

# Operatiivisen toiminnan mallintaminen osana ydinvoimalaitosten paloriskien todennäköisyyspohjaista arviointia

## Laskentamallin 1. versio

Kirjoittajat: Terhi Kling, Simo Hostikka, Kristiina Hukki

Luottamuksellisuus: julkinen



## Alkusanat

Tässä raportissa esitetään ensimmäinen versio ydinvoimalaitosten paloriskien kokonaisvaltaiseen laskennalliseen arviointiin kehitettävästä operatiivisen toiminnan mallista. Mallissa yhdistetään todennäköisyyspohjainen palosimulointi sekä ihmisen toiminnan huomioon ottava lähestymistapa.

Työ on osa SAFIR2010-ohjelman FIRAS-projektia (Implementation of Quantitative Fire Risk Assessment in PSA). Työ on tehty yhteistyössä CHARISMA-projektin (Challenges in Risk-Informed Safety Management) kanssa. Hanketta ovat ohjanneet SAFIR-ohjelman tukiryhmä TR8 sekä FIRAS ad hoc –ryhmä, johon kuuluu edustajia voimayhtiöistä (Fortum ja TVO), Säteilyturvakeskuksesta (STUK) ja VTT:ltä. Tekijät kiittävät tuki- ja ad hoc –ryhmää avusta ja hyödyllisistä neuvoista.

Espoo 10.2.2010

Tekijät

## Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1 Johdanto.....	4
2 Tavoite.....	5
3 Mallinnettava skenaario.....	5
4 Mallinnuslähestymistapa .....	6
5 Eri toimijoiden aikaviiveet .....	7
5.1 Savuilmaisin (ilmaisuaika).....	7
5.2 Valvomo.....	7
5.3 Käyttömies (palon varmistamiseen kuluva aika) .....	8
5.4 Vartiokeskus (hälytysaika) .....	9
5.5 Palokunta.....	9
5.5.1 Toimintavalmiusaika hälytyksestä kohteeseen .....	9
5.5.2 Selvitysaika kohteen ulko-ovelle .....	10
5.5.3 Selvitysaika ulko-ovelta palotilan ovelle .....	11
5.5.4 Palon etsimiseen ja sammuttamiseen kuluva aika.....	12
5.5.5 Palokunnan virheestä aiheutuva viive.....	13
5.6 Sähkömies .....	14
6 Toteutus .....	14
7 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset .....	14
Liite 1: Inhimillisen erehtymisen aikariippuvuuteen perustuva mallintaminen .....	17
Liite 2: Palokunnan aikajana.....	21
Liite 3: Palokunnan selvitysaikoihin liittyviä viiveitä.....	22

# 1 Johdanto

Inhimillisen toiminnan huomioonottaminen osana ydinvoimalaitosten paloriski-analyysiä on varsin uutta. Vuonna 2001 EPRI (Electric Power Research Institute) ja RES (Office of Nuclear Regulatory Research) aloittivat projektin, jossa tavoitteena oli parantaa paloriskianalyysien tasoa ottamalla huomioon paloturvallisuustekniikassa käytettävä riskitietoinen lähestymistapa. Projektissa kehitettiin prosessi palonaikaisten inhimillisten virheiden tunnistamiseen ja huomioimiseen sekä menetelmä näiden määrälliseen arviointiin (NUREG/CR-6850). 2007 EPRI ja RES aloittivat jatkoprojektin, jonka seurauksena syntyivät ohjeet siitä, miten inhimillisiä virheitä palotilanteissa voidaan arvioida HRA-menetelmien pohjalta.

Lokakuussa 2007 NRC (Nuclear Regulatory Commission) julkaisi raportin "Demonstrating the Feasibility and Reliability of Operator Manual Actions in Response to Fire" (Kolaczowski ym., 2007), jossa tarkastellaan palotilanteiden erityispiirteitä ja niihin liittyviä valvomon toimenpiteitä. Raportissa otetaan huomioon myös toimenpiteisiin käytettävissä olevan ajan riittävyyden merkitys toimenpiteiden onnistuneen suorittamisen kannalta.

Vuonna 2008 Ruotsissa tehtiin diplomityö "Säkerhetsanalys av brandbekämpning i kritiska utrymnen på Forsmark 1" (Veibäck, 2008), jossa tutkittiin palokunnan mahdollisuutta torjua palo, joka on alkanut reaktoriturvallisuuden kannalta kriittisessä paikassa. Kehitetyllä mallilla voidaan arvioida palontorjunnan mahdollisuutta uhkan ehkäisemiseen. Menetelmässä hyödynnetään HRA-menetelmää THERP (Kolaczowski ym., 2005).

Hietaniemen & Hukin (2009) raportissa "Ydinvoimaloiden paloriskien kokonaisvaltainen hallinta yhdistämällä palotapahtuman fysikaalinen ja ihmisten toiminnan mallintaminen: alustavia tarkasteluja" esitetään riskinarviointiin soveltuva laskennallinen malli, jossa yhdistetään simulointiperustainen palon ja sen aiheuttaman teknisen vikaantumisen malli ja ihmisen toiminnan huomioon otettava lähestymistapa. Mallintamisen perustaksi on otettu kaapelien vikaantumisen ja palotilanteen hallintaan liittyvän operatiivisen toiminnan aikariippuvuus.

Tässä raportissa Hietaniemen & Hukin (2009) integroitu menetelmä on viety lähemmäs käytännön tasoa, tavoitteena luoda operatiivisen toiminnan mallintamisen työkalu, jota voidaan käyttää fysikaalisen palosimuloinnin ohella Monte Carlo –simuloinneissa (Hostikka ym., 2008) PFS –ympäristössä (PFS = Probabilistic Fire Simulator; Hostikka et al., 2003). Malliin on yhdistetty Hietaniemen (2009) kehittämä palokunnan toiminnan malli.

## 2 Tavoite

FIRA-CHARISMA –yhteistyön tavoitteena on palon sammuttamiseen tähtäävän operatiivisen toiminnan luotettavuuden arviointi sekä palontorjunnan onnistumisen ja laitoksen turvallisen alasajon ehdollisen todennäköisyyden määrittäminen. Tavoitteeseen pyritään kehittämällä todennäköisyyspohjainen mallinnusmenetelmä, jossa palotilanteen hallinnasta vastaavan henkilöstön (palokunta mukaan lukien) operatiivinen toiminta liitetään osaksi ydinvoimalaitosten palotilanteiden Monte Carlo –simulointia. Menetelmällä voidaan arvioida laitoksessa syttyvän tulipalon aiheuttamaa vikaantumisriskiä.

## 3 Mallinnettava skenaario

Mallinnetaan tilannetta, jossa kaapelitilassa tai kaapelitunnelissa syttyy palo, jonka sijainti ja voimakkuus alussa ovat satunnaismuuttujia. Palo aiheuttaa kaapelin vikaantumisen, kun kaapelin eristemateriaali saavuttaa tietyn kriittisen lämpötilan. Kaapelin vikaantuminen aiheuttaa esim. väärän mittaussignaalin tai pumpun tai venttiilitoimilaitteen kytkeytymisen päälle tai pois päältä. Kaapelin vioittuminen aiheuttaa siis laitoksen vikaantumisen, mikäli jännitettä (tai koko laitosta) ei ole kytketty pois.

Mikäli kaikki menee toivotulla tavalla, palokunta ehtii sammuttaa palon ennen kuin vikaantumista ehtii tapahtua. Tilanne etenee tällöin pääpiirteittäin seuraavasti (yksityiskohtaisempi kuvaus myöhemmin):

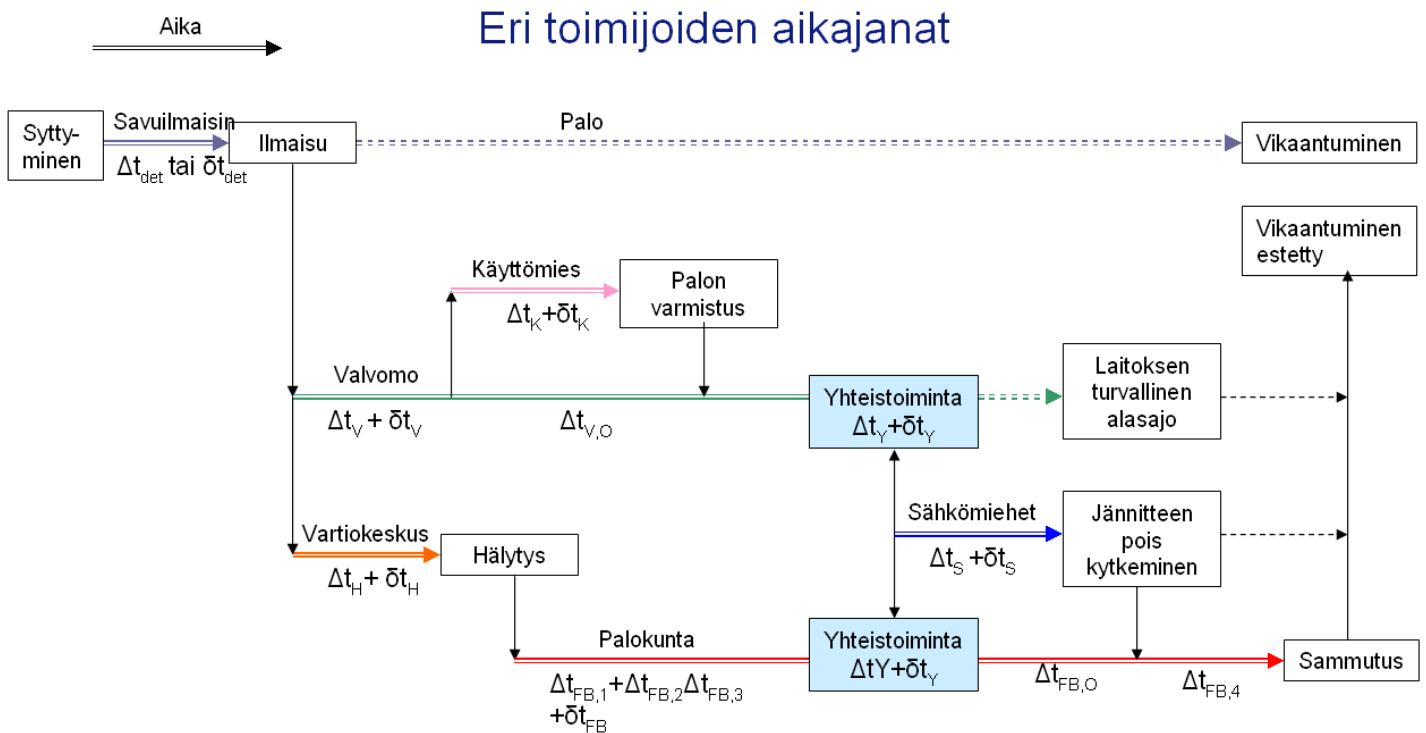
- savuilmaisimien havaitsee palon
- ilmaisusta menee tieto valvomoon ja vartiokeskukselle
- valvomo lähettää henkilön varmistamaan että kyseessä todella on tulipalo
- vartiokeskus hälyttää palokunnan
- palokunta ryhtyy