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/finpsa

Sisällys

- 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 luotettavuusanalyyseihin

Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulu
Matematiikan ja systeemianalyysin laitos

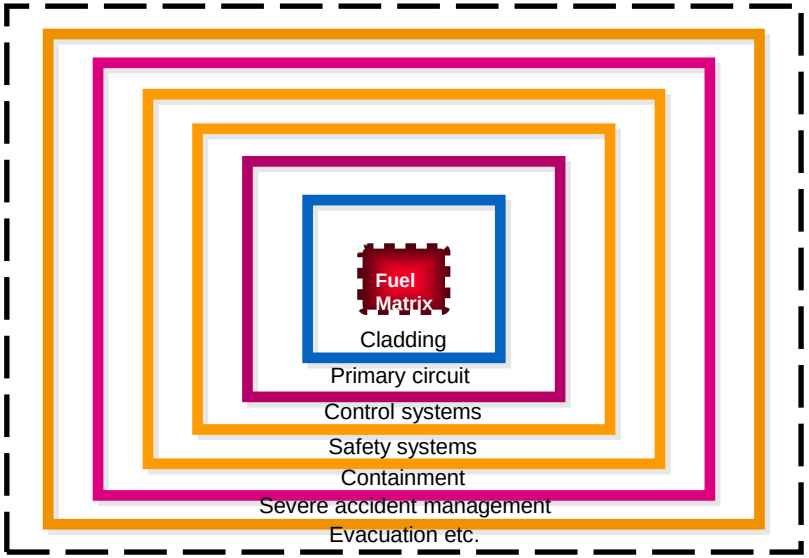
