

Luento 9

FinPSA-ohjelma

Jan-Erik Holmberg
Systeemianalyysin laboratorio
Matematiikan ja systeemianalyysin laitos
Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulu
PL 11100, 00076 Aalto
jan-erik.holmberg@aalto.fi

Tämän luentokerran motivaatio

- Riskianalyyseissä tarvitaan käytännössä työkaluja
 - tietojen hallinta
 - laskenta
- Taulukkolaskenta- ja tietokantaohjelmilla (Excel, Access) pärjää pitkälle, mutta...
- Monimutkaisemmissa tapauksissa laskenta edellyttää sitä varten kehitettyä työkalua
- Vaikka laskentaohjelmistot ovat suhteellisen vaativia käyttää, niihin on hyvä opiskelijoidenkin perehtyä kurssilla
- Tällä luennolla demonstroidaan suomalaista FinPSA-ohjelmaa
 - Käytetään joidenkin esimerkkien ratkaisemisessa
 - Vie aikansa ennen kuin ohjelma oppii käyttämään
 - Sisältää paljon toimintoja, joita kurssilla ei käsitellä
 - Mahdollisuuksia opinnäytetöihin ohjelman kehittämiseksi
 - FinPSA:n demoversio saatavilla <https://www.simulationstore.com>

Sisälllys

- PRA-mallin rakenne
- PRA-mallin laskeminen
- PRA:n tasot 1, 2 ja 3
- Haasteita
- FinPSA-ohjelman esittely

- Huom! Asiat esitellään ydinvoimalaitoksen riskianalyysin näkökulmasta, koska osa terminologiasta ja mallintamistavasta on sieltä lähtöisin
 - mallintamistapa on sinänsä yleinen
 - työkalu (FinPSA) sopii yhtä lailla muidenkin järjestelmien riski- ja luotettavuusanalyysihin

PRA-mallin rakenne

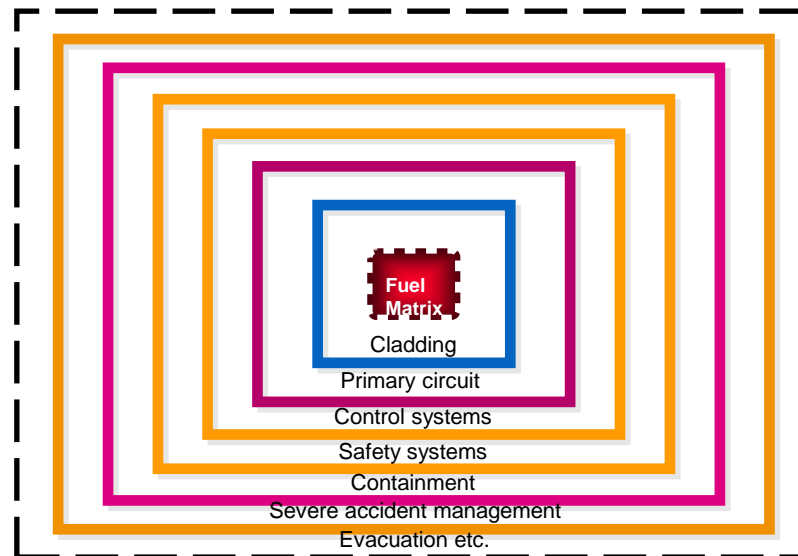
- Alkutapahtuma
- Tapahtumapuu
- Vikapuu

PRA-malli lähtee alkutapahtumasta

- Alkutapahtuman määritelmä
 - Poikkeama “normaaliprosessista”
- Vaihtelevat käyttötiloittain
- Turvallisen tilan palauttaminen vaatii toimenpiteitä
- Vikauttavat usein myös turvatoimintoja
- Voivat tuhota useita syväpuolustuksen (defence-in-depth) linjoja

