

Forskning

Hantering av CCF vid beräkningar i PSA och PSA-tillämpningar

Per Hellström

Mars 2006

SKI PERSPEKTIV

Bakgrund

CCF utgör dominerande bidrag till frekvensen för härdsador och radioaktiva utsläpp hos kärnkraftverk, framförallt hos senare generationer av anläggningar med hög redundansgrad. Det är därför viktigt att på ett korrekt sätt ta fram och använda CCF data i PSA studier. CCF relaterade bashändelser och grupper av sådana bashändelser måste hanteras på ett korrekt och realistiskt sätt i beräkningar av härdskadefrekvens och vid beräkningar av olika betydelse- och känslighetsmått. Detta gäller både för grund PSA i sitt grundutförande och i olika PSA tillämpningar. Olika sätt att beräkna betydelsemått kan leda till olika prioritering baserat på resultat från betydelseanalys och i tillämpningar som t.ex. riskuppföljning. Detta kan i sin tur leda till felaktiga slutsatser.

SKI:s och rapportens syfte

Syftet med forskningsprojektet är att beskriva hur olika antaganden gällande beräkningshantering av CCF påverkar beräkningsresultaten. Olika viktiga antaganden beskrivs och deras inverkan på beräkningsresultat utvärderas.

Resultat

Olika antaganden angående hantering av bashändelser relaterade till CCF händelser har granskats och har beskrivits och beräkningar har utförts med mindre testfelträd. Testberäkningar har visat på stora skillnader hos betydelsemått vid olika antaganden.

De antaganden som är relevanta vid olika typer av beräkningar anges, och rekommendationer är att fler alternativa antaganden bör användas vid beräkning av betydelsemått och att möjlighet att beräkna dessa införs i PSA verktyg. Studien pekar också på ett behov att också utförligare analysera inverkan av CCF på olika felmoder och mellan tidsberoende och tidsberoende bidrag.

Eventuell fortsatt verksamhet inom området

Det förväntas att resultaten kommer att bidra till fortsatt utveckling av verktyg för PSA och PSA applikationer samt förfinade resultatpresentationer. I detta projekt har CCF i lågredundanta system beaktats. Det är önskvärt att en studie med samma inriktning som denna, även görs för CCF beräkningar i högredundanta system.

Effekt på SKI:s verksamhet

Resultaten bidrar till förståelse av PSA och PSA resultat, samt CCF och dess betydelse för säkerheten.

Projektinformation

SKI:s handläggare:	Ralph Nyman
Projektnummer:	200402008
Diarienummer:	04/1049

SKI PERSPECTIVE

Background

CCF:s are dominating contributors to risk. It is therefore important with both development and correct use of CCF data in PSA:s. It is also important to treat CCF:s in a correct and realistic manner in the calculations of the core damage frequency and when quantifying importance and sensitivity for CCF-related events and groups of events, both in the basic PSA and in PSA applications. Different ways of calculating importance measures may lead to different ranking in importance and in PSA applications like risk-follow-up that in turn may lead to inadequate conclusions.

The aim of SKI and of the report

The aim of the research project is to describe how different assumptions regarding CCF treatment affects the PSA results. Important assumptions are identified and the impact on the basic core damage frequency, and sensitivity and importance analysis results are evaluated.

Results

Different assumptions concerning CCF:s in relation to quantification of PSA models are reviewed and described. Test calculations have showed large differences in importance measures when based on different assumptions. Conclusions concerning the assumptions valid for different types of calculations and applications are provided, including recommendations for implementation in PSA tools. The study do also indicate on the need to analyze CCF:s deeper and detailed regarding the impact on different failure modes and between time dependent and –independent contributions.

Possible continued activities within the area

It is expected that the results will contribute to the continued development of PSA and PSA application methods/tools and requirements and refined results presentations. In this project impact of CCF calculations in low redundant systems have been analysed. It is desirable that a study like this, also could be done on impact of CCF calculations in high redundant systems.

Effect on SKI activities

The results are expected to contribute to the understanding of PSA and PSA results, and CCF and its importance for safety..

Project information

Project responsible at SKI:	Ralph Nyman
Project number:	200402008
Diary number:	04/1049

Forskning

Hantering av CCF vid beräkningar i PSA och PSA-tillämpningar

Per Hellström

RELCON AB
Box 1288
SE-172 25 Sundbyberg

Mars 2006

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

Innehållsförteckning

1.	Inledning	13
1.1.	Bakgrund	13
1.2.	Mål och omfattning	13
1.3.	Innehåll i denna rapport	13
2.	Genomförande	14
3.	CCF modellering - allmänt	14
3.1.	CCF grupper	14
3.2.	CCF felträd	16
3.3.	CCF modeller	17
3.4.	CCF data	21
4.	Beräkningar	22
4.1.	Översikt	22
4.2.	Framtagning av MCS	22
4.3.	Beräkning av topphändelsens sannolikhet	22
4.4.	Beaktande av tidsförskjuten testning	23
4.5.	Betydelsemått	24
4.5.1.	Översikt betydelseanalys.....	24
4.5.2.	Betydelsemått för bashändelser.....	25
4.5.3.	Känslighetsanalys.....	25
4.6.	Betydelsemått och känslighetsanalys för bashändelsegrupper	26
5.	Betydelsemått då CCF ingår i modellen	26
5.1.	Inledande diskussion	26
5.2.	Beräkningsexempel	27
5.2.1.	Modeller.....	27
5.2.2.	Felträdsmodeller.....	27
5.2.3.	Excelmodeller.....	29
5.2.4.	Beräkningar.....	29
5.2.5.	Resultat.....	31
5.3.	Resultatdiskussion	32
5.3.1.	Toppshändelsers sannolikhet vid ökande redundansgrad.....	32
5.3.2.	Riskökning och riskminskning.....	33
5.3.3.	Attribut för CCF-bashändelser.....	34
5.3.4.	Betydelsemått för CCF-grupp.....	35
5.3.5.	Mer än en bashändelse representerar fel hos en och samma komponent.....	36
6.	Slutsatser och Rekommendationer	36
7.	Referenser	39

Tabellförteckning

Tabell 1: CCF modeller med tillhörande parametrar.....	18
Tabell 2: Definitioner.....	18
Tabell 3: Formler för Betafaktor-modellen.....	19
Tabell 4: Formler för MGL-modellen.....	19
Tabell 5: Formler för alfafaktor-modellen.....	20

Tabell 6: Generiska CCF data (NUREG/CR-5485 [1], tabell 5.11)	21
Tabell 7: MGL parametrar som används i beräkningsexempel	21
Tabell 8: Beräkningsfall	28
Tabell 9: Sannolikheter för CCF-händelser ($Q_{tot}=1E-3$)	29
Tabell 10: Sannolikheter för CCF-händelser ($Q_{tot}=1$)	29
Tabell 11: QTop (nominella värden)	31
Tabell 12: QTop (enskild bashändelse = 1)	31
Tabell 13: QTop (enskild bashändelse = 0)	32
Tabell 14: QTop (alla CCF-bashändelser för $A = 1$)	32
Tabell 15: QTop (alla CCF-bashändelser för $A = 0$)	32
Tabell 16: QTop (Alla CCF-bashändelser för A har sannolikhet enligt CCF-formel då $Q_{tot}=1$)	32
Tabell 17: Minskning av topphändelsens sannolikhet vid ökande redundansgrad	33
Tabell 18: Riskökningsfaktorer ($BE=1$ /Alla $BE=1/Q_{tot}=1$)	33
Tabell 19: Riskminskningsfaktorer ($BE=0$ /Alla $BE=0/Q_{tot}=0$)	33
Tabell 20: Riskökningsfaktorer för CCF-grupp (alla bashändelser har sannolikheten = 1)	35
Tabell 21: Riskminskningsfaktorer för CCF grupper (alla CCF-bashändelser har sannolikheten = 0)	35

Figurförteckning

Figur 1. Bashändelser för olika felmoder och tidsberoende respektive tidsberoende bidrag	15
Figur 2. Exempel på felträdsstruktur utan CCF i ett system med tre stråk.	16
Figur 3. Exempel på felträdsstruktur med CCF i ett system med tre stråk.	16
Figur 4. CCF felträd för utebliven start av pump A vid redundansgrad 3.	17
Figur 5. CCF felträd för utebliven start av pump A vid redundansgrad 4.	17
Figur 6. Exempel på felträdsstruktur med CCF för ett system med tre stråk	28
Figur 7. Sannolikheten hos originalbashändelsen sätts till 1 eller 0.	30
Figur 8. Sannolikheter hos alla bashändelser som innehåller originalbashändelsen sätts till 1, 0, eller enligt formel med $Q_{tot}=1/0$	31
Figur 9. Komponenter (bashändelser) med samma attribut.	35

Förkortningar och beteckningar – Organisationer

SKI	Statens Kärnkraftinspektion SKI på Internet: www.ski.se
-----	--

Förkortningar och beteckningar - Tekniska termer

BDD	Binary Decision Diagram
CCF	Common Cause Failure
CDF	Core Damage Frequency
FC	Fractional Contribution
FV	Fussell-Vesely
LPSA	Living PSA
PRA	Probabilistic Risk Assessment
PSA	Probabilistic Safety Assessment - Probabilistisk Säkerhetsanalys
STF	Säkerhetstekniska föreskrifter
ECLM	Extended Common Load Model
TI	Testintervall
MGL	Multiple Greek Letter (CCF modell)
MCS	Minimal Cut Set
MCUB	Min Cut Upper Bound
Modul- MCS	MCS som baseras på oberoende moduler
RDF	Risk Decrease Factor
RIF	Risk Increase Factor

Referat

Fel med gemensam orsak (CCF) ger ofta dominerande bidrag till härdskadefrekvensen. Det är därför viktigt att såväl framtagning och användning av CCF data, som hantering av CCF vid olika beräkningar av riskökning och riskminskningsfaktorer, sker på ett så korrekt och realistiskt sätt som möjligt, speciellt i olika tillämpningar där CCF kan påverka resultat och beslutsfattande, t.ex. riskuppföljning,

Påverkan av olika hantering av CCF vid beräkningar av betydelsemått i en grund PSA och inverkan av olika antaganden på resultat i PSA tillämpningar exemplifieras och beskrivs och det konstateras att olika sätt att beräkna riskökning och riskminskning ger mycket stor resultatpåverkan, vilket kan påverka beslutsfattande vid t.ex. riskuppföljning och riskmonitoring. Nedan sammanfattas rapportens rekommendationer:

- Riskökning och riskminskning bör redovisas för de två fallen 1) oberoende CCF-bashändelse = $1/0$ (existerar i RiskSpectrum som betydelsemått för bashändelse) och 2) alla CCF-bashändelser relaterade till en viss originalbashändelse har sannolikheten baserat på Q_{tot} (i CCF-formel) är $1/0$ (bör införas i RiskSpectrum). Den senare varianten bör i någon form även finnas med hos riskmonitorer för att på ett bättre sätt återspegla riskuppföljnings- och riskmonitoringssituationer där komponenter är otillgängliga pga test eller pga. fel.
- Beräkning av betydelsemått för grupper av bashändelser som baseras på attribut behöver ta hänsyn till att dessa attribut enligt vissa regler måste ärvas från originalbashändelserna till CCF-bashändelserna. Individuella attribut (ex placering) ska endast ärvas till den oberoende händelsen medan andra attribut som är gemensamma för de händelser som ingår i CCF-kombinationer (ex komponenttyp), ska ärvas av alla dessa CCF-bashändelser.
- Riskökning och riskminskningsberäkningar för bashändelsegrupper behöver beakta fall då flera originalbashändelser i en sådan grupp utgör en del av samma CCF-grupp. De CCF-bashändelser där alla originalbashändelser i bashändelsegruppen finns representerade måste sättas till $1/0$ i betydelseanalysen (riskökning och riskminskning).
- Ett speciellt sätt att beräkna riskminskning för CCF-grupper bör införas och ersätta nuvarande betydelsemått för CCF-grupper i RiskSpectrum. Detta betydelsemått "CCF riskminskningsmåttet" I^{CCF-R} ska beräknas genom att sätta sannolikheten för CCF kombinationerna till 0 medan sannolikheten för oberoende fel ligger kvar på det nominella värdet.
- Det bör vara av intresse att PSA-verktyg utvecklas så att grupper av komponenter kan hanteras, genom att t.ex. ha möjlighet att ange attribut för komponenter istället för bashändelser.
- Händelser med låg sannolikhet, eller som av annat skäl riskerar att hamna utanför MCS-listan bör kontrolleras vid beräkning av riskökningfaktorer, då de har potential att ha de högsta riskökningfaktorerna.
- Beräkning av topphändelsers absolutvärden ställer stora krav på de data som utgör grunden för CCF-bashändelsernas sannolikheter, samt hur t.ex. tidsförskjutna testning hanteras och beaktas. Det är viktigt att ha en stor medvetenhet om denna inverkan.

