktorinneslutningen till $2,1E-3$ då bara STF funktioner tillgodoses. Resultatet påverkas inte då funktioner angivna i DI-2910 beaktas. Sannolikheten för utflöde från reaktorinneslutningen förändras inte heller då samtliga funktioner beaktas. Anledningen är att de funktioner som kan tillföras inte påverkar denna konsekvens.

6.6.2 Resultat utan vatten i kondensationsbassängen

I tabell 20 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på utflöde från reaktorinneslutningen då kondensationsbassängen är tom. Tabellen är sorterad efter sannolikheten som erhålls då endast de funktioner som krävs i STF beaktas.

Tabell 20: Sannolikheten för utflöde från reaktorinneslutningen då kondensationsbassängen är tom, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	Sub	P_{IH}	P_{HS} (STF)	P_{HS} (DI)	P_{HS} (Övriga)
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över hård)	A/C	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över hård)	A/C	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 321 (Medelstort inre läckage, över hård)	B/D	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 321 (Medelstort yttre läckage, över hård)	B/D	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04	4,0E-04
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över hård)	A/C	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-04
Läckage i system 323 (Medelstort inre läckage, över hård)	B/D	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-04
Läckage i system 313 (Stor inre LOCA under hård.)	B/D	9,9E-06	9,9E-06	9,9E-06	9,9E-06
Läckage i system 411 (Stort yttre läckage, över hård)	A/C	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06
Läckage i system 411 (Stort yttre läckage, över hård)	A/C	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06
Läckage i system 411 (Stort yttre läckage, över hård)	B/D	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06

I bilaga 4 framgår resultaten för samtliga inledande händelser i form av ett stapeldiagram. Varje stapel redovisar dels sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen.

Totalt beräknas sannolikhet för utflöde från reaktorinneslutningen då kondensationsbassängen är tom till 2,0E-3 då bara STF funktioner tillgodoses. Resultatet påverkas inte då funktioner angivna i DI-2910 beaktas. Sannolikheten för utflöde från reaktorinneslutningen förändras inte heller då samtliga funktioner beaktas. Anledningen är att de funktioner som kan tillföras inte påverkar denna konsekvens.

6.7 Resultat med avseende på bräddning av 342-tanken (K7)

I detta kapitel kommer sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för konsekvensen K7 att presenteras. Eftersom konsekvensen bara kan inträffa då kondensationsbassängen är fylld redovisas endast dessa resultat. Dessutom kan konsekvensen endast inträffa då samtliga funktioner beaktas, så resultaten kan, som tidigare, jämföras med varandra.

6.7.1 Resultat med vatten i kondensationsbassängen

I tabell 21 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna med avseende på bräddning av 342 - tanken då alla funktioner beaktas.

Tabell 21: Sannolikheten för bräddning av 342 - tanken då kondensationsbassängen är fylld, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	Sub	P _{IH}	P _{HS} (Övriga)
Bortfall av system 321, fas 1	B/D	1,4E-03	1,7E-07
Yttre nätbortfall	A/C	3,1E-03	3,0E-08
Läckage vid arbete med sondrör, litet inre läckage under hård.	B/D	7,0E-04	2,8E-08
Bortfall av system 321, fas 2	B/D	1,4E-03	1,8E-08
Yttre nätbortfall	B/D	6,2E-03	1,2E-08
Bortfall av system 321, fas 4	B/D	1,1E-02	1,3E-09
CCI, elskena 665D	A/C	3,2E-04	1,2E-09
CCI, elskena 665B	A/C	3,2E-04	1,2E-09
Temperaturökning i bassängerna pga. av återcirkulation.	B/D	4,7E-07	9,3E-10
Bortfall av system 321, fas 4	A/C	5,3E-03	6,4E-10

I bilaga 4 framgår resultaten för samtliga inledande händelser i form av ett stapeldiagram. Varje stapel redovisar sannolikheten för den inledande händelsen samt sannolikheten för härdskada.

Totalt beräknas sannolikheten för konsekvensen vatten i kontakt med brandvatten till 2,6E-7.

6.7 Resultat reaktoravställningen 2009

Utifrån genomförda analyser med respektive utan vatten i kondensationsbassängen förslås att följande funktioner skall kravställas i driftkriterierna för revisionsperioden 2009.

System 322 tillsammans med system 314:

Om ett bortfall av system 321 under fas 1 respektive fas 2 (i fallet då bortmontering av reaktortanklocket misslyckas) erhålls finns inte någon kravställd barriär i STF mot HS, detta eftersom resteffekten kommer att leda till en övertryckning av reaktortanken om inte system 314 aktiveras. System 314 medför dels att övertryckning av reaktortanken undviks och dels att vatten kan återföras till kondensationsbassängen. Om system 322 (tillsammans med tillhörande kylkedja 711/715) kravställs kan resteffektkyllning etableras. Dessa system har stor påverkan på händelsen bortfall av 321 under fas 1 respektive 2, vilka är de mest dominerande inledande händelserna med avseende på härdskada.

System 762 och 365 tillsammans med system 322:

Vid bottenläckage i system 221 och 313 finns ingen barriär mot HS eftersom uppfyllning av reaktorinneslutningen krävs för att undvika HS. För att uppfyllningen skall lyckas krävs system 762, 365 samt 322. Dessutom kan system 322 användas för resteffektkyllning i fall system 321 inte fungerar. Om dessa system kravställs ökar barriären avsevärt för dessa inledande händelser med avseende på härdskada.

Utifrån analysen av de andra slutillstånden kan konstateras att reduceringen av sannolikheten för konsekvensen kokning i reaktortanken följer samma resonemang som för härdskada (förutom vid läckage över hård). Vid de andra konsekvenserna visar det sig att sannolikheten bara reduceras marginellt då nya funktioner förs in i analysen. Med anledning av detta kommer följande kapitel enbart utvärdera införandet av de föreslagna systemen med avseende på sannolikheten för härdskada.

För att kunna undersöka hur mycket dessa system tillsammans med STF kan reducera sannolikheten för härdskada kommer resultaten för de olika analysfallen att presenteras. I kapitel 6.7.1 analyseras sannolikheten för härdskada då det antas att system kravställda i STF finns tillgängliga. I kapitel 6.7.2 analyseras sannolikheten för härdskada då system kravställda i STF samt system 322 och 314 finns tillgängliga. I kapitel 6.7.3 redovisas resultaten då det antas att STF samt system 762, 365 samt 322 finns tillgängliga. I kapitel 6.7.4 redovisas slutligen resultatet då samtliga system som kravställs i de föreslagna driftkriterierna antas vara tillgängliga.

6.7.1 Analysfall: STF

I tabell 21 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna då endast funktioner som kravställs i STF beaktas. I tabellen presenteras resultatet av analysen då hänsyn är tagen till planerade subavställningar samt fylld respektive tom kondensationsbassäng.

Tabell 21: Härdskadesannolikheten då enbart system som kravställs enligt STF beaktas, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	PSA beteckning	Sub	P _{IH}	P _{HS} (STF)
T_321STOPP___1BDC_1	Bortfall av 321 (fas 1)	B/D	1,4E-03	1,4E-03
T_321STOPP___2BDC_1	Bortfall av 321 (fas 2 och 6)	B/D	1,4E-03	1,4E-04
L_313PROPP1B___BDC_1	Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump	B/D	1,2E-05	1,2E-05
L_313PROPP1A___BDC_1	Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump	B/D	1,2E-05	1,2E-05
L_221DRIVDON___BDC_1	Drivdon demonteras utan att drivdonshuset har tätats med styrvastav eller plugg	B/D	1,1E-05	1,1E-05
L_321VENTIL___BDC_1	Läckage från reaktortanken på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	B/D	8,0E-04	4,6E-06
LY321VENTIL___BDC_1	Läckage från reaktortanken (utanför reaktorinneslutningen) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	B/D	8,0E-04	4,6E-06
L_321VENTIL___ACC_1	Läckage från reaktortanken på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	A/C	8,0E-04	3,4E-06
LY321VENTIL___ACC_1	Läckage från reaktortanken (utanför reaktorinneslutningen) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	A/C	8,0E-04	3,4E-06
T_FELLADDN___BDC_1	Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvastaven är utmanövrerad	B/D	2,6E-06	2,6E-06
L_323VENTIL___BDC_1	Läckage från reaktortanken på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 323	B/D	4,0E-04	2,3E-06

Totalt beräknas sannolikheten för härdskada till 1,6E-3. Majoriteten av de inledande händelserna inträffar vid arbete med B/D-sub.

6.7.2 Analysfall: STF + system 322 samt 762

I tabell 22 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna då de funktioner som kravställs enligt STF beaktas samt system 322 och 762 beaktas. I tabell 22

presenteras resultatet av analysen då hänsyn är tagen till planerade subavställningar samt fylld respektive tom kondensationsbassäng.

Tabell 22: Härdska- sannolikheten då de funktioner som krävs enligt STF samt system 322 och 762 beaktas, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	PSA beteckning	Sub	P _{IH}	P _{HS} (322 & 762)
T_321STOPP_1BDC_1	Bortfall av 321 (fas 1)	B/D	1,4E-03	1,4E-03
T_321STOPP_2BDC_1	Bortfall av 321 (fas 2 och 6)	B/D	1,4E-03	1,4E-04
L_313PROPP1B_BDC_1	Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump	B/D	1,2E-05	1,2E-05
L_313PROPP1A_BDC_1	Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump	B/D	1,2E-05	1,0E-05
L_221DRIVDON_BDC_1	Drivdon demonteras utan att drivdonshuset har tätats med styrvax eller plugg	B/D	1,1E-05	7,5E-08
L_321VENTIL_BDC_1	Läckage från reaktortanken på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	B/D	8,0E-04	4,6E-06
LY321VENTIL_BDC_1	Läckage från reaktortanken (utanför reaktorinneslutningen) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	B/D	8,0E-04	4,6E-06
L_321VENTIL_ACC_1	Läckage från reaktortanken på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	A/C	8,0E-04	3,4E-06
LY321VENTIL_ACC_1	Läckage från reaktortanken (utanför reaktorinneslutningen) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	A/C	8,0E-04	3,4E-06
T_FELLADDN_BDC_1	Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvaxen är utmanövrerad	B/D	2,6E-06	2,6E-06

Totalt beräknas sannolikheten för härdskada till 1,6E-3. Majoriteten av de inledande händelserna inträffar vid arbete med B/D-sub. Det visar sig att system 322 samt uppfyllning med system 762 inte har den stora effekt som hade förväntats. Sannolikheten för härdskada vid läckage i system 313 reduceras vid fallet L_313PROPP1A_BDC_1 samtidigt som sannolikheten vid fallet L_313PROPP1B_BDC_1 förblir oförändrad.

Totalt beräknas sannolikheten för härdskada till 1,6E-3. Majoriteten av de inledande händelserna inträffar vid arbete på B/D-sub.

6.7.3 Analysfall: STF + system 314 samt 322

I tabell 23 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna då de funktioner som krävs enligt STF beaktas samt system 314 och 322. I tabell 23 presenteras resultatet av analysen då hänsyn är tagen till planerade subavställningar samt fylld respektive tom kondensationsbassäng.

Tabell 23: Härdskaadesannolikheten då de funktioner som kravställs enligt STF samt system 314 och 322 beaktas, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	PSA beteckning	Sub	P _{IH}	P _{HS} (314 & 322)
L_313PROPP1B_BDC_1	Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump	B/D	1,2E-05	1,2E-05
L_313PROPP1A_BDC_1	Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump	B/D	1,2E-05	1,2E-05
L_221DRIVDON_BDC_1	Drivdon demonteras utan att drivdonshuset har tätats med styrvast eller plugg	B/D	1,1E-05	1,1E-05
L_321VENTIL_BDC_1	Läckage från reaktortanken på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	B/D	8,0E-04	4,6E-06
LY321VENTIL_BDC_1	Läckage från reaktortanken (utanför reaktorinneslutningen) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	B/D	8,0E-04	4,6E-06
L_321VENTIL_ACC_1	Läckage från reaktortanken på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	A/C	8,0E-04	3,4E-06
LY321VENTIL_ACC_1	Läckage från reaktortanken (utanför reaktorinneslutningen) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	A/C	8,0E-04	3,4E-06
T_FELLADDN_BDC_1	Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvasten är utmanövrerad	B/D	2,6E-06	2,6E-06
L_323VENTIL_BDC_1	Läckage från reaktortanken på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 323	B/D	4,0E-04	2,3E-06
T_FELLADDN_ACC_1	Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvasten är utmanövrerad	A/C	2,2E-06	2,2E-06

De två inledande händelser som tidigare var mest dominerande, bortfall av resteffektkylning under fas 1 och 2, har helt försvunnit från listan över de 10 mest dominerande händelserna. Detta beror på det nu finns en barriär vid dessa händelser vilket inte fanns tidigare. Den totalt sannolikheten för härdskada beräknas till 6,4E-5 vilket är en reduktion av sannolikheten för härdskada med 96 % jämfört med fallet då endast system kravställda i STF beaktades.

6.7.4 Analysfall: Driftkriterier 2009

I tabell 22 redovisas de 10 mest dominerande inledande händelserna då endast de funktioner som kravställs enligt STF samt de föreslagna driftkriterierna inför 2009 år revision dvs. system 322, 314 samt 762 beaktas. I tabellen presenteras resultatet av analysen då hänsyn är tagen till planerade subavställningar samt fylld respektive tom kondensationsbassäng.

Tabell 22 Härdskaadesannolikheten då de funktioner som kravställs enligt STF samt de föreslagna driftkriterierna inför 2009 år revision beaktas, 10 mest dominerande inledande händelserna (med avseende på STF).

Inledande händelse	PSA beteckning	Sub	P _{IH}	P _{HS} (Driftkriterier 2009)
L_313PROPP1B_BDC_1	Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump	B/D	1,2E-05	1,2E-05
L_313PROPP1A_BDC_1	Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump	B/D	1,2E-05	1,0E-05
L_321VENTIL_BDC_1	Läckage från reaktortanken på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	B/D	8,0E-04	4,6E-06
LY321VENTIL_BDC_1	Läckage från reaktortanken (utanför reaktorinneslutningen) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	B/D	8,0E-04	4,6E-06
L_321VENTIL_ACC_1	Läckage från reaktortanken på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	A/C	8,0E-04	3,4E-06
LY321VENTIL_ACC_1	Läckage från reaktortanken (utanför reaktorinneslutningen) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321	A/C	8,0E-04	3,4E-06
T_FELLADDN_BDC_1	Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvärdet är utmanövrerat	B/D	2,6E-06	2,6E-06
L_323VENTIL_BDC_1	Läckage från reaktortanken på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 323	B/D	4,0E-04	2,3E-06
T_FELLADDN_ACC_1	Felladdning av bränslepatron i supercell där styrvärdet är utmanövrerat	A/C	2,2E-06	2,2E-06
T_321STOPP_2BDC_1	Bortfall av 321 (fas 2 och 6)	B/D	1,4E-03	2,0E-06

De två inledande händelser som tidigare var mest dominerande, bortfall av resteffektkylning under fas 1 och 2, har helt försvunnit från listan de 10 mest dominerande händelserna. Detta beror på att det nu finns en barriär vid dessa händelser vilket inte fanns tidigare. Den totalt sannolikheten för härskada beräknas till 5,1E-5 vilket är en reduktion av sannolikheten för härskada med 97 % jämfört med fallet då endast system kravställda i STF beaktades.

7 Resultat i sammanfattning

Utifrån de genomförda analyserna, med och utan vatten i kondensationsbassängen, föreslås att följande systemfunktioner skall ingå i driftkriterierna inför revisionsperioden 2009:

- Resteffektkylning med system 322.
- Tryckavlastning med system 314.
- Uppfyllning av reaktorinneslutningen med system 762/365/322.

Tabell 23 redovisar härskadesannolikheten som funktion av beaktade systemfunktioner samt vatteninnehåll i kondensationsbassängen.

Tabell 23: Sammanställning av resultat avseende härskada

Vatteninnehåll i kondensationsbassängen	STF	DK2009	DI-2910	Alla
Med vatten	1,6E-03	3,2E-05	4,2E-05	3,4E-05
Revision 2009	1,6E-03	5,1E-05	5,1E-05	4,7E-05
Utan vatten	1,6E-03	5,7E-05	5,7E-05	5,7E-05

Om de föreslagna driftkriterierna appliceras på 2009 års revision kommer den totala härskadesannolikheten att reduceras från 1,6E-3 då enbart systemfunktioner kravställda i STF beaktas till 5,1E-5 då dessutom driftkriterierna beaktas. Detta är en reduktion med 97 %.

8 Sammanfattande diskussion

Det kan till att börja med konstateras att effekt av de nya driftkriterierna endast erhålls vid fallet då B/D-subarna är avställda samt kondensationsbassängen är fylld. Anledningen till detta är att många av de sekvenser vars barriär förbättras vid införande av nya funktioner inträffar under just denna period (exempelvis bortfall av system 321 under fas 1 respektive 2). När kondensationsbassängen är tom förloras ett av de viktigaste systemen, nämligen spädmatning av reaktortanken med system 323 (eftersom system 323 tar vatten från kondensationsbassängen och pumpar in det i reaktortanken). Detta medför att det vid stora läckage inte går att undvika härdskada oavsett vilka system som beaktas eftersom flera sekvenser kräver spädmatning med system 323. Det finns helt enkelt ingen möjlighet att komma så långt in i händelsesekvensen (händelsetråden) att de tillkommande systemen kan användas. Detta gör att det vid denna revision blir svårt att reducera sannolikheten för härdskada då kondensationsbassängen är tom.

Den inledande händelsen som med de nya driftkriterierna är mest dominerande är läckage över hårdnivå, dvs läckage i system 321, 323, 314. Anledningen är att enligt instruktionerna skall vattennivån i reaktortanken tas ned under läckagestället. Det finns då inget sätt att kyla hårdnen eftersom intaget till kylsystem 321 sitter ovanför läckagestället. Det går inte heller att resteffektkyla med system 322 eftersom vattnet inte kan återföras till kondensationsbassängen. Detta leder till en sekvens som innebär att kokning i reaktortanken tillåts och därmed tvingas man spädmata reaktortanken (externt vatten, system 327) med den mängd vatten som kokar bort för att undvika att hårdnen friläggs därav den höga sannolikheten för konsekvensen kokning i reaktortanken. Om det kokat i reaktortanken kommer så klart även sannolikheten för härdskada öka eftersom en av barriärerna, resteffektkylningen, inte finns tillgänglig. Alternativet är att ändra i instruktionerna så att vattennivån hålls ovanför läckagestället för att på så sätt få ett utflöde genom läckaget ned till kondensationsbassängen. I så fall är det möjligt att etablera resteffektkylning med system 322 och då undvika kokning i kondensationsbassängen. Analys av detta har inte rymts inom detta examensarbete.