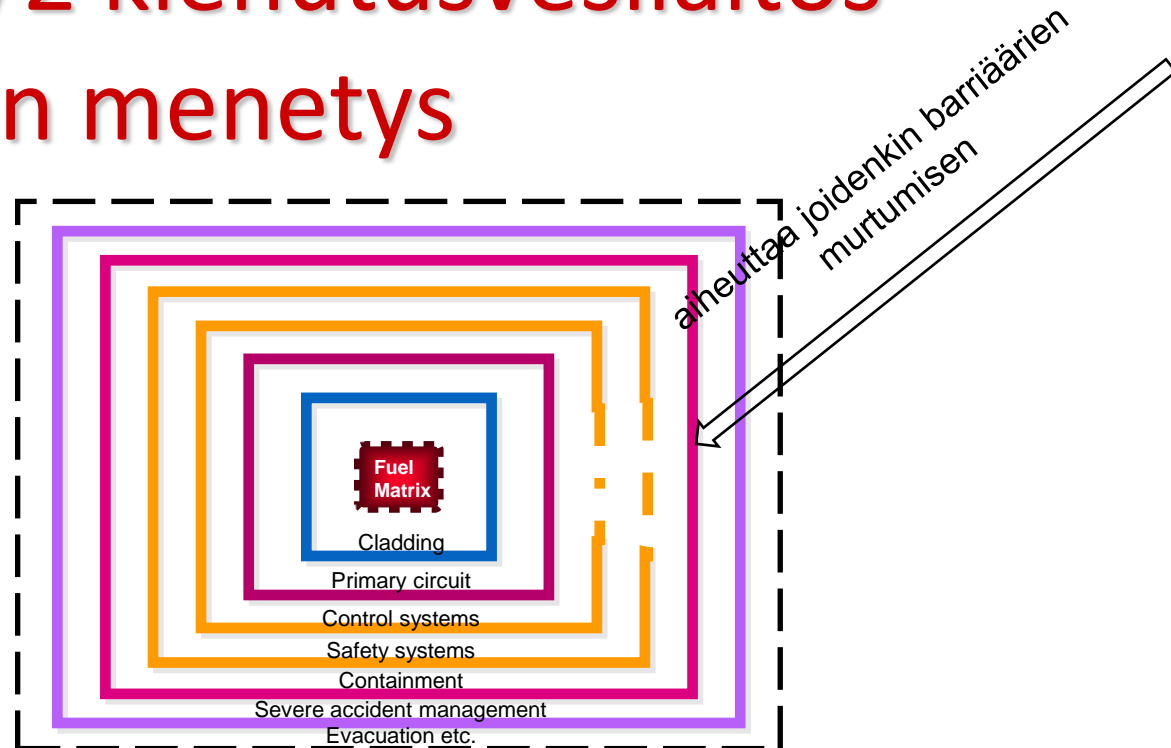
Ydinvoimalaitoksen syväpuolustus

Ei alkutapahtumaa



Olkiluoto 1/2 kiehutusvesilaitos

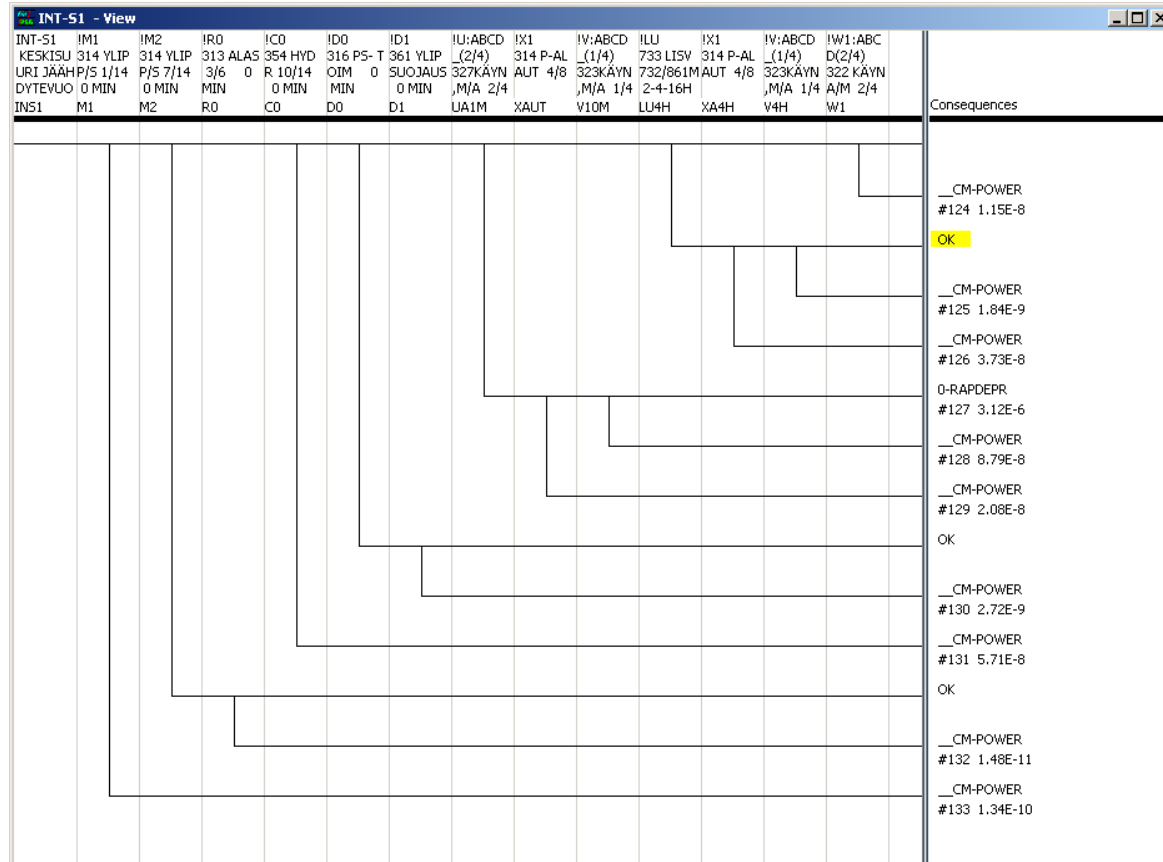
Syöttöveden menetys



Alkutapahtuman jälkeen kaksi osaa

- Suunnitelma alkutapahtuman aiheuttaman häiriön hoitamiseksi
 - Tapahtumapuu
- Hoitamisessa tarvittavien toimenpiteiden ja järjestelmien vikaantumista kuvaavat mallit
 - Vikapuu
- Kun tapahtumapuu ja vikapuu yhdistetään, saadaan selville tekijät, jotka estävät suunnitelman toteutumisen

Tapahtumapu

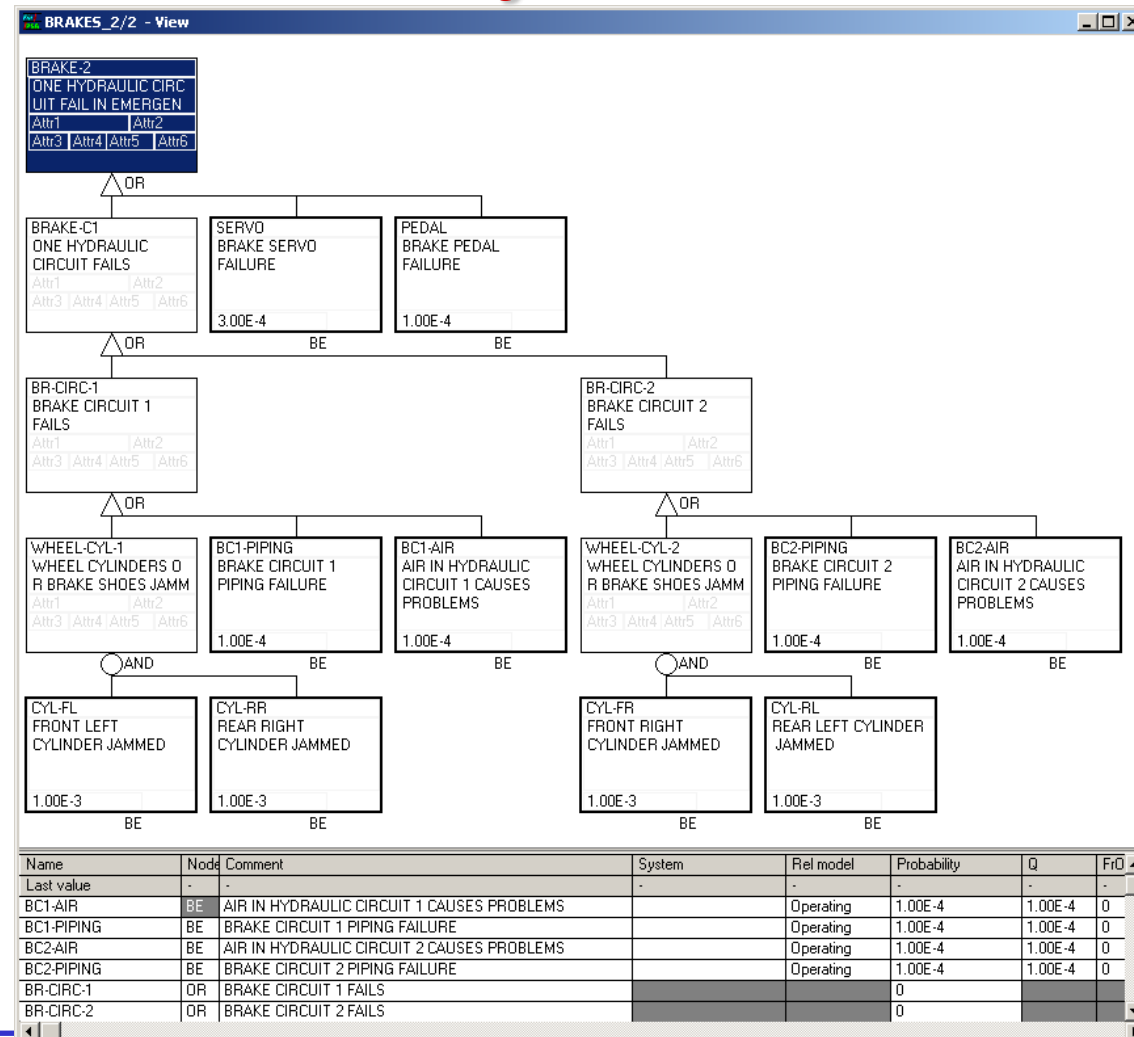


- Esittää kaikki tunnistetut mahdollisuudet
- alkutapahtumasta syntyneen häiriön hoitamiseen tai sen pieleen menemiseen
- Kysymykset ovat turvatoimintoja:
 - eteenpäin onnistuu
 - alaspäin epäonnistuu
- Jakaantuu *onnettomuusketjuihin*, jotka päättyvät seurauksiin

Vikapuu kuvaa turvatoimintojen epäonnistumista

Esittää:

- kuinka laiteviat etenevät järjestelmän viaksi
- kuinka järjestelmien viat etenevät toiminnon viaksi