Abstract

Common cause failures (CCF:s) are dominating contributors to risk. It is therefore important with both development and correct use of CCF data. It is also important to treat CCF:s in a correct and realistic manner in the calculations of the core damage frequency and when quantifying importance and sensitivity for CCF-related events, both in the basic PSA and in PSA applications.

The effect of different treatment of CCF events during calculation of importance measures in a basic PSA and the impact on PSA applications are described and exemplified by small fault trees. It is showed that different methods to calculate risk increase and risk decrease can have a very large impact on the results that in turn is important to consider, e g in case of risk follow-up and risk monitoring applications. The recommendations from this report are summarized below:

- Risk increase and risk decrease factors should be provided for two cases: The first case is when the independent CCF basic event is set to 1/0. The result for this case is provided by the existing measure for basic events in Risk Spectrum, representing a situation when a component is unavailable for test. The second case is when all CCF basic events related to a specific original basic event (the member of the CCF group) are assigned probabilities resulting from setting the basic event probability Q_{tot} to 1/0. This case represents a situation when a component is failed and no information about the cause or availability of other redundant units is available. Both variants are necessary for a correct treatment in risk follow-up and risk monitoring situations.
- Importance measures for basic event groups based on the basic event attributes need to consider that the CCF basic events also reflect the attributes for the original basic events. Attributes like location that not is common with the other original basic events shall not be inherited to the CCF basic events representing the original basic event, while common attributes like component type shall be inherited.
- Risk increase and risk decrease factors for basic event groups need to consider cases when several original basic events in the basic event group also are members of the same CCF group. In this case, the CCF basic events must be set to 1/0 for the importance calculation.
- A special importance measure for CCF groups is proposed. The new measure I^{CCF-R} shall be calculated by setting the probability for all CCF basic events that are combinations of two or more original basic events to zero while keeping the independent basic event probabilities at there nominal values.
- PSA tools like RiskSpectrum can be developed further to allow grouping of components, in addition to grouping of basic events, e g, provide attribute for the component instead of or in addition to attribute for the basic events.
- Events with a low probability, that not are considered in calculation of risk increase factor because they were part of minimal cut sets screened out because of the cut-off, should be checked for risk increase potential.
- The top events linear dependency with regard to the basic failure parameters and CCF model parameters, including consideration of staggered testing or not, is an important matter. The quality of the basic data and the treatment of time dependency is as important as the value of CCF model parameters, for top events dominated by common cause failures.

1. Inledning

1.1. Bakgrund

CCF ger ofta dominerande bidrag till resultat i PSA studier. Det är därför viktigt att såväl framtagning och användning av CCF data, som hantering av CCF vid olika beräkningar sker på ett så korrekt och realistiskt sätt som möjligt. Detta gäller både beräkning i en grund PSA och i olika PSA applikationer – hur hanteras CCF modellen och beräkningarna i en PSA där man använder manuell modellering och hur görs detta i en modell där programverktyget används till att automatisera modelleringen?

Det finns idag mycket forskning och datainsamling/bearbetning som lett till både olika typer av modeller för hantering av CCF, och dels underlag till parametrar och färdiga parameteruppsättningar som kan användas för att beräkna sannolikheten för CCF händelser.

Det finns dock fortfarande ett behov att öka kunskapen om själva beräkningarna gällande såväl framtagning av CCF-händelser, samt vid beräkningar av topphändelser och vid beräkning av olika betydelse- och känslighetsmått.

Arbetet utförs på uppdrag av SKI.

1.2. Mål och omfattning

Målet med forskningsprojektet är att beskriva inverkan av olika antaganden gällande CCF vid beräkningar av sannolikhet för topphändelser och betydelsemått i en grund PSA och i PSA tillämpningar.

Projektet studerar följande aspekter:

- Beräkningsgång vid framtagning av MCS och beräkning av topphändelsers sannolikhet.
- Beräkningsgång vid beräkning av betydelsemått, och möjliga antaganden vid beräkning av betydelsemått för bashändelser och olika grupper av bashändelser, såsom CCF och komponent.

1.3. Innehåll i denna rapport

Avsnitt 2 beskriver genomförandet av projektet.

Avsnitt 3 redovisar CCF-modellering och beräkning av CCF bashändelser för olika CCF-modeller.

Avsnitt 4 beskriver den generella beräkningsgången vid beräkning av en topphändelses sannolikhet, samt beräkning av olika betydelse- och känslighetsmått.

Avsnitt 5 redovisar en genomgång av olika CCF antaganden applicerbara vid beräkning av olika betydelsemått och hur dessa påverkar sannolikhet för olika CCF-händelser och betydelsemått. Exempel och resultat redovisas.

Avsnitt 6 redovisar slutsatser och rekommendationer för beräkningar av betydelsemått och känslighetsmått då PSA modellen innehåller CCF.

2. Genomförande

Forskningsprojektets uppgift är följande:

1. Beskriva vilka olika antaganden beträffande CCF som är tänkbara i samband med beräkning av olika betydelsemått och vid tillämpningar som påverkar CCF.
2. Demonstrera konsekvensen av olika antaganden.
3. Redogöra för hur RiskSpectrum hanterar olika antaganden idag. Vilka möjligheter som finns.
4. Identifiera eventuellt metodutvecklingsbehov för att kunna genomföra olika analyser med relevanta CCF-antaganden.

Känslighetsanalys sker genom att göra beräkningar för olika antaganden. Antaganden begränsas till sådana som är relevanta för presentation av betydelsemått för bashändelser och komponenter, samt vid riskuppföljning efter inträffade händelser.

Effekten av olika CCF antaganden demonstreras med hjälp av beräkningar på en förenklad modell där PSA verktyget RiskSpectrum PSA Professional används.

3. CCF modellering - allmänt

3.1. CCF grupper

Fel med gemensam orsak (CCF – Common Cause Failure) antas drabba lika stråk/komponenter. I praktiken är fel med gemensam orsak endast intressant då sådana fel medför att redundanta stråk försvagas eller blir otillgängliga.

CCF-grupper baseras som regel på lika komponenter från olika redundanta stråk som ingår i ett i anläggningen identifierat system, t.ex. hjälpmatarvattensystemet eller hårdnöd kylsystemet. En CCF grupp består av en grupp bashändelser som representerar typiskt förväntade felkombinationer med gemensam orsak hos de ingående komponenterna, som utebliven start av pump A; utebliven start av pump B, då pump A och pump B har olika gemensamma faktorer (konstruktion, storlek, miljö, tillverkare, installation, ålder, testintervall etc).

I det följande kommer begreppen originalbashändelse och CCF-bashändelse att användas:

Originalbashändelse	Ursprunglig bashändelse som ingår i en CCF-grupp
CCF-bashändelse	Bashändelse som ingår i CCF-felträd och som baseras på definierade CCF-grupper. Hit räknas även den oberoende händelsen.

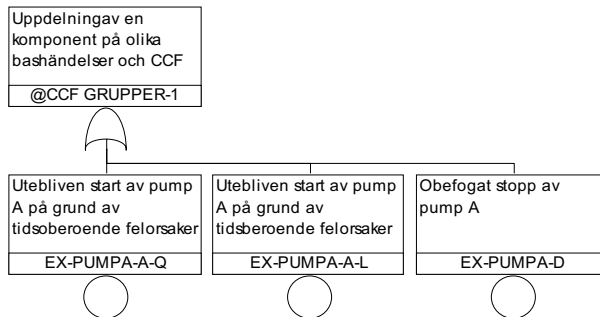
I många fall definieras flera CCF grupper för olika komponenter ingående i de olika redundanserna som tillsammans utgör en säkerhetsfunktion.

Enklaste fallet är då en komponent representeras av en ensam bashändelse. I detta fall kommer en CCF grupp att räcka till för att beräkna sannolikheterna för de olika CCF-bashändelserna.

Det förekommer fall där en komponent representeras av mer än en bashändelse. Exempel på detta är ”Utebliven start av pump vid behov” och ”Obefogat stopp av pump innan den fullgjort sitt uppdrag”. I dessa fall definieras vanligen två CCF grupper, en för varje felmod.

Ytterligare komplexitet finns i en del svenska studier, som förberetts för PSA tillämpningar, och där $q_0 + \lambda \cdot t$ modellen (q_0 är en tidsberoende felsannolikhet och λ är en tidsberoende felintensitet) används med data från t.ex. T-boken version 6 [1]. Som exempel, så finns för vissa tillämpningar en uppdelning av felmoden "Utebliven start" i en bashändelse med feldata för det tidsberoende bidraget q_0 , och en annan bashändelse med feldata för det tidsberoende bidraget $\lambda \cdot t$. En CCF grupp används för det tidsberoende bidraget och en annan CCF-grupp för det tidsberoende bidraget.

Uppdelningen i bashändelser för olika felmoder och för tidsberoende och tidsberoende bidrag innebär att det kan finnas upp till tre CCF-grupper för en och samma felfunktion hos en komponent, t.ex. utebliven funktion pump. Det kan finnas upp till fem CCF-grupper för samma komponent, t.ex. utebliven öppning uppdelat i två bashändelser och utebliven stängning uppdelat i två för motormanövrerade ventiler, men det rör sig då om olika konsekvens. De olika möjliga CCF grupperna åskådliggörs i Figur 1 för en pump som ingår i stråk A i ett system.



Figur 1. Bashändelser för olika felmoder och tidsberoende respektive tidsberoende bidrag.

I fallet med MGL och α -faktormodellen (se CCF-modeller i avsnitt 3.3) bildas CCF-bashändelser som är olika kombinationer av de originalbashändelser som ingår i CCF-gruppen. Beroende av antalet originalbashändelser i gruppen (komponenter) så kommer antalet CCF-bashändelser att variera.

Antalet händelser i en CCF grupp kan i princip vara obegränsat, men begränsas av olika skäl oftast till det största antalet redundanta komponenter, som kommer att utgöra underlag för olika CCF grupper. I praktiken så kommer varje CCF grupp att innehålla 2, 3 eller 4 originalbashändelser beroende på antalet stråk (redundansgraden) i det aktuella systemet (vid modellering av så kallat lågredundant CCF).