Det är andra gången en revisionspecifik PSA-analys genomförs vid Forsmark. Denna analys förstärker intrycket av att PSA analyser vid avställningar tillför viktig information för anläggningarnas säkerhet. Varje revisionsavställning är unik; samtidigt som många likheter finns med tidigare revisioner tillkommer vissa ingrepp medan andra försvinner. Planeringen av vilka systemfunktioner som kan ställas av vid olika tidpunkter av revisionen tillför ytterligare ett element av komplexitet till ett redan mycket komplext system. Det är omöjligt att förutse alla möjligheter till fallgropar under en revision men med den här typen av PSA-analys kan på ett systematiskt tillvägagångssätt förutse många av de risker som kan uppkomma samt identifiera brister i planeringen och utforma av lämpliga driftkriterier. Detta måste ses som ett mycket viktigt komplement till det kvantitativa tillvägagångssätt som i dagsläget används vid planering av revisionsavställningar.

Trots att fas 1 respektive 2 är väldigt kort (vardera är 12 timmar långa) bidrar de till en mycket stor del av den totala härdskadefrekvensen.

8.1 Förslag till framtida studier

I denna analys har inte externa händelser samt rumshändelser (brand och översvämning) beaktats. Ett framtida jobb skulle vara att i första hand anpassa nuvarande modell för kall avställd reaktor till att kunna analysera externa händelser, rumshändelser samt anpassa modellen till en nivå-2 analys. Denna modell skulle sedan kunna användas för att genomföra en analys av en specifik revision. Detta arbete skulle bli mycket komplext delvis eftersom en revision innebär att många branddörrar som skall vara stängda är öppna, och att kvantifiera detta skulle medföra ett omfattande jobb. Det kan dock antas att brand under revision kan ge ett betydande bidrag till risken just under revisionsperioden.

Eftersom resteffekten under kall avställning avtar under revisionsperioden kommer även förutsättningarna förändras under revisionens gång. Den absolut största delen av analysen avser fas 4. I denna analys antas resteffekten vara konstant under hela fasen. Fas 4 skulle kunna delas upp i ett antal mindre faser där resteffekten minskar med tiden vilket skulle göra analysen mer realistisk.

För att ytterligare komplettera denna studie skulle en analys kunna genomföras där effekten av ändringar i driftinstruktionerna beaktas. I första hand de förändringar av instruktionerna som föreslogs i föregående kapitel. Det skulle vara intressant att se hur mycket sannolikheten för kokning och härdskada därigenom kan reduceras.

9 Referenslista

9.1 Tryckt material

- [27] Kent Bladh, Jan Erik Holmberg, Ulf Kahlbom, Jan Niremark, Erik Sparre *An approach to analyse human reliability during refuelling outage of a nuclear power plant.*
- [23] Rausand, M. and A. Høyland: "System Reliability Theory; Models, Statistical Methods and Applications" (Second Edition), Wiley, New York, 2004.

9.2 Rapporter

- [1] *PSA Forsmark 1 och 2 Huvudrapport 1 Introduktion till studien*, FT-2006-1960, Forsmark, 2006-11-13
- [2] Forsmark 1 – Säkerhetsrapport Allmän del kapitel 5 - Beskrivning av anläggningen Avsnitt 5.1 - Beskrivning av reaktoranläggningen. F1-FSAR-KAP5.1, Forsmark, 2008-08-12
- [3] Forsmark 1 - SÄKERHETSRAPPORT Allmän del kapitel 4 – Säkerhetskrav Avsnitt 4.2 – Säkerhetsprinciper, F1-FSAR-KAP4.2, Forsmark, 2008-08-29
- [4] Säkerhetstekniska driftförutsättningar STF Forsmark 2, Forsmark, 2007-10-30
- [5] *Forsmark 1 – säkerhetsrapport för anläggningens drift och underhåll*, F1-FSAR-KAP2, Forsmark, 2007-06-13
- [6] *Forsmark 1 – Säkerhetsrapport Allmän del kapitel 5 - Beskrivning av anläggningen Avsnitt 5.5 - Beskrivning av säkerhetsfunktioner*, F1-FSAR-KAP-5.5, Forsmark, 2008-02-08
- [7] Hellström, P *Övergripande beskrivning av PSA nivå 1 och 2 och analys av yttre händelser*, kurmaterial från Relcon Scandpower, 2004
- [8] *PSA Forsmark 1/2 och Forsmark 3 Bilagor till huvudrapporten 1.3 Metodbeskrivning för analys nivå 1 kall avställning*. FT-2006-110, Forsmark, 2006-12-18
- [9] *Probabilistics safety assessments of nuclear power plants for low power and shutdown modes*, IAEA-TECDOC-1144, Vienna Austria, 2000-03
- [10] *PSA Forsmark 1 och 2 Bilagor till huvudrapporten 6.7.3 Operatörsingrepp och mänskligt felhandlande (kall avställning)*. FT-2006-2057, Forsmark, 2007-12-27
- [11] *PSA Forsmark 1 och 2 Huvudrapport 4.2 Sekvensanalys Nivå 1 effektdrift*, FT-2005-1104, Forsmark, 2008-02-20

- [12] *PSA Forsmark 1 och 2 Bilagor till huvudrapporten 5.12 Systemanalys för system 354 – Snabbstoppsystem*, FT-2005-953, Forsmark, 2007-12-07
- [13] *PSA Forsmark 1 och 2 Bilagor till huvudrapporten 5.20 Systemanalys för system 532 – Manöversystem för styrtavar* FT-2005-961, Forsmark, 2007-12-21
- [14] *PSA till Forsmark 1 och 2 Bilagor till huvudrapporten 5.7 Systemanalys för system 327 – Hjälpmedelsvattensystem* , FT-2005-948, 2007-12-12
- [15] *PSA Forsmark 1 och 2 Bilagor till huvudrapporten 5.5 Systemanalys för system 323 - Nödkylsystem för reaktorhärden*, FT-2005-946, Forsmark, 2005-12-18
- [16] *PSA Forsmark 1 och 2 Huvudrapport 3.4 Analys av inledande händelser kall avställning*, FT-2006-1963, Forsmark, 2008-11-27
- [18] *PSA Forsmark 1 och 2 Huvudrapport 4.1 Introduktion till sekvensanalys*, FT-2005-1103, Forsmark, 2008-06-16
- [19] *PSA Forsmark 1 och 2 Huvudrapport 6 Analys av beroenden*, FT-2005-925, Forsmark, 2007-09-24
- [20] *PSA Forsmark 1 och 2 Bilagor till huvudrapporten 2.1 Beskrivning av PSA-modellen*, FT-2006-1423, Forsmark, 2006-06-21
- [21] *PSA Forsmark 1/2 och Forsmark 3 Bilagor till huvudrapporten 1.3 Metodbeskrivning för analys nivå 1 kall avställning*, FT-2006-110, Forsmark, 2006-12-18
- [22] *PSA Forsmark 1 och 2 Huvudrapport 3.1 Inledning till analys av inledande händelser*, FT-2005-921, 2006-11-17, Forsmark
- [24] *NOG-Säkerhet och miljö, Säkerhet under revisionsavställning. Delprojekt B - Komplettering av befintlig säkerhetsredovisning, SEP 03-500 rev 0.*

9.3 Hemsidor

- [25] Forsmarks kraftgrupp: www.forsmark.com, flera gånger under hösten 2008

9.4 Övriga

- [26] Föreläsningssanteckningar från kursen komplexa system

Bilagor

Bilaga 1: Beräkning av frekvensen för respektive inledande händelse

NOG beskrivning	Stödfunktion	Frekvens	Felhandling A	Felhandling B	Recovery före IH	Frekvens inledande Händelse (gångar per revision)
Felladdning (fel position) av bränslepatron i supercell där styrvstaven är utmanövrerad. <i>Delkvantifiering</i>	Driftorder Laddschema	2 superceller med 8 patroner	Drivdonsservice ej avslutad innan laddning påbörjas	Patron laddas inte enligt laddschema	Larm i kontrollrummet på WRNM aktivitet	Lokal kriticitet 2,80E-06
Felladdning (fel position) av bränslepatron i supercell där styrvstaven är utmanövrerad. <i>Delkvantifiering</i>	Driftorder Laddschema	En gång per revision	Drivdonsservice ej avslutad innan laddning	Fel i laddschema	Larm i kontrollrummet på WRNM aktivitet	Lokal kriticitet 1,40E-06
Utmanövrering av styrvstava i supercell där en patron är felladdad (fel position). <i>Delkvantifiering</i>	Driftorder Laddschema	2 superceller med 8 patroner	Patron laddas inte enligt laddschema	Drivdonsservice påbörjas för sent	Larm i kontrollrummet på WRNM aktivitet	Lokal kriticitet 4,00E-07
Utmanövrering av styrvstava i supercell där en patron är felladdad (fel position). <i>Delkvantifiering</i>	Driftorder Laddschema	En gång per revision	Fel i laddschema	Drivdonsservice påbörjas för sent	Larm i kontrollrummet på WRNM aktivitet	Lokal kriticitet 2,00E-07
Felladdning (fel position) av bränslepatron i supercell där styrvstaven är utmanövrerad. <i>Kvantifiering</i>						T_FELLADDN_D_I 4,80E-06
Felaktig hantering av tätpropp <i>Kvantifiering</i>	• Reaktortidsplan • Driftorder • UH-instruktion • 313-hage	8 pumpar och service-intervall 4 år	Utebliven/felaktig montering av tätpropp		Dränering (0,01) och läckage (0,002)	Stor LOCA 4,00E-07
Obefogad öppning av tätfläns <i>Kvantifiering</i>	• Reaktortidsplan • Driftorder • UH-instruktion • 313-hage	8 pumpar och service-intervall 4 år		Tätfläns demonteras utan att det finns annan avgränsning	Återmontering av tätfläns (0,002)	Stor LOCA 8,00E-06
Felaktig montering av tätfläns <i>Kvantifiering</i>	• Reaktortidsplan • Driftorder • UH-instruktion • 313-hage	8 pumpar och service-intervall 4 år	Felaktig montering av tätfläns		Återmontering av tätfläns (0,01), Inget läckage vid uppfyllnad (0,1)	Stor LOCA 4,00E-06
Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump <i>Kvantifiering</i>						L_313PROPP1_C_I (Stor LOCA) 1,24E-05
Lyft av tätpropp med felfungerande brytpinne <i>Kvantifiering</i>	• Reaktortidsplan • Driftorder • UH-instruktion • 313-hage	8 pumpar och service-intervall 4 år, enkelavtätat 1/10	Tekniskt fel	1. Tätpropp lyfts för tidigt 2. Förväxling av tätproppar	Krävs mycket större kraft än normalt för att lyfta tätproppen	L_313PROPP2_C_I (Stor LOCA) 2,00E-08
Läckage genom vvx med propp och axel demonterad <i>Kvantifiering</i>		service-intervall 5 år		Samtidigt underhåll på HCP och VVX	Uppenbart att ett läckage har uppstått	L_313VVX_C_I (Liten LOCA) 4,00E-06
Drivdon demonteras utan att drivdonshuset har tätats med styrvstav eller plugg <i>Kvantifiering</i>	• Driftorder • 221-hage • Underhållsinstruktion	Kort revision	Förväxling av drivdon som demonteras	Utebliven tätning med drivdon eller styrvstav	1. Dränering 2. Vatten sprutar	L_221DRIVDON_C_I (Liten LOCA) 5,00E-06
	kort revision	5	1,00E-02	5,00E-02	0,002	3,00E-05
	lång revision	30	1,00E-02	5,00E-02	0,002	1,10E-05
	RA-09	11	1,00E-02	5,00E-02	0,002	
Felaktigt montage av tätflaska för hårdinstrumenteringens sondrör <i>Kvantifiering</i>	Driftorder	Kort 2 Lång 10		Tagit bort mutter men ej monterat tätflaska ordentligt	Mycket folk rör sig i utrymmet	L_SONDROR1_C_I (Liten LOCA) 2,00E-04
	kort revision	2		1,00E-02	0,01	1,00E-03
	lång revision	10		1,00E-02	0,01	7,00E-04
	RA-09	7		1,00E-02	0,01	
Tätflaskor för sondrör (n st.) faller eller slås sönder av föremål på drivdonbytesmaskinens vridskiva <i>Kvantifiering</i>	Driftorder		Drivdonsmaskinen manövreras när tätflaskor är monterade	Drivdonbytes-maskinen manövreras så att tätflaskor slås av	Demontera flaskan och återtätta med muttern	L_SONDROR2_C_I (Liten LOCA) 2,00E-07
Inre ångskalventil öppnar p.g.a. misstag under täthetsprovning medan yttre skalventil är obefogad öppen <i>Kvantifiering</i>	• Driftorder • ADI • 411-hagar	8 * 0,01 (obefogad öppning av inre ångskalventil) * 0,01 (utebliven recovery vid täthetsprovningen) * 0,01 (yttre ångskalventil obefogad öppen) * 0,5 (underhåll i systemet) = 4*10-6/år. Antagande: Täthetsprovning utförs 8 gånger per revision.	Ej avställd hage (yttre skalventil obefogad öppen)	• Felmanöver på inre skalventil • Öppnamanöver från KR	Täthetsprovningen i sig utgör en stark möjlighet till recovery	LY411PROV_C_I (Stor LOCA) 4,00E-06

NOG beskrivning	Stödfunktion	Frekvens	Felhandling A	Felhandling B	Recovery före IH	Frekvens inledande Händelse (gångar per revision)
Felaktig hantering vid underhållsarbete på ångskalventil eller 314-ventiler	· Driftorder · ADI · UH-instruktion · Hage 411	Ångskalventil – stort läckage: 0,01 (UH påbörjas innan tätproppen har monterats) * 0,002 (ventil demonteras utan att utflöde avbryts) = 2*10-5/år. (LOCA utanför RI) Vad står 1:an för?	UH påbörjas innan tätproppen har monterats	ventil demonteras trots att dränering inte har skett		LY411SKALV_C ____ I (Stor LOCA ångskalventil)
Kvantifiering		1	1,00E-02	2,00E-03	1	2,00E-05
Felaktig hantering vid underhållsarbete på ångskalventil eller 314-ventiler	· Driftorder · ADI · UH-instruktion · Hage 411		UH påbörjas innan tätproppen har monterats	· ventil demonteras utan dränering (0,002) · UH ej avslutat innan demontering av tätpropp (0,01)		L_314VENTIL_C ____ I (Stor LOCA 314-ventil och styrventil till 314-ventil)
Kvantifiering		1	1,00E-02	2,00E-03	1	2,00E-05
Felaktig hantering vid underhållsarbete på ångskalventil eller 314-ventiler	· Driftorder · ADI · UH-instruktion · Hage 411			Felaktig borttagning av tätpropp eller felaktig återmontering av ventil		L_314VENTIL2_C ____ I (Liten LOCA ångskalventil eller 314-ventil eller styrventil till 314-ventil)
Kvantifiering		1		1,00E-02	1	1,00E-02
Läckage från RT p.g.a. felaktig öppning av ventil vid arbete i 415, 321, 323, 326, 327, 351	Hage 321	8 ventiler vart 3:e år eller oftare. Vid service på ventillerna 415 V5-V8 och backventillerna 415 V19-22 kan det bli aktuellt med läckage från reaktorn. Backventillerna V19-V22 och V1, V2 förhindrar läckage från övriga ventiler i systemet. 415 V5-V8 underhåll		· Hage återställs för tidigt · Felaktig återmontering av ventil	Snabbstängning av ventil	L_415VENTIL_C ____ I (Medelstor LOCA)
Kvantifiering		2,4		8,00E-03	0,1	1,92E-03
Läckage från RT p.g.a. felaktig öppning av ventil vid arbete i 415, 321, 323, 326, 327, 351	Hage 321	· Det görs inte någon genomgång av komponenterna utan antal ventiler som underhålls ansätts till 2/revision. Frekvensen avser då ett av stråken. Läckage från båda stråken samtidigt försummas eftersom de sekventiellt tas ut för underhåll		· Hage återställs för tidigt · Felaktig återmontering av ventil	Snabbstängning av ventil	L_321VENTIL_C ____ I LY321VENTIL_C ____ I (Medelstor LOCA)
Kvantifiering		2		8,00E-03	0,1	1,60E-03
Läckage från RT p.g.a. felaktig öppning av ventil vid arbete i 415, 321, 323, 326, 327, 351	Hage 321	De aktuella ventillerna i system 323 underhålls vart 10:e år. I snitt underhålls 8 * 0,1 = 0,8 ventiler per år.		· Hage återställs för tidigt · Felaktig återmontering av ventil	Snabbstängning av ventil	L_323VENTIL_C ____ I (Medelstor LOCA)
Kvantifiering		1		8,00E-03	0,1	8,00E-04
Läckage från RT p.g.a. felaktig öppning av ventil vid arbete i 415, 321, 323, 326, 327, 351				· Hage återställs för tidigt · Felaktig återmontering av ventil	Snabbstängning av ventil	L_327VENTIL_C ____ I (Medelstor LOCA)
Kvantifiering		1		8,00E-03	0,1	8,00E-04
Läckage från RT p.g.a. felaktig öppning av ventil vid arbete i 415, 321, 323, 326, 327, 351	Hage 321			· Hage återställs för tidigt · Felaktig återmontering av ventil	Snabbstängning av ventil	L_351VENTIL_C ____ I (Medelstor LOCA)
Kvantifiering		0,4		8,00E-03	0,1	3,20E-04
Hög temperatur i kylvattenkretsar orsakat av återcirkulation				Bryter hävert och får backflöde	Larm i kontrollrummet	T_ATERCIRK_C ____ I (Temperaturökning i bassänger)
Kvantifiering		1		1,00E-02	0,002	2,00E-05
Obefogad start av inpumpning kondensat/matarvatten, 323, 327 medförande toppfyllning och kall trycksättning av RCPB.	· Nergångsdriftorder · ADI		Utebliven stängning av 415 skalventiler.	Obefogad start av system 415.	Recovery tillgogräknas inte i denna screeninganalys	T_415START_C ____ I (Tryckökning i RT)
Kvantifiering		1	1,00E-02	1,00E-02	1	1,00E-08
Trycksättning av RT med vatten och gas från 354 med monterat RT-lock och RT nivå vid tankflänsen.				Obefogad trycksättning med system 354	Inte möjlig då tryckökningen är momentan	T_354START_C ____ I (Trycksättning av RT)
Kvantifiering		1		1,00E-02	1	1,00E-02
Tapp av RT-lock, ångseparator, fuktavskiljare, moderatortanklock.	· Driftorder · Hage 200			Kopplat fel mellan ok och lyftobjekt	Arbetet kontrolleras mycket noga.	T_TAPPTOPP_C ____ I
Kvantifiering		2		2,00E-05	0,005	2,00E-07
Tapp av RT-lock, RI-kupol, moderatortanklock med ångseparator, fuktavskiljare.	· Driftorder · Hage 200			Kopplat fel mellan ok och lyftobjekt	Arbetet kontrolleras mycket noga.	T_TAPPINTERNC ____ I
Kvantifiering		4		2,00E-05	0,005	4,00E-07
Tapp av sättluckor och skivportar i reaktorhallen		Två sättluckor, som lyfts 2 ggr/revision		Kopplat fel mellan ok och lyftobjekt	Arbetet kontrolleras mycket noga.	T_TAPPLUCKA_C ____ I
Kvantifiering		4		2,00E-05	0,005	4,00E-07