Vikapuun osia

- **Laitteet ja niiden vikautumistavat**
 - Viat: ei avaudu, ei sulkeudu, ei käynnisty, vuotaa ulos, tukossa, ei signaalia, aiheeton signaali, ei käyttövoimaa, jne.
 - Ennen alkutapahtumaa sattuneet huoltovirheet
- **Ihmisen toimenpiteet ja niiden epäonnistuminen**
 - Onnettomuusolosuhteet vaikuttavat alkutapahtuman jälkeisiin toimenpiteisiin
- **Onnettomuuden kuluessa tapahtuvat ilmiöt**
 - Vesisuihkut, missiilit, lämpö, paineiskut, saturaatio, kavitaatio, jne.
 - Estävät laitteen tai ihmisen toiminnan = alkutapahtumariippuvuus
- **Yhteisviat**
 - Tilastollisia riippuvuuksia samankaltaisten laitteiden kesken

PRA:n tasot

Tason 1 PRA

- Sydänvaurion (polttoainevaurion) riski
- Mallintaa tapahtumaketjut alkutapahtumasta sydänvaurioon
- Yksinkertaisimmillaan tapahtumapuissa kaksi lopputilaa
 - OK
 - Sydänvaurio
- Lopputulos ilmaistaan usein sydänvauriotaajuutena

Tason 2 PRA

- Radioaktiivisen päästön riski
- Mallintaa tapahtumaketjut sydänvauriosta (polttoainevauriosta) suojarakennuspäästöön
- Lopputulos ilmaistaan usein kaksiulotteisesti Farmerin käyränä tai päästöluokittain päästötaajuuksina

Tason 3 PRA

- Terveys-, ympäristö- ja taloudellisten vahinkojen riski
- Mallintaa tapahtumaketjut suojarakennuspäästöstä ympäristövahinkoihin
- Lopputulos ilmaistaan usein henkilöriskinä, pitkäaikaisten syöpätapausten riskinä tai saastuneen maa-alueiden riskinä

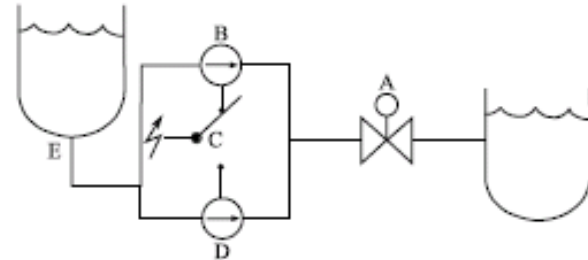
PRA-mallin tuloksia, taso 1

- Minimikatkosjoukot
- Sydänvauriotaajuus
- Tärkeysmitat

Minimikatkosjoukko

- Tason 1 PRA-malli on iso vikapuu, jonka huipputapahtuma on sydänvaurio
- Malli rakennetaan toisiinsa kytketyiden tapahtumapuiden ja vikapuiden avulla
 - tapahtumapuut kuvaavat ylätasolla tapahtumaketjut
 - tapahtumapuiden haarautumiskohdat vastaavat järjestelmävikoja, jotka mallinnetaan vikapuilla
- Laskentaohjelma muodostaa mallista laskentatehtävän (ison vikapuun), jossa se ratkaisee mitkä vikakombinaatiot eli minimikatkosjoukot johtavat epäsuotuisaan lopputilaan eli ”ison vikapuun” huipputapahtuman (”sydänvaurio”)

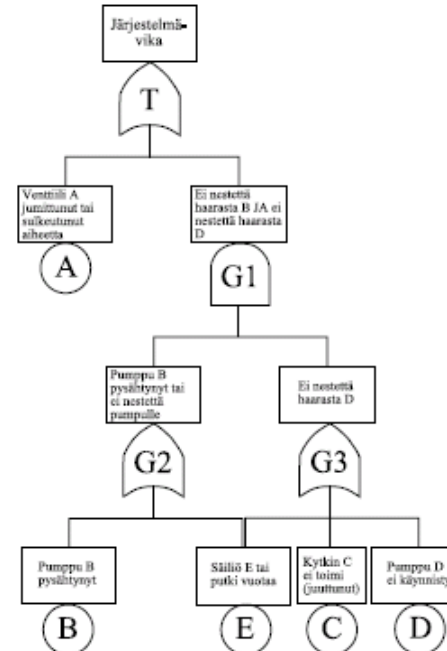
Vikapuuesimerkki



- Tehtävä: pumpata säiliöstä E nestettä yhdellä pumpuista B ja D venttiilin A kautta säätäen
- Järjestelmä vikautuu, jos nestettä ei tule venttiilin A läpi kummankaan pumppulinjan kautta
- Perustilat: Venttiili A on normaalisti auki, pumppu B käynnissä, vaihtokytkin C syöttää sähköä B:lle, pumppu D on pysähdyksissä, ja säiliö E on täynnä

Vikapuun rakenne

- Porttien yhtälöt:
 - $G2 = B + E$
 - $G3 = E + C + D$
 - $G1 = G2 \cdot G3$
 - $TOP = A + G1$



Vikapuun ratkaiseminen

$$\text{TOP} = A + G$$

$$= A + G_2 \cdot G_3$$

$$= A + (B + E) \cdot (E + C + D)$$

$$= A + B \cdot E + B \cdot C + B \cdot D + E \cdot E + E \cdot C + E \cdot D$$

$$= A + E + B \cdot C + B \cdot D$$

- **minimikatkosjoukkoesitysmuoto**

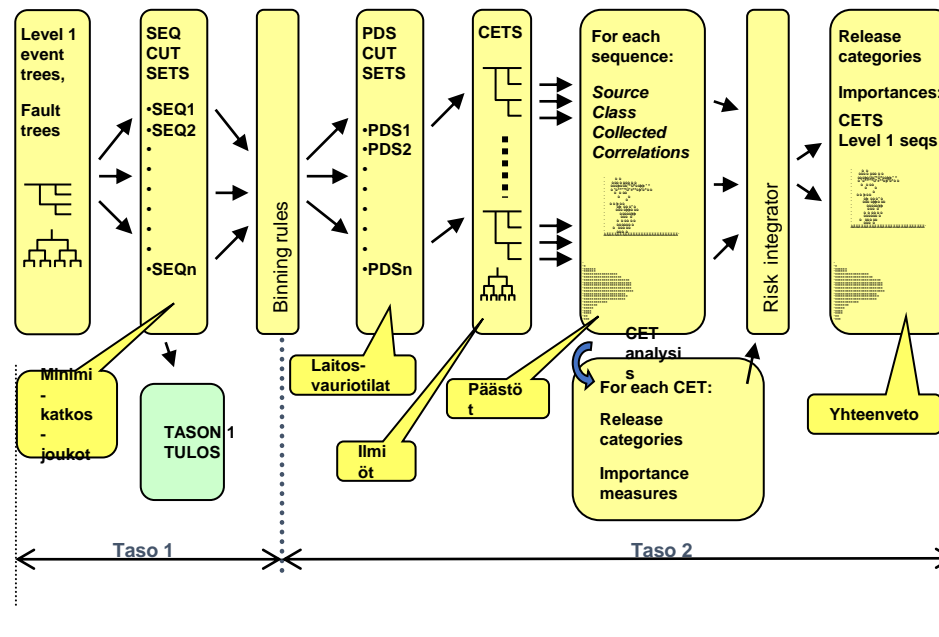
Vikapuun kvantifioiminen

- Ratkaistaan minimikatkosjoukot
- Perustapahtumat oletetaan toisistaan riippumattomiksi satunnaismuuttujiksi
- Laskettaessa keskimääräistä epäkäytettävyyttä lasketaan perustapahtumien keskimääräinen epäkäytettävyys luotettavuusmalleista
- Minimikatkosjoukon todennäköisyys on perustapahtumien todennäköisyyksien tulo
- TOP-tapahtuman todennäköisyys on minimikatkosjoukkojen todennäköisyyksien summa (S1-summa –approksimaatio)