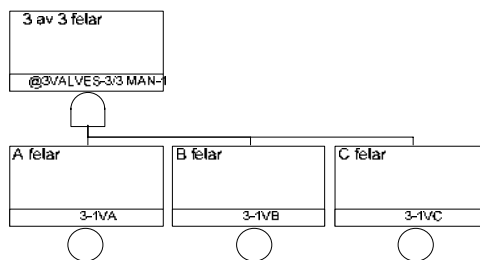
Ett undantag är det man kallar högredundant CCF, exempelvis drivdon till styrtavar, där det finns ett stort antal komponenter som i olika kombinationer kommer att bidra till risken. Högredundant CCF modelleras oftast med en ensam bashändelse, där hela sannolikheten representerar ett CCF bidrag, och där speciella metoder används för att beräkna CCF sannolikheten. Hantering av olika beräkningar där högredundant CCF ingår ligger utanför denna studies omfattning. Dock kan liknande fenomen uppträda, t.ex. att en komponent som modelleras som individuell bashändelse också finns representerad som del av en CCF-bashändelse, varför detta också behöver beaktas vid beräkning av betydelsemått och i tillämpningar, t.ex. riskuppföljning. Generellt gäller att alla CCF-bashändelser i PSA modellen borde ha en egenskap som gör att de känns igen som CCF-händelser och då kan hanteras som sådana av PSA-verktyget (liknande önskemål finns beträffande bashändelser för manuella ingrepp).

3.2. CCF felträd

CCF realiseras i felträd genom att skapa CCF-felträd bestående av grindar och CCF-bashändelser. CCF-bashändelserna utgår från information om vilka originalbashändelser som ingår i CCF-grupperna, samt CCF-modell med tillhörande parametrar.

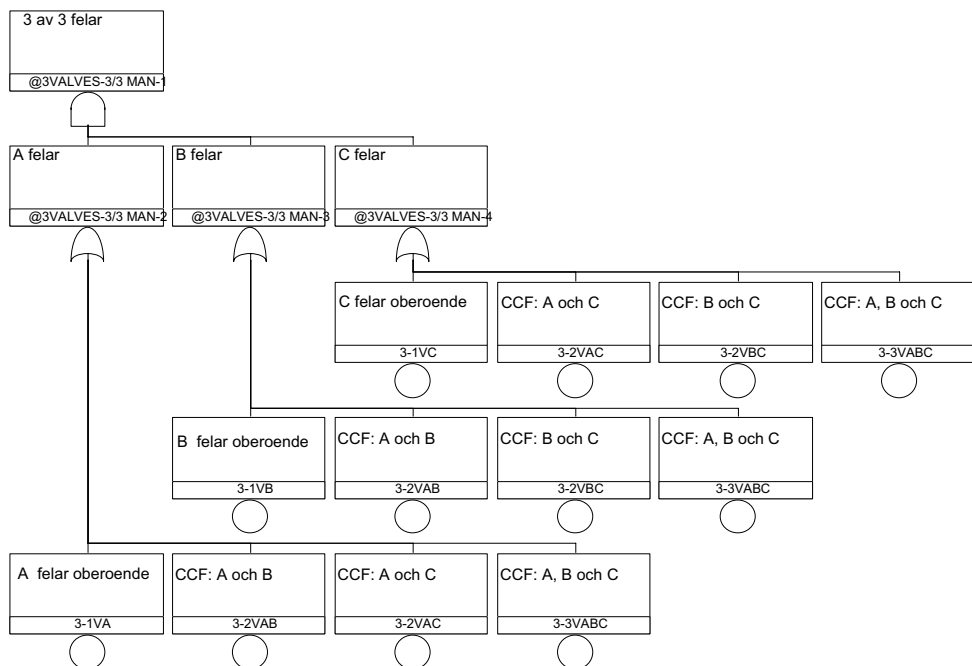
Anta att det finns tre redundanta komponenter A, B, C som kan anses vara utsatta för risken för fel med gemensam orsak. I ett felträd representeras de individuella felen med tre bashändelser (som också benämns A, B och C), där sannolikheten för respektive bashändelse representerar dess totala felsannolikhet.

Om dessa bashändelser ingår i en CCF grupp, så skapas följande CCF-bashändelser för att representera de olika möjliga felkombinationerna A, B, C, AB, AC, BC, ABC, vilket illustreras i Figur 2.



Figur 2. Exempel på felträdsstruktur utan CCF i ett system med tre stråk.

Originalbashändelsen ersätts med en ELLER grind med relevanta CCF-bashändelser (beroende på vilka bashändelser som ingår i CCF gruppen). CCF-bashändelserna kommer att återfinnas på flera ställen i modellen, varvid beroendet kommer att beaktas i beräkningarna. För den ursprungliga bashändelsen A gäller att den ersätts med de nya händelserna A (individuellt fel), AB, AC och ABC. Detta illustreras i Figur 3.



Figur 3. Exempel på felträdsstruktur med CCF i ett system med tre stråk.

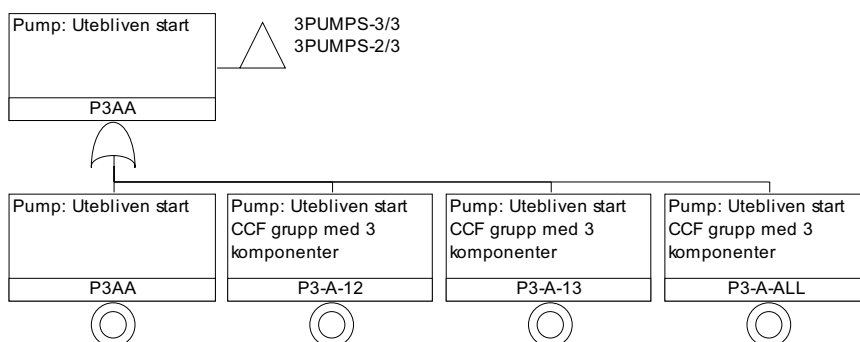
Händelserna A, AB, AC och ABC kommer att bidra till sannolikheten för utebliven

funktion hos komponent A och på motsvarande sätt för komponent B och C. Summan av sannolikheterna för A, AB, AC och ABC motsvarar den totala individuella felsannolikheten för originalbashändelse (komponent) A.

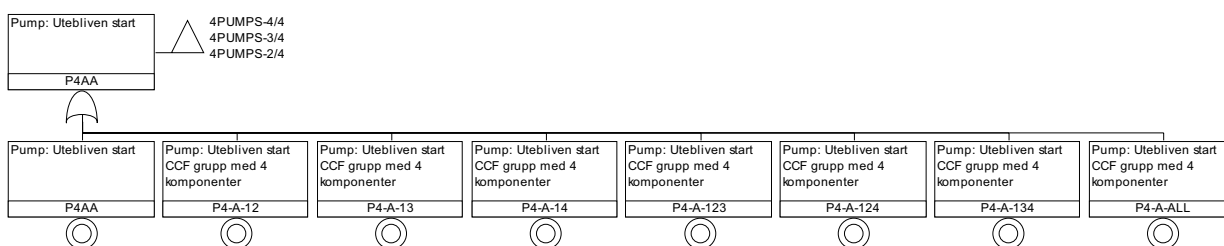
CCF-bashändelserna behandlas ur beräkningssynpunkt som enskilda oberoende bashändelser.

Modellering av CCF-felträd kan ske manuellt, men automatik kan utnyttjas om PSA-verktyget stöder detta (i RiskSpectrum finns stöd för automatisk hantering av CCF). CCF-bashändelsernas felsannolikheter baseras i Riskspectrum på de feldata som hör till den originalbashändelse som först lagts till i en specifik CCF grupp. De CCF-bashändelser som representerar oberoende fel, får i RiskSpectrum samma namn som originalbashändelserna, medan kombinationer av originalbashändelser ges i form av sifferkombinationer som framgår av CCF-bashändelsens namn. Den CCF-bashändelse som innebär att samtliga ingående originalbashändelser inträffar har beteckningen "ALL" i slutet av namnet.

Figur 4 och Figur 5 återger exempel på CCF-felträd för en felmod/komponent i stråk A hos ett system med redundansgrad tre respektive fyra. Likadana felträdsstrukturer finns för motsvarande felmoder/komponenter i de redundanta stråken.



Figur 4. CCF felträd för utebliven start av pump A vid redundansgrad 3.



Figur 5. CCF felträd för utebliven start av pump A vid redundansgrad 4.

3.3. CCF modeller

I svenska PSA studier används framförallt α -faktormodellen för modellering och beräkning av så kallat lågredundanta CCF (upp till kombinationer av fyra samtidiga fel) och ECLM (Extended Common Load Model) för så kallat högredundanta CCF (kombinationer med mer än fyra samtidiga fel). Tidigare har använts både β -faktor modellen och Multiple Greek Letter modellen (MGL) som är en utökning av β -faktormodellen. β -faktormodellen var ursprungligen avsedd för fall med 2 redundanta komponenter (stråk).

I fallet med β -faktormodellen kommer en enskild komponent att felfungera med en

oberoende felsannolikhet som är en andel av komponentens (bashändelsens) totala felsannolikhet. En andel (β) av den totala felsannolikheten kommer att slå ut alla komponenter i samma grupp.

Sättet att räkna ut sannolikheter för de olika CCF-bashändelserna beror av den CCF modell som används - β -faktor, Multiple Greek Letter eller α -faktor modell¹, och de parametrar som representerar denna modell.

Beräkningen av en komponents felsannolikhet utgår från den tillförlitlighetsmodell och feldata som gäller för den individuella bashändelsen.

De parametrar som används i de olika modellerna visas i nedan Tabell 1.

Tabell 1: CCF modeller med tillhörande parametrar	
CCF modell	CCF parametrar
Beta	β (beta)
Multiple Greek Letter (MGL)	β (beta)
	γ (gamma)
	δ (delta)
Alfa	α_1 (alpha1): $\alpha_1 = 1 - (\alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4)$
	α_2 (alpha2)
	α_3 (alpha3)
	α_4 (alpha4)

Tabell 2 innehåller definitioner av total otillgänglighet, Q_{tot} , och otillgänglighet hos CCF-händelse av ordning k , Q_k .

Tabell 2: Definitioner	
Q_{tot}	Avser "Total" otillgänglighet hos respektive originalbashändelse i CCF-gruppen. Denna beräknas med information om tillförlitlighetsmodell och feldata.
Q_k	Avser otillgängligheten hos en CCF händelse av ordning k , d.v.s. En CCF händelse med k komponenter (bashändelser).
M	Avser antalet komponenter (originalbashändelser) hos CCF gruppen.

Oftast innehåller en CCF grupp max 4 komponenter (bashändelser). Tabell 3, Tabell 4 och Tabell 5 nedan presenterar dels en generell formel och formler för CCF-grupper med upp till fyra komponenter (bashändelser) för betafaktor-modellen, MGL-modellen och alfafaktor-modellen. Formlerna anger hur sannolikheten för CCF-bashändelser med

¹ Det finns även andra modeller än de här nämnda.

olika antal kombinerade originalbashändelser beräknas.