Frekvens för inledande händelser under revisionen 2009 som orsakas av på grund av tekniska fel.						
7.1	Bortfall av 321.	Felintensitet för 321 under RA-09 beräknas genom att använda den frekvens som finns beräknad för kall avställd reaktor i FT-2006-2126. Genom att dividera frekvensen med medeltiden för en revision som antas vara 440 timmar kan vi beräkna felintensiteten fö				T 321STOPP 1,16E-04
	Kvantifiering					
Felintensitet för de olika CCI:erna som kan inträffa under RA-09 beräknas genom att använda den frekvens som redan finns beräknad för kall avställd reaktor i FT-2006-2126 rev 2. Genom att dividera frekvensen med medeltiden för en revision som antas vara 4						
	CCI			Felintensitet		
	Bortfall av 500 V-skena, system 654.					CCI 654
	Kvantifiering			Felintensitetn =	2,41E-06	2,43E-03
	Bortfall av 500 V-skena, system 656.					CCI 656
	Kvantifiering			Felintensitetn =	2,41E-06	2,43E-03
	Bortfall av 110 V-skena, system 664					CCI 664
	Kvantifiering			Felintensitetn =	2,68E-06	2,70E-03
	Bortfall av 24 V-skena, system 665					CCI 665
	Kvantifiering			Felintensitetn =	6,70E-06	6,76E-03
Felintensitet för bortfall av 400Kv nätet under RA-09 är beräknad genom att använda den frekvens som redan finns beräknad för kall avställd reaktor i FT-2006-2126 rev 2. Genom att dividera frekvensen med medeltiden för en revision som antas vara 440 timma						
	Externa händelser			Felintensitet		
	Externa händelser					Bortfall av 400 kv nätet.
	Kvantifiering			Felintensitetn =	6,59E-05	6,64E-02

Bilaga 2 Felsannolikhet för respektive driftfas

Händelsebeskrivning	Felsannolikheter i respektive driftfas [år-1]										Subläggning B/D		Subläggning A/C		Inledande Händelse (Sannolikhet för händelsen under RA
	K1	K2	K3	K4.1	K4.2	K4.3	K4.4	K5	K6	B/D Fyllid kondbass	B/D Tom kondbass	A/C Tom kondbass	A/C Fyllid kondbass		
Sannolikhet för inledande händelser under revisionen 2009 som orsakas av mänskligt felhandlande															
Felladdning (fel position) av bränslepatron i supercell där styrstaven är utmanövrerad.					100%					54,66%		45,34%		T_FELLADDN_D	
										17,05%	82,95%	89,72%	10,28%	I	
Kvantifiering, RA-09					4,80E-06					4,47E-07	2,18E-06	1,95E-06	2,24E-07	4,80E-06	
Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump										95,56%		4,44%		L_313PROPP1_C	
					100%					17,05%	82,95%	100,00%	0%	I (Stor LOCA)	
Kvantifiering, RA-09					1,24E-05					2,02E-06	9,83E-06	5,51E-07		1,24E-05	
Lyft av tätpropp med felfungerande brytpinne										95,56%		4,44%		L_313PROPP2_C	
					100%					17,05%	82,95%	100,00%	0%	I (Stor LOCA)	
Kvantifiering, RA-09					2,00E-08					3,26E-09	1,59E-08	8,89E-10	0,00E+00	2,00E-08	
Läckage genom vvx med propp och axel demonterad										95,56%		4,44%		L_313VVX_C	
					100%					17,05%	82,95%	100,00%	0%	I (Liten LOCA)	
Kvantifiering, RA-09					4,00E-06					6,52E-07	3,17E-06	1,78E-07	0,00E+00	4,00E-06	
Drivdon demonteras utan att drivdonshuset har tätats med styrvstav eller plugg										100,00%		0,00%		L_221DRIVDON_C	
					100%					100%	0,00%	0,00%	0,00%	I (Liten LOCA)	
Kvantifiering, RA-09					1,10E-05					1,10E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,10E-05	
Felaktigt montage av tätflaska för hårdinstrumenteringens sondrör										100,00%		0,00%		L_SONDROR1_C	
					100%					100%	0,00%	0,00%	0,00%	I (Liten LOCA)	
Kvantifiering, RA-09					7,00E-04					7,00E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,00E-04	
Tätflaskor för sondrör (n st.) faller eller slås sönder av föremål på drivdonsbytesmaskinens vridskiva										100,00%		0,00%		L_SONDROR2_C	
					100%					100%	0,00%	0%	0,00%	I (Liten LOCA)	
Kvantifiering, RA-09					2,00E-07					2,00E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-07	
										50,00%		50,00%			
Inre ångskalventil öppnar p.g.a. misstag under täthetsprovning medan yttre skalventil är obefogad öppen					100%					50%	50,00%	50%	50,00%	LY411PROV_C	
Kvantifiering					4,00E-06					1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	I (Stor LOCA)	
														4,00E-06	
Felaktig hantering vid underhållsarbete på ångskalventil eller 314-ventiler										50,00%		50,00%		LY411SKALV_C	
					100%					50%	50,00%	50%	50,00%	I (Stor LOCA ångskalventil)	
Kvantifiering					2,00E-05					5,00E-06	5,00E-06	5,00E-06	5,00E-06	2,00E-05	
Felaktig hantering vid underhållsarbete på ångskalventil eller 314-ventiler										95,45%		4,55%		L_314VENTIL_C	
					100%					95,45%	4,55%	4,55%	95,45%	I (Stor LOCA 314-ventil och styrventil till 314-ventil)	
Kvantifiering					2,00E-05					1,82E-05	8,68E-07	4,13E-08	8,68E-07	2,00E-05	
Felaktig hantering vid underhållsarbete på ångskalventil eller 314-ventiler										97,73%		2,27%		(Liten LOCA ångskalventil eller 314-ventil eller styrventil till 314-ventil)	
					100%					95,45%	4,55%	4,55%	95,45%		
Kvantifiering					1,00E-02					9,33E-03	4,44E-04	1,03E-05	2,17E-04	1,00E-02	
Läckage från RT p.g.a. felaktig öppning av ventil vid arbete i 415, 321, 323, 326, 327, 351										100,00%		0,00%		L_415VENTIL_C	
					100%					0,00%	0%	0,00%	0%	I (Medelstor LOCA)	
Kvantifiering					1,92E-03					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,92E-03	
Läckage från RT p.g.a. felaktig öppning av ventil vid arbete i 312/415, 321, 323, 326, 327, 351										50,00%		50,00%		L_321VENTIL_C	
					100%					50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	I LY321VENTIL_C	
Kvantifiering					1,60E-03					4,00E-04	4,00E-04	4,00E-04	4,00E-04	I (Medelstor LOCA)	
Läckage från RT p.g.a. felaktig öppning av ventil vid arbete i 312/415, 321, 323, 326, 327, 351										50,00%		50,00%		L_323VENTIL_C	
					100%					50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	I (Medelstor LOCA)	
Kvantifiering					8,00E-04					2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	8,00E-04	
Läckage från RT p.g.a. felaktig öppning av ventil vid arbete i 312/415, 321, 323, 326, 327, 351										0,00%		100,00%		L_327VENTIL_C	
					100%					0,00%	0%	0,00%	0%	I (Medelstor LOCA)	
Kvantifiering					8,00E-04					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,00E-04	
Läckage från RT p.g.a. felaktig öppning av ventil vid arbete i 312/415, 321, 323, 326, 327, 351										0,00%		100,00%		L_351VENTIL_C	
					100%					0,00%	0%	0,00%	0%	I (Medelstor LOCA)	
Kvantifiering					3,20E-04					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,20E-04	

Händelsebeskrivning	Felsannolikheter i respektive driftfas (år-1)									Subbläggning B/D		Subbläggning A/C		Inledande Händelse (Sannolikhet för händelsen under RA)
	K1	K2	K3	K4.1	K4.2	K4.3	K4.4	K5	K6	B/D Fyllid kondbass	B/D Tom kondbass	A/C Tom kondbass	A/C Fyllid kondbass	
Hög temperatur i kylvattenkretsar orsakat av återcirkulation				25%	25%	25%	25%			54,66%		45,34%		T_ATERCIRK_C_I (Temperaturökning i bassånger)
										17,05%	82,95%	89,72%	10,28%	
Kvantifiering				###	5,00E-06	###	###			4,66E-07	2,27E-06	2,03E-06	2,33E-07	2,00E-05
Obefogad start av inpumpning kondensat/matarvatten, 323, 327 medförande toppfyllning och kall trycksättning av RCPB			####											T_415START_C_I (Tryckökning i RT)
Kvantifiering			###											1,00E-08
Trycksättning av RT med vatten och gas från 354 med monterat RT-lock och RT nivå vid tankfläsen			50%					50%						T_354START_C_I (Trycksättning av RT)
Kvantifiering			###					###						1,00E-02
Tapp av RT-lock, RI-kupol, ångseparator, fuktavskiljare, moderatortanklock			50%					50%						T_TAPPTOPP_C_I
Kvantifiering			###					###						2,00E-07
Tapp av RT-lock, RI-kupol, ångseparator, fuktavskiljare, moderatortanklock				50%				50%						T_TAPPINTERNC_I
Kvantifiering				###				###						4,00E-07
Tapp av sättluckor och skivportar i reaktorhallen			50%					50%						T_TAPPLUCKA_C_I
Kvantifiering			###					###						4,00E-07

Sannolikhet för inledande händelser under revisionen 2009 som orsakas av på grund av tekniska fel.

Felintensitet för 321 under RA-09 beräknas genom att använda den frekvens som finns beräknad för kall avställd reaktor i FT-2006-2126. Genom att dividera frekvensen med medeltiden för en revision som antas vara 440 timmar kan vi beräkna felintensiteten fö

Händelsebeskrivning							ens längd i tim							
Bortfall av 321 under fas 1, 6. Antar dessa faser totalt är 12 timmar.										100,00%	0%	0,00%	0%	T_321STOPP fas 1, 6
										100,00%	0%	0,00%	0%	
Kvantifiering							1,20E+01			1,39E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,39E-03
Bortfall av 321 under fas 2. Antar dessa faser totalt är 12 timmar.										100,00%	0%	0,00%	0%	T_321STOPP fas 2,
										100,00%	0%	0,00%	0%	
Kvantifiering							1,20E+01			1,39E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,39E-03
Bortfall av 321 under fas 3, 5. Antar dessa faser totalt är 12 timmar.										100,00%	0%	0,00%	0%	T_321STOPP fas 3, 5.
										100,00%	0%	0,00%	0%	
Kvantifiering							1,20E+01			1,39E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,39E-03
Bortfall av 321 under fas 4. Antar dessa faser pågår under resterande tid. (40 dagar minus 36 timmar).										54,66%		45,34%		T_321STOPP fas 4.
										17,05%	82,95%	89,72%	10,28%	
Kvantifiering							9,72E+02			1,05E-02	5,11E-02	4,59E-02	5,26E-03	1,13E-01

CCI:er

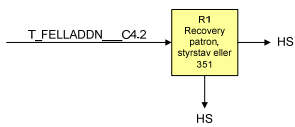
Händelsebeskrivning														
Bortfall av 500 V-skena, system 654.										54,66%		45,34%		CCI 654
										17,05%	82,95%	89,72%	10,28%	
										2,26E-04	1,10E-03	9,88E-04	1,13E-04	2,43E-03
Bortfall av 500 V-skena, system 656.										54,66%		45,34%		CCI 656
										17,05%	82,95%	89,72%	10,28%	
										2,26E-04	1,10E-03	9,88E-04	1,13E-04	2,43E-03
Bortfall av 110 V-skena, system 664										54,66%		45,34%		CCI 664
										17,05%	82,95%	89,72%	10,28%	
										2,52E-04	1,23E-03	1,10E-03	1,26E-04	2,70E-03
Bortfall av 24 V-skena, system 665										54,66%		45,34%		CCI 665
										17,05%	82,95%	89,72%	10,28%	
										6,30E-04	3,06E-03	2,75E-03	3,15E-04	6,76E-03

Externa händelser

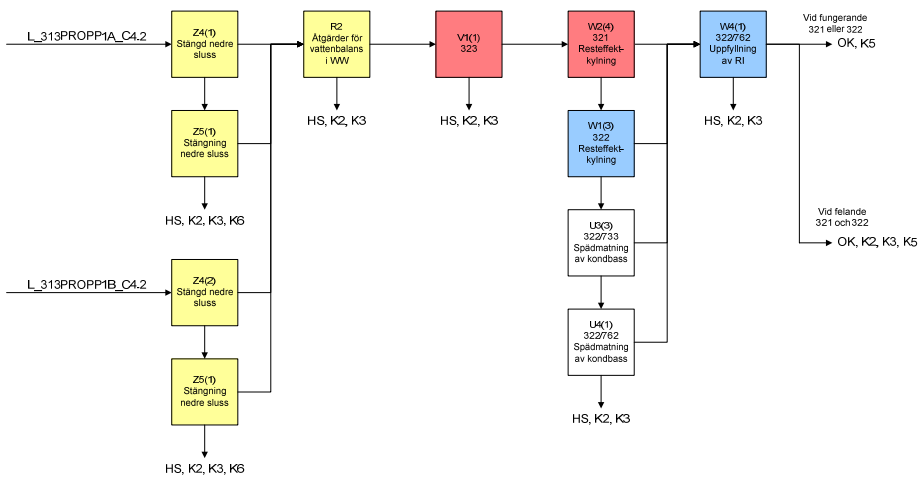
Händelsebeskrivning														
Bortfall av 400 Kv-nätet.										54,66%		45,34%		Bortfall av 400 kv nätet.
										17,05%	82,95%	89,72%	10,28%	
										6,19E-03	3,01E-02	2,70E-02	3,10E-03	6,64E-02

Bilaga 3: Blockdiagram för samtliga inledande händelser under RA 2009

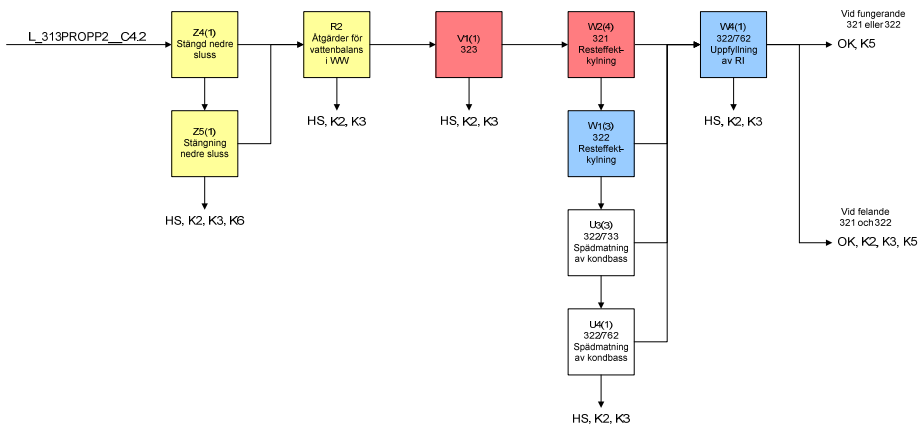
T_FELLADDN__C4.2 - Felladdning av bränslepatron i supercell där styrstaven är utmanövrerad



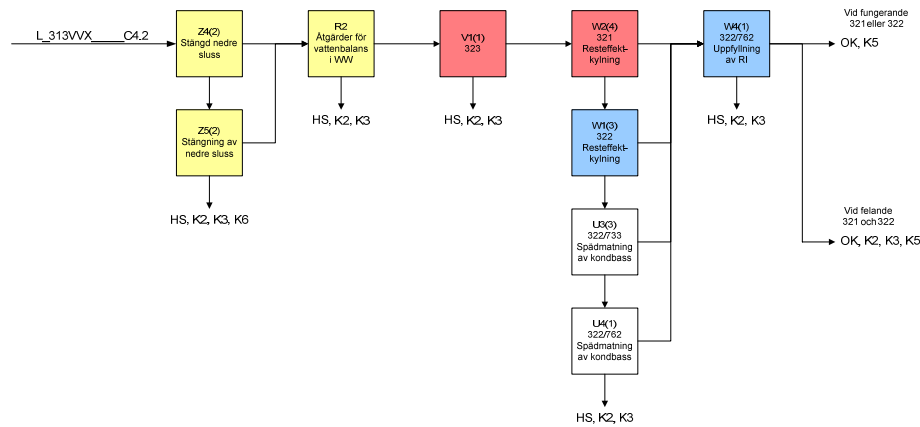
L_313PROPP1__C4.2 - Felaktig hantering av tätpropp eller obefogad öppning av tätfläns till HC-pump



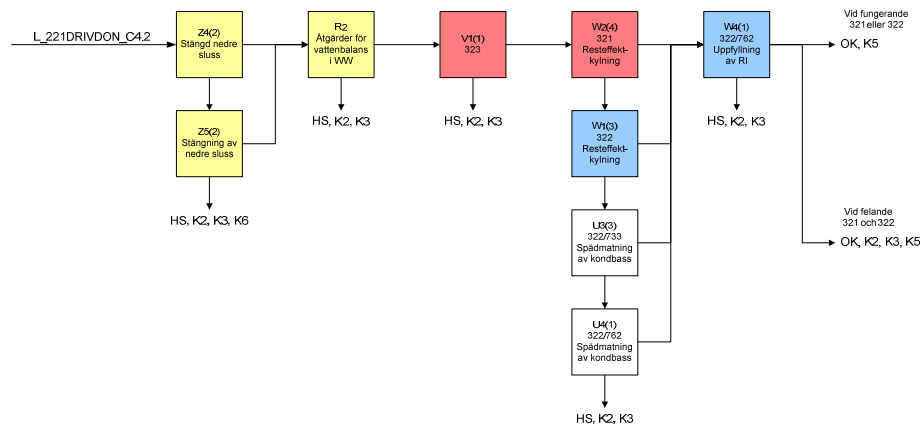
L_313PROPP2__C4.2 - Lyft av tätpropp med felfungerande brytpinne