PRA-mallin rakenne

- Alkutapahtuma
- Tapahtumapuu
- Vikapuu

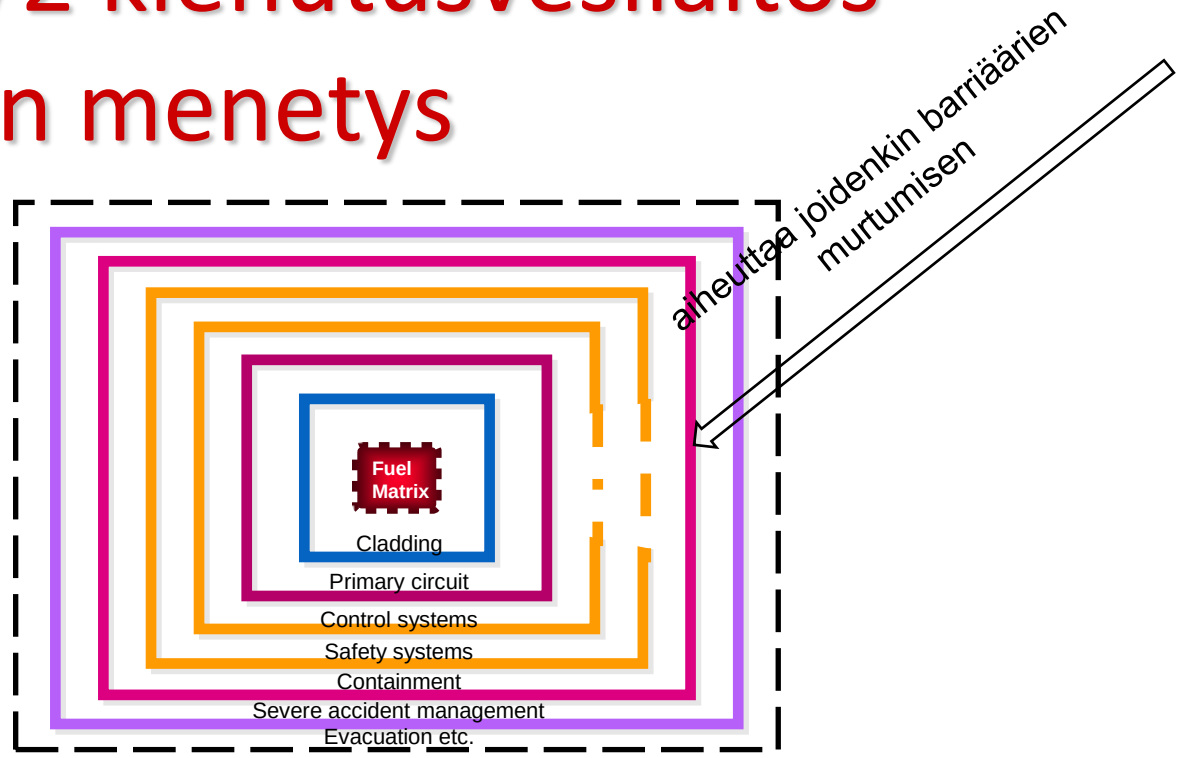
PRA-malli lähtee alkutapahtumasta

- 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



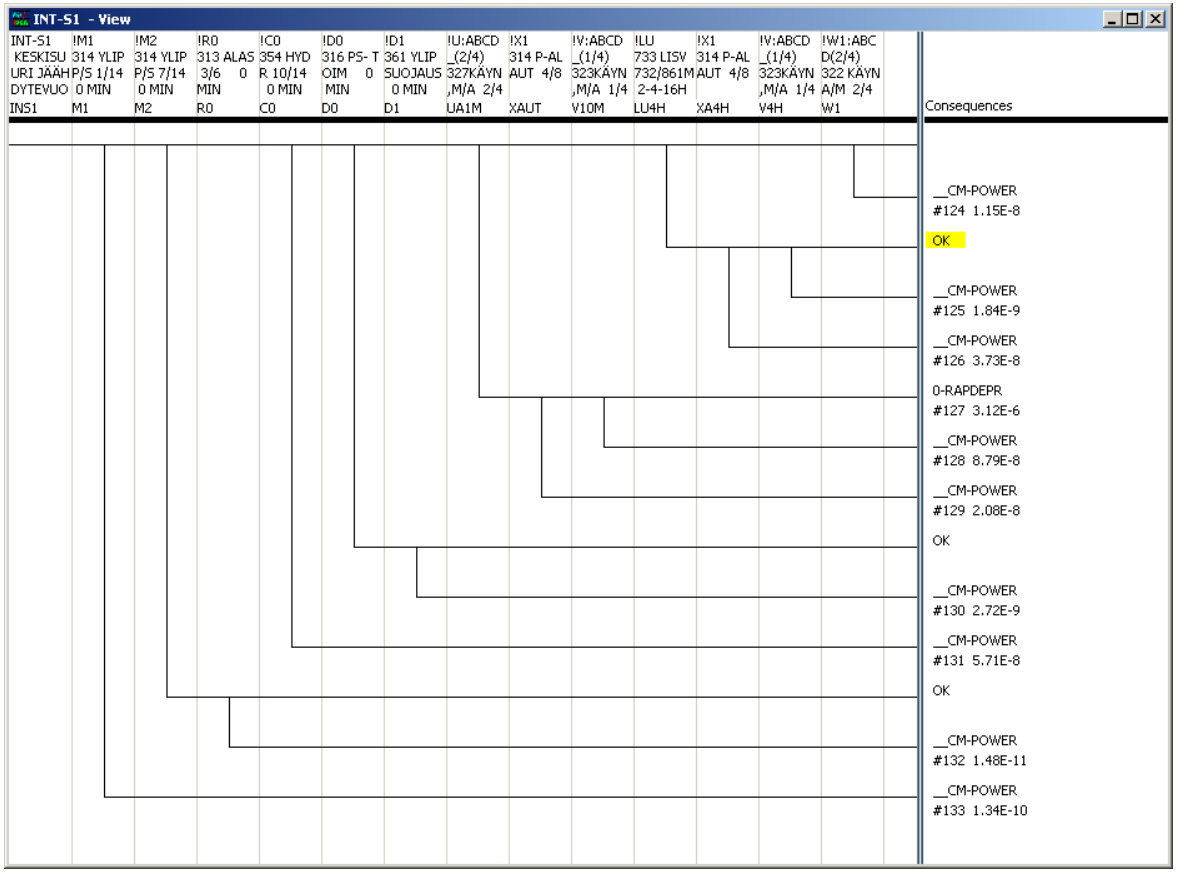
Olkiluoto 1/2 kiehutusvesilaitos
Syöttöveden menetys