Tabell 3: Formler för Betafaktor-modellen	
Generell formel	$Q_k = (1 - \beta)Q_{tot} \quad k = 1$ $Q_k = 0 \quad 1 < k < N$ $Q_k = \beta Q_{tot} \quad k = N$
2 komponenter	$Q_1 = (1 - \beta)Q_{tot}$ $Q_2 = \beta Q_{tot}$
3 komponenter	$Q_1 = (1 - \beta)Q_{tot}$ $Q_2 = 0$ $Q_3 = \beta Q_{tot}$
4 komponenter	$Q_1 = (1 - \beta)Q_{tot}$ $Q_2 = 0$ $Q_3 = 0$ $Q_4 = \beta Q_{tot}$

Tabell 4: Formler för MGL-modellen	
Generell formel	$Q_k = \frac{1}{\binom{m-1}{k-1}} \left(\prod_{i=1}^k \rho_i \right) (1 - \rho_{k+1}) Q_{tot}$ $\rho_1 = 1, \rho_2 = \beta, \rho_3 = \gamma, \dots, \rho_{N+1} = 0$
2 komponenter (originalbashändelser)	$Q_1 = (1 - \beta)Q_{tot}$ $Q_2 = \beta Q_{tot}$
3 komponenter (originalbashändelser)	$Q_1 = (1 - \beta)Q_{tot}$ $Q_2 = \frac{1}{2} \beta (1 - \gamma) Q_{tot}$ $Q_3 = \beta \gamma Q_{tot}$
4 komponenter (originalbashändelser)	$Q_1 = (1 - \beta)Q_{tot}$ $Q_2 = \frac{1}{3} \beta (1 - \gamma) Q_{tot}$ $Q_3 = \frac{1}{3} \beta \gamma (1 - \delta) Q_{tot}$ $Q_4 = \beta \gamma \delta Q_{tot}$

Tabell 5: Formler för alfafaktor-modellen.	
Generell formel	$Q_k = \frac{k}{\binom{m-1}{k-1}} \frac{\alpha_k}{\alpha_{tot}} Q_{tot}$ $\alpha_{tot} = \sum_{k=1}^N k \alpha_k$
2 komponenter	$Q_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_{tot}} Q_{tot}$ $Q_2 = 2 \frac{\alpha_2}{\alpha_{tot}} Q_{tot}$
3 komponenter	$Q_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_{tot}} Q_{tot}$ $Q_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_{tot}} Q_{tot}$ $Q_3 = 3 \frac{\alpha_3}{\alpha_{tot}} Q_{tot}$
4 komponenter	$Q_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_{tot}} Q_{tot}$ $Q_2 = \frac{2}{3} \frac{\alpha_2}{\alpha_{tot}} Q_{tot}$ $Q_3 = \frac{\alpha_3}{\alpha_{tot}} Q_{tot}$ $Q_4 = 4 \frac{\alpha_4}{\alpha_{tot}} Q_{tot}$

Beräkningen av Q_{tot} beror av använd tillförlitlighetsmodell, t.ex. i fallet med testad komponent ser formeln för beräkning av medelvärdet Q_{medel} ut enligt följande [4].

$$Q_{medel} = q + (1-q) \left(1 - \frac{1}{\lambda_{SB} TI} (1 - e^{-\lambda_{SB} TI}) \right) + (q + (1-q)(1 - e^{-\lambda_{SB} TI})) x \frac{T_r}{TI} \text{ (testad)}$$

q q_0 , tidsberoende felsannolikhet

λ_{SB} Felintensitet under stand-by

TI Testintervall

Tr TR, reparationstid

De testberäkningar som redovisas i avsnitt nedan baseras på en modell med bara sannolikhetsparameter.

Det kan noteras att sannolikheten för varje CCF-bashändelse är linjärt beroende av både ursprungliga feldata för originalbashändelsen, och de parametrar som ingår i den valda CCF-modellen.

3.4. CCF data

CCF-data behövs för att kunna beräkna sannolikheten för CCF-bashändelserna.

CCF-data finns oftast på komponentnivå, men inte uppdelat på olika felmoder eller på tidsberoende och tidsoberoende bidrag, vilket innebär att samma CCF data (faktorer) används för de olika CCF-grupperna. NUREG/CR-5497 [2] presenterar data som indikerar en skillnad för olika felmoder hos samma komponent. Det slår dock olika på olika komponenttyper med högre betafaktorer för obefogat stopp av dieslar jämfört med utebliven start och lägre betafaktorer för obefogat stopp av pumpar jämfört med utebliven start av pumpar. Det skulle vara av intresse att närmare undersöka om det finns skillnader i CCF benägenhet mellan olika felmoder och mellan tidsberoende och tidsberoende bidrag (se rekommendationer till fortsatt arbete). I praktiken är det troligen så att skillnader i grundläggande feldata som q_0 och λ är av större betydelse.

CCF parametrar för α -faktormodellen finns t.ex. redovisade i NUREG/CR-5497 [2] för en mängd olika typer av komponenter och storlek hos CCF grupp (upp till 6 ingående komponenter). Tabell 6 presenterar generiska α -faktorer för gruppstorlek 2 till 4 [3].

Tabell 6: Generiska CCF data (NUREG/CR-5485 [1], tabell 5.11)				
Gruppstorlek	$\alpha (1,n)$	$\alpha (2,n)$	$\alpha (3,n)$	$\alpha (4,n)$
4	0,950	0,021	0,010	0,019
3	0,950	0,024	0,026	-
2	0,953	0,047	-	-

Ovan generiska α -värden kan räknas om till MGL faktorer. β blir då ca 0,1, γ blir ca 0,6-0,7 och δ blir ca 0,7. Värdet på γ är betydligt högre än de som brukar användas i svenska studier. I de beräkningsexempel som utförs inom projektet används därför parametrar för MGL-modellen enligt Tabell 7. Samma värden används oavsett gruppstorlek och felmod, även om det finns dataanalyser som tyder på en skillnad som beror av gruppstorlek och felmod [2]. Dessa skillnader är dock så små att de inte påverkar resultatet av den analys som redovisas här. Däremot är det intressant att notera vad använda CCF-data faktiskt innebär för felsannolikheten hos ett system med två, tre eller fyra redundanta stråk. Detta berörs i resultatredovisningen i avsnitt 5.2.5.

Tabell 7: MGL parametrar som används i beräkningsexempel	
β	0,1
γ	0,3
δ	0,6

4. Beräkningar

4.1. Översikt

Beräkningarna av en topphändelsens sannolikhet (frekvens) och olika betydelse- och känslighetsmått baseras i RiskSpectrum (och i andra PSA-verktyg) på den MCS lista som tas fram vid MCS-analysen för ett specifikt analysfall (en topphändelse i PSA-modellen).

MCS (eller modulariserade MCS) används för beräkning av topphändelsens sannolikhet, där en moduls sannolikhet i RiskSpectrum beräknas exakt.

Beräkningar av topphändelsens sannolikhet/frekvens används vid beräkning av betydelse- och känslighetsmått.

Nedan presenteras och diskuteras de olika beräkningsstegen:

- Framtagning av MCS (modul-MCS)
- Beräkning av topphändelsens sannolikhet
- Beräkning av betydelse- och känslighetsmått

4.2. Framtagning av MCS

Vid framtagning av MCS används cut-off av olika slag för att snabbare få fram ett resultat. Cut-off innebär att MCS med låg sannolikhet/frekvens inte kommer att vara med i den slutliga listan med MCS som används för beräkning av betydelse- och känslighetsmått.

MCS och händelser som inte finns med i listan är sådana händelser som skulle kunna ligga i topp vad gäller riskökningsfaktorer, medan de skulle ligga sist i listan över riskminskningsfaktorer. Sådana händelser kan behöva kontrolleras separat, t.ex. genom att ta fram en lista över de händelser som har lägst sannolikhet/frekvens och undersöka om de finns med i den ordinarie beräkningen.

4.3. Beräkning av topphändelsens sannolikhet

Beräkningen av topphändelsens sannolikhet är en approximation som baseras på den MCS lista som tas fram i MCS-analysen.

Först beräknas sannolikheten för varje händelse baserat på aktuell beräkningsmodell och givna indata. Sannolikheten för CCF-händelser beräknas enligt de formler som presenterats ovan i avsnitt 3. I förekommande fall beräknas sannolikhet för moduler exakt, vilket sker med hjälp av så kallad Min Cut Upper Bound (MCUB) och slutligen beräknas sannolikheten för topphändelsen.

Tophändelsens sannolikhet kan beräknas på olika sätt. De metoder som används i RiskSpectrum är första, andra och tredje ordningens approximation, samt MCUB. Första ordningens approximation brukar också kallas för ”rare event approximation” som ger ett konservativt resultat på topphändelsens sannolikhet, men som ger ett rättvisande resultat så länge sannolikheterna för de olika händelserna och MCS är låga ($<0,1$). Andra ordningens approximation ger i sin tur en undre gräns och tredje ordningen en ny övre gräns.

MCUB på MCS innebär att topphändelsens sannolikhet beräknas genom att räkna ut

sannolikheten att systemet fungerar som produkten av att varje MCS fungerar ($1 - Q(MCS_i)$). Resultatet dras från sannolikhet 1,0 och ger som resultat en bättre övre gräns för topphändelsens sannolikhet än N 'te ordningens approximation. MCUB på MCS är inte exakt.

$$MCUB = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q(MCS_i))$$

Med MCUB undviker man att topphändelsens sannolikhet blir över 1,0. MCUB ger en mycket bra uppskattning på topphändelsens sannolikhet, men kan ge en viss konservatism om samma händelse förekommer i många MCS, och det samtidigt förekommer många händelser med hög sannolikhet.

Andra metoder som skulle kunna tillämpas vid beräkning av topphändelsens sannolikhet/frekvens är exakt beräkning, t.ex. n 'te ordningens approximation eller Binary Decision Diagrams (BDD). Man kan också tänka sig en exakt beräkning som baseras på hela modellen.

Med dagens teknik innebär en exakt beräkning väsentligt längre beräkningstider jämfört med de approximationer som idag finns i RiskSpectrum och andra på marknaden förekommande PSA verktyg.

4.4. Beaktande av tidsförskjuten testning

I RiskSpectrum sker beräkning av topphändelsens sannolikhet normalt som en medelvärdesberäkning där medelvärdet av respektive bashändelsens sannolikhet används. CCF händelser hanteras som vilken annan bashändelse som helst, och enligt det som redovisats ovan.

Vid tidsberoende analyser kan hänsyn tas till tid mellan test hos både oberoende bashändelser och hos CCF-bashändelser baserat på givna värden på tid till första test och testintervall för de bashändelser (komponenter) som ingår i CCF-bashändelsen. På detta sätt kan tidsförskjuten testning beaktas. Detta beaktas vid tidsberoende beräkningar med RiskSpectrum, men inte vid beräkning av medelvärdet på topphändelsens sannolikhet, och inte heller vid beräkning av betydelsemått, då dessa baseras på medelvärdesberäkningar.

Storleken av den inverkan på beräkningen av topphändelsens sannolikhet, som fås av tidsförskjuten testning, beror av redundansgraden och ökar vid ökande antal redundanta stråk. Fördelningen mellan q_0 och $\lambda \cdot t$ har också betydelse. Om q_0 är litet i förhållande till $\lambda \cdot t$, så kan inverkan av tidsförskjuten testning ge storleksordningen en faktor 4 lägre sannolikhet för topphändelser som domineras av fyrfaldiga CCF, en faktor 3 för topphändelser som domineras av trefaldiga CCF och en faktor 2 för topphändelser som domineras av tvåfaldiga CCF. NUREG/CR-5485 [1] presenterar i tabell 3-1 värden på globala CCF-faktorer som stöder diskussionen ovan.

Detta innebär att topphändelsens verkliga sannolikhet (frekvens) borde vara lägre än det som fås från den ordinarie MCS beräkningen. Vid beräkning av betydelsemått används relativa sannolikheter, vilket innebär att betydelsemått som baseras på tidsberoende beräkningar (hänsyn till tidsförskjuten testning) skulle resultera i motsvarande ranking av olika bashändelser.

Effekten av tidsförskjuten testning blir mindre i system helt utan CCF.