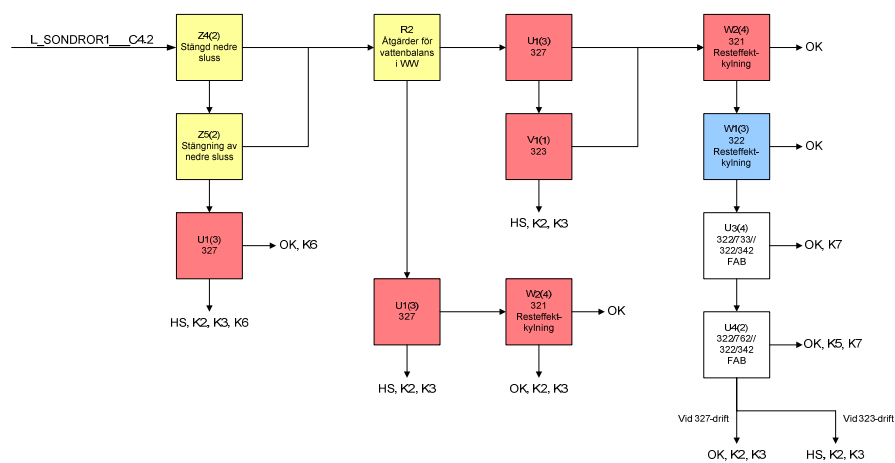
L_313VVX___C4.2 - Läckage genom VVX (HC-pump) med propp och axel demonterad



L_221DRIVDON_C4.2 - Drivdon demonteras utan att drivdonshuset har tätats med styrvstav eller plugg



L_SONDROR1___C4.2 - Felaktigt montage av tätflaska för hårdinstrumenteringens sondrör

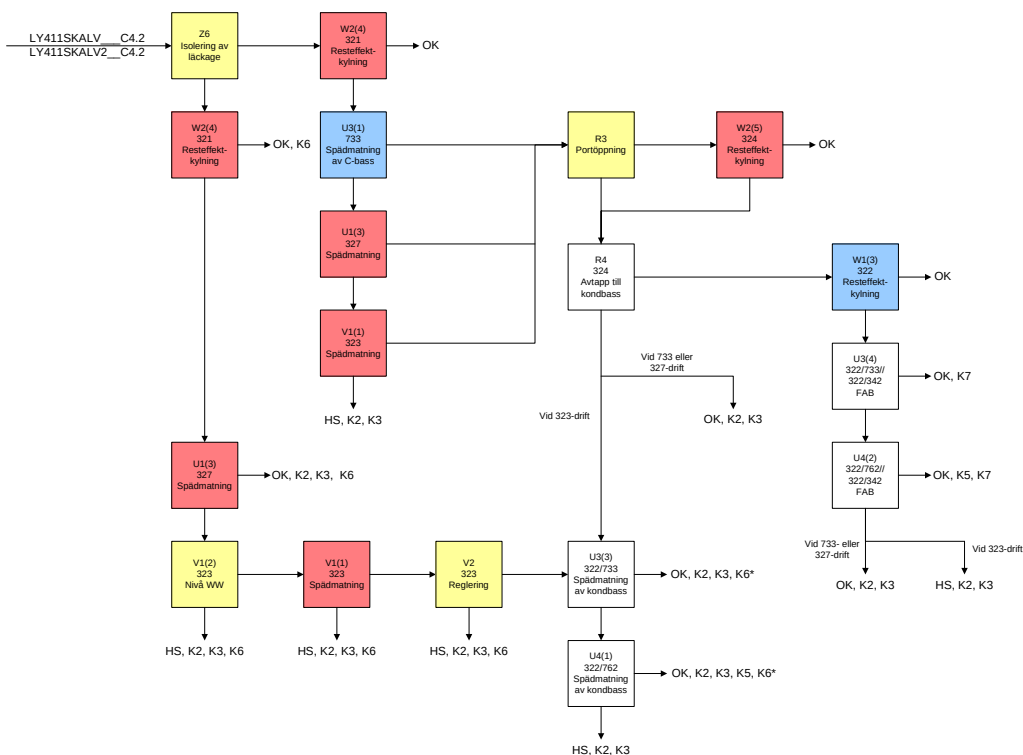


The flowchart illustrates the control system for the water balance at the Västerås wastewater treatment plant. It starts with the input **L_SONDROR2_C4.2** entering a yellow box **Z4(2) Stängd nedre sluss**. This box has two outputs: one goes down to **Z5(2) Stängning av nedre sluss**, and the other goes right to **R2 Åtgärder för vattenbalans i WW**. From **Z5(2)**, the signal goes down to **U1(3) 327**, which has an output **OK, K5** and a downward signal to **HS, K2, K3, K6**. From **R2**, the signal goes down to **U1(3) 327**, which has a downward output **HS, K2, K3** and a rightward signal to **W2(4) 321 Resteffekt-kylning**. This box has an output **OK** and a downward signal to **OK, K2, K3**. From the top **U1(3) 327**, the signal goes right to **V2(4) 321 Resteffekt-kylning**, which has an output **OK**. From **V1(1) 323**, the signal goes right to **V2(4) 321** and down to **HS, K2, K3**. From **V2(4) 321**, the signal goes down to **V3(3) 322 Resteffekt-kylning**, which has an output **OK**. From **V3(3)**, the signal goes down to **U5(4) 322733/ 322942 FAB**, which has an output **OK, K7**. From **U5(4)**, the signal goes down to **U4(2) 322762/ 322942 FAB**, which has an output **OK, K5, K7**. Finally, from **U4(2)**, the signal splits into two paths: **Vid 327-drift** leading to **OK, K2, K3**, and **Vid 323-drift** leading to **HS, K2, K3**.

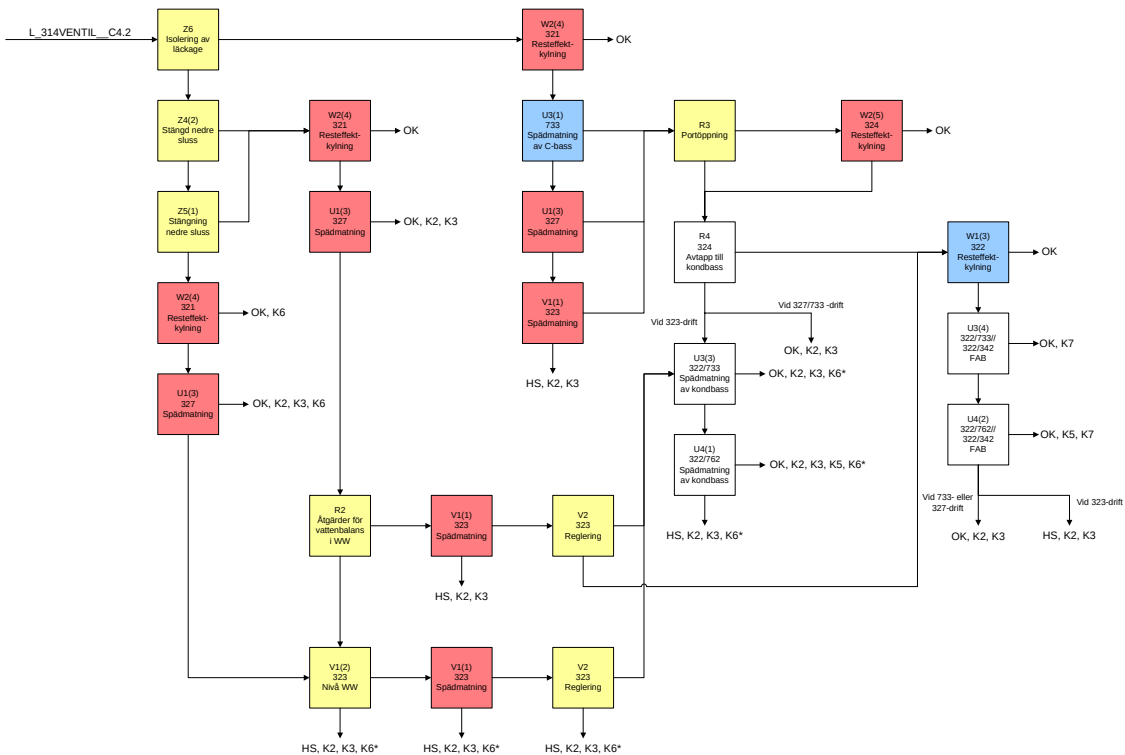
```

graph TD
    LY411PROV -- C.4.2 --> Z6[Z6 Isolering av läckage]
    Z6 --> W24[W2(4) 321 Resteffekt-kyllning]
    W24 --> OK1[OK]
    W24 --> U13[U1(3) 327 Spjådmattning]
    U13 --> OK2[OK, K2, K3, K6]
    U13 --> V12[V1(2) 323 Nivå WW]
    V12 --> HS1[HS, K2, K3, K6]
    V12 --> V11[V1(1) 323 Spjådmattning]
    V11 --> HS2[HS, K2, K3, K6]
    V11 --> V2[V2 323 Reglering]
    V2 --> HS3[HS, K2, K3, K6]
    V2 --> U33[U3(3) 322/733 Spjådmattning av kondbass]
    U33 --> OK3[OK, K2, K3, K6*]
    U33 --> U41[U4(1) 322/762 Spjådmattning av kondbass]
    U41 --> HS4[HS, K2, K3, K6*]
    U41 --> OK4[OK, K2, K3, K5, K6*]
    W24 --> U31[U3(1) 733 Spjådmattning av C-bass]
    U31 --> U11[U1(1) 327 Spjådmattning]
    U11 --> HS5[HS, K2, K3]
    U31 --> R3[R3 Portöppning]
    R3 --> W25[W2(5) 324 Resteffekt-kyllning]
    W25 --> OK5[OK]
    R3 --> R4[R4 324 Avtagg till kondbass]
    R4 --> W13[W1(3) 322 Resteffekt-kyllning]
    W13 --> OK6[OK]
    R4 --> U34[U3(4) 322/733/322/342 FAB]
    U34 --> OK7[OK, K7]
    U34 --> U42[U4(2) 322/762/322/342 FAB]
    U42 --> OK8[OK, K2, K3]
    U42 --> HS6[HS, K2, K3]
    U42 --> HS7[HS, K2, K3]
    R4 -- "Vid 733 eller 327-drift" --> OK9[OK, K2, K3]
    
```

LY411SKALV__C4.2/LY411SKALV2__C4.2 – Felaktig hantering av underhållsarbete på ångskalventil

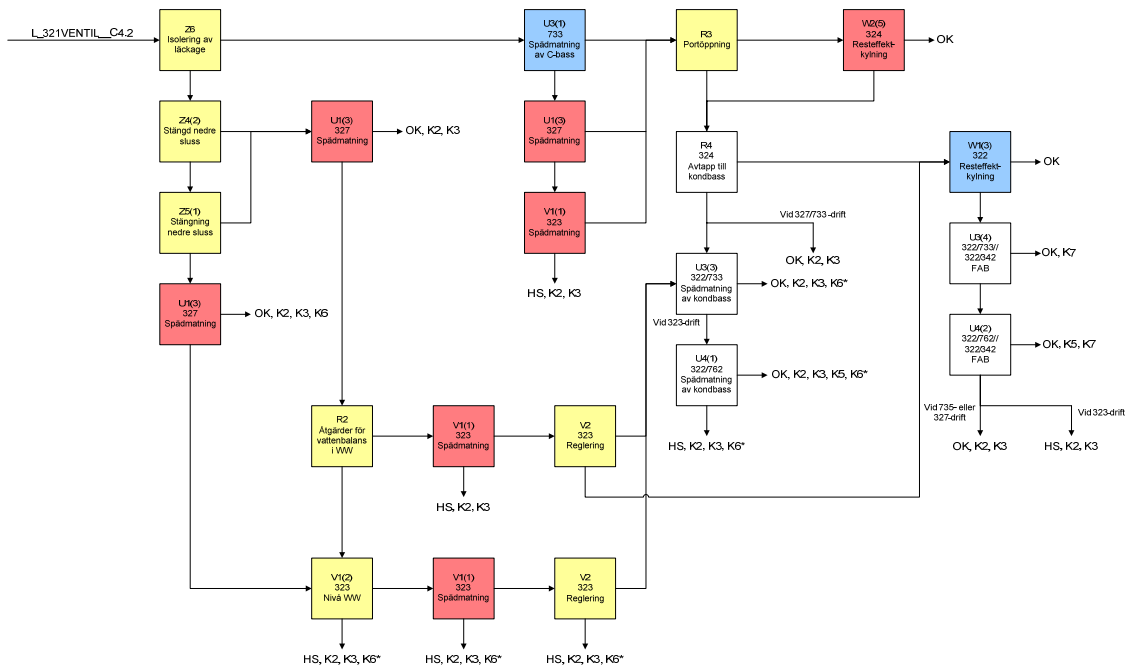


L_314VENTIL__C4.2 – Felaktig hantering av underhållsarbete på 314-ventiler

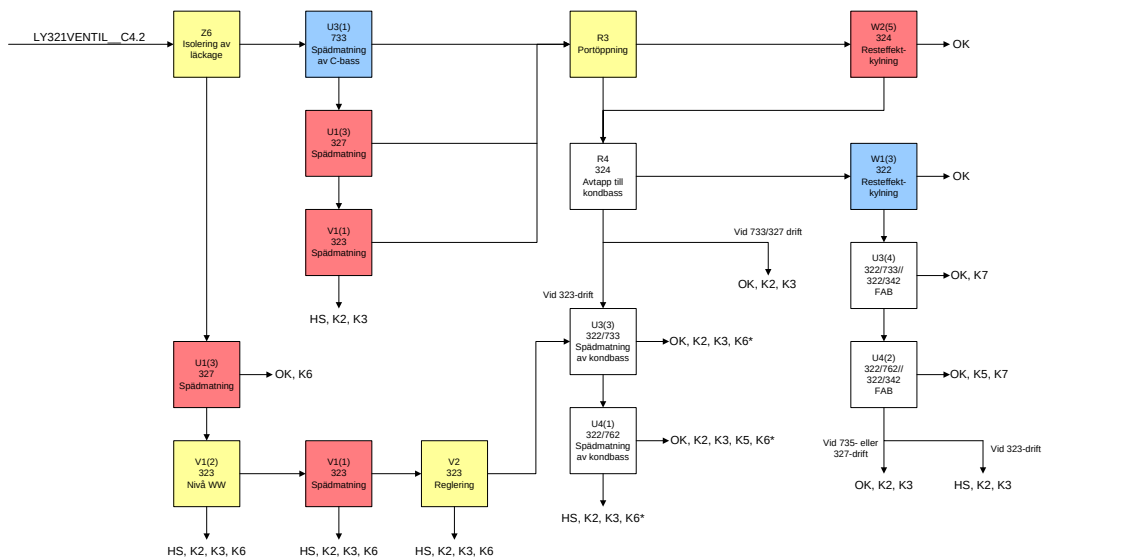


[illegible]

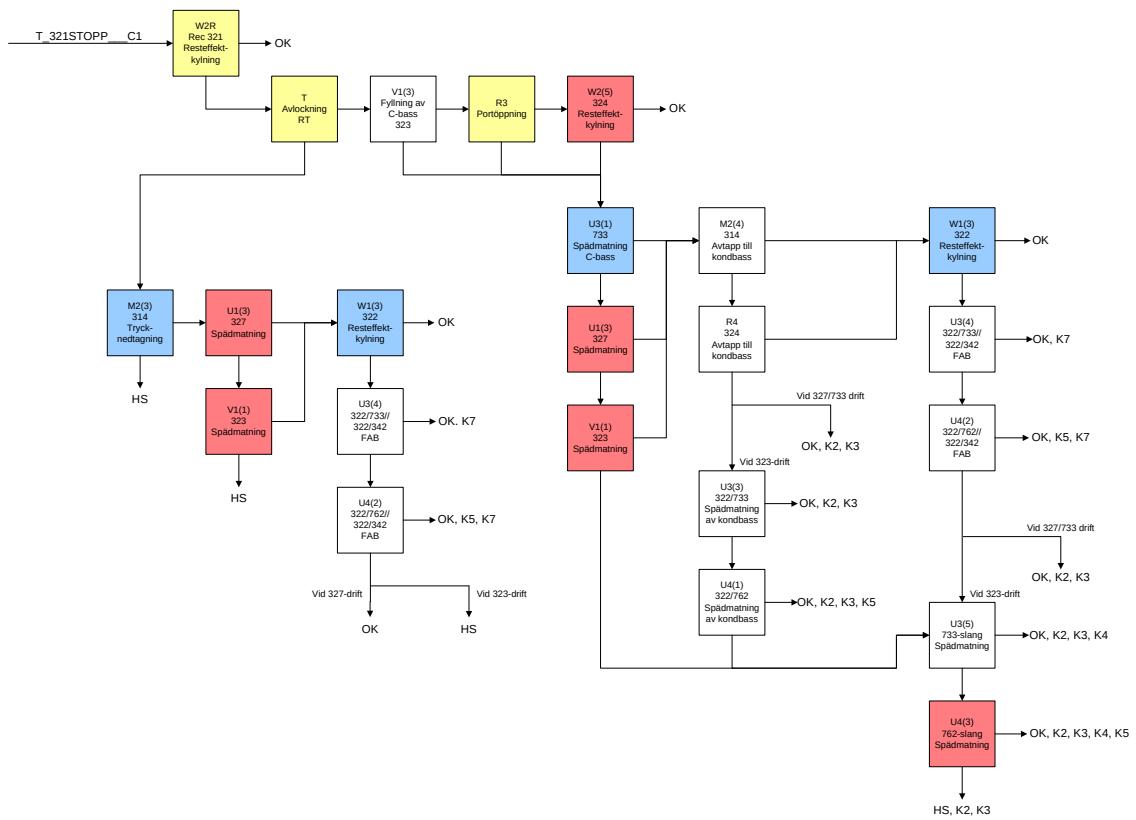
L_321VENTIL__C4.2 - Läckage från RT (innanför RI) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321