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

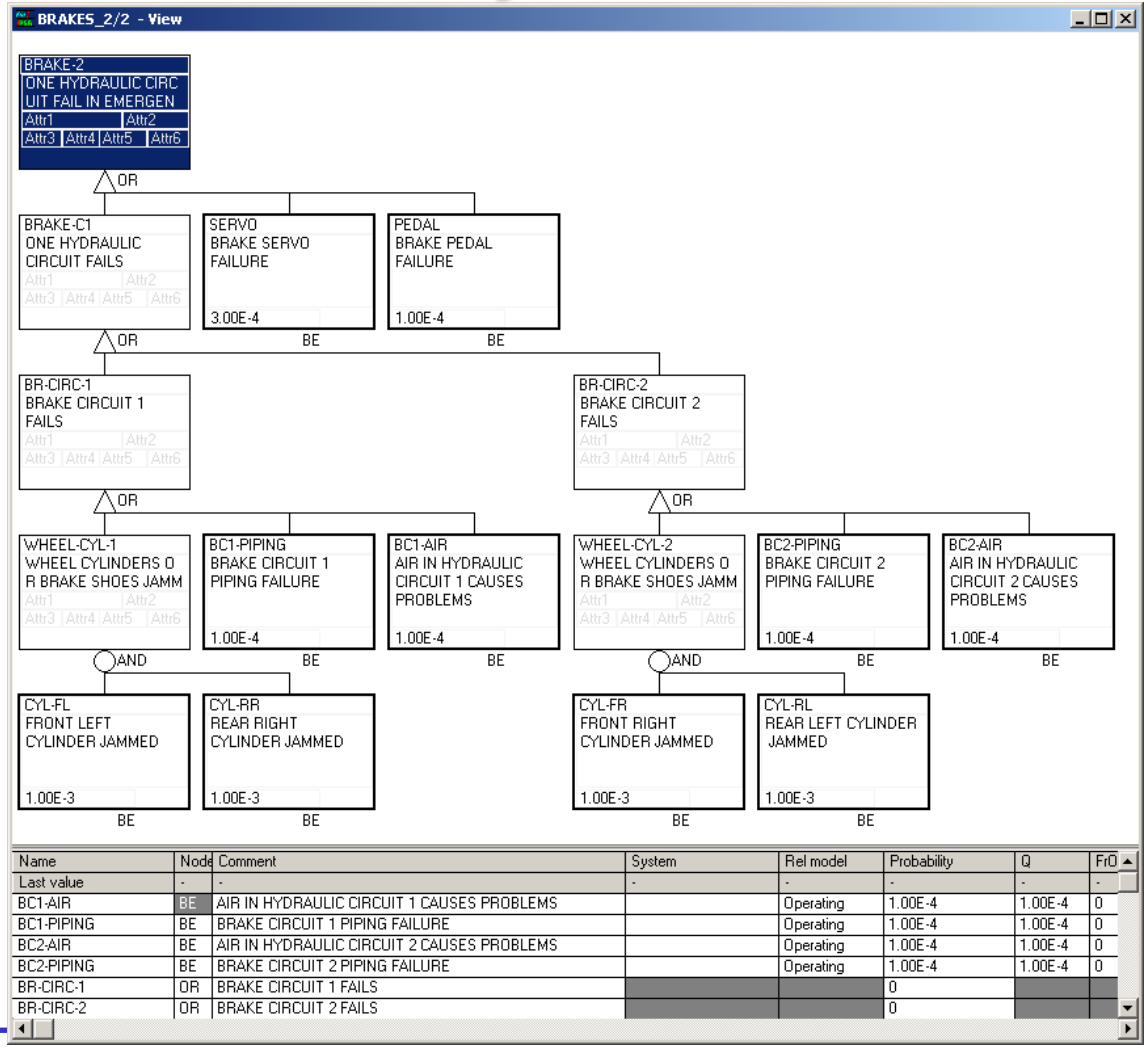
Tapahtumapuu



- 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

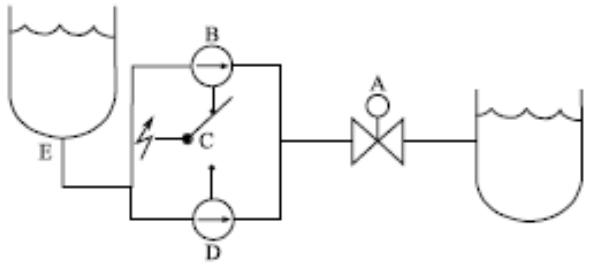
PRA-mallin tuloksia, taso 1

- 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”)

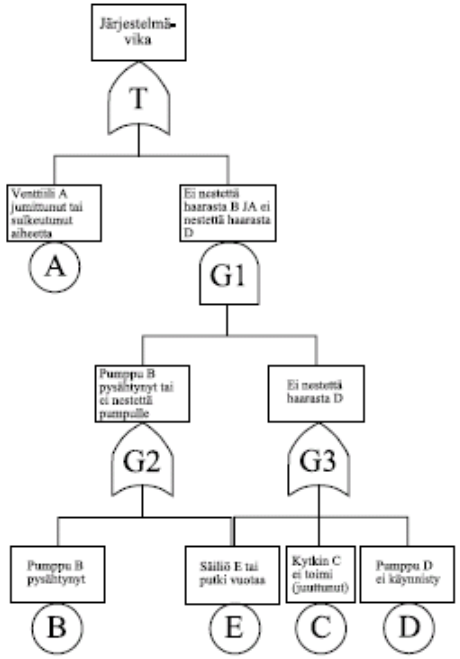
Vikapuuesimerkki



- 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·G3
  - TOP = A + G1



Vikapuun ratkaiseminen

$$TOP = A + G$$
$$= A + G2 \cdot G3$$
$$= A + (B + E) \cdot (E + C + D)$$
$$= A + B \cdot E + B \cdot C + B \cdot D + E \cdot E + E \cdot C + E \cdot D$$
$$= A + E + B \cdot C + B \cdot D$$