4.5. Betydelsemått

4.5.1. Översikt betydelseanalys

I betydelseanalysen beräknas olika betydelse- och känslighetsmått och resultaten används för att hitta viktiga egenskaper hos modellen och därmed den analyserade anläggningen. Betydelsemått kan beräknas för enskilda händelser och händelsegrupper. Några exempel är:

- Individuella bashändelser
- Grupper av bashändelser som hör till samma komponent
- Grupper av bashändelser som hör till samma system
- Grupper av bashändelser med samma attribut, t.ex. tillverkare och typ av komponent)
- CCF grupper

Olika PSA-verktyg kan ha olika sätt att hantera grupper av händelser. RiskSpectrum har flera möjligheter att gruppera bashändelser efter komponent, system och fritt definierade grupper.

I RiskSpectrum finns även möjlighet att beräkna betydelsemått för parametrar, vilket dock inte avhandlas vidare i denna rapport.

I RiskSpectrum beräknas följande betydelsemått för bashändelser (inklusive CCF-bashändelser):

- Fussell-Vesely importance –FV
- Riskminskningsfaktor – RDF (Risk Decrease Factor)
- Riskökningfaktor – RIF (Risk Increase Factor)
- Relativt bidrag – FC (Fractional Contribution)

För bashändelsegrupper beräknas i RiskSpectrum samtliga betydelsemått utom Fussell-Vesely.

Fussell-Vesely är användbart för att mäta betydelsen av en del av PSA modellen givet det aktuella tillståndet hos anläggningen. FV-värdet anger sannolikheten att händelsen har inträffat givet att topphändelsen inträffat. FV-rankning är användbar vid t.ex. felsökning, då ett system inte fungerar.

Riskminskningsfaktorn är användbar för att bedöma maximal förbättring hos ett riskindex. Riskökningfaktor är användbar för att bedöma betydelsen av att en speciell komponent är otillgänglig (görs otillgänglig). Riskökning är jämförbar med en situation då utrustning är otillgänglig och en riskmonitor ska beräkna den nya risken.

Användning av de olika betydelsemått i olika beslutssituationer innebär att det är viktigt att både beräkningarna av topphändelsernas sannolikhet och av de olika betydelsemått ger ett rättvisande resultat, både absolut och relativt.

Vid beräkning av betydelsemått ingår beräkning av topphändelsens sannolikhet (frekvens) givet de olika antaganden som förutsätts vid varje typ av beräkning. I RiskSpectrum sker beräkningen av topphändelsens sannolikhet (som används i betydelseberäkningarna) alltid med ”min cut upper bound” (MCUB), se avsnitt 4.3.

Vid en del PSA-tillämpningar finns det situationer som liknar de som gäller vid

beräkning av betydelsemått. Detta gäller t.ex. vid riskmonitoring och vid riskuppföljning där enskilda eller flera komponenter inte är tillgängliga p.g.a. avhjälpande eller förebyggande underhåll eller test. I dessa situationer är alltså sannolikheten för ett antal bashändelser lika med 1,0. Även i dessa situationer är det viktigt med en adekvat hantering av CCF-bashändelser.

4.5.2. Betydelsemått för bashändelser

Fussell-Vesely måttet I^{FV} för bashändelse i beräknas på följande sätt:

$$I^{FV}_i = \frac{Q_{TOP}(MCS \text{ inkluderande } i)}{Q_{TOP}}$$

Q_{TOP} är topphändelsens nominella värde.

Q_{TOP} (MCS inkluderande i) är sannolikheten för de MCS som innehåller bashändelse i . Detta är samma sak som att sätta alla andra MCS (som inte innehåller bashändelse i) till sannolikheten 0.

Riskminskningsfaktorn I^R beräknas på följande sätt:

$$I^R_i = \frac{Q_{TOP}}{Q_{TOP}(Q_i = 0)}$$

$Q_{TOP}(Q_i=0)$ är topphändelsens sannolikhet/frekvens då sannolikheten/frekvensen hos bashändelse i är 0.

Riskökningfaktorn I^I beräknas på följande sätt:

$$I^I_i = \frac{Q_{TOP}(Q_i = 1)}{Q_{TOP}}$$

$Q_{TOP}(Q_i=1)$ är topphändelsens sannolikhet/frekvens då sannolikheten/frekvensen hos bashändelse i är 1 (Observera att riskökningfaktor inte är tillämplig för frekvensbashändelser).

Då riskökningfaktorn är känd, så kan man även beräkna det relativa bidraget I^{FC} :

$$I^{FC}_i = 1 - \frac{I}{I^R_i}$$

Normalt sker beräkningarna utgående från en existerande MCS-lista, vilket är ett av skälen till att det är viktigt att undersöka hur CCF-bashändelserna hanteras i samband med beräkning av betydelse- och känslighetsmått. CCF-bashändelserna måste alltså "komma ihåg" vilka originalbashändelser de hör ihop med.

4.5.3. Känslighetsanalys

I RiskSpectrum finns en speciell känslighetsanalys. Denna sker i tre steg:

- 1 Först beräknas topphändelsens sannolikhet då den enskilda bashändelsens sannolikhet ökas med en förutbestämd faktor (t.ex. 10).
- 2 Sedan beräknas topphändelsens sannolikhet då den enskilda bashändelsens sannolikhet minskas med en förutbestämd faktor (samma faktor som vid ökning).
- 3 Slutligen delas det första värdet med det andra värdet och utgör ett mått på variationen (känsligheten) hos resultatet.

4.6. Betydelsemått och känslighetsanalys för bashändelsegrupper

I RiskSpectrum beräknas inget Fussell Vesely mått för bashändelsegrupper. Riskökning och riskminskning beräknas på samma sätt för bashändelsegrupper som för individuella bashändelser, d.v.s. sannolikheten för alla händelser som ingår i gruppen sätts till 1 respektive 0 vid respektive beräkning.

I RiskSpectrum utgörs en komponentgrupp av de olika originalbashändelser som finns för den komponenten. En systemgrupp utgörs av de bashändelser som finns för komponenterna som tillhör systemet. Ett.ex.empel på en fritt definierad grupp är bashändelser som delar samma attribut.

I RiskSpectrum sätts alla bashändelser i gruppen till 1 respektive 0 i samband med beräkning av riskökning och riskminskning. De olika antaganden som kan tänkas i samband med CCF beskrivs nedan.

Den speciella grupp av bashändelser som utgör en CCF grupp definieras i RiskSpectrum som samtliga de CCF händelser som skapas automatiskt, d.v.s även den oberoende händelsen. Riskökning respektive riskminskning beräknas då baserat på att sannolikheterna för alla dessa händelser sätts till 1 respektive 0. En alternativ hantering diskuteras nedan.

Känslighetsanalys för bashändelsegrupper utförs i RiskSpectrum analogt med angreppssättet för bashändelser, d.v.s ökning respektive minskning av ingående bashändelsers sannolikhet med en fördefinierad fritt vald faktor.

5. Betydelsemått då CCF ingår i modellen

5.1. Inledande diskussion

Den beskrivning som ges gällande beräkning av betydelsemått ovan bygger på att de ingående bashändelserna är oberoende.

När det gäller CCF-bashändelser är grundantagandet i felträdsanalysens kvantifiering att även dessa är oberoende. Det finns dock situationer där detta kan ifrågasättas, inte minst i sådana fall där beräkningarna baseras på en redan existerande MCS lista, några exempel:

- Vid ordinarie beräkning av riskökning respektive riskminskning för en bashändelse sätts sannolikheten för den oberoende bashändelsen till 1,0 respektive 0,0 medan alla andra bashändelser behåller sitt nominella värde. Detta sker även för CCF-bashändelser, vilka behandlas som oberoende bashändelser. I tidiga PSA studier motsvarade oftast en bashändelse av en komponent, och i fallet med komponent, så kan man lättare tänka sig olika tolkningar beträffande CCF-bashändelsernas sannolikhet. Detta gäller både vid beräkning av riskökning och vid riskminskning. I dessa fall kan man tänka sig ett antal olika alternativ:
 - 1) bara aktuell CCF-bashändelse sätts till 1,0 respektive 0,0.
 - 2) alla CCF-bashändelser som innehåller originalbashändelsen sätts till 1,0 respektive 0,0.
 - 3) alla CCF-bashändelser som innehåller originalbashändelsen räknas om genom att sätta Q_{tot} till 1,0 respektive 0,0Riskminskning i fall 3 blir lika med riskminskning i fall 2. Dessa olika fall illustreras av beräkningsexempel nedan.

- Tolkningen beror av situationen: Fall då det uppenbarligen inte är ett fel, som vid ett planerat underhåll, ska bara påverka den komponent (bashändelse) som faktiskt är berörd. Andra komponenter, och sannolikheten för dessas bashändelser bör inte påverkas av en sådan händelse. Denna aspekt är av intresse vid så kallad riskuppföljning.
- När en komponent har felat, och orsaken är okänd, liksom eventuell påverkan på andra komponenter pga. kopplingsmekanismer. Vad är sannolikheten för olika CCF-händelser i detta fall?
- Vad är sannolikheten för CCF-bashändelser efter test av redundant(a) enheter?
- Sannolikheten för CCF-bashändelser vid noterat generiskt fel > utebliven funktion hos alla bashändelser (komponenter) i CCF-gruppen?
- Hantering av fall där fler än en originalbashändelse används för att representera fel på samma komponent, och där CCF modelleras för dessa olika bashändelser?
- Hantering av grupper av originalbashändelser, baserat på t.ex. attribut och där dessa originalbashändelser ingår i CCF-grupper. Exempel på en specifik frågeställning är vilka attribut, och gruppstillhörighet som CCF-bashändelserna ska ärvas av de originalbashändelser som ingår i CCF-gruppen. Det finns två typer av egenskaper som bör behandlas olika, 1) egenskap som är gemensam för originalbashändelserna och som varje CCF-bashändelse bör ärvas (t.ex. pumptyp), och 2) egenskap som inte är gemensam för originalbashändelserna och som inte bör ärvas (t.ex. rumsplacering om komponenterna inte finns i samma rum).

I följande avsnitt presenteras först resultat från ett antal beräkningsexempel och därefter diskuteras konsekvenserna av dessa resultat.

5.2. Beräkningsexempel

5.2.1. Modeller

Modeller har dels byggts upp dels i RiskSpectrum och dels i en EXCEL-kalkyl.

I RiskSpectrum har två olika modeller tagits fram, en där CCF modelleras genom att definiera CCF-grupper, och där programmet automatiskt genererar CCF-felträd och CCF-bashändelser. I det andra fallet har samtliga CCF-händelser modellerats manuellt genom att lägga in specifika CCF-bashändelser, Sannolikheten för dessa CCF-bashändelser har beräknats med hjälp av de formler som redovisats ovan i avsnitt 3. Den manuella modelleringen har utnyttjats till att både kontrollera resultaten från fallen där CCF hanteras automatiskt, och för att kunna genomföra beräkningar med andra antaganden än de som finns inbyggda i programmet.

RiskSpectrum PSA Professional version 2.10.04 har använts vid beräkningarna.

EXCEL-kalkylen har använts för att kontrollera resultaten.