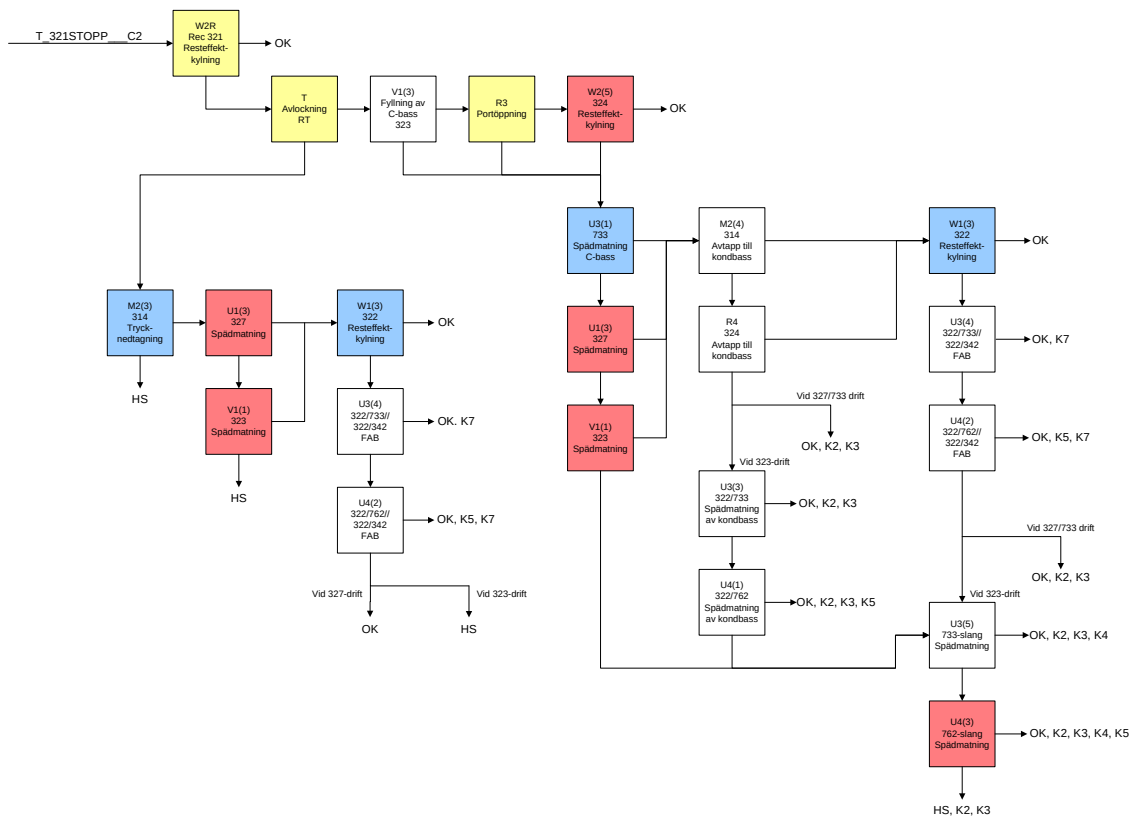
LY321VENTIL - Läckage från RT (utanför RI) på grund av felaktig öppning av ventil vid arbete i 321



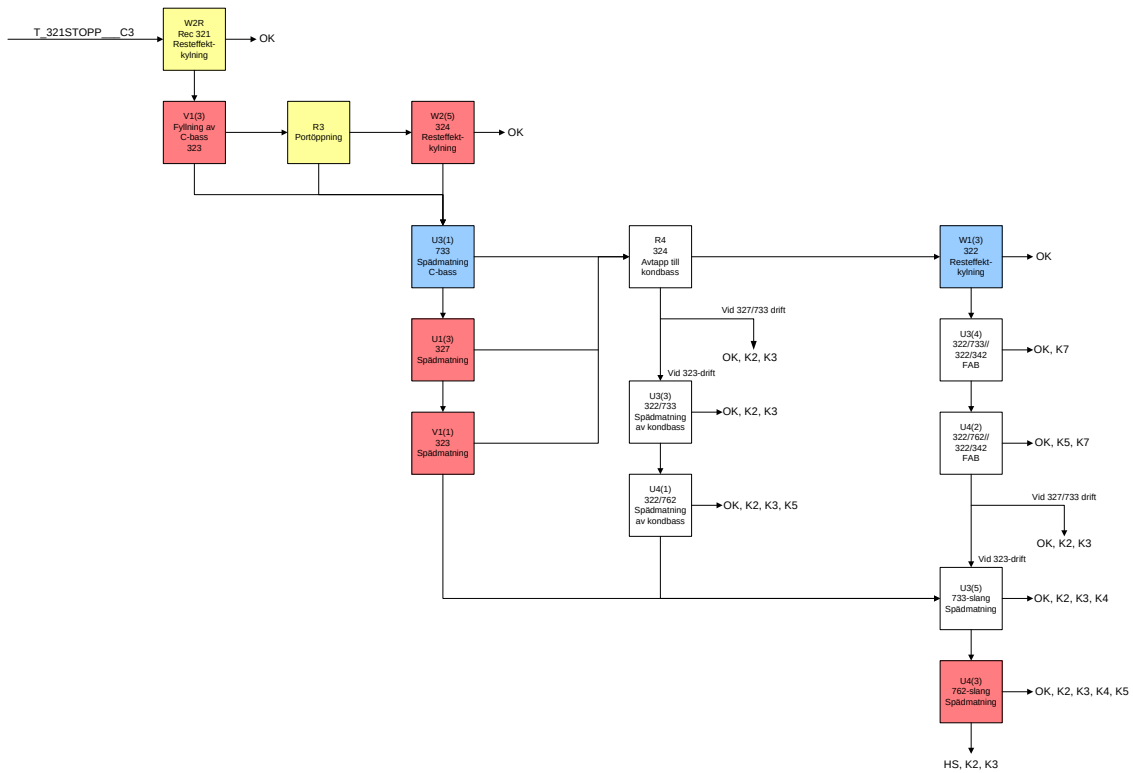
T_321STOPP___C1 - Bortfall av 321 (fas 1 och 6)



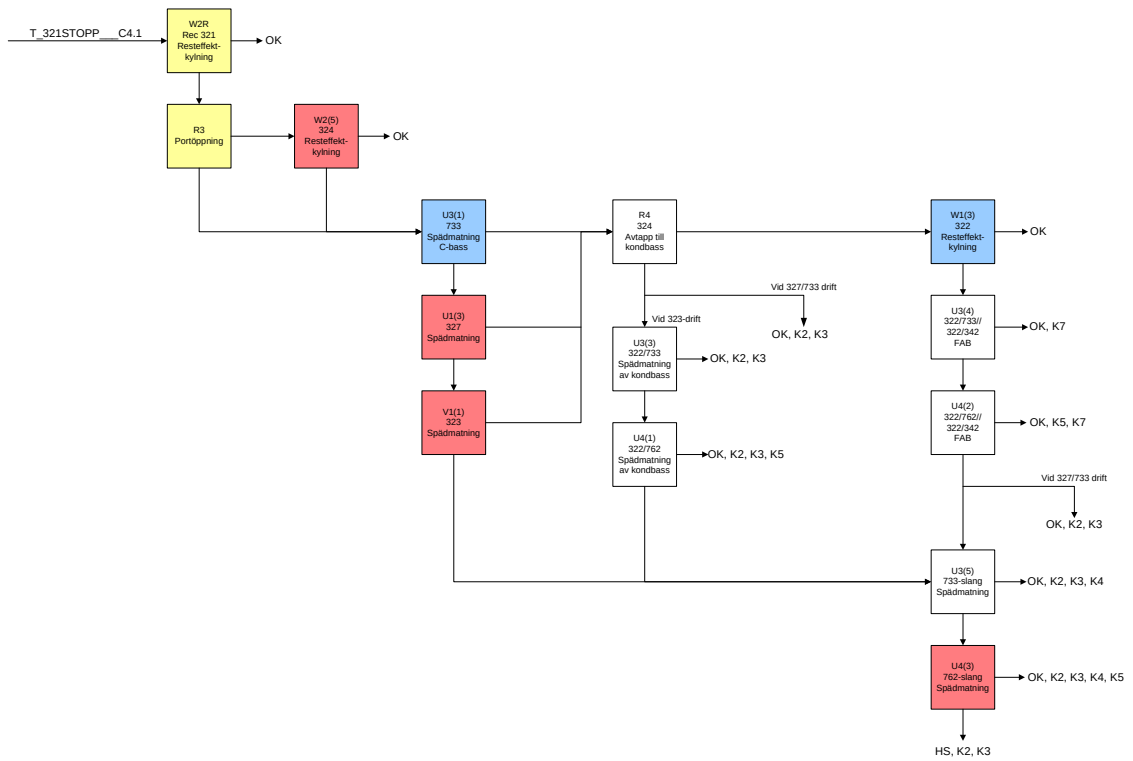
T_321STOPP___C2 - Bortfall av 321 (fas 2)



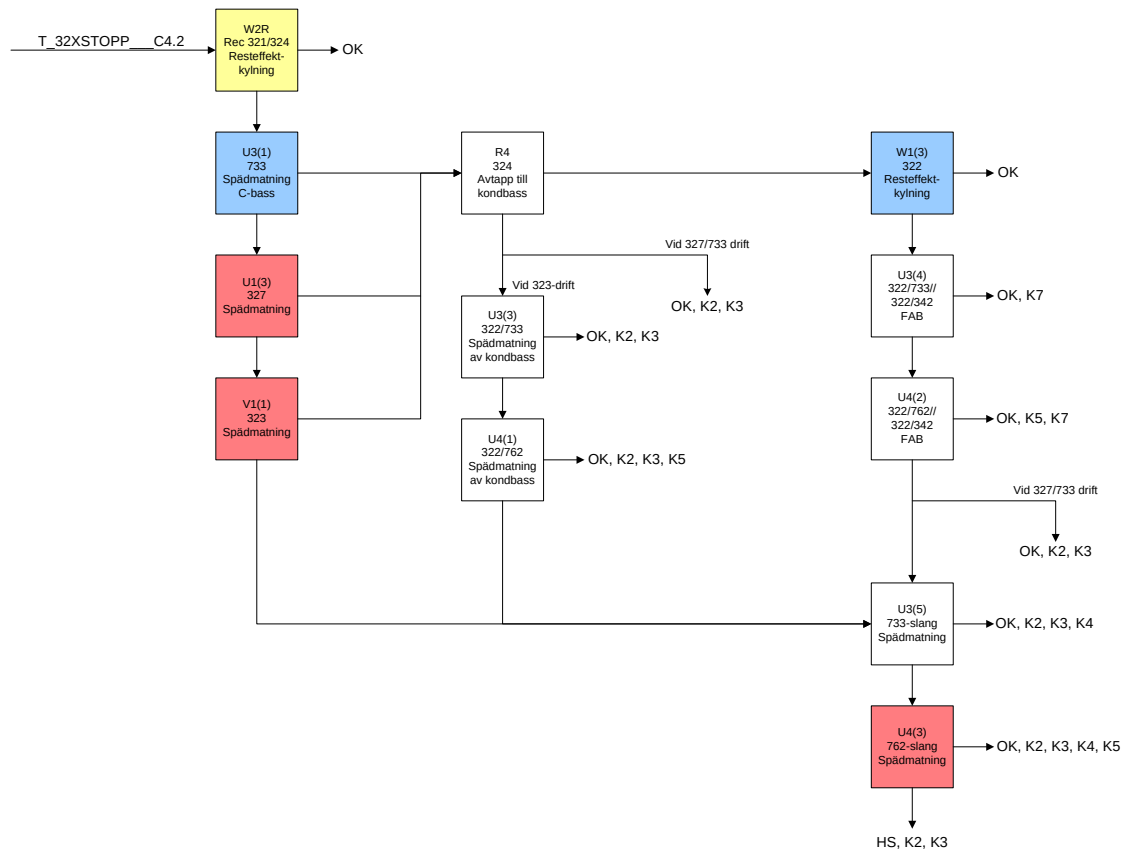
T_321STOPP__C3 - Bortfall av 321 (fas 3 och 5)



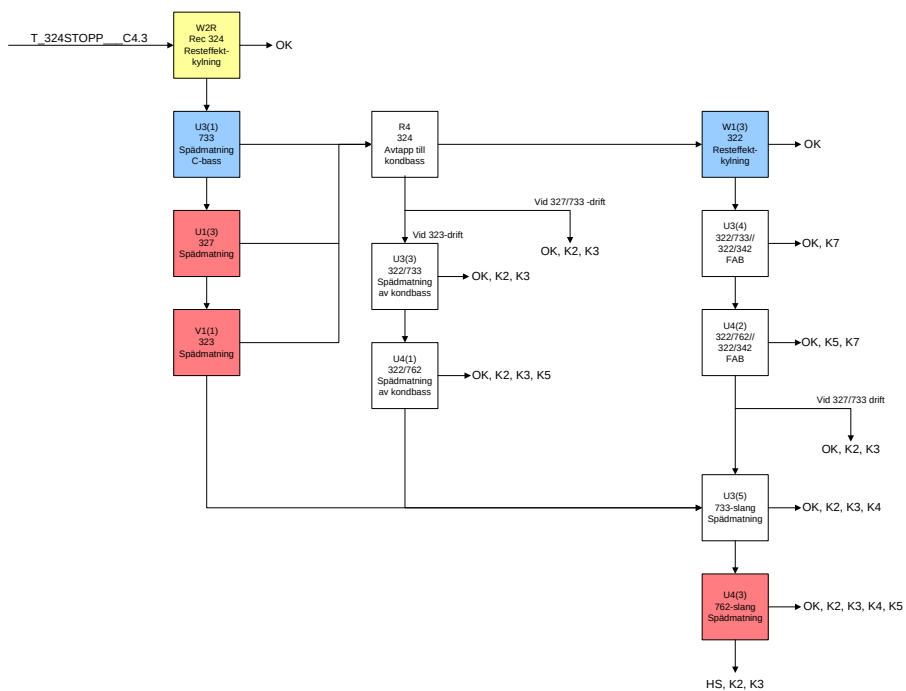
T_321STOPP__C4.1 - Bortfall av 321 (fas 4.1 och 4.4)



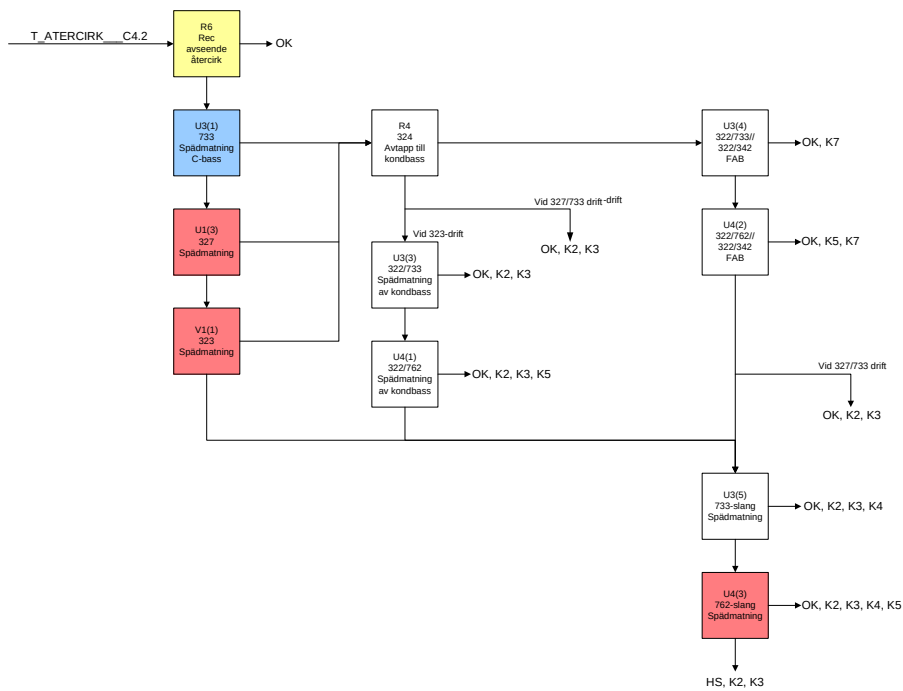
T_32XSTOPP___C4.2 - Bortfall av 321 och 324 (fas 4.2)



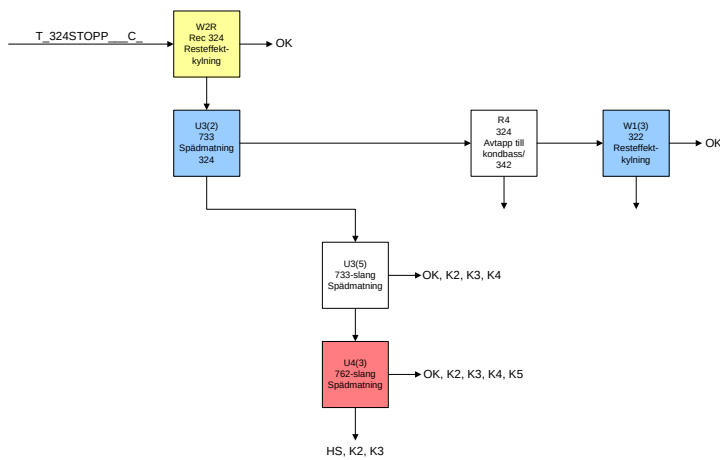
T_324STOPP___C4.3 - Bortfall av 324 (fas 4.3)



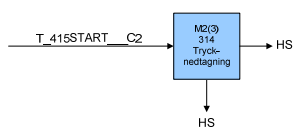
T_ATERCIRK___C4.2 - Hög temperatur i kylvattenkretsar orsakat av återcirkulation