– **minimikatkosjoukkoesitysmuoto**

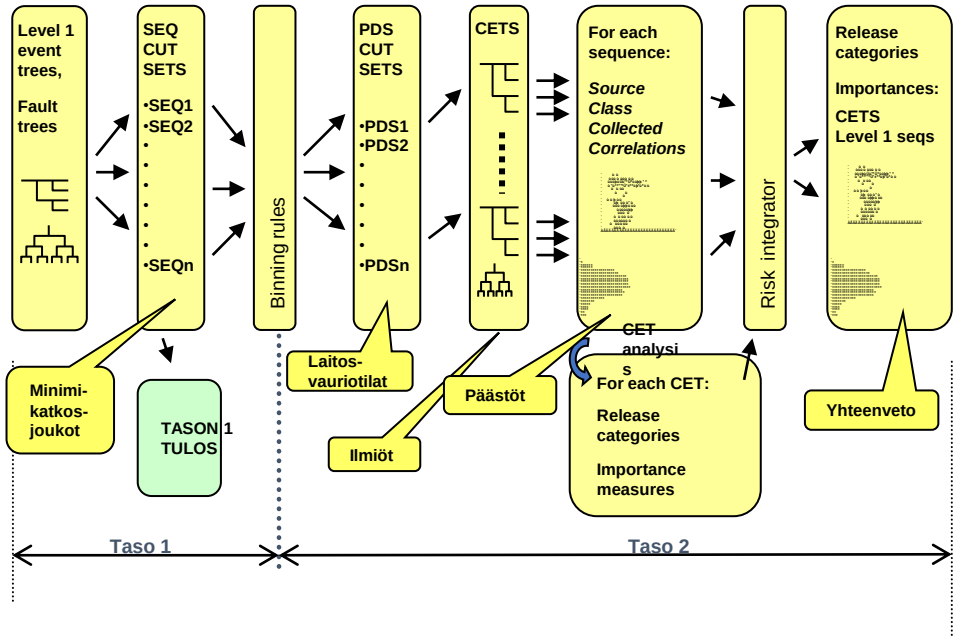
Vikapuun kvantifioiminen

- 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

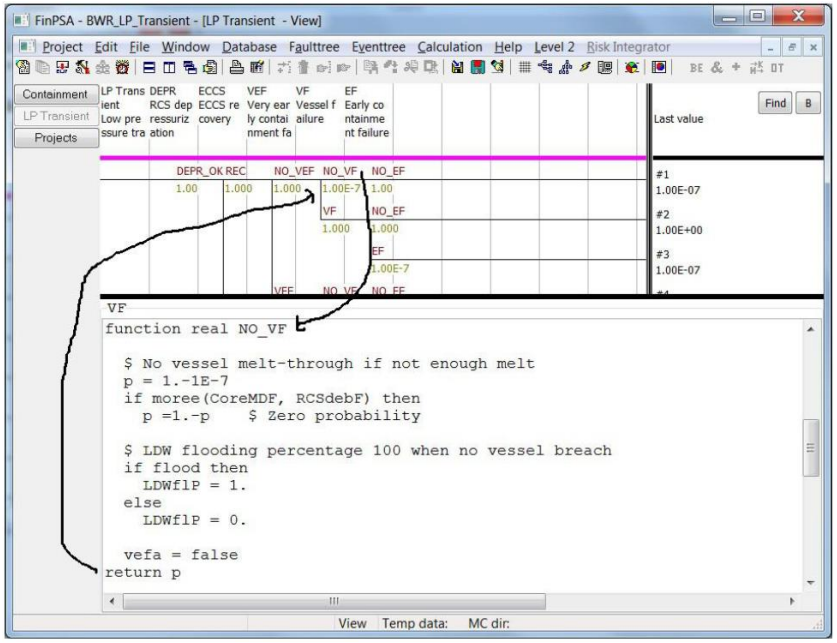
- Project
  - malli
  - local project
  - shared project
  - back-up
- Database
  - malli on tietokanta
  - toisiinsa linkitettyjä objektilistoja, esim. perustapahtumat
- Fault tree
  - vikapuut rakennetaan modulaarisesti
  - koostuu porteista ja perustapahtumista
  - moduuli = vikapuun sivu
  - moduulit 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 jälkikäsittely
  - 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

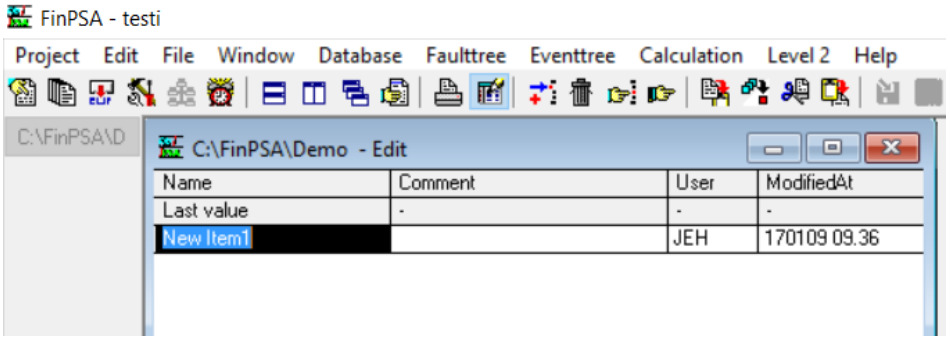


FinPSA:n käsitteitä 4

- 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

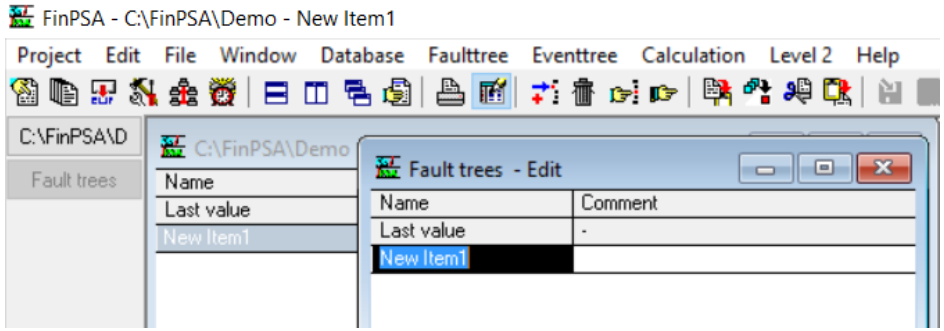
- Valikko Project
- ”Show local projects” tai ”Show shared projects”
- <ctrl-e> muuttaa edit-moodiin
- <Ins> lue uuden tietueen

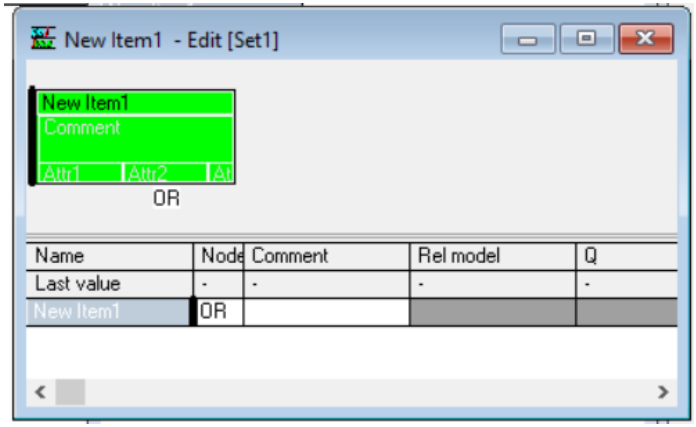


- Jos halutaan käyttää jotain vanhaa mallia lähtökohtana, se saadaan haettua komennolla Project/Project backup/Restore backup to active project
  - tarkkana että oikea projekti on ”active”