5.2.2. Felträdsmodeller

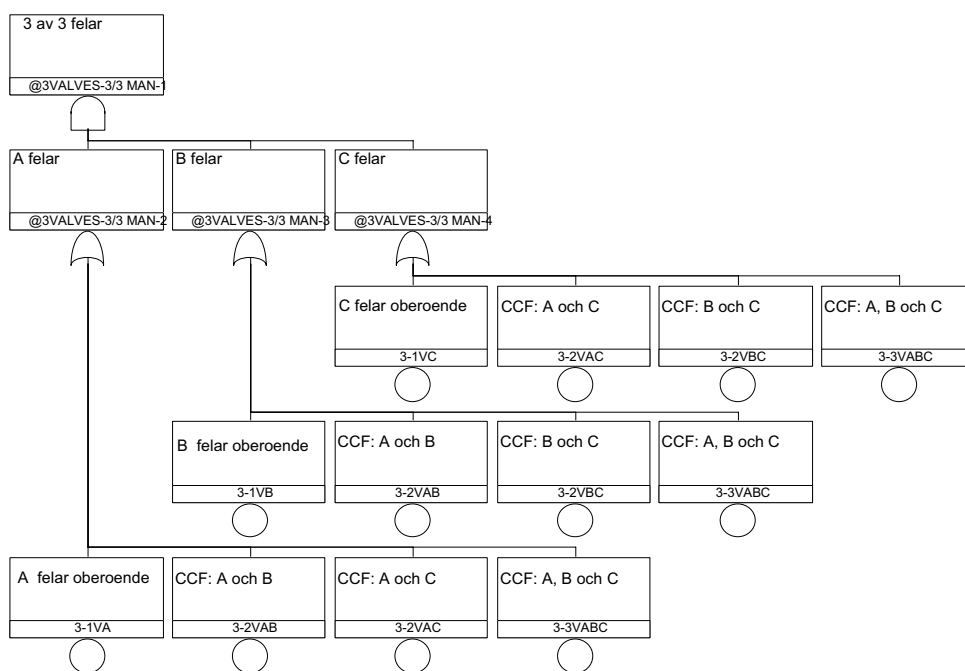
Felträdsmodeller har tagits fram för system med 2-4 stråk och för olika funktionskrav (felkrav). Som exempel visas felträdsstrukturen för ett trestråkssystem i Figur 6. I modellerna representeras varje stråk av en originalbashändelse med sannolikhet $1E-3$. Felträdet i Figur 6 innehåller de CCF-bashändelser som representerar både oberoende fel hos enskild komponent och beroende fel som omfattar samtidigt fel hos flera

komponenter, i detta fall: A, B, C, AB, AC, BC och ABC. Liknande felträd används för 2-stråkssystem och 4-stråkssystem.

För varje fall med 2, 3 respektive 4 stråk har CCF grupper definierats. MGL modellen med data enligt Tabell 7 har använts. I beräkningsexemplen används samma parametervärde oberoende av CCF-gruppens storlek. Detta kan ifrågasättas, men har ingen betydelse för de exempel som här används för att illustrera konsekvenserna av olika antaganden gällande CCF-händelser hantering.

Beräkningen av en topphändelse (och betydelsemått) i en viss situation måste beakta valet av bashändelser som ska ingå i en grupp (inklusive CCF-händelser) och även sannolikheten för dessa händelser. Det är främst i fallen med riskökning viktigt att beräkningarna på ett korrekt sätt hanterar de bashändelser som får sannolikheten 1,0.

Originalbashändelserna har i RiskSpectrum-modellen även kompletterats med information om vilken komponent de hör till. Denna komplettering har gjorts för att få ut betydelsemått för komponenter, vilket är en av de bashändelsegrupper som hanteras av RiskSpectrum. Hanteringen är annorlunda jämfört med bashändelse, vilket gäller även om komponenten bara representeras av en ensam bashändelse. Tabell 8 listar de beräkningsfall som studerats.



Figur 6. Exempel på felträdsstruktur med CCF för ett system med tre stråk.

Tabell 8: Beräkningsfall						
Antal stråk	2	3		4		
Funktionskrav	2	1	2	1	2	3
Tophändelse		3/3	2/3	4/4	3/4	2/4

De data som använts för de olika CCF-bashändelserna vid manuell modellering och i Excelkalkyler återges i Tabell 9 och Tabell 10. Data i Tabell 10 har använts för att illustrera fall med riskökning där Q_{tot} sätts till 1,0 istället för att respektive bashändelses

sannolikhet sätts till 1,0.

Tabell 9: Sannolikheter för CCF-händelser ($Q_{tot}=1E-3$)			
Antal stråk >	2	3	4
1-oberoende	9E-4	9E-4	9E-4
2-kombinationer av 2/3/4	1E-4	3,5E-5	2,33E-5
3-kombinationer av 3/4	-	3E-5	4,0E-6
4-kombinationer av 4	-	-	1,8E-5

Tabell 10: Sannolikheter för CCF-händelser ($Q_{tot}=1$)			
Antal stråk >	2	3	4
1-oberoende	0,9	0,9	0,9
2-kombinationer av 2/3/4	0,1	0,035	0,023
3-kombinationer av 3/4	-	0,03	0,004
4-kombinationer av 4	-	-	0,018

5.2.3. Excelmodeller

Excelkalkylen innehåller kompletta MCS listor för de fall som listas i Tabell 8 med samma sannolikheter för varje CCF-bashändelse som använts i felträdsmodellerna.

EXCEL-kalkylerna använder MCUB för att beräkna topphändelsernas sannolikhet.

EXCEL-kalkyler har också använts för att beräkna riskökning, riskminskning och relativt riskbidrag utgående från felträdsanalysernas resultat för olika topphändelser och olika antaganden om CCF-bashändelsernas sannolikhet.

5.2.4. Beräkningar

Felträdsmodellerna som baseras på automatisk CCF modellering har utnyttjats till att beräkna nominellt värde på topphändelsens sannolikhet, samt att få fram följande betydelsemått:

- Fussell-Vessely
- Riskökning
- Riskminskning
- Relativt riskbidrag

Betydelsemått har beräknats för bashändelser, komponenter och CCF-grupper.

I fallen med manuell modellering av CCF, har topphändelsens sannolikhet beräknats för följande fall:

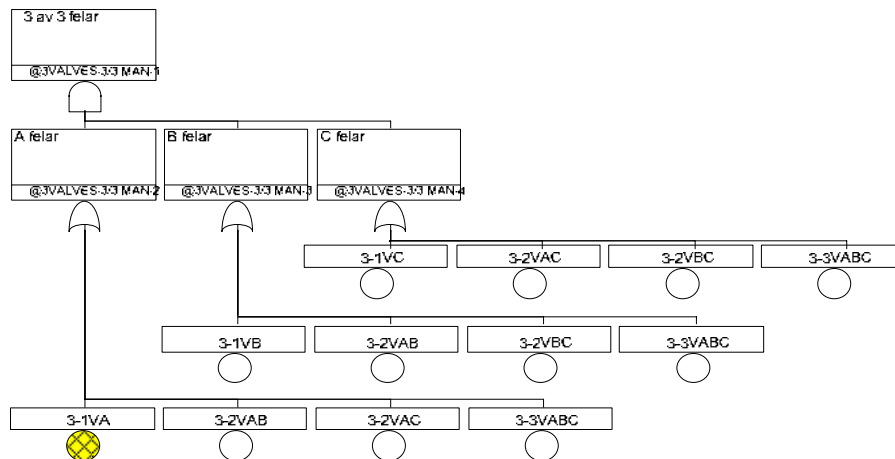
- Nominellt värde på Q_{tot} (värden enligt Tabell 9)
- Q hos bashändelse representerande det oberoende felet i stråk A = 1 (underlag

för RIF för bashändelse). Detta illustreras av Figur 7.

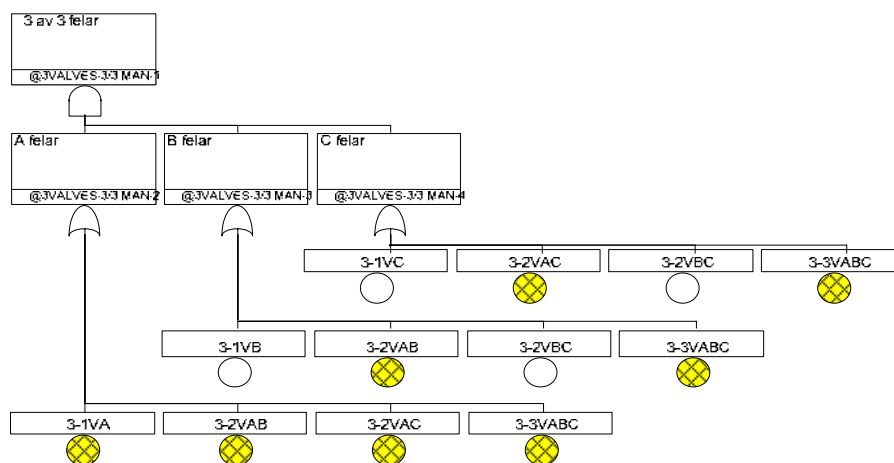
- Q hos bashändelse representerande det oberoende felet i stråk A = 0 (underlag för RDF och FC för enskild bashändelse), se även här Figur 7.
- Q hos alla CCF-bashändelser för stråk A = 1 (underlag för att beräkna RIF för komponent). Detta illustreras av Figur 8.
- Q hos alla CCF bashändelser för stråk A = 0 (underlag för att beräkna RDF och FC för komponent), se även här Figur 8.
- $Q_{tot} = 1$ fördelas på bashändelser markerade i Figur 8 enligt CCF formel (värden enligt Tabell 10).

Ovan resultat har sammanställts i en Excelkalkyl för att få fram RIF och RDF.

RiskSpectrum beräkningarna har genomförts med tredje ordningens approximation och med MCUB (default). Det kan noteras att skillnader i resultat mellan 1'a, 2'a och 3'e ordningens approximation och MCUB i dessa fall är små.



Figur 7. Sannolikheten hos originalbashändelsen sätts till 1 eller 0.



Figur 8. Sannolikheter hos alla bashändelser som innehåller originalbashändelsen sätts till 1, 0, eller enligt formel med $Q_{tot}=1/0$.

5.2.5. Resultat

Resultaten från samtliga topphändelseberäkningar finns sammanställda i Tabell 11 till och med Tabell 16.

Tabell 11 redovisar topphändelsernas nominella resultat.

Tabell 12 och Tabell 13 redovisar topphändelsernas sannolikhet då den enskilda bashändelsen sätts till 1 respektive 0.

Tabell 14 och Tabell 15 redovisar topphändelsernas sannolikhet då alla berörda bashändelser sätts till 1 respektive 0.

Tabell 16 redovisar topphändelsernas sannolikhet då alla berörda bashändelser sätts till sannolikhet enligt CCF-formel då $Q_{tot}=1$.

Tabell 11: QTop (nominella värden)			
Antal stråk >>	2	3	4
1 (alla stråk måste fela)	1,01E-4	3,01E-5	1,80E-5
2 (n-1 stråk måste fela)	-	1,37E-4	3,43E-5
3 (n-2 stråk måste fela)	-	-	1,79E-4

Tabell 12: QTop (enskild bashändelse = 1)			
Antal stråk >>	2	3	4
1 (alla stråk måste fela)	1,00E-3	6,59E-5	2,21E-5
2 (n-1 stråk måste fela)	-	1,93E-3	1,06E-4
3 (n-2 stråk måste fela)	-	-	2,87E-3

Tabell 13: QTop (enskild bashändelse = 0)			
Antal stråk >>	2	3	4
1 (alla stråk måste fela)	1,00E-4	3,01E-5	1,80E-5
2 (n-1 stråk måste fela)	-	1,36E-4	3,42E-5
3 (n-2 stråk måste fela)	-	-	1,76E-4

Tabell 14: QTop (alla CCF-bashändelser för A = 1)			
Antal stråk >>	2	3	4
1 (alla stråk måste fela)	1	1	1
2 (n-1 stråk måste fela)	-	1	1
3 (n-2 stråk måste fela)	-	-	1

Tabell 15: QTop (alla CCF-bashändelser för A = 0)			
Antal stråk >>	2	3	4
1 (alla stråk måste fela)	0	0	0
2 (n-1 stråk måste fela)	-	3,58E-5	4,07E-6
3 (n-2 stråk måste fela)	-	-	7,63E-5

Tabell 16: QTop (Alla CCF-bashändelser för A har sannolikhet enligt CCF-formel då $Q_{tot}=1$)			
Antal stråk >>	2	3	4
1 (alla stråk måste fela)	1,01E-1	3,13E-2	1,84E-2
2 (n-1 stråk måste fela)	-	9,82E-2	3,15E-2
3 (n-2 stråk måste fela)	-	-	9,83E-2

5.3. Resultatdiskussion

5.3.1. Topphändelsers sannolikhet vid ökande redundansgrad

Fallet med $Q_{tot}=0$ ger samma resultat som fallet med alla CCF bashändelser är 0 enligt Tabell 15.