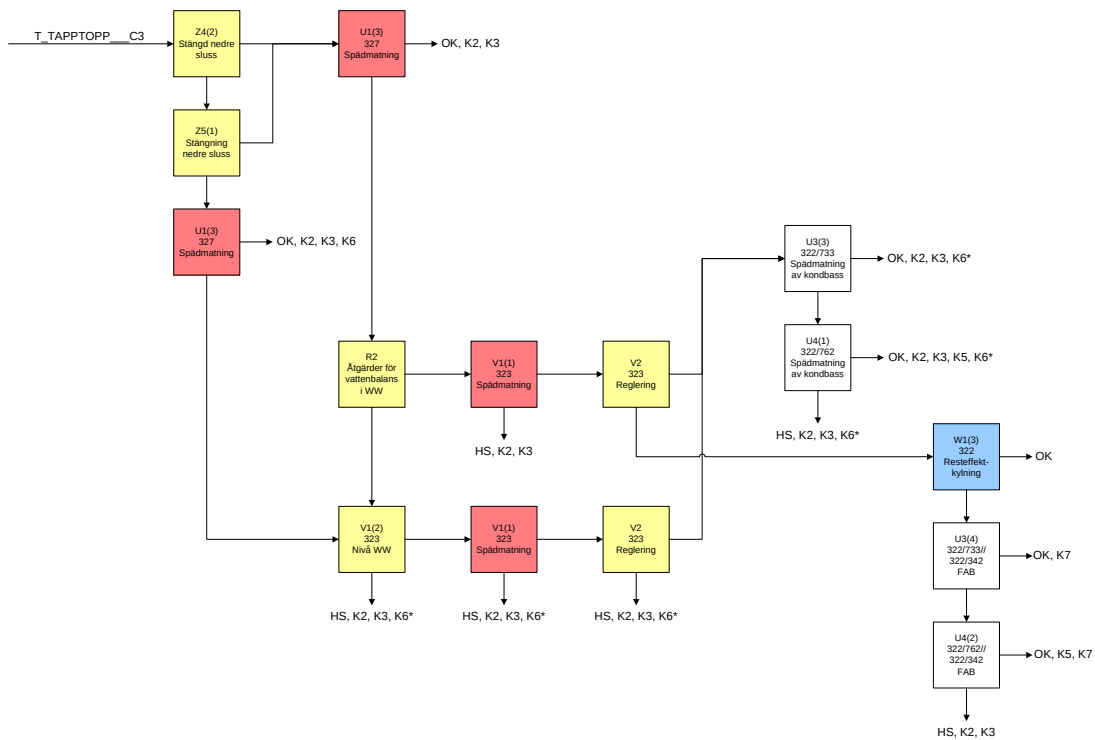
T_324STOPP___C_ - Bortfall av 324 (resteffektkylning A- och E-bassäng)



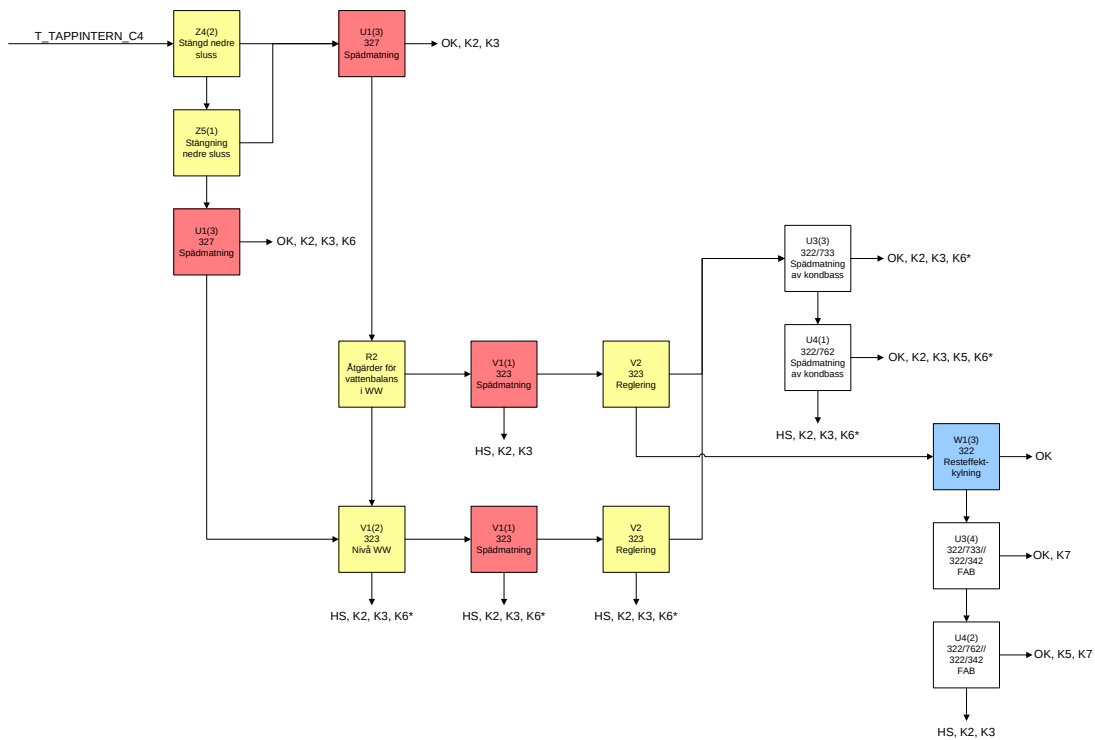
T_415START___C2 - Obefogad start av matarvatten medförande toppfyllning och kall trycksättning av RCPB



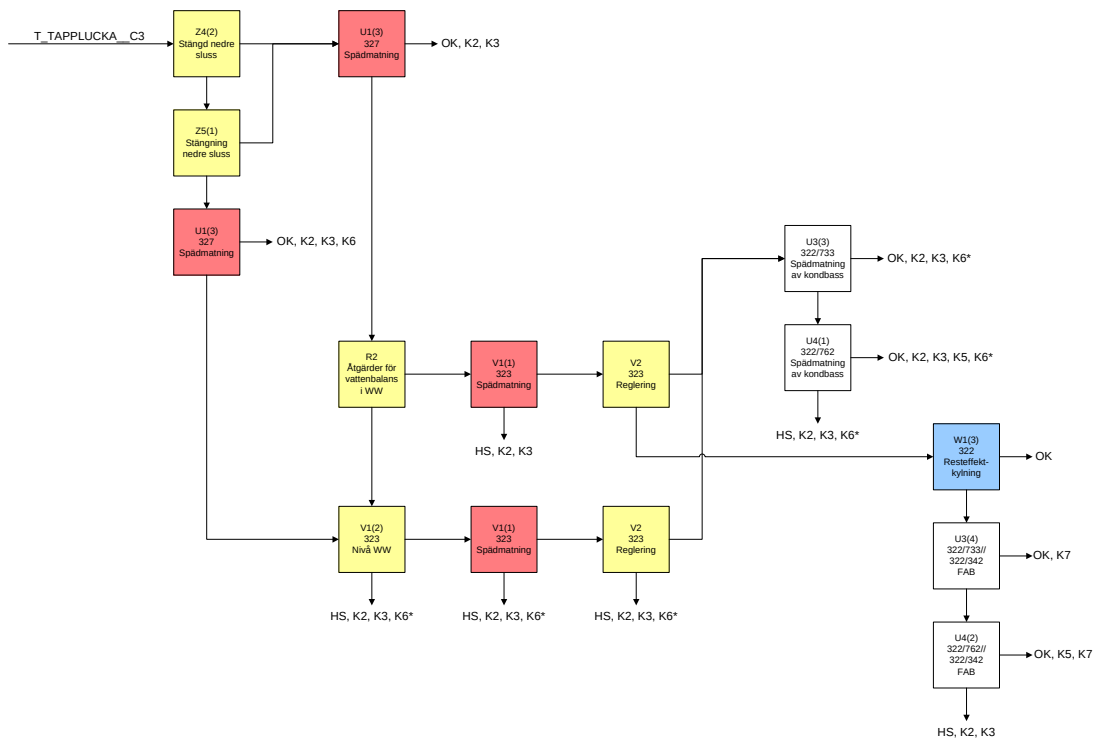
T_TAPPTOPP__C3 - Tappat RT-lock



T_TAPPINTERN_C4 - Tappad ångseparator, fuktavskiljare eller moderatortanklock



T_TAPPLUCKA_C3 - Tappad sättlucka eller skivport i reaktorhallen



Bilaga 4: Resultat med vatten i kondensationsbassängen

Förklaring till diagrammen:

Ljusblå stapel = Sannolikheten för den inledande händelsen

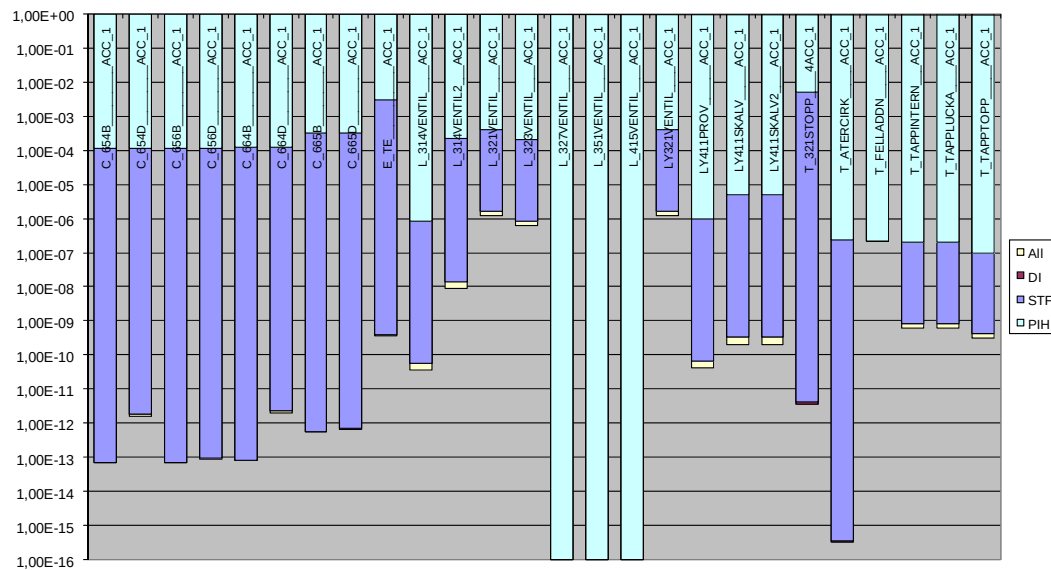
Blå stapel = Sannolikheten för den specifika konsekvensen då endast system kravställda i STF beaktas.

Vinröd stapel = Sannolikheten för den specifika konsekvensen då system kravställda i STF samt driftinstruktionerna beaktas.

Gul stapel = Sannolikheten för den specifika konsekvensen då alla system finns tillgängliga.

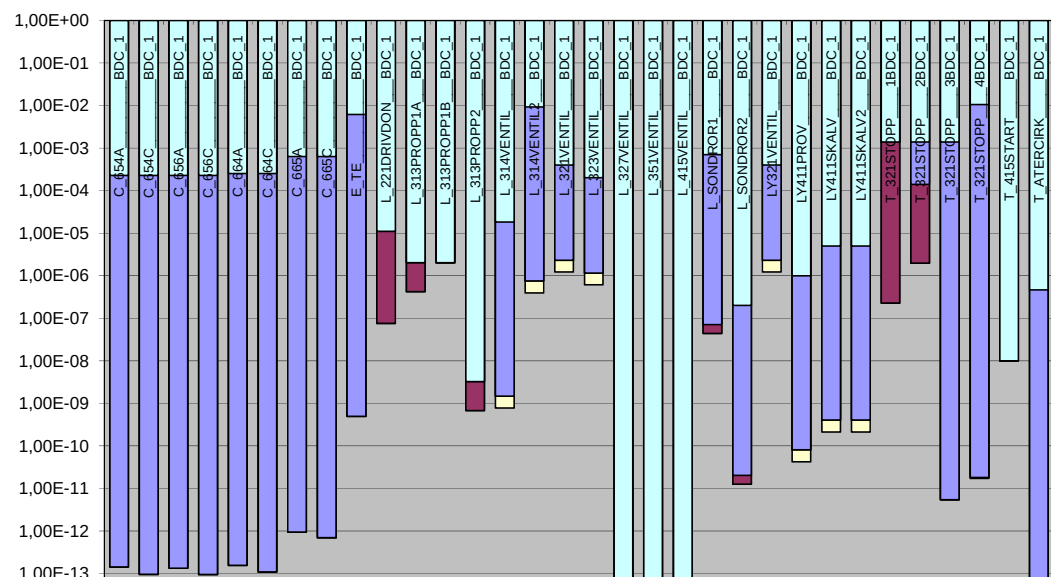
Resultat vid arbete på A/C-suben med avseende på konsekvensen härdskada.

Diagram HS(B)_AC (IH)



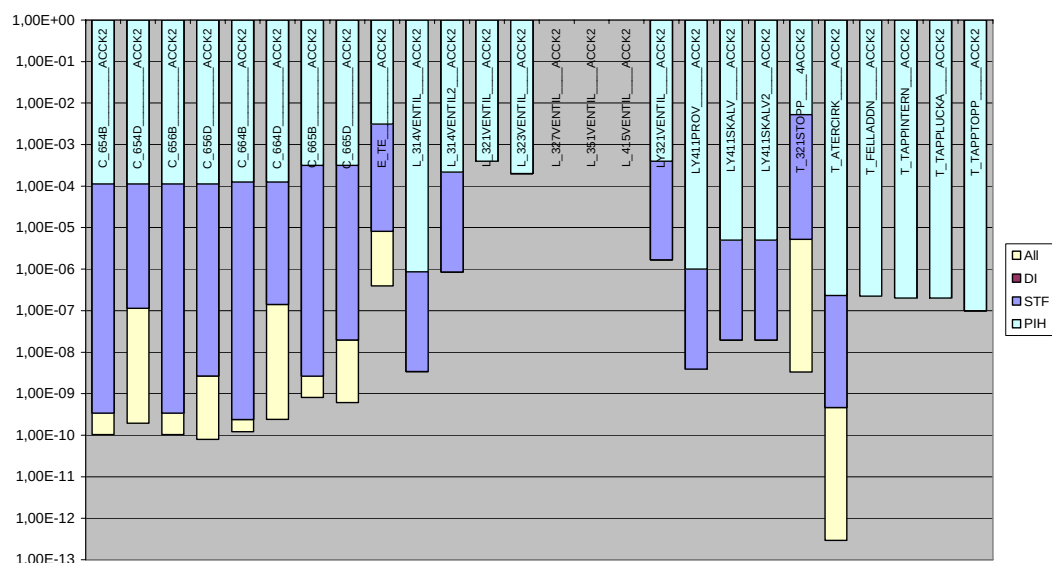
Resultat vid arbete på B/D-suben med avseende på konsekvensen härdskada.

Diagram HS(B)_BD (IH)



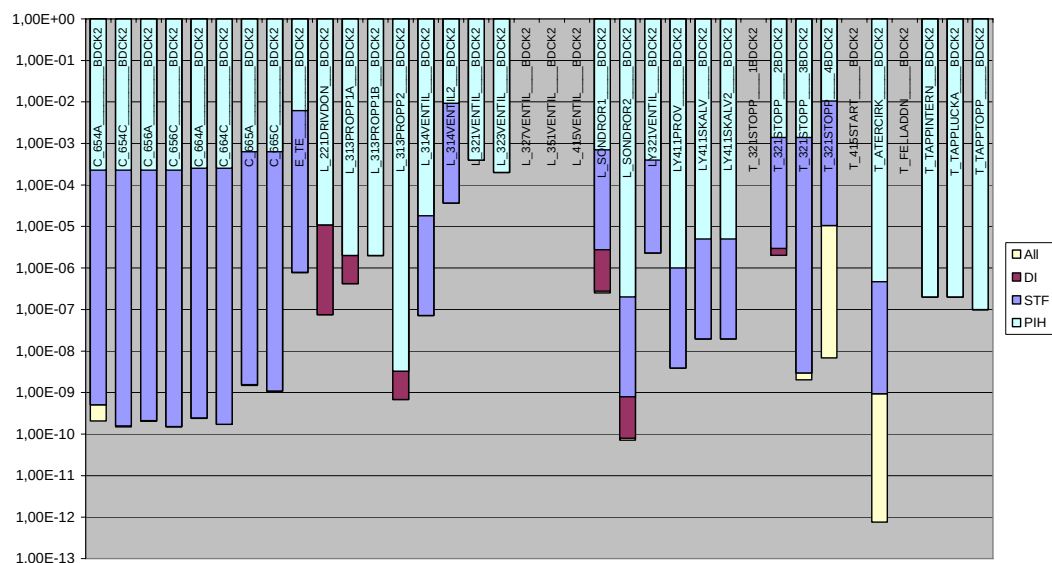
Resultat vid arbete på A/C-suben med avseende på konsekvensen kokning i reaktortanken.

Diagram K2(B)_AC (IH)

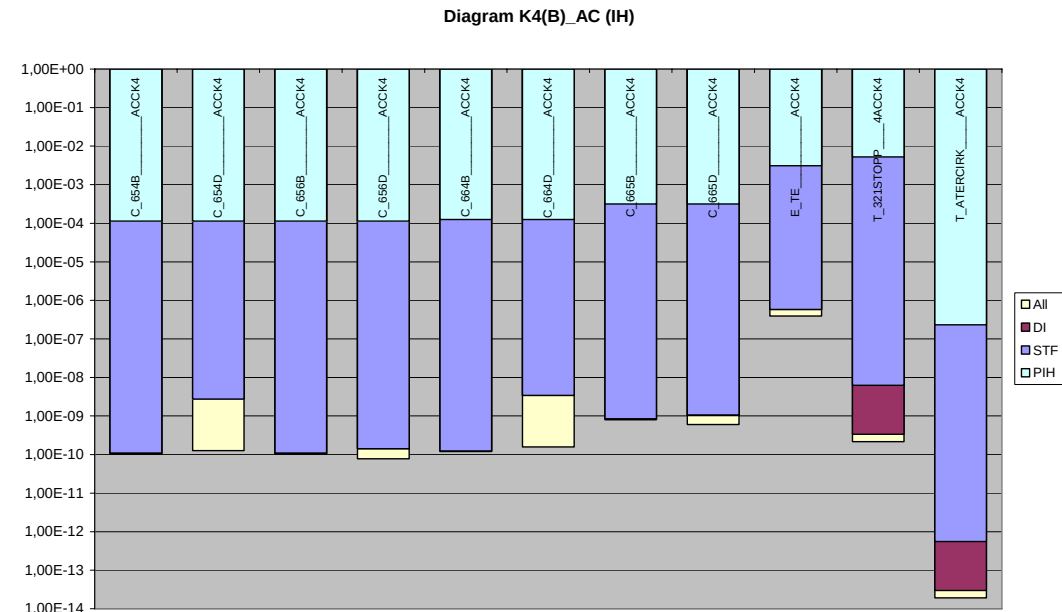


Resultat vid arbete på B/D-suben med avseende på konsekvensen kokning i reaktortanken.