Vikapuun tekeminen

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





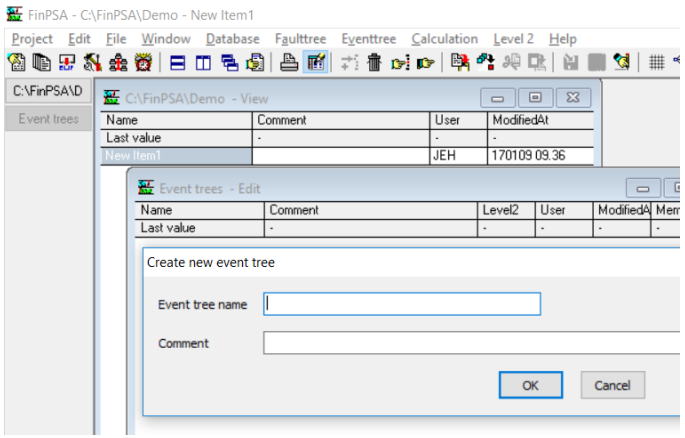
- Vikapuu aukeaa tuplaklikkauksella
- <ctrl-e> edit-moodiin

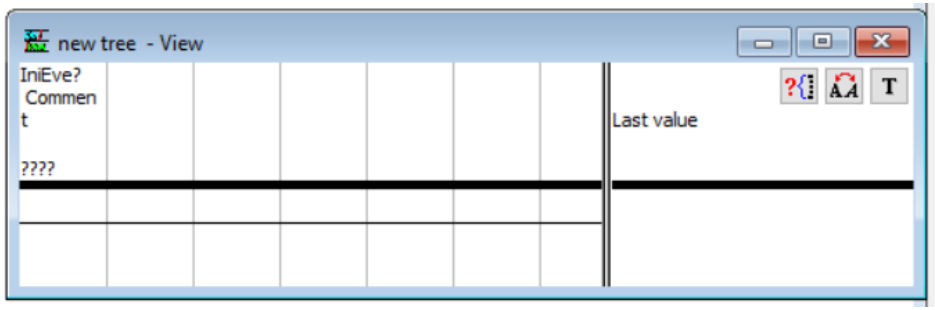
Vikapuun näkymä

- 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”





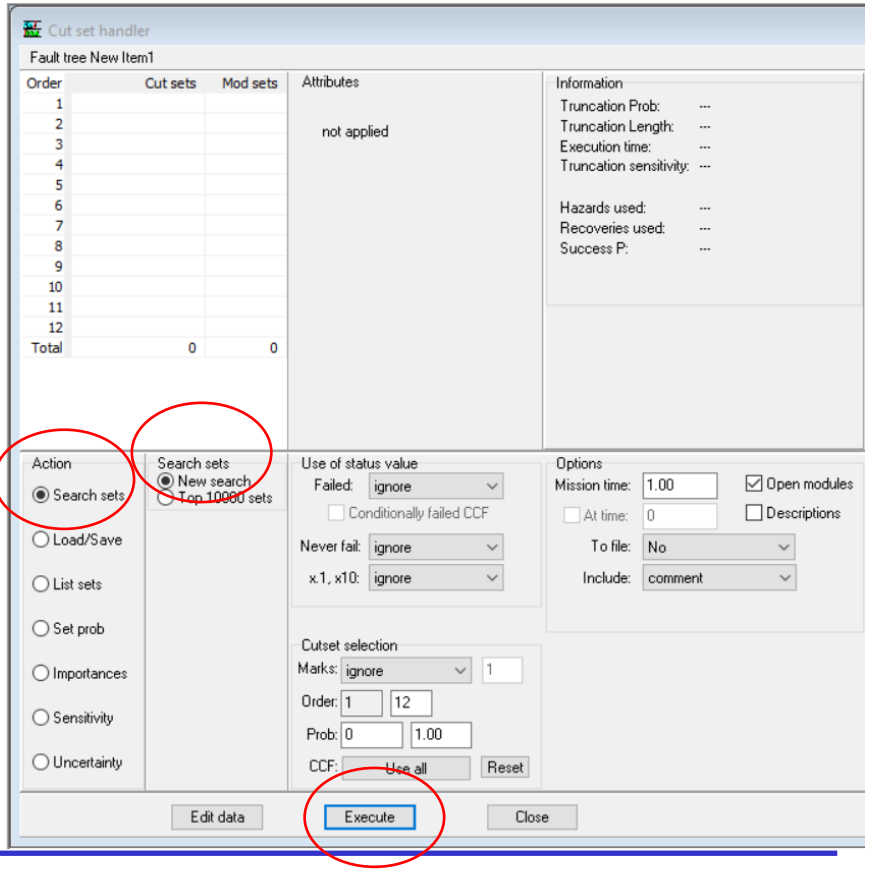
- Tapahtumapuu aukeaa tuplaklikkauksella
- <ctrl-e> edit-moodiin