Ur tabell 11 kan man räkna ut hur mycket tillförlitligare ett system blir då man lägger till ett stråk till. Resultaten som redovisas i Tabell 17 visar hur topphändelsernas sannolikhet minskar vid ökande redundansgrad och visar att vinsten med ytterligare stråk är mycket begränsad då CCF dominerar resultatet, speciellt vid tillägg av redundans nummer två och mer. Detta är ingen nyhet, men förtjänar ändå en viss uppmärksamhet.

Tabell 17: Minskning av topphändelsens sannolikhet vid ökande redundansgrad

Redundansgrad >>	1	2	3	4
Funktionskrav				
1/n	1	10	3,4	1,7
2/n	-	1	14	4

5.3.2. Riskökning och riskminskning

Som framgår av resultaten så blir det stor skillnad i topphändelsernas sannolikheter beroende av vilka bashändelser som sätts till 1 respektive 0. Skillnaderna i riskökningsfaktorer och riskminskningsfaktorer framgår av Tabell 18 och Tabell 19. Den första kolumnen för varje antal stråk visar resultatet då en ensam bashändelse A sätts till 1/0, den andra kolumnen resultatet då alla CCF-bashändelser som omfattar felhändelsen A (inklusive bashändelse A) sätts till 1/0, och slutligen den tredje kolumnen visar resultatet då de CCF-bashändelser som innehåller originalbashändelsen sätts till sannolikheter enligt Tabell 10.

Tabell 18: Riskökningsfaktorer (BE=1/Alla BE=1/Qtot=1)

Antal stråk (n) >>	2			3			4		
	BE=1	Alla BE=1	Q _{tot} =1	BE=1	Alla BE=1	Q _{tot} =1	BE=1	Alla BE=1	Q _{tot} =1
Funktionskrav									
1/n stråk	9,9	9,9E3	1,0E3	2,2	3,3E4	1,0E3	1,2	5,6E4	1,0E3
2/n stråk	-	-	-	1,4	7,3E3	7,2E2	3,1	2,9E4	9,2E2
3/n stråk	-	-	-	-	-	-	16	5,6E3	5,5E2

Tabell 19: Riskminskningsfaktorer (BE=0/Alla BE=0/ Qtot=0)

Antal stråk (n) >>	2			3			4		
	BE=1	Alla BE=1	Q _{tot} =1	BE=1	Alla BE=1	Q _{tot} =1	BE=1	Alla BE=1	Q _{tot} =1
Funktionskrav									
1/n stråk	1	∞	∞	1	∞	∞	1	∞	∞
2/n stråk	-	-	-	1	3,84	3,84	1	8,43	8,43
3/n stråk	-	-	-	-	-	-	1	2,34	2,34

Skillnaden i de beräknade risköknings- och riskminskningsfaktorerna (och alltså hos topphändelserna) är mycket stor i de olika studerade fallen och ökar vid samma funktionskrav men ökande antal stråk i systemet.

- RIF för bashändelse ger det lägsta värdet, RIF med alla CCF-bashändelser = 1.0 ger högst värde och Q_{tot}=1 ligger däremellan.
- RDF är lägst för fallet med en bashändelse medan komponenttolkningen och Q_{tot} ger samma resultat.

Det första fallet ger riskökningen för en enskild bashändelse, och representerar en

riskuppföljnings- eller riskövervakningssituation då en komponent är otillgänglig för planerat underhåll eller testning, d.v.s. otillgängligheten hos bashändelse A (komponent A) ska inte påverka otillgängligheten hos redundanta komponenter i andra stråk. Detta motsvarar även fallet att komponenten inte finns eller att man vet att det inte är CCF. Sannolikheten för alla andra händelser, inklusive CCF-händelser är opåverkade, eftersom CCF-händelserna utgör bidrag till sannolikheten för att redundanta bashändelser inträffar (komponenter felar). Man skulle kunna tänka sig att göra om CCF-grupper givet att en händelse i CCF-gruppen är borta, och då använda CCF faktorer för en annan gruppstorlek (det finns indikationer på att CCF-faktorer för olika gruppstorlek varierar). Det skulle då vara nödvändigt att skapa nya CCF-bashändelser och köra en ny MCS analys, men resultatet skulle bli likvärdigt.

Det andra fallet, då alla händelser sätts till värdet 1, motsvarar en situation med fullständigt beroende.

Det tredje fallet är en situation där det är okänt vad som orsakat otillgänglighet hos A, ett oberoende fel eller ett CCF av ordning två, tre eller fyra? Den sista metoden rekommenderas som ett komplement till beräkning av ordinarie betydelsemått samt vid riskuppföljning och riskmonitoring då det inte finns kunskap om huruvida felorsaken är CCF relaterad eller ej.

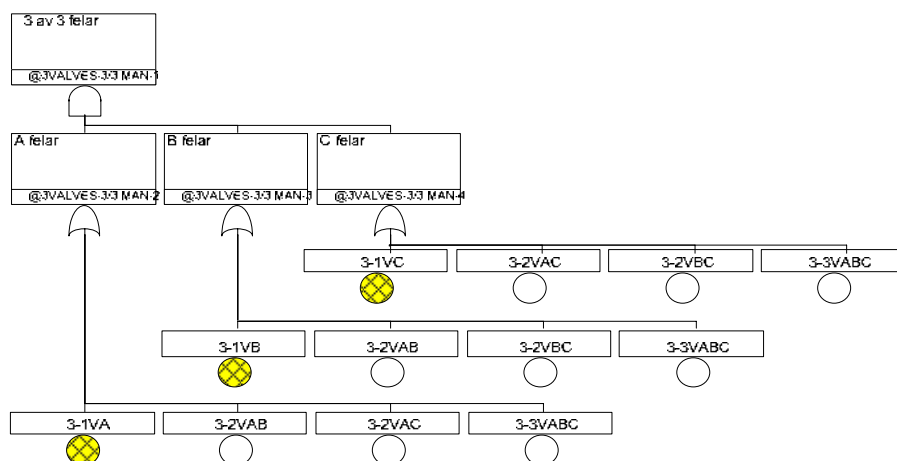
Riskminskningsvärdet är nära 1 då bara den oberoende händelsen sätts till 0, och inverkan på topphändelsen är alltså litet. Riskminskningen i de två andra fallen ger samma resultat.

5.3.3. Attribut för CCF-bashändelser

Betydelsemått beräknas ibland för bashändelsegrupper. Dessa grupper definieras på grundval av olika gemensamma faktorer (attribut). Sådana attribut måste beaktas då CCF-händelser ingår i modellen. Det finns två typer av attribut:

1. Attribut som varje CCF-bashändelse ska erhålla så att dessa CCF-händelser ingår i beräkningen av betydelsemättet för den bashändelsegrupp som baseras på det aktuella attributet. Exempel är komponenttyp och tillverkare.
2. Attribut som bara de bashändelser som representerar originalbashändelsen (komponenten) ska ärvas. Ett exempel är ett rumsattribut – vilket rum som den aktuella komponenten är placerad i.

Figur 9 visar tre originalbashändelser med CCF modellering . För originalbashändelse A, ska enbart den oberoende CCF-bashändelsen ärvas ett rumsattribut, medan alla CCF-bashändelser som innehåller A ska ärvas ett attribut som komponenttyp (förutsatt att det är lika komponenter).



Figur 9. Komponenter (bashändelser) med samma attribut.

Ytterligare en aspekt är när flera originalbashändelser i en bashändelsegrupp, också ingår i en CCF-grupp. Beräkningen av riskökning och riskminskning för bashändelsegruppen måste kunna beakta detta genom att sätta berörda CCF-bashändelser till 1 och 0, t.ex. om A och B ingår i en grupp, så ska A, B och AB sättas till 1 respektive 0.

5.3.4. Betydelsemått för CCF-grupp

För CCF grupper då alla CCF-bashändelser sätts till 1 resp. 0 (nuvarande implementering i RiskSpectrum) fås följande resultat:

Tabell 20: Riskökningsfaktorer för CCF-grupp (alla bashändelser har sannolikheten = 1)			
Antal stråk som krävs	2	3	4
1 (alla stråk måste fela)	9,92E3	3,32E4	5,55E4
2 (n-1 stråk måste fela)	-	7,28E3	2,92E4
3 (n-2 stråk måste fela)	-	-	5,59E3

Riskökningsresultaten för CCF-grupp innebär att systemet i exemplet aldrig kommer att fungera. Riskökningsfaktorn motsvarar fallet att topphändelsen har sannolikheten =1.

Tabell 21: Riskminskningsfaktorer för CCF grupper (alla CCF-bashändelser har sannolikheten = 0)			
Antal stråk som krävs	2	3	4
1 (alla stråk måste fela)	∞	∞	∞
2 (n-1 stråk måste fela)	-	∞	∞
3 (n-2 stråk måste fela)	-	-	∞

Riskminskningsresultaten för CCF-grupp innebär att systemet i exemplet alltid kommer att fungera, d.v.s topphändelsens sannolikhet =0 och riskminskningsfaktorn går mot oändligheten.

Betydelsemått för CCF-grupper när sannolikheten för alla CCF-bashändelser utom den oberoende, är 1 är lika med det som redovisas i Tabell 20.

I RiskSpectrum finns möjlighet att beräkna topphändelsens sannolikhet/frekvens med respektive utan CCF. Denna möjlighet begränsas för närvarande till automatiskt genererade CCF-bashändelser baserade på CCF-grupper.

Ett speciellt fall av intresse för CCF-grupper är betydelsemättet vid riskminskning om man låter den oberoende händelsen behålla sitt värde och övriga sätt till sannolikheten=0. Ett sådant betydelsemått ger en indikation var åtgärder mot CCF ger störst nytta.

Ett sådant betydelsemått skulle vara intressantare än nuvarande riskminskningsvärde för CCF-grupper, då även den oberoende händelsen ges sannolikheten = 0.

Ett speciellt betydelsemått av intresse för en CCF-grupp i kan alltså definieras på följande sätt:

$$I_i^{CCF-R} = \frac{Q_{TOP}}{Q_{TOP}(Q_{CCF-independent} = Nom; Q_{CCF-dependent} = 0)}$$

Detta innebär att alla multipla CCF-bashändelser (kombinationer av originalbashändelserna) sätts till noll medan bashändelser som representerar oberoende fel ($Q_{CCF-independent}$) behåller sitt nominella värde. Detta betydelsemått, CCF-reduceringsfaktorn I^{CCF-R} gör det möjligt att ranka CCF-grupper och identifiera de grupper där åtgärder som minskar risken för CCF har störst effekt.

5.3.5. Mer än en bashändelse representerar fel hos en och samma komponent

I fall där det finns flera originalbashändelser som representerar fel hos en och samma komponent, t.ex. utebliven start och obefogat stopp, och dessa ingår i CCF-grupper så fungerar detta analogt med fallet med bashändelsegrupper.