Tärkeysmitat

- Tavoitteena kuvata luotettavuusmallin (vikapuun) komponenttien (perustapahtumien) suhteellinen tärkeys
- Suhteelliset mitat ovat vähemmän herkkiä kuin absoluuttiset mitat
- Perustuvat ehdollisen todennäköisyyden käyttöön
- Yleisimmät tärkeysmitat:
 - Riskinnousukerroin $A = \frac{p(TOP=1|X=1)}{P(TOP=1)}$
 - » = RAW
 - » paljonko TOP-tapahtuman todennäköisyys kasvaa, jos perustapahtuma on totta
 - » paljonko systeemin epäkäytettävyys (riski) kasvaa, jos komponentti vikaantuu
 - suhteellinen riskiosuus $C = 1 - \frac{p(TOP=1|X=0)}{P(TOP=1)}$
 - » Yleensä sama kuin FV
 - » paljonko TOP-tapahtuman todennäköisyys pienenee, jos perustapahtuma on epätosi
 - » paljonko systeemin epäkäytettävyys (riski) pienenee, jos komponentti ei voi vikaantua

PRA tietoteknisenä ongelmana



FinPSA:n historiaa



- STUKin kehittämä ohjelma
 - 1980 - RELVEC reliability analysis tool developed
 - VTT, new algorithm based on path net, used in OL1/2 PSA
 - 1988 - Development of SPSA started
 - 1991 - SPSA level 1 taken in use
 - OL1/2 PSA & LO Fire PSA
 - 1993 - Level 2 part of SPSA taken into trial use
 - Dynamic containment event trees, integrated levels 1&2
 - 1995 - Two level 2 pilot studies with SPSA
 - Dynamic modelling tested and verified
 - 1997 - TVO level 2 PSA made by SPSA
- 2000 - Development of FinPSA begins
 - “Windows”-ohjelma
 - tason 1 PRA-työkalu versio (tapahtumapuu-vikapuulaskenta)
- 2012 VTT alkaa ylläpitää ja kehittää FinPSA:ta
- 2016 tason 2 työkalusta “FinPSA”-versio
 - myös demoversio julkiseksi

FinPSA:n käsitteitä

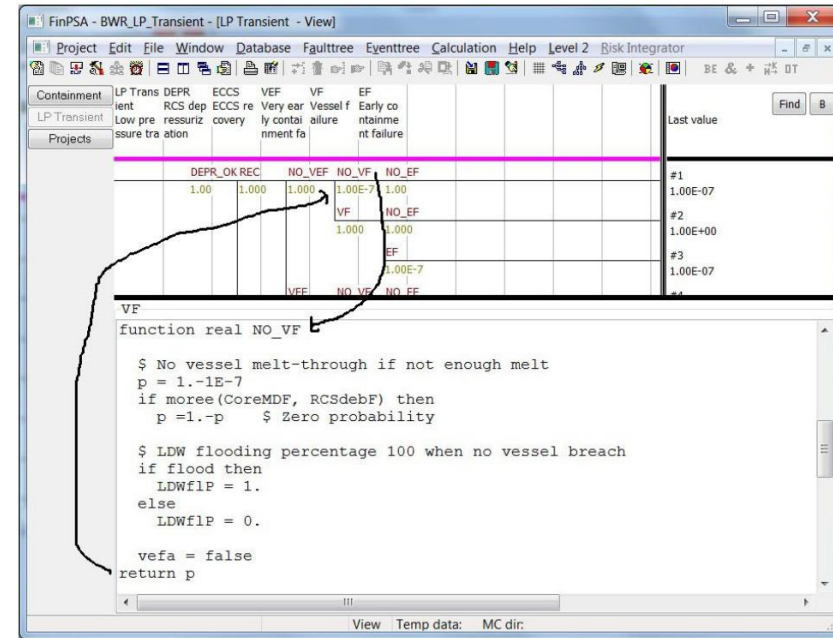
- Project
 - malli
 - local project
 - shared project
 - back-up
- Database
 - malli on tietokanta
 - toisiinsa linkitettyjä objektilistoja, esim. perustapahtumat
- Fault tree
 - vikapuut rakennetaan modulaarisesti
 - koostuu porteista ja perustapahtumista
 - moduuli = vikapuun sivu
 - moduulit linkitetään toisiinsa
 - » linkit vain yhteen suuntaan
 - » linkki viittaa "sivun" ylimpään porttiin
 - vikapuun voi ratkaista erikseen, mutta PRA:n sovelluksissa vikapuut yleensä kytketään tapahtumapuihin ja mallin ratkaiseminen tehdään tapahtumapuu tasolla
 - on olemassa erilaisia menetelmiä modifioida vikapuuta laskentavaiheessa, jolloin se malli mikä näkyy graafisesti ei ole täsmälleen se mikä ratkaistaan

FinPSA:n käsitteitä 2

- Event tree
 - päärakenteet
 - » alkutapahtuma
 - » lohkot eli tapahtumaketjujen haarautumiskohdat
 - » tapahtumaketjut
 - » tapahtumaketjujen lopputilat
 - alkutapahtuma kytketään tai perustapahtumaan (tai vikapuuhun)
 - lohko kytketään johonkin vikapuuhun (tai perustapahtumaan)
 - periaatteessa tapahtumapuut voidaan kytkeä toisiinsa, jolloin tietyn ketjun seuraus voi olla toisen tapahtumapuun alkutapahtuma
 - erilaisia ratkaisutasoja
 - » yksittäinen tapahtumaketju
 - » tietty seuraus
 - » kaikki seuraukset
- Calculation
 - minimikatkosjoukkojen, tärkeysmittojen ja epävarmuusjakaumien laskenta
 - laskentatehtävän valinta
 - laskenta-asetusten valinta
 - laskenta-tehtävän suoritus
 - minimikatkosjoukkojen jälkikäsitteily
 - tulosten tarkastelu

FinPSA:n käsitteitä 3

- Level 2
 - erillinen moduuli ns. dynaamisten tapahtumapuiden tekemiseen
 - CET = containment event tree
 - Tarkoituksena on laskea seurausten todennäköisyysjakauma eikä pelkästään eri seurausluokkien taajuudet kuten tasolla 1
 - Ei käytetä vikapuita vaan tapahtumapuiden lohkoihin laskentasäännöt koodina
 - Ratkaistaan Monte Carlolla tai pistetodennäköisyyksinä
 - Voidaan käyttää itsenäisesti tai kytkeä tason 1 malliin

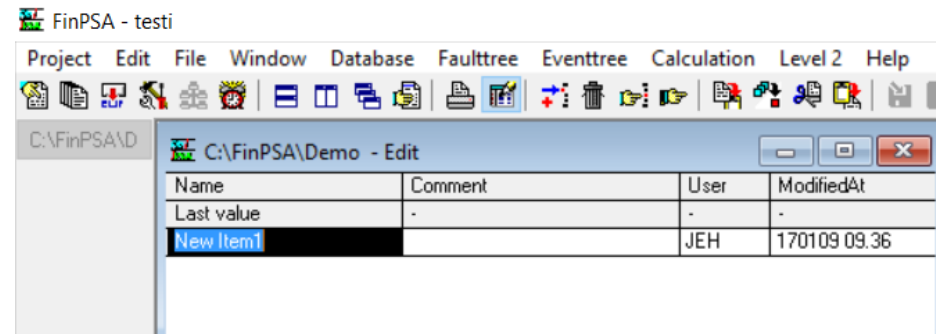


FinPSA:n käsitteitä 4

- Level 1 and 2 interface
 - Tason 1 ja 2 puut voidaan kytkeä toisiinsa "Interface" - tapahtumapuiden avulla
 - samanlaisia kuin tason 1 puut paitsi että alkutapahtumat on korvattu minimikatkosjoukoilla
 - » minimikatkosjoukot tulevat valituista tason 1 puiden ketjuista
 - Tarkoituksena on luokitella tason 1 ketjut vielä tarkemmin tason 2 laskentaa varten
 - Interface-puiden seuraukset voidaan kytkeä tason 2 puihin

Projektin luominen

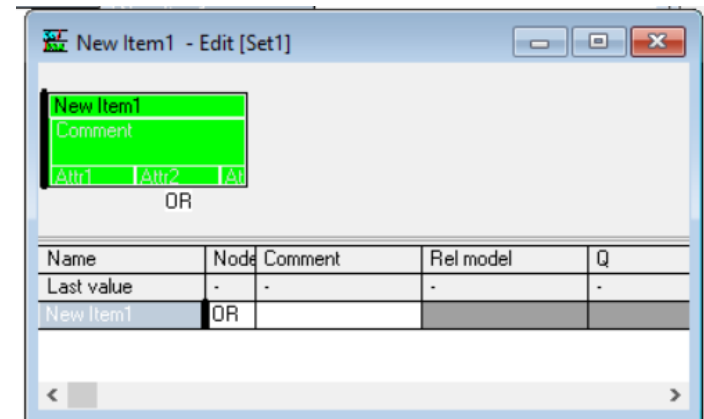
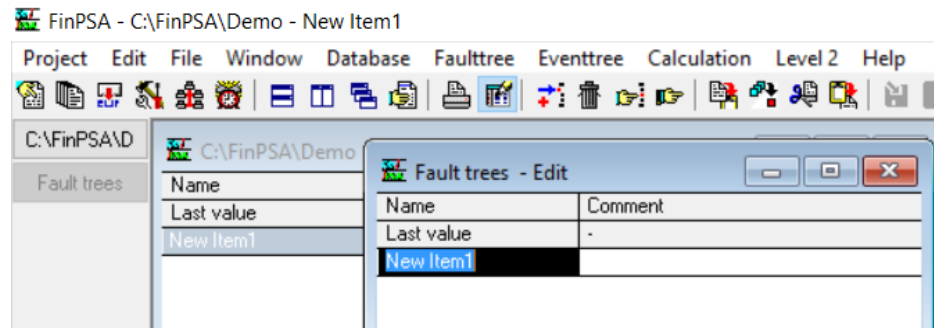
- Valikko Project
- ”Show local projects” tai ”Show shared projects”
- <ctrl-e> muuttaa edit-moodiin
- <Ins> lue uuden tietueen



- Jos halutaan käyttää jotain vanhaa mallia lähtökohtana, se saadaan haettua komennolla Project/Project backup/Restore backup to active project
 - tarkkana että oikea projekti on ”active”

Vikapuun tekeminen

- Valikosta Faulttree/Show fault tree list
- Luodaan uusi tietue samalla periaatteella



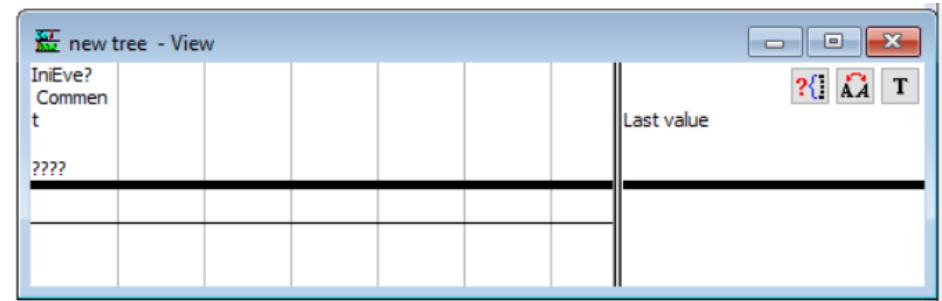
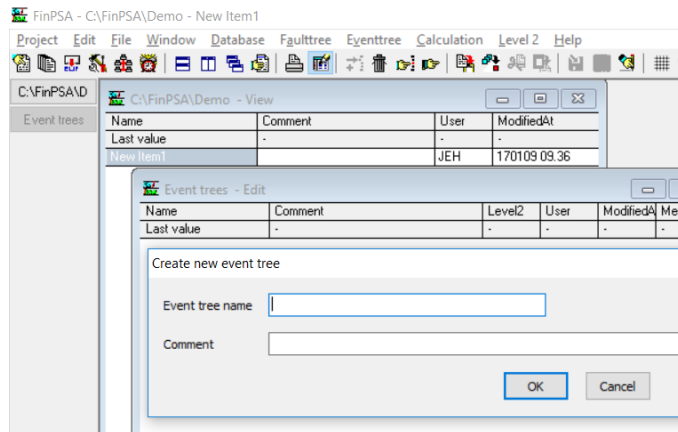
- Vikapuu aukeaa tuplaklikkauksella
- <ctrl-e> edit-moodiin

Vikapuun näkymä

- Kolme zoomia, jotka vaihtuvat komennolla <Z>
- Erikseen määriteltävä mitä tietoja haluaa näkyvän vikapuiden porttien ja perustapahtumien kentissä
 - oletuksena ei näy mitään
 - hieman työlästä määritellä näkymät
 - kun vikapuu on auki <right-click> komennolla saa auki valikon, jossa on
 - » Design fields for gates
 - » Design fields for basic events
 - toisaalta nämä asetustiedostot voi kopioida muualta, jos jostain saatavilla

Tapahtumapuun tekeminen

- Valikosta Eventtree/Show fault tree list
- Luodaan uusi tietue ”create new event tree”



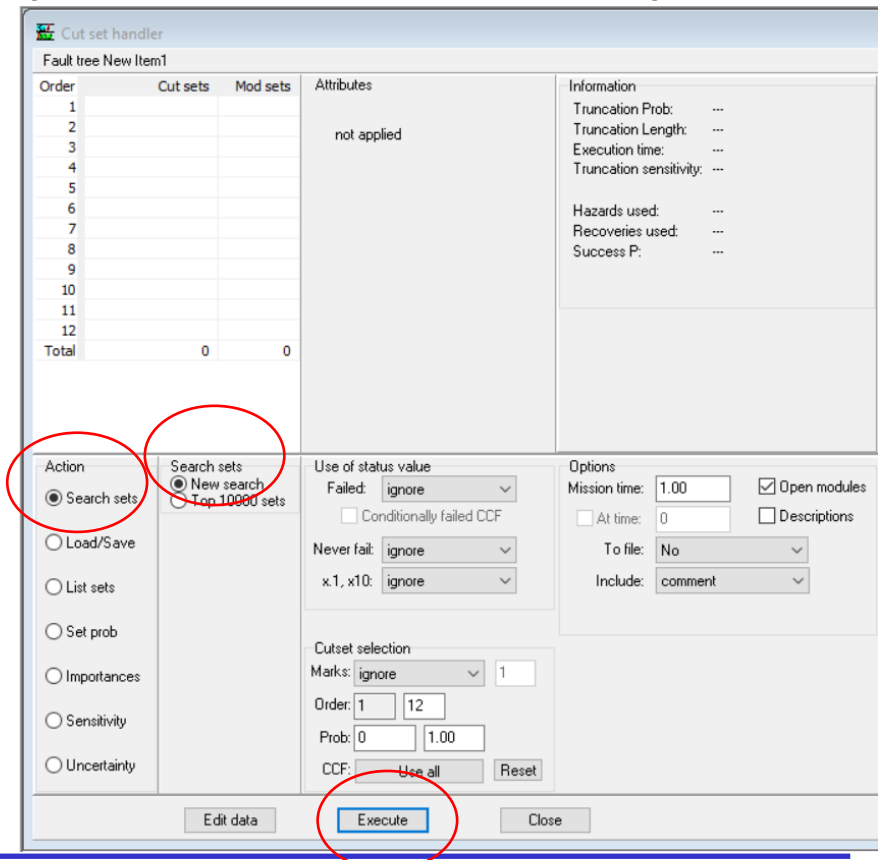
- Tapahtumapuu aukeaa tuplaklikkauksella
- <ctrl-e> edit-moodiin

Perustapahtumilla operointi

- Database/Data records
- Samassa listassa on portit että perustapahtumat
- Näitä voi luoda/editoida sekä vikapuita tehtäessä tai tässä listassa
- Kolme näyttötilaa, jossa näkyy eri sarakkeet

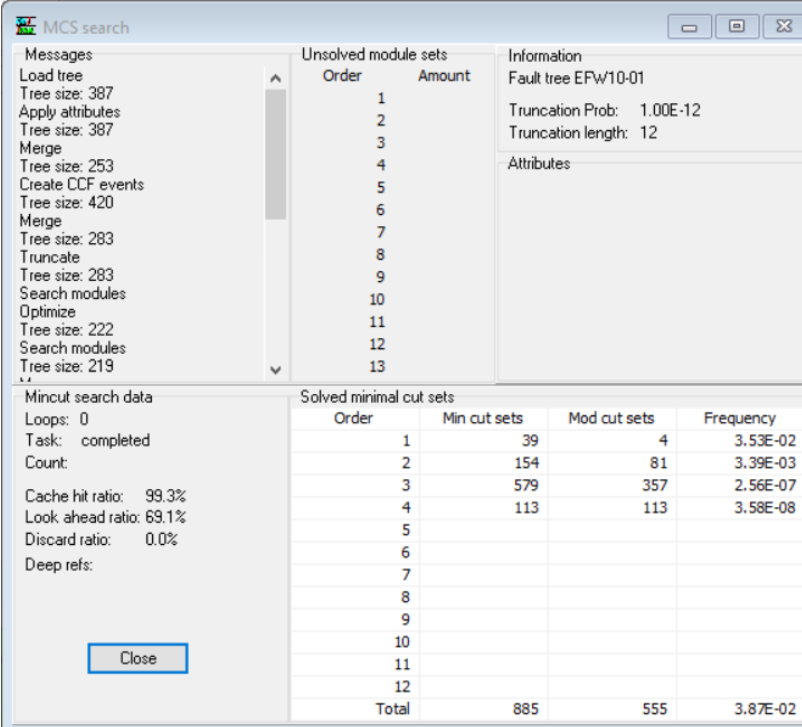
Vikapuulaskenta

- Faulttree/Cut set handler <F2>
- Kohdistuu valittuun vikapuusivuun (sen top-tapahtuma)
- Avaa dialogi-ikkunan



Minimikatkosjoukkojen haku

- Hakuprosessi näkyy omassa ikkunassa
- Kun se on valmis, näkyy erinäisiä tietoja laskennasta ja "Close" nappula ilmestyy



The screenshot shows the 'MCS search' window with the following data:

Messages:

- Load tree
- Tree size: 387
- Apply attributes
- Tree size: 387
- Merge
- Tree size: 253
- Create CCF events
- Tree size: 420
- Merge
- Tree size: 283
- Truncate
- Tree size: 283
- Search modules
- Optimize
- Tree size: 222
- Search modules
- Tree size: 219

Unsolved module sets:

Order	Amount
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	

Information:

- Fault tree EPW10-01
- Truncation Prob: 1.00E-12
- Truncation length: 12
- Attributes

Mincut search data:

- Loops: 0
- Task: completed
- Count:
- Cache hit ratio: 99.3%
- Look ahead ratio: 63.1%
- Discard ratio: 0.0%
- Deep refs:

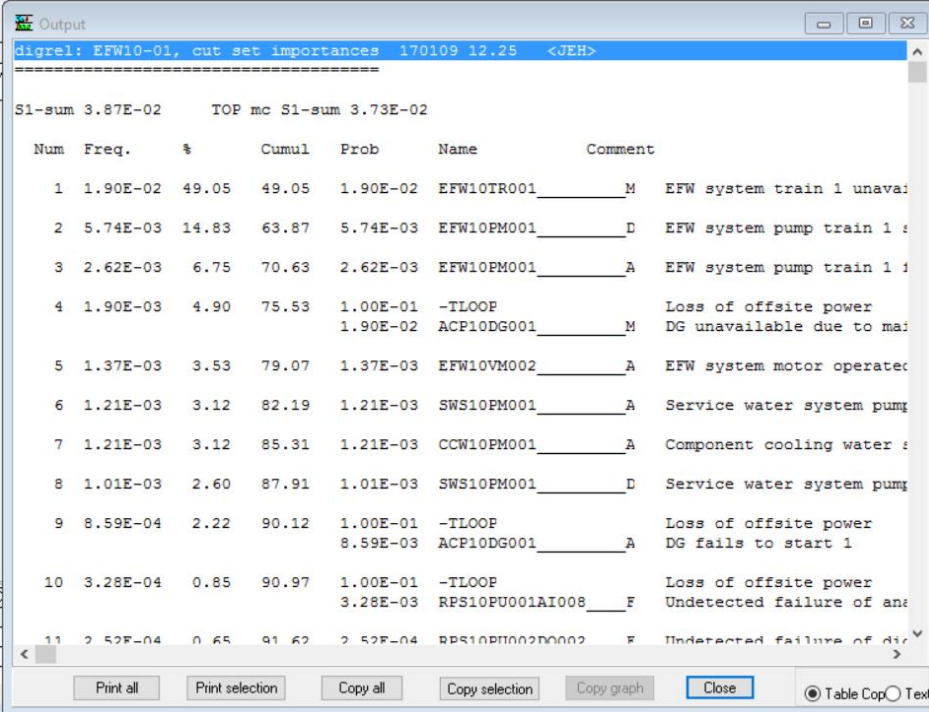
Solved minimal cut sets:

Order	Min cut sets	Mod cut sets	Frequency
1	39	4	3.53E-02
2	154	81	3.39E-03
3	579	357	2.56E-07
4	113	113	3.58E-08
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
Total	885	555	3.87E-02

Close

Tulosten tarkastelu

- Minimikatkosjoukot: Importances/cut set
- Perustapahtumat: Importances/basic event/...
- Tulokset avautuvat "Output" -ikkunaan



digrel: EFW10-01, cut set importances 170109 12.25 <JEH>

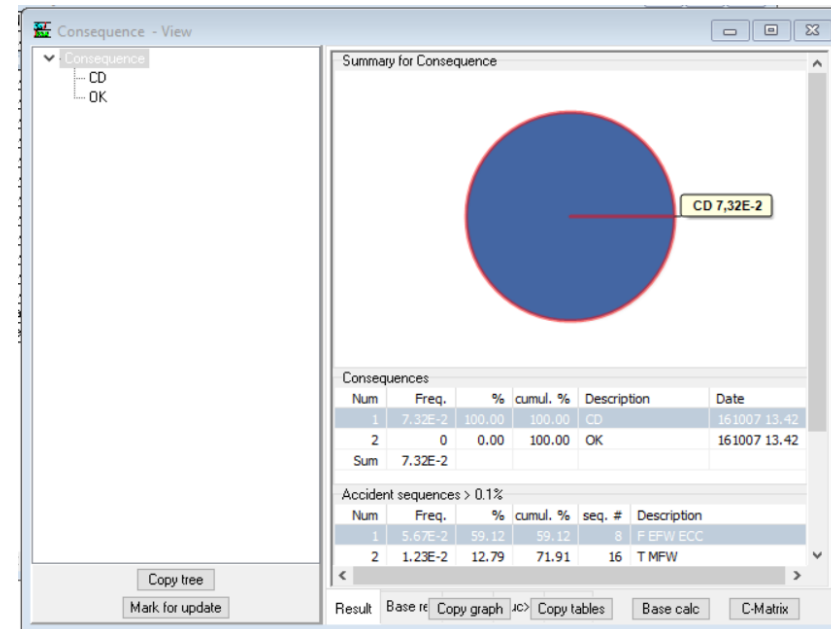
S1-sum 3.87E-02 TOP mc S1-sum 3.73E-02

Num	Freq.	%	Cumul	Prob	Name	Comment
1	1.90E-02	49.05	49.05	1.90E-02	EFW10TR001_____M	EFW system train 1 unava
2	5.74E-03	14.83	63.87	5.74E-03	EFW10PM001_____D	EFW system pump train 1 s
3	2.62E-03	6.75	70.63	2.62E-03	EFW10PM001_____A	EFW system pump train 1 s
4	1.90E-03	4.90	75.53	1.00E-01	-TLOOP	Loss of offsite power
				1.90E-02	ACP10DG001_____M	DG unavailable due to ma
5	1.37E-03	3.53	79.07	1.37E-03	EFW10VM002_____A	EFW system motor operate
6	1.21E-03	3.12	82.19	1.21E-03	SWS10PM001_____A	Service water system pump
7	1.21E-03	3.12	85.31	1.21E-03	CCW10PM001_____A	Component cooling water s
8	1.01E-03	2.60	87.91	1.01E-03	SWS10PM001_____D	Service water system pump
9	8.59E-04	2.22	90.12	1.00E-01	-TLOOP	Loss of offsite power
				8.59E-03	ACP10DG001_____A	DG fails to start 1
10	3.28E-04	0.85	90.97	1.00E-01	-TLOOP	Loss of offsite power
				3.28E-03	RPS10PU001AI008____F	Undetected failure of ana
11	2.52E-04	0.65	91.62	2.52E-04	RPS10PU002D0002____F	Undetected failure of dig

Print all Print selection Copy all Copy selection Copy graph Close Table Copy Text

Tapahtumapuulaskenta

- Yleisempi tapa PRA:n yhteydessä kuin vikapuulaskenta
- Event tree/cut set
 - Mark PSA model for updating
 - » määritellään, miltä osin malli ratkaistaan
 - Start updating
 - » laskennan käynnistys
- Database/Consequence
 - tulosten analysointi
 - taulukoita, graafeja, cut set handler

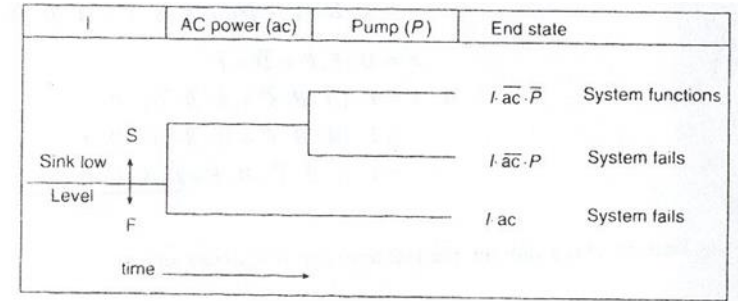


Hyödyllisiä tietokantaoperaatioita

- **Import/export**
 - useimmat tietokantataulukot voidaan siirtää clipboardin kautta Exceeliin ja päinvastoin
 - Mahdollistaa tietojen käsittelyn Excelissä
 - desimaalipiste/pilkku
 - kannattaa välttää nimissä merkkejä, jotka voivat aiheuttaa ongelmia Excelissä (-, *, ?)
 - jopa vikapuutkin voi rakentaa tekstieditorilla ja importoida FinPSA:han
 - kaikki tulostaulukot ja kuvat voi kopioida muualle clipboardin kautta
- **Haku**
 - haku nimifiltterin avulla
 - missä vikapuissa tietty tapahtuma esiintyy
 - missä tapahtumapuissa tietty vikapuu on
 - perustapahtumajoukosta voidaan merkitä tietyn kriteerin täyttävät tapahtumat
- **Siivous**
 - turhien perustapahtumien tunnistus (ei käytetä missään vikapuussa)
 - turhien vikapuiden tunnistus (ei käytetä missään tapahtumapuussa)

Esimerkki 1 – pumppujärjestelmä

- (luento 4)



- Järjestelmä ei toimi

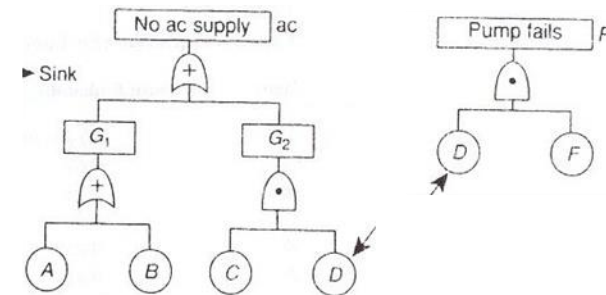
$$I \cdot \bar{ac} \cdot P \text{ ja } I \cdot ac$$

- Vikapuista saadaan

$$ac = G_1 + G_2 = (A + B) + (C \cdot D) = A + B + C \cdot D$$

$$\bar{ac} = \overline{A + B + C \cdot D} = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot (\bar{C} + \bar{D}) = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{D}$$

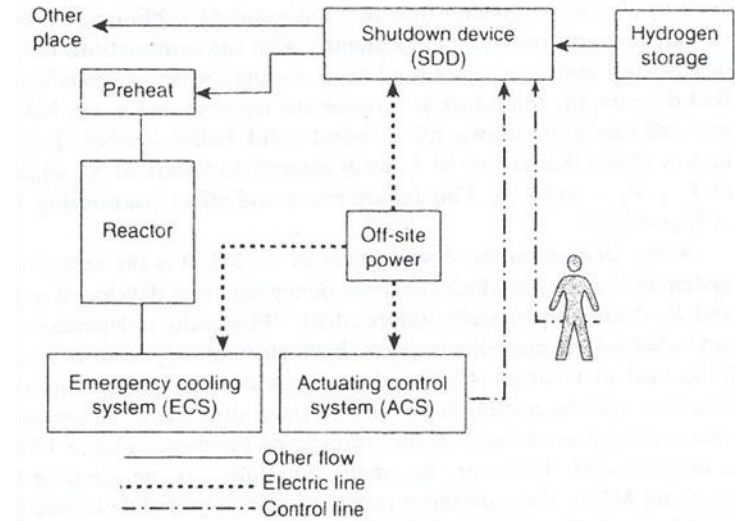
$$P = D \cdot F, \bar{P} = \bar{D} + \bar{F}$$



- $P(T) = P(I) \times 0.02136$

Esimerkki 2 – vetyreaktorijärjestelmä

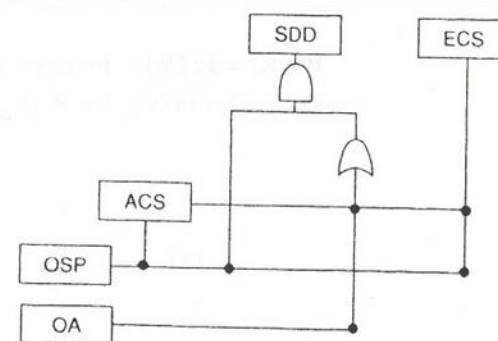
- (luento 4)



Failure Contributions from Failure of One and Two Units

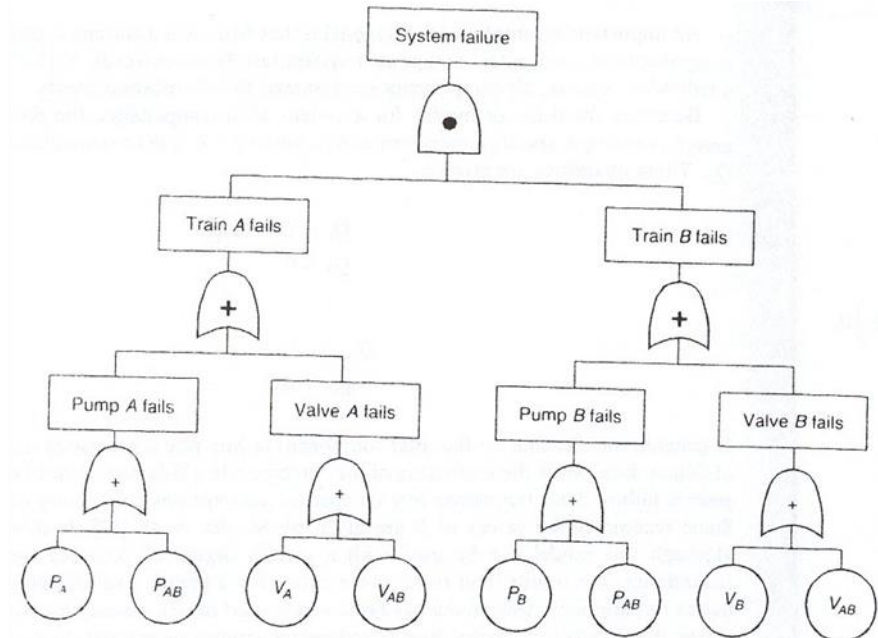
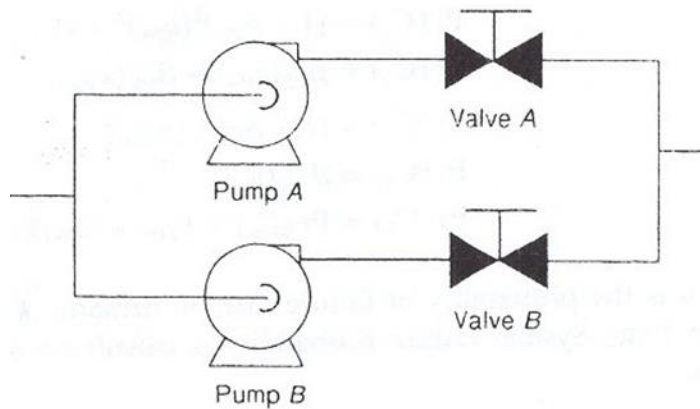
Combination No.	Units Failed	Probability*	Contribution to Total Failure Prob. (%)
1	OSP	1.97×10^{-2}	98.69
2	ECS, SDD	9.69×10^{-7}	0.00
3	ECS, OSP	1.98×10^{-5}	0.10
4	SDD, ACS	9.96×10^{-7}	0.00
5	SDD, OSP	1.98×10^{-5}	0.10
6	ACS, OSP	1.98×10^{-5}	0.10
7	OSP, OA	1.99×10^{-4}	1.00
8	Sum of all others	2.60×10^{-7}	0.01

* Includes probability of success of elements not affected.



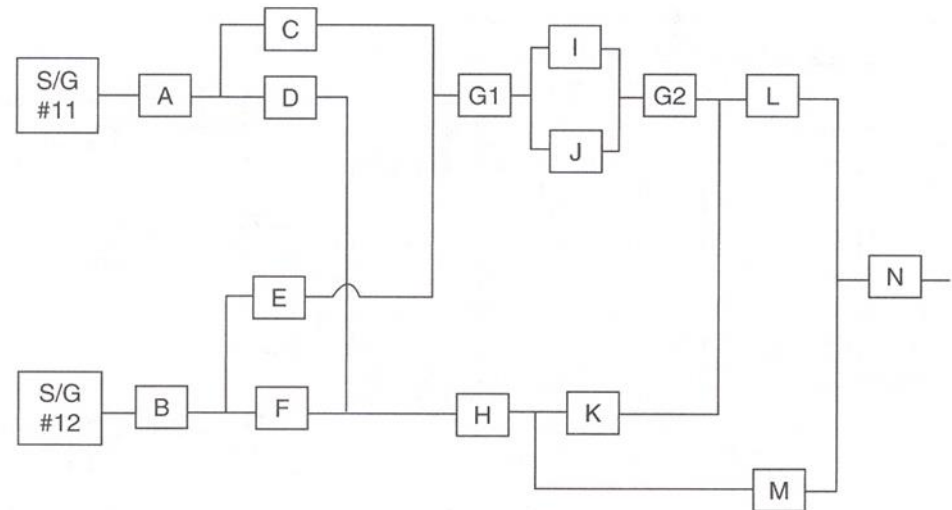
Esimerkki 3 - jäähdytysjärjestelmä

- (luento 5)



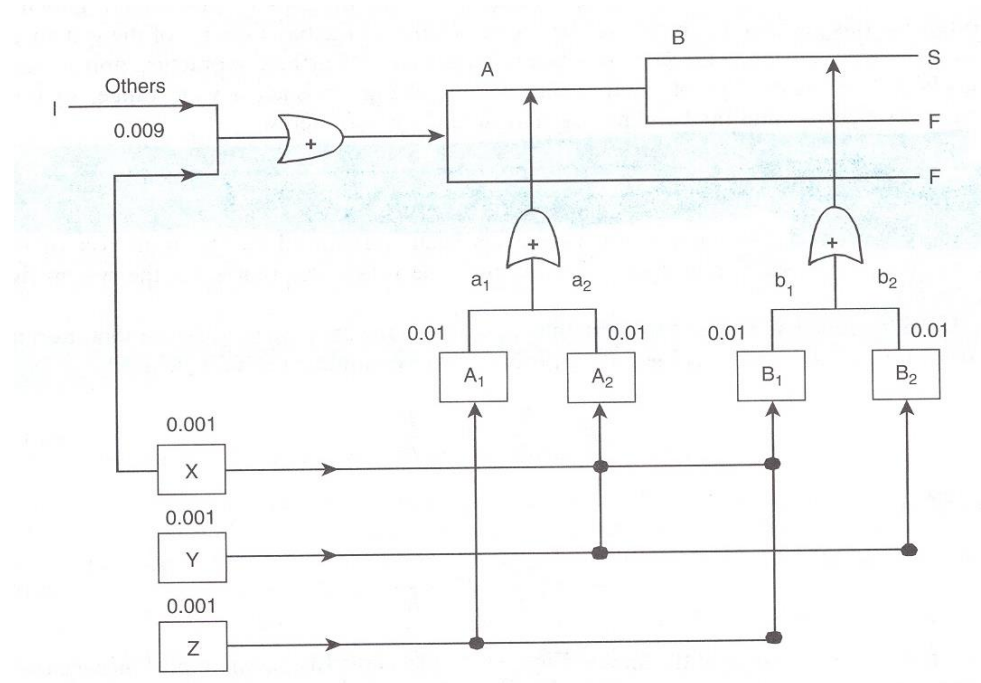
Esimerkki 4 - vedensyöttöjärjestelmä

- (luento 7)



Esimerkki 5

- (luento 7)



Esimerkki 6 - Kiehumusvesireaktori