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

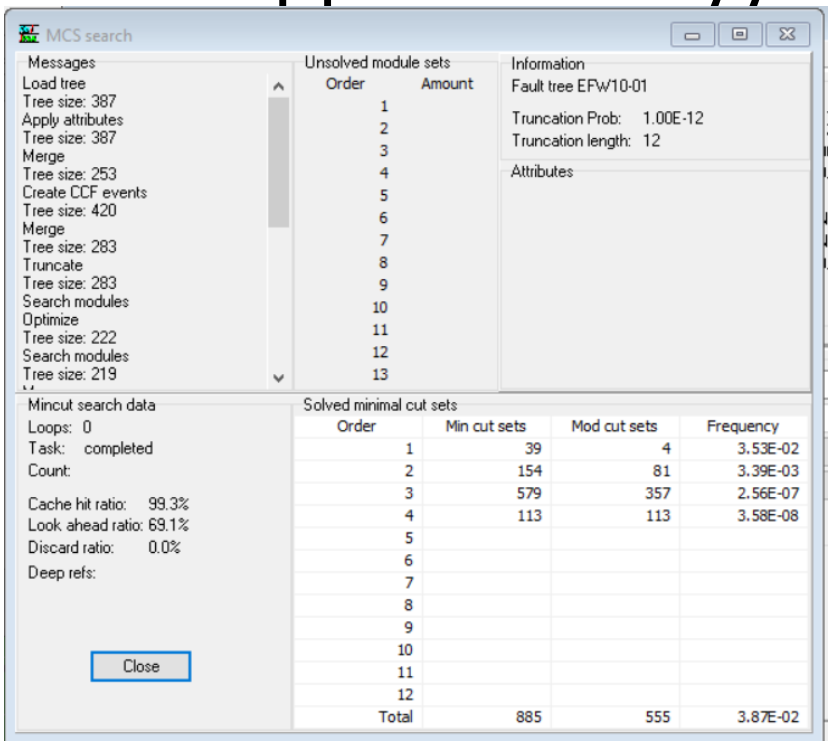
Vikapuulaskenta

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



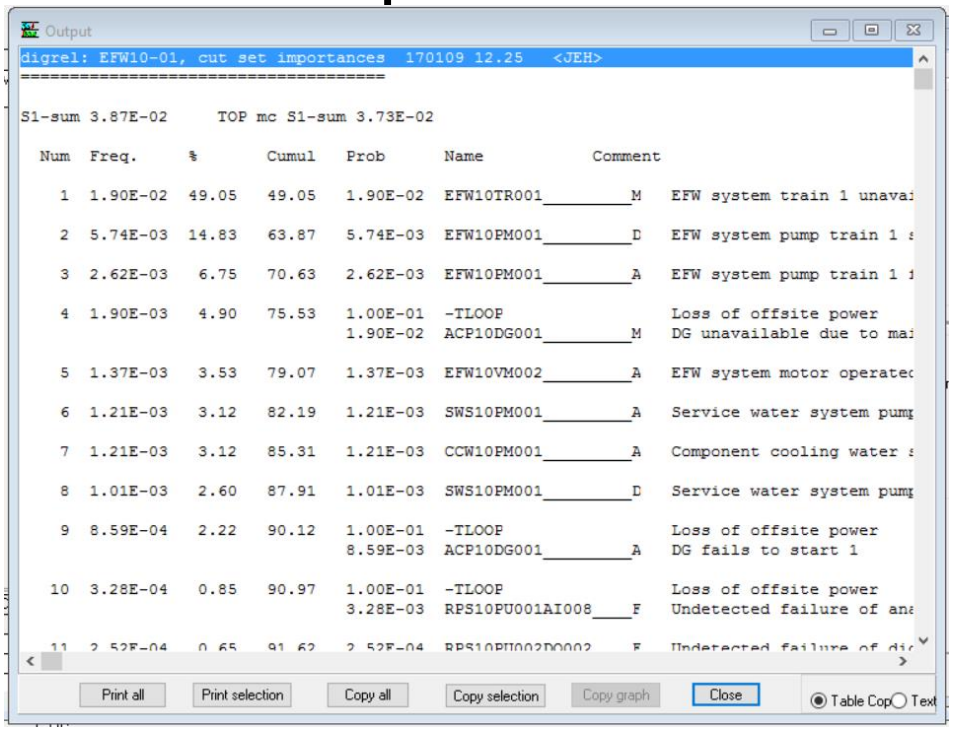
Minimikatkosjoukkojen haku

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



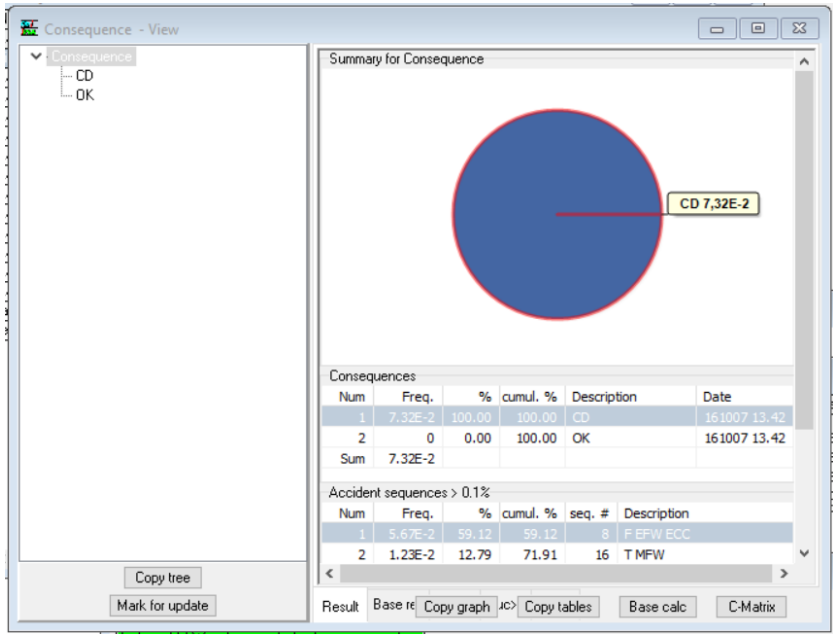
Tulosten tarkastelu

- Minimikatkosjoukot: Importances/cut set
- Perustapahtumat: Importances/basic event/…
- Tulokset avautuvat ”Output” -ikkunaan



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

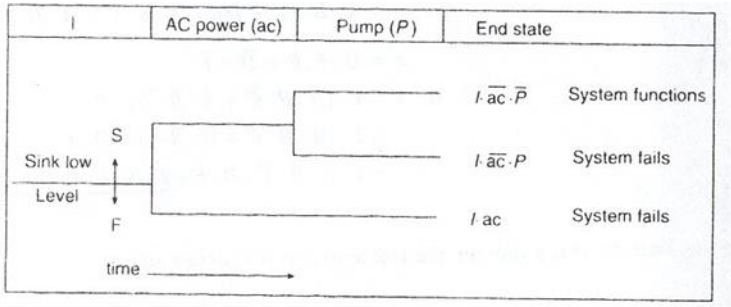


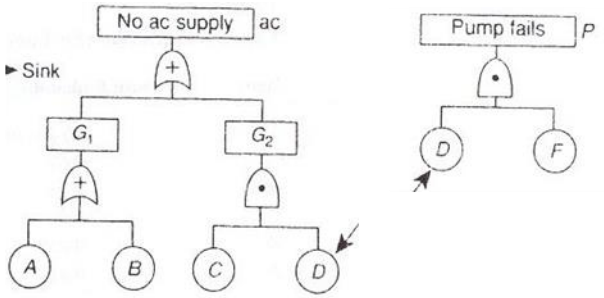
Hyödyllisiä tietokantaoperaatioita

- Import/export
  - useimmat tietokantataulukot voidaan siirtää clipboardin kautta Exceliin 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)

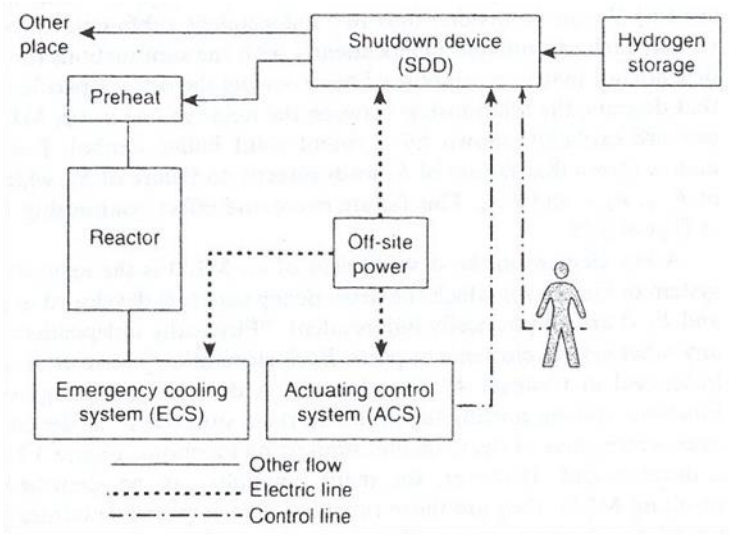




- Järjestelmä ei toimi
  $I \cdot \overline{ac} \cdot P$ ja $I \cdot ac$
- Vikapuista saadaan
  $ac = G_1 + G_2 = (A + B) + (C \cdot D) = A + B + C \cdot D$
  $\overline{ac} = \overline{A + B + C \cdot D} = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot (\bar{C} + \bar{D}) = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{D}$
  $P = D \cdot F, \ \bar{P} = \bar{D} + \bar{F}$
- $\mathrm{P(T)} = P(I) \times 0.02136$

Esimerkki 2 – vetyreaktorijärjestelmä

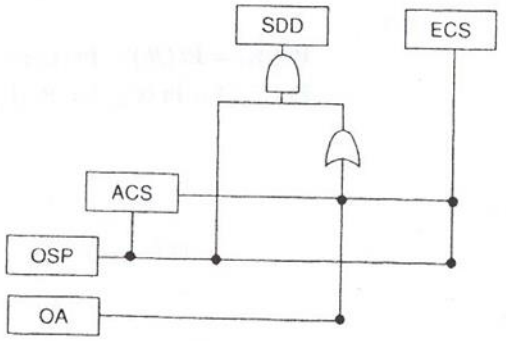
- (luento 4)



Failure Contributions from Failure of One and Two Units

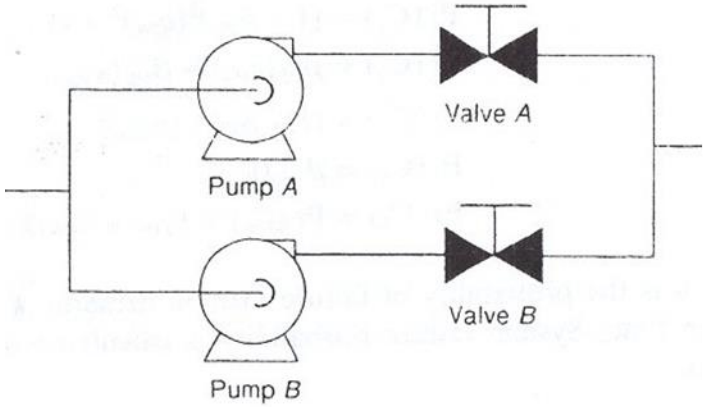
Combination No.	Units Failed	Probability*	Contribution to Total Failure Prob. (%)
1	OSP	1.97×10^{-2}	98.69
2	ECS, SDD	9.69×10^{-7}	0.00
3	ECS, OSP	1.98×10^{-5}	0.10
4	SDD, ACS	9.96×10^{-7}	0.00
5	SDD, OSP	1.98×10^{-5}	0.10
6	ACS, OSP	1.98×10^{-5}	0.10
7	OSP, OA	1.99×10^{-4}	1.00
8	Sum of all others	2.60×10^{-7}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

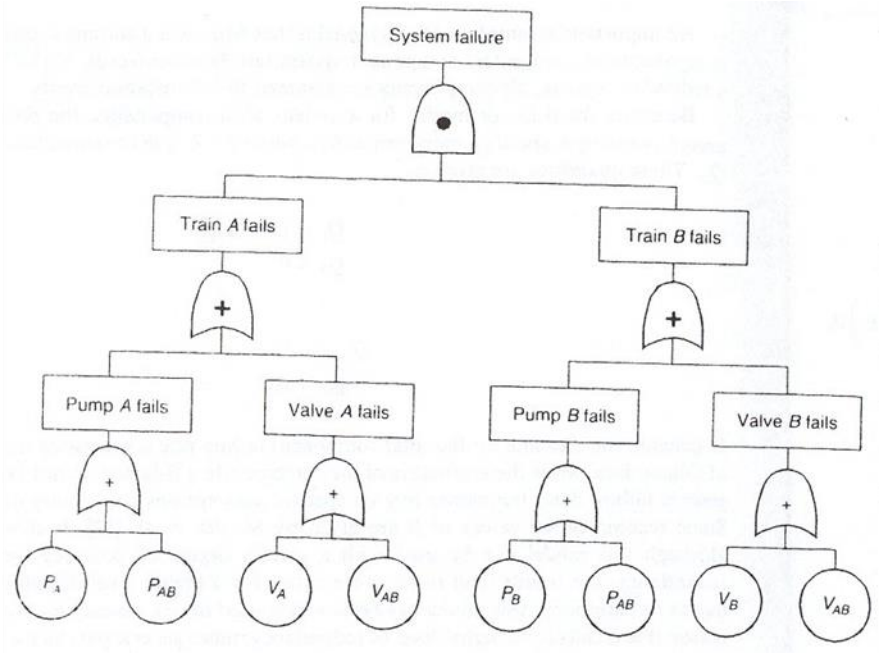
* Includes probability of success of elements not affected.



Esimerkki 3 - jäähdytysjärjestelmä

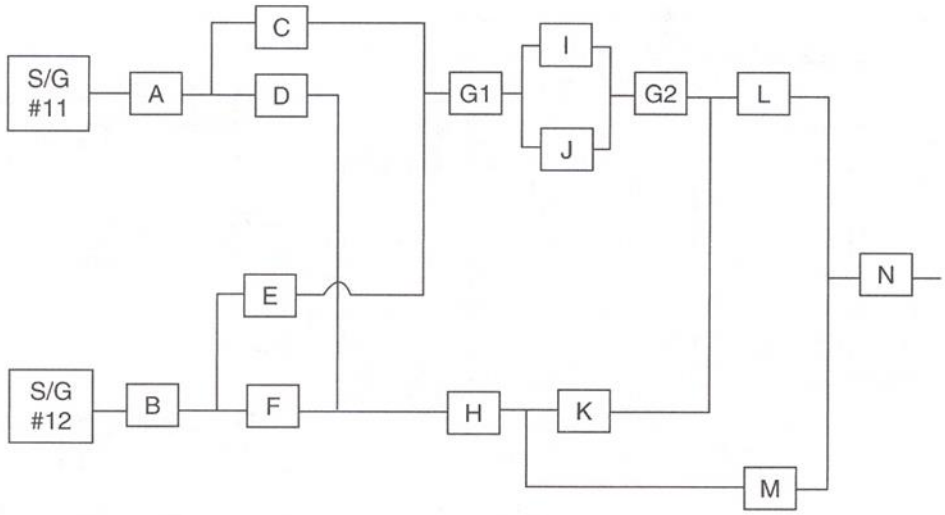
- (luento 5)





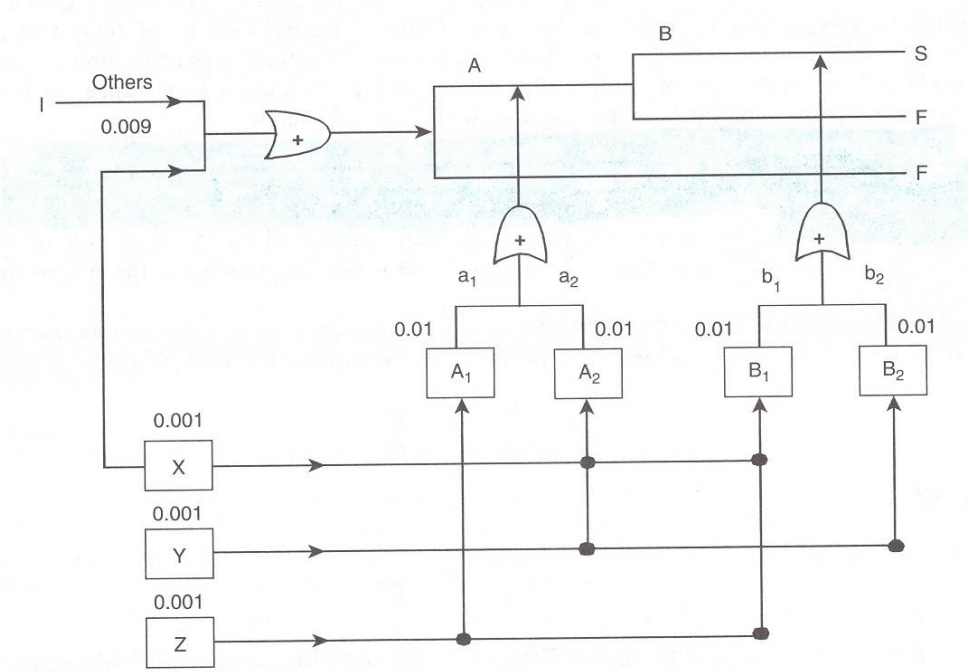
Esimerkki 4 - vedensyöttöjärjestelmä

- (luento 7)



Esimerkki 5

- (luento 7)



Esimerkki 6 - Kiehutusvesireaktori