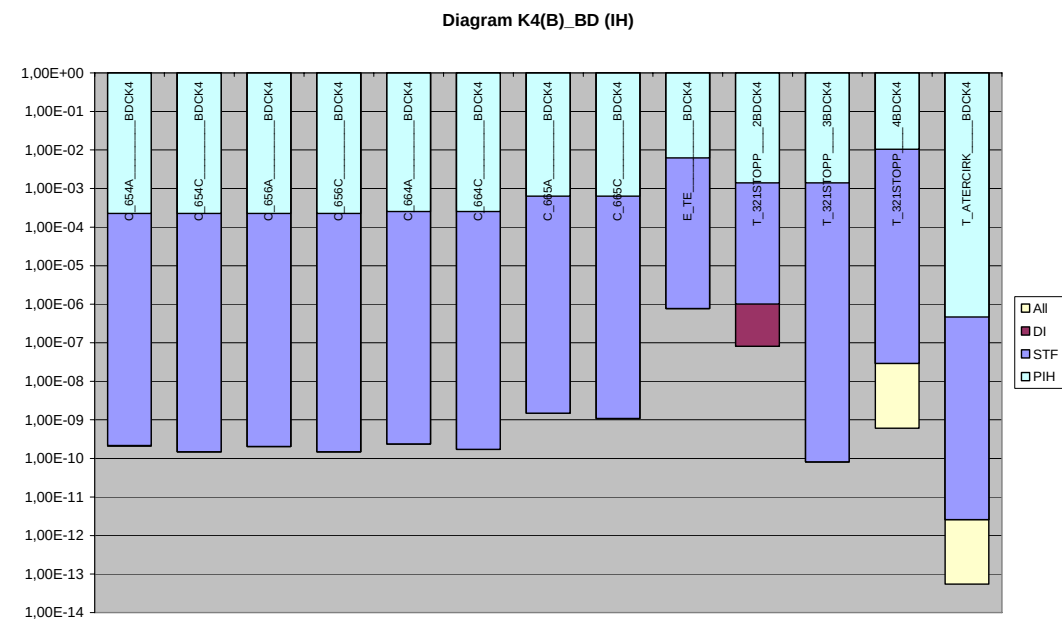
Diagram K2(B)_BD (IH)



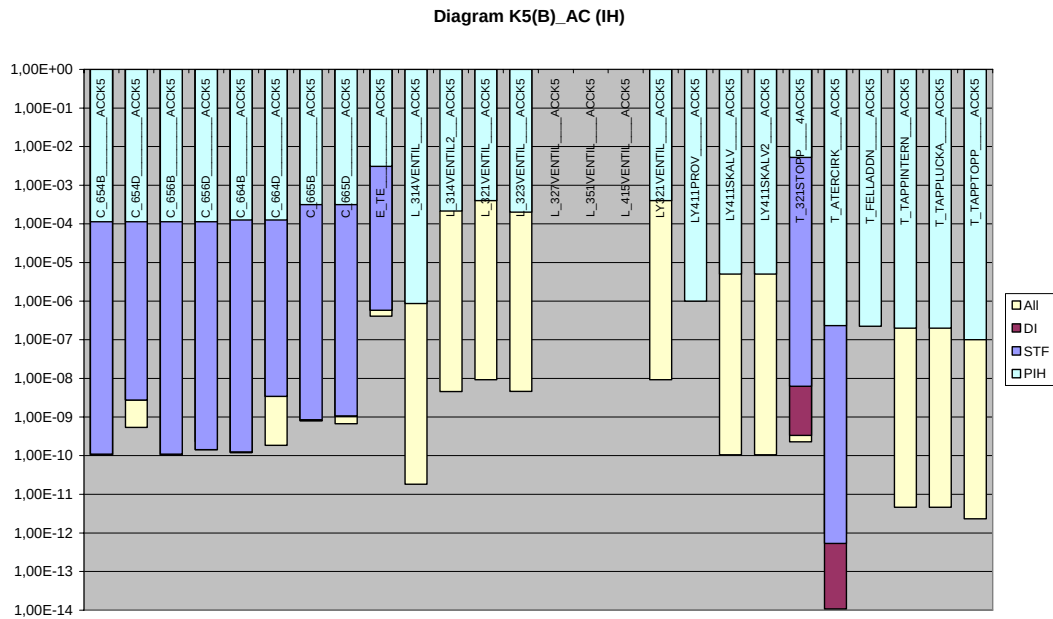
Resultat vid arbete på A/C-suben med avseende på konsekvensen spädmatning med slang.



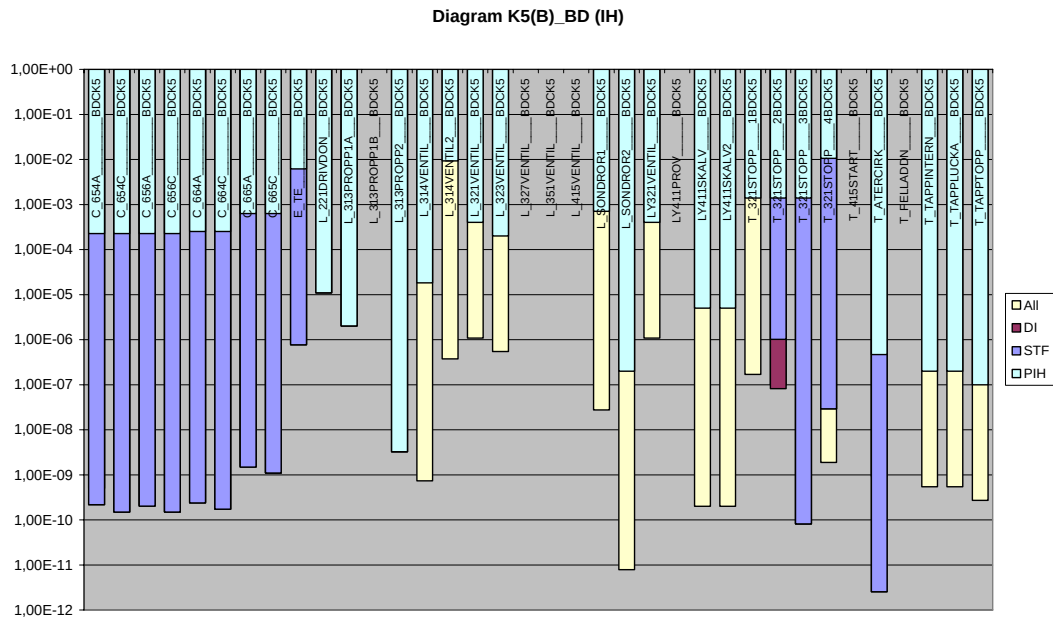
Resultat vid arbete på B/D-suben med avseende på konsekvensen spädmatning med slang.



Resultat vid arbete på A/C-suben med avseende på konsekvensen bränsle i kontakt med brandvatten.

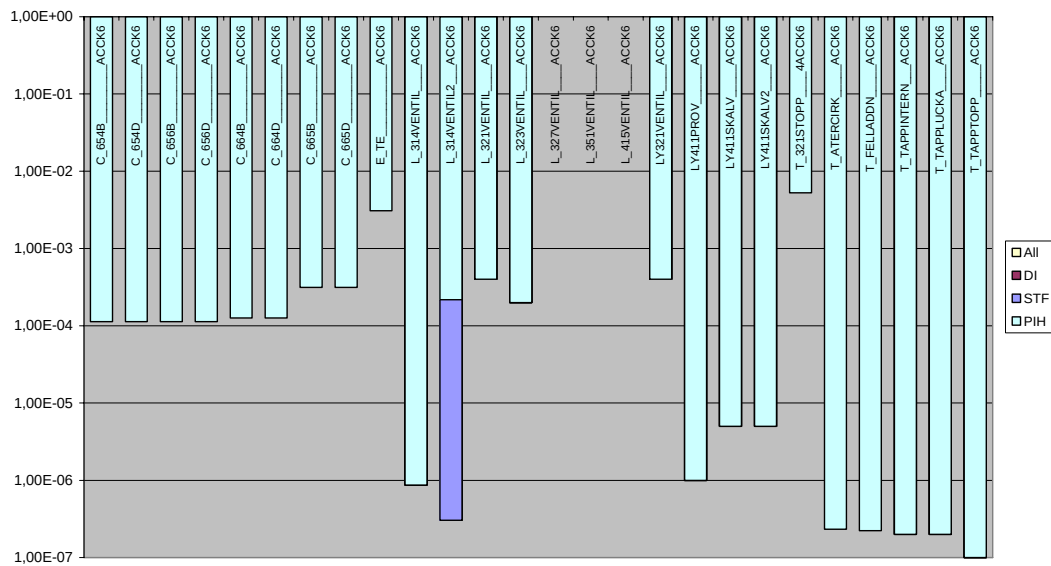


Resultat vid arbete på B/D-suben med avseende på konsekvensen bränsle i kontakt med brandvatten.



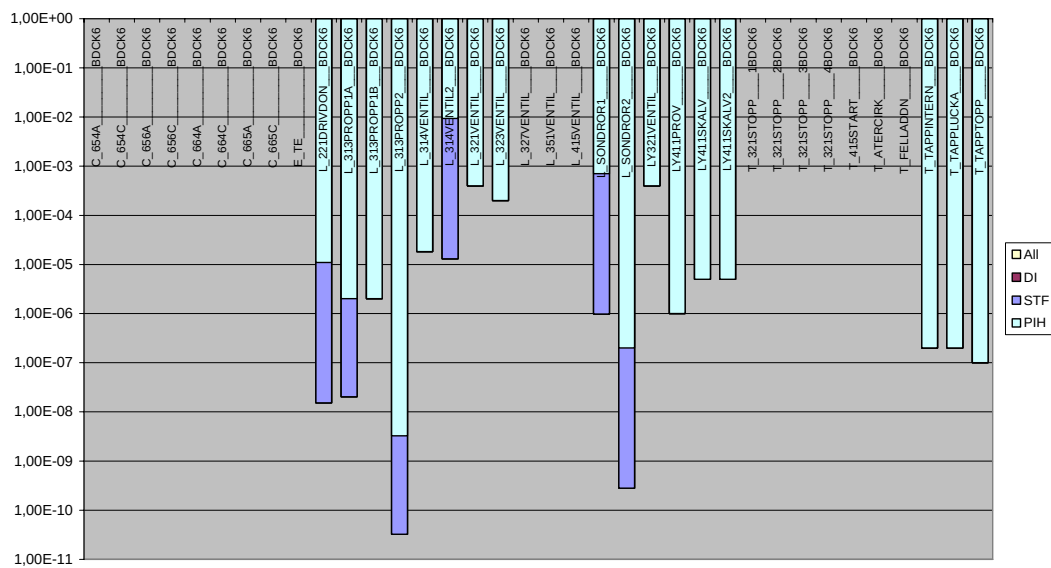
Resultat vid arbete på A/C-suben med avseende på konsekvensen utflöde från reaktorinneslutningen.

Diagram K6(B)_AC (IH)



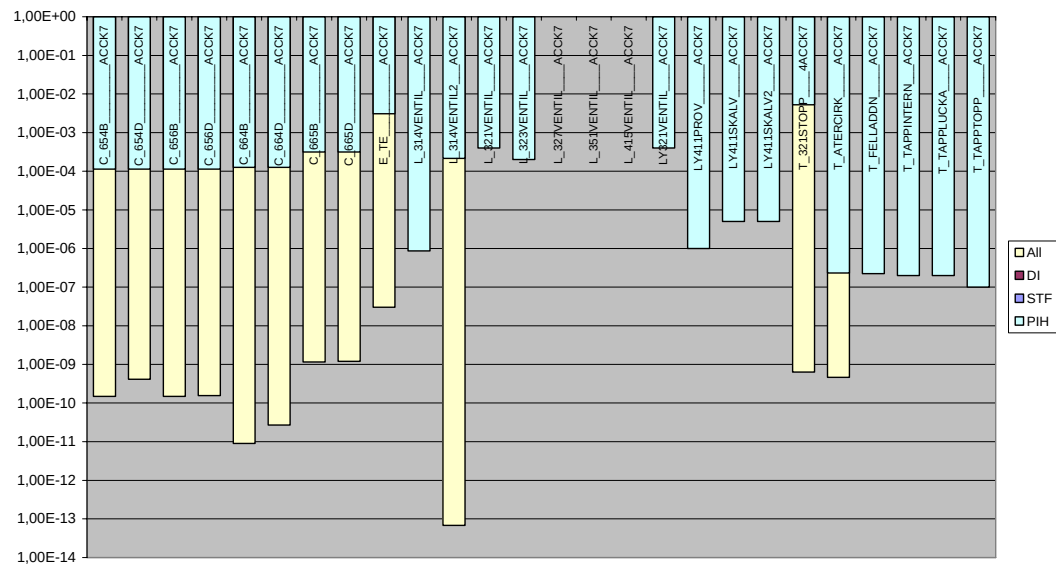
Resultat vid arbete på B/D-suben med avseende på konsekvensen utflöde från reaktorinneslutningen.

Diagram K6(B)_BD (IH)



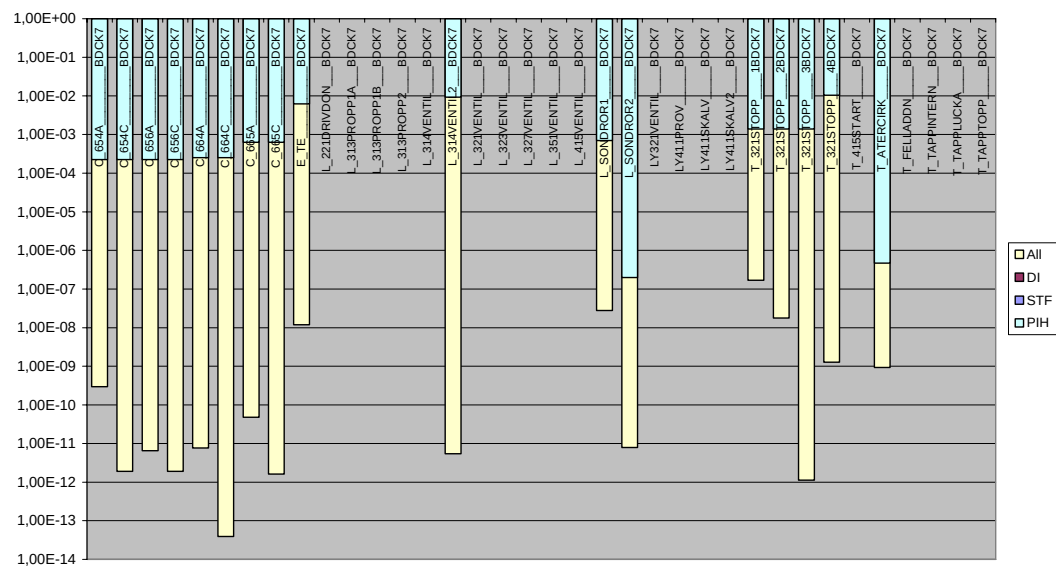
Resultat vid arbete på A/C-suben med avseende på konsekvensen bräddning av 342-tank.

Diagram K7(B)_AC (IH)



Resultat vid arbete på B/D-suben med avseende på konsekvensen bräddning av 342-tank.

Diagram K7(B)_BD (IH)



Bilaga 5: Resultat utan vatten i kondensationsbassängen

Förklaring till diagrammen:

Ljusblå stapel = Sannolikheten för den inledande händelsen

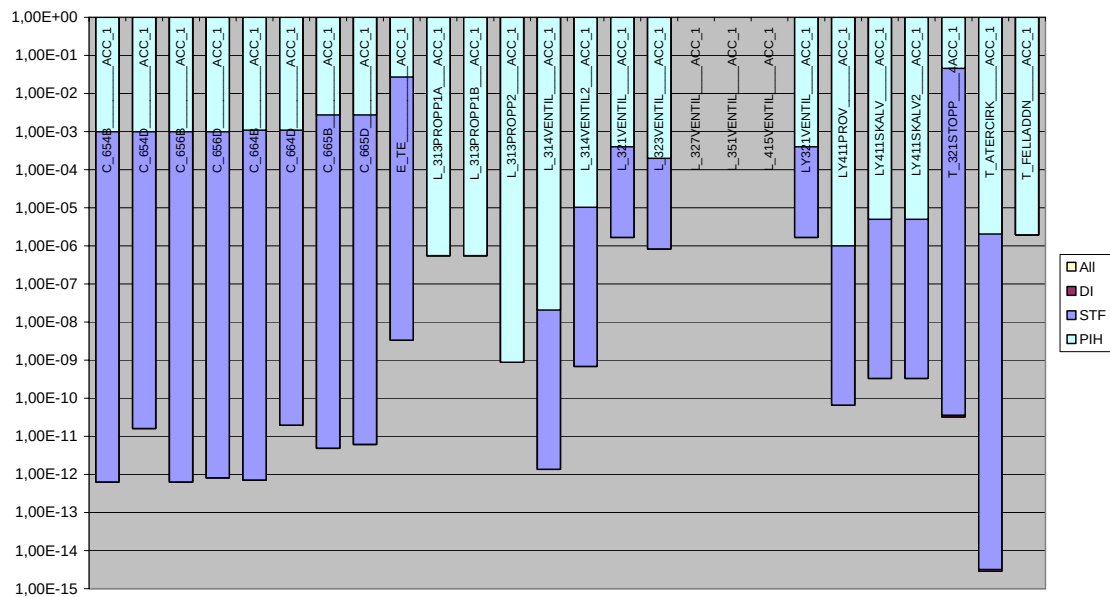
Blå stapel = Sannolikheten för den specifika konsekvensen då endast system kravställda i STF beaktas.

Vinröd stapel = Sannolikheten för den specifika konsekvensen då system kravställda i STF samt driftinstruktionerna beaktas.

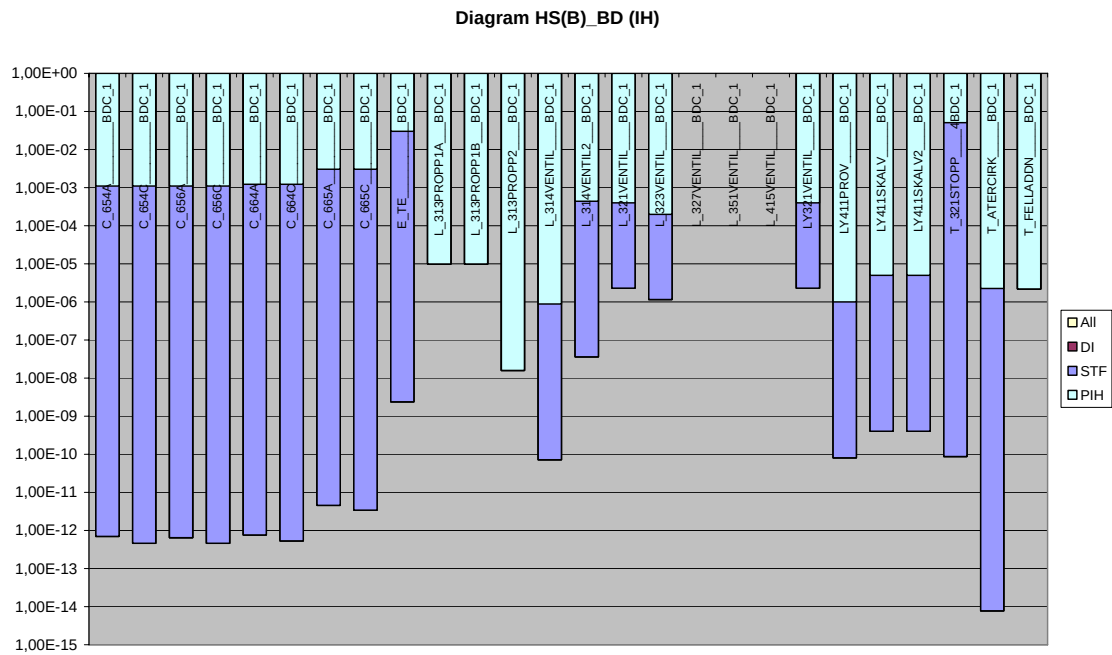
Gul stapel = Sannolikheten för den specifika konsekvensen då alla system finns tillgängliga.

Resultat vid arbete på A/C-suben med avseende på konsekvensen härdskada.

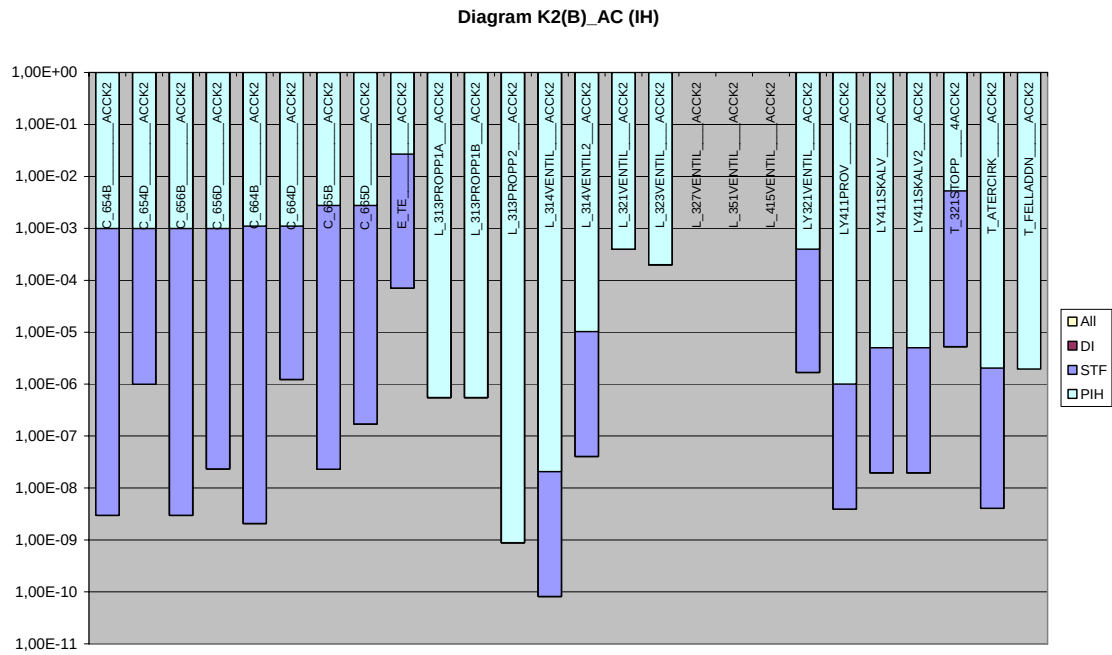
Diagram HS(B)_AC (IH)



Resultat vid arbete på B/D-suben med avseende på konsekvensen härdskada.

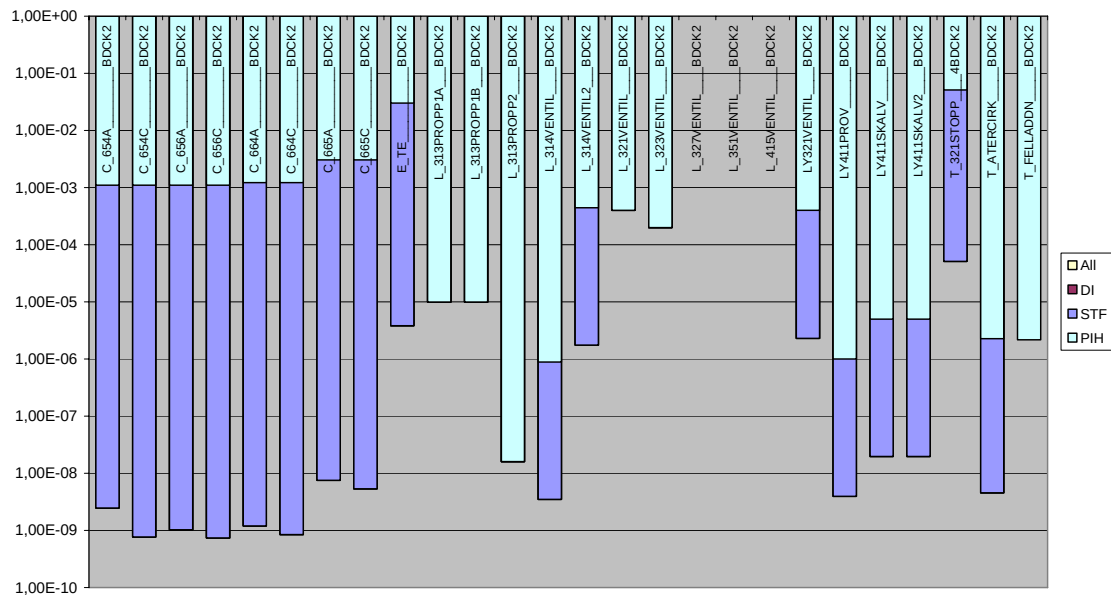


Resultat vid arbete på A/C-suben med avseende på konsekvensen kokning i reaktortanken.



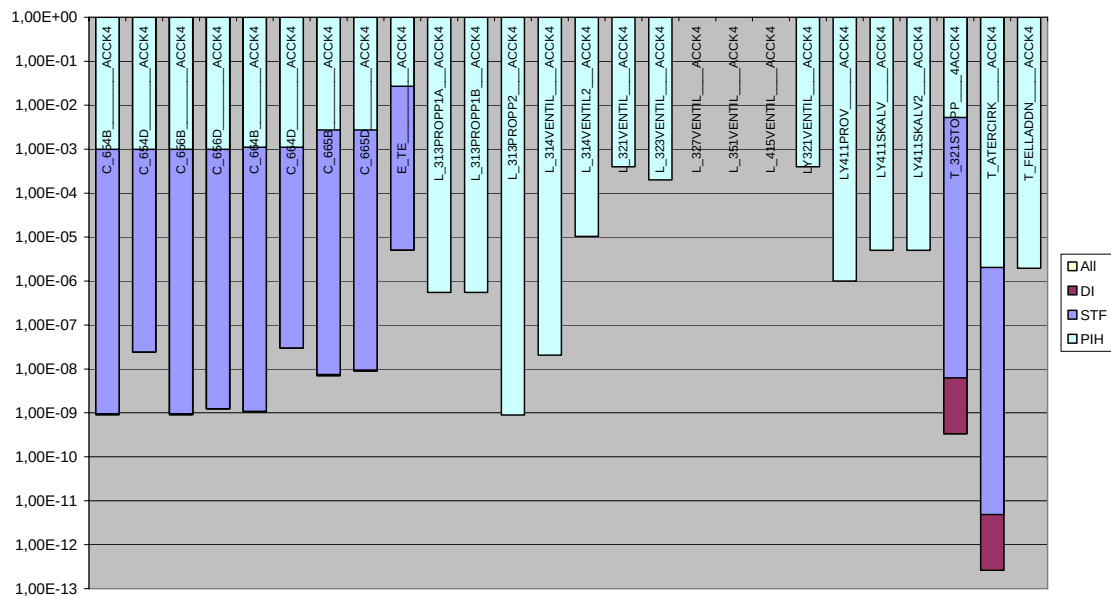
Resultat vid arbete på B/D-suben med avseende på konsekvensen kokning i reaktortanken.

Diagram K2(B)_BD (IH)

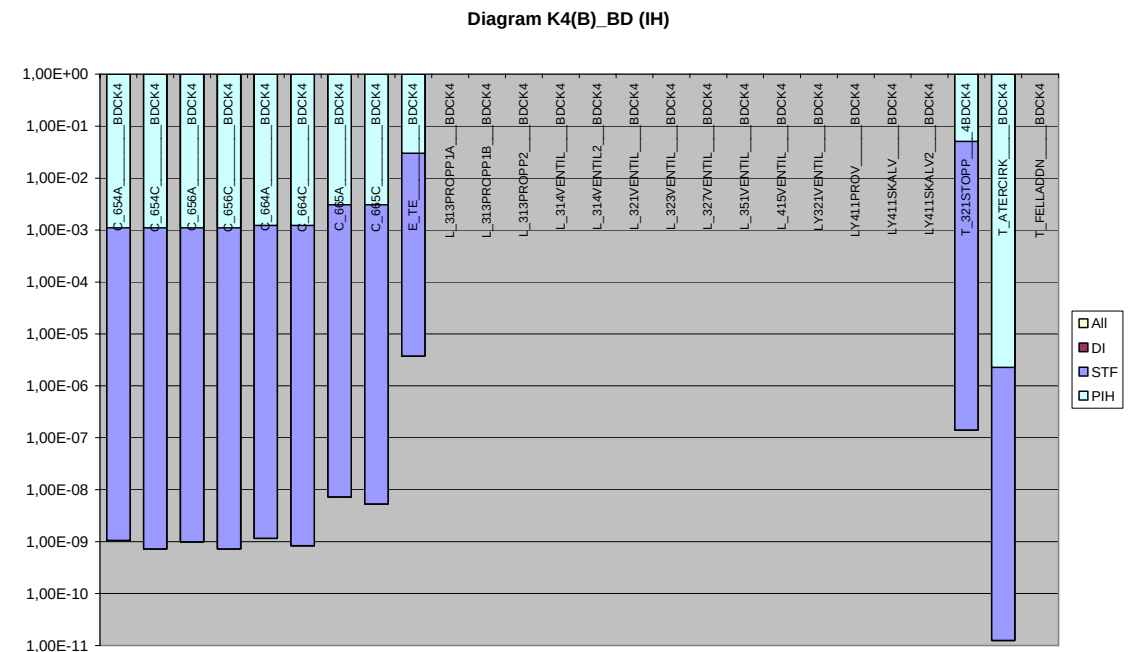


Resultat vid arbete på A/C-suben med avseende på konsekvensen spädmatning med slang.

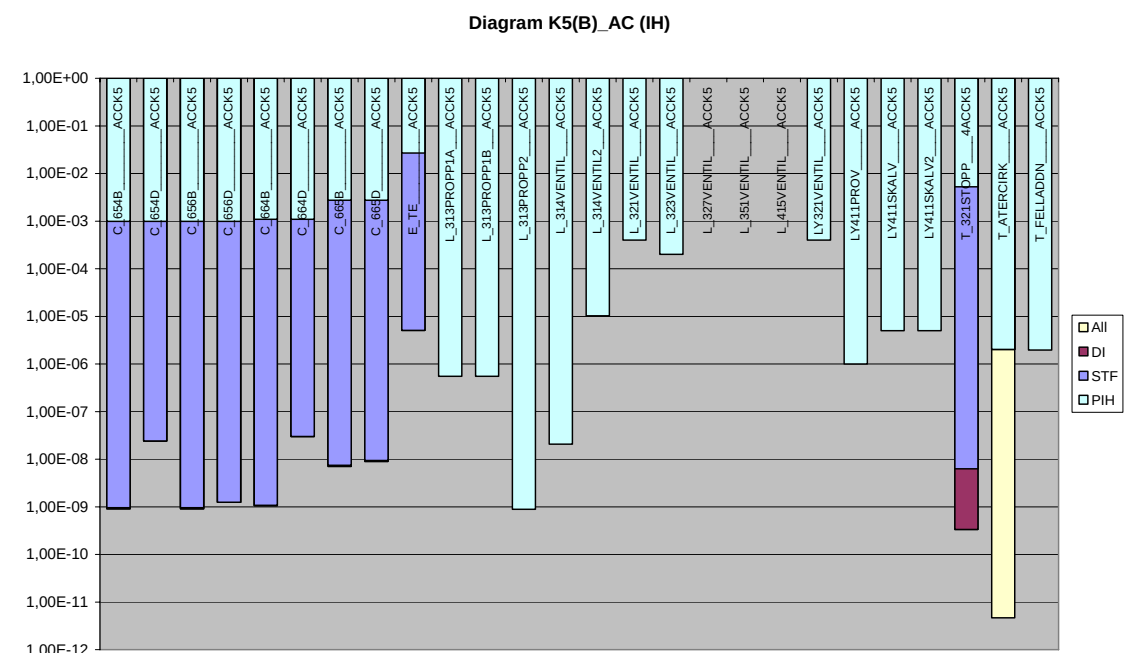
Diagram K4(B)_AC (IH)



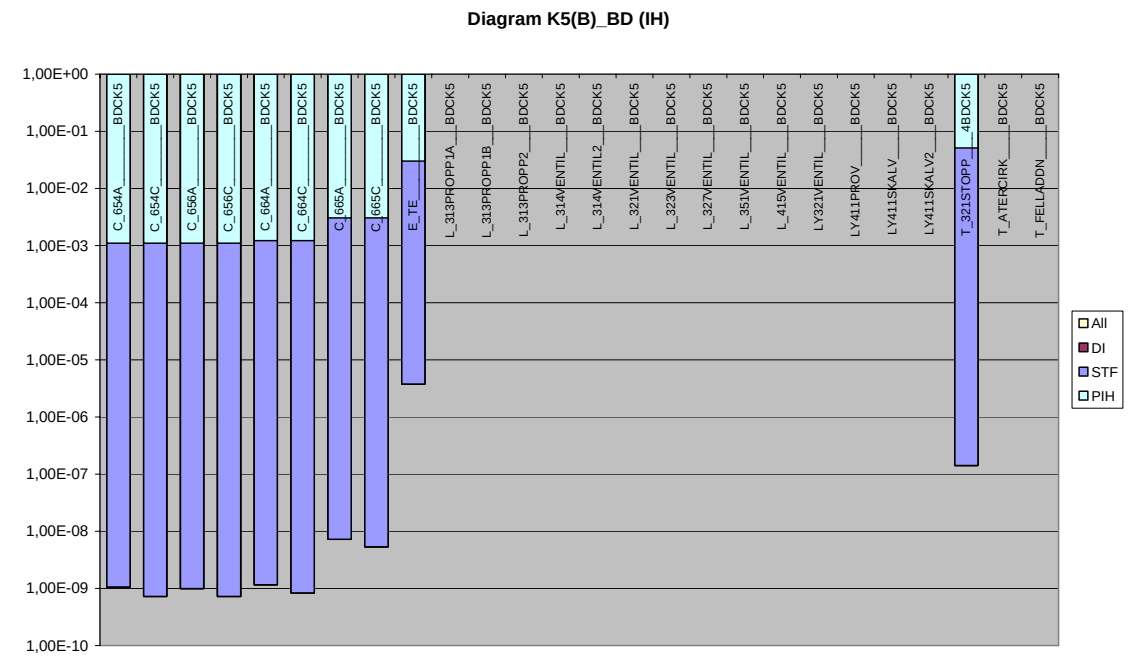
Resultat vid arbete på B/D-suben med avseende på konsekvensen spädmatning med slang.



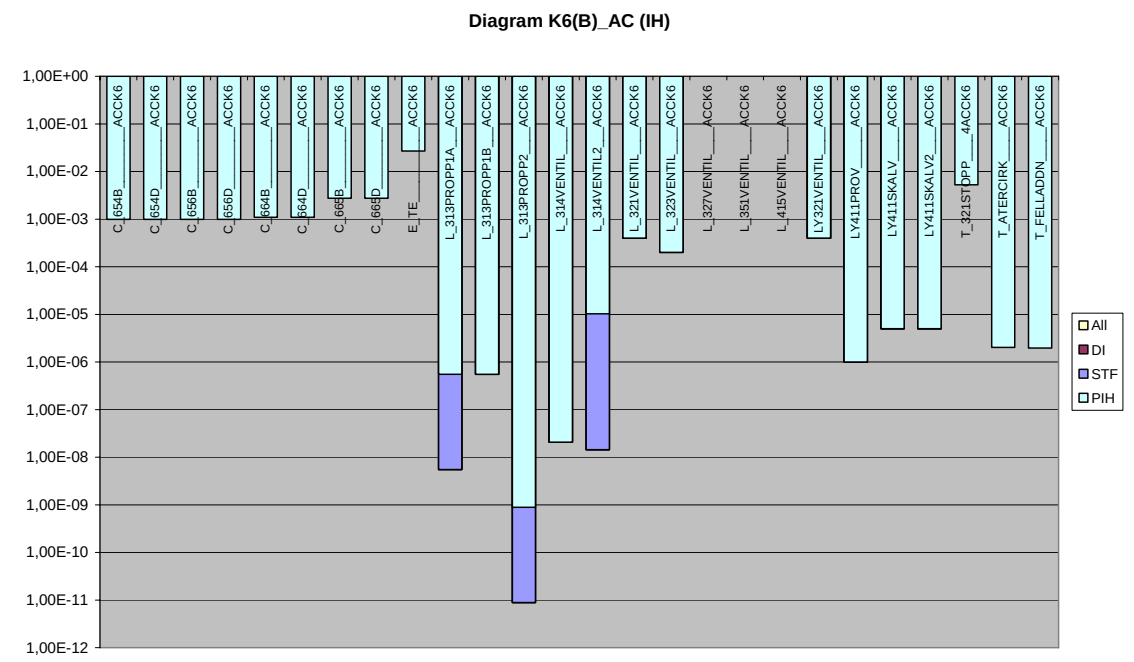
Resultat vid arbete på A/C-suben med avseende på konsekvensen bränsle i kontakt med brandvatten.



Resultat vid arbete på B/D-suben med avseende på konsekvensen bränsle i kontakt med brandvatten.



Resultat vid arbete på A/C-suben med avseende på konsekvensen utflöde från reaktorinneslutningen.



Resultat vid arbete på B/D-suben med avseende på konsekvensen utflöde från reaktorinneslutningen.

Diagram K6(B)_BD (IH)