6. Slutsatser och Rekommendationer

Beräkningsgång vid kvantifiering av topphändelser i felträd, samt betydelsemått för bashändelser, med beaktande av CCF har studerats. Beräkningar har utförts för att studera effekten av olika hantering av CCF-bashändelserna, dels den hantering som sker i olika PSA verktyg idag, och dels alternativ hantering. RiskSpectrum PSA Professional version 2.10.04 har använts vid beräkningarna.

Genomförda beräkningar visar att det blir en mycket stor skillnad i sannolikheter för topphändelser vid beräkning av risköknings, och riskminskningsfaktorer, beroende av olika hantering av CCF-bashändelser som finns i modellen. Tre fall har studerats närmare:

1. Sannolikheten för den ”oberoende” CCF-bashändelse som hör ihop med komponenten (originalbashändelsen), sätts till sannolikheten 1 eller 0 vid beräkning av risköknings- och riskminskningsfaktorer. Alla andra bashändelser behåller sitt nominella värde. Detta fall är enligt definitionen för betydelsemått

för bashändelser.

2. Sannolikheterna för alla CCF-bashändelser som hör ihop med en viss komponent (originalbashändelse) sätts till sannolikheten 1 eller 0 vid beräkning av risköknings- och riskminskningsfaktorer. Detta fall är enligt definitionen i RiskSpectrum för beräkning av betydelsemått för komponenter.
3. Sannolikheterna för alla CCF-bashändelser som hör ihop med en viss komponent (originalbashändelse) sätts till den sannolikhet som ges av att originalbashändelsen har sannolikhet 1 eller 0. Sannolikheterna för de olika CCF-bashändelserna ges alltså av använd CCF-modell och CCF-parametrar.

Skillnaden i de beräknade risköknings- (RIF) och riskminskningsfaktorerna (RDF), och alltså hos topphändelserna, är mycket stor i de olika studerade fallen och ökar vid samma funktionskrav men ökande antal stråk i systemet.

- RIF för bashändelse ger det lägsta värdet, RIF med alla CCF-bashändelser = 1.0 ger högst värde och fall 3 ($Q_{\text{tot}}=1$) ligger däremellan.
- RDF är lägst för fallet med en bashändelse (i stort sett ingen skillnad i topphändelsens sannolikhet) medan fall 2 och 3 ger samma resultat (vilket kan vara ett mycket stort värde).

Det första fallet ger riskökningen för en enskild bashändelse, och representerar en riskuppföljnings- eller riskövervakningssituation då en komponent är otillgänglig för planerat underhåll eller testning, d.v.s. otillgängligheten hos bashändelse A (komponent A) ska inte påverka otillgängligheten hos redundanta komponenter i andra stråk. Detta motsvarar även fallet att komponenten inte finns eller att man vet att det inte är CCF. Sannolikheten för alla andra händelser, inklusive CCF-händelser är opåverkad, eftersom CCF-händelserna utgör bidrag till sannolikheten för att redundanta bashändelser inträffar (komponenter felar). Man skulle kunna tänka sig att göra om CCF-grupper givet att en händelse i CCF-gruppen är borta, och då använda CCF faktorer för en annan gruppstorlek (det finns indikationer på att CCF-faktorer för olika gruppstorlek varierar). Det skulle då vara nödvändigt att skapa nya CCF-bashändelser och köra en ny MCS analys, men resultatet skulle bli likvärdigt.

Det andra fallet, då alla händelser sätts till värdet 1, motsvarar en situation med kunskap om fullständigt beroende. Detta resultat fås i RiskSpectrum vid beräkning av så kallat komponentbetydelse som förutsätter att information om en bashändels komponenttillhörighet finns inlagd i modellen.

Det tredje fallet är en situation där det är okänt vad som orsakat otillgänglighet hos A, ett oberoende fel eller ett CCF av ordning två, tre eller fyra? Den sista metoden rekommenderas som ett komplement till beräkning av ordinarie betydelsemått samt vid riskuppföljning och riskmonitoring då det inte finns kunskap om huruvida felorsaken är CCF relaterad eller ej. Denna metod finns för närvarande inte implementerad i RiskSpectrum, men har använts vid riskuppföljningsaktiviteter, då modellen har justerats manuellt.

Fall där mer än en bashändelse finns för samma komponent, t.ex. utebliven start och obefogat stopp, är speciella. Betydelsemått skulle i dessa sammanhang bäst beräknas per felmod. Vid komponenttolkning är det svårt att fördela sannolikheten 1,0 mellan felmoderna. Det bästa här är att låta båda felmoderna sättas till 1,0, respektive 0,0 och låta CCF händelsernas sannolikheter ges av respektive CCF grupp definition.

Beräkning av betydelsemått för attributbaserade bashändelsegrupper behöver ta hänsyn till att dessa attribut enligt vissa regler måste ärvas från originalbashändelserna till CCF-

bashändelserna. Individspecifika attribut (ex placering) ska endast ärvas till den oberoende händelsen medan andra attribut som är gemensamma för de händelser som ingår i CCF-kombinationer (ex komponenttyp), ska ärvas av alla dessa CCF-bashändelser.

Riskökning och riskminskningsberäkningar för bashändelsegrupper behöver beakta fall då flera originalbashändelser i en sådan grupp utgör en del av samma CCF-grupp. De CCF-bashändelser där alla originalbashändelser i bashändelsegruppen finns representerade måste sättas till 1/0 i betydelseanalysen (riskökning och riskminskning).

Ett speciellt sätt att beräkna riskminskning för CCF-grupper föreslås. Detta betydelsemått kallas "CCF riskminskningsmättet" I^{CCF-R} . Detta ger insikt i var åtgärder för att minska risken för CCF bör sättas in för att ha störst effekt. Nuvarande riskminskningsmått för CCF-grupper som innebär att alla händelserna sätts till 0, bör ersättas av det nya föreslagna betydelsemättet.

Grupper definieras idag som bestående av bashändelser baserat på dessas namn och egenskaper som t.ex. attribut. Bortsett från bashändelser som hör till samma komponent så finns inget sätt att definiera komponentgrupper eller ange komponentegenskaper, utan detta ges istället för bashändelser. Det bör vara av intresse att RiskSpectrum utvecklas så att grupper av komponenter kan hanteras, genom t.ex. ha möjlighet att ange attribut för komponenter istället för bashändelser.

Det är viktigt att komma ihåg att händelser med potential att ha stort värde på riskökningsfaktorn inte nödvändigtvis finns med i den MCS-lista som utgör underlag för beräkningar av betydelsemått. Händelser med låg sannolikhet bör därför kontrolleras extra noga med avseende på deras riskökningspotential. Detta kan ske genom att ta fram en lista över de händelser som har lägst sannolikhet/frekvens och undersöka om de finns med i den ordinarie beräkningen.

Beräkningarna av fall där ett fåtal händelser sätts till sannolikhet 1.0 baserat på en existerande MCS-lisa innebär inga problem med avseende på noggrannheten då till och med första ordningens approximation ger ett tillräckligt bra resultat (alla händelser har en tillräckligt låg sannolikhet).

Det som kan vara problematiskt är beräkning av riskökning, och speciellt i fall där många komponenter (bashändelse) har värdet 1,0, som vid beräkning av betydelsemått för ett helt system, eller alla pumpar eller liknande. Oftast ger MCUB (som används i RiskSpectrums betydelseanalys) ett tillräckligt bra resultat för att ranka olika system, men mer avancerad användning av de kvantitativa resultaten kan kräva en exakt beräkning, t.ex. med hjälp av BDD teknik. Beräkning av riskminskning är heller inget problem.

Utöver ovan kan det noteras att det även finns andra aspekter som kräver en korrekt hantering och trovärdiga data: 1) CCF faktorerna i sig som har en stor resultatpåverkan är osäkra, och en variation som kan uppfattas som liten kan få stort genomslag i resultatet. 2) Beaktande av tidsförskjuten testning vid beräkning av sannolikheten att en CCF-bashändelse inträffar. 3) Trovärdigheten hos de grundläggande tillförlitlighetsparametrar som beskriver en bashändelses (komponents) tillförlitlighet. Denna parameter ingår också linjärt i beräkning av CCF och får alltså stort genomslag på PSA-resultat hos anläggningar med hög redundansgrad.

Nedan sammanfattas rapportens rekommendationer:

- Riskökning och riskminskning bör redovisas för de två fallen 1) oberoende CCF-bashändelse =1/0 (existerar i RiskSpectrum som betydelsemått för

bashändelse) och 2) alla CCF-bashändelser relaterade till en viss originalbashändelse har sannolikhet baserat på Q_{tot} (i CCF-formel) är 1/0 (bör införas i RiskSpectrum). Den senare varianten bör i någon form även finnas med hos riskmonitorer för att på ett bättre sätt återspegla riskuppföljnings- och riskmonitoringssituationer där komponenter är otillgängliga pga. test eller pga. fel.

- Beräkning av betydelsemått för grupper av bashändelser som baseras på attribut behöver ta hänsyn till att dessa attribut enligt vissa regler måste ärvas från originalbashändelserna till CCF-bashändelserna. Individspecifika attribut (ex placering) ska endast ärvas till den oberoende händelsen medan andra attribut som är gemensamma för de händelser som ingår i CCF-kombinationer (ex komponenttyp), ska ärvas av alla dessa CCF-bashändelser.
- Riskökning och riskminskningsberäkningar för bashändelsegrupper behöver beakta fall då flera originalbashändelser i en sådan grupp utgör en del av samma CCF-grupp. De CCF-bashändelser där alla originalbashändelser i bashändelsegruppen finns representerade måste sättas till 1/0 i betydelseanalysen (riskökning och riskminskning).
- Ett speciellt sätt att beräkna riskminskning för CCF-grupper bör införas och ersätta nuvarande betydelsemått för CCF-grupper i RiskSpectrum. Detta betydelsemått "CCF riskminskningsmättet" $I^{\text{CCF-R}}$ ska beräknas genom att sätta sannolikheten för CCF kombinationerna till 0 medan sannolikheten för oberoende fel ligger kvar på det nominella värdet.
- Det bör vara av intresse att PSA-verktyg utvecklas så att grupper av komponenter kan hanteras, genom att t.ex. ha möjlighet att ange attribut för komponenter istället för bashändelser.
- Händelser med låg sannolikhet, eller som av annat skäl riskerar att hamna utanför MCS-listan bör kontrolleras vid beräkning av riskökningsfaktorer, då de har potential att ha de högsta riskökningsfaktorerna.
- Beräkning av topphändelsers absolutvärden ställer stora krav på de data som utgör grunden för CCF-bashändelsernas sannolikheter baseras på, samt hur t.ex. tidsförskjutet testning hanteras och beaktas. Det är viktigt att ha en stor medvetenhet om denna inverkan.

7. Referenser

- [1] T-boken version 6, Tillförlitlighetsdata för komponenter i nordiska kraftreaktorer, TUD-kansliet och Swedpower AB, 2005.
- [2] NUREG/CR-5497, "Common Cause Failure Parameter Estimations", NRC, Oktober 1998.
- [3] NUREG/CR-5485, "Guidelines on Modeling Common-Cause Failures in Probabilistic Risk Assessment", NRC, November 1998.
- [4] RiskSpectrum PSA Professional Theory Manual, RELCON AB.

www.ski.se

STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION
Swedish Nuclear Power Inspectorate

POST/POSTAL ADDRESS SE-106 58 Stockholm

BESÖK/OFFICE Klarabergsviadukten 90

TELEFON/TELEPHONE +46 (0)8 698 84 00

TELEFAX +46 (0)8 661 90 86

E-POST/E-MAIL ski@ski.se

WEBBPLATS/WEB SITE www.ski.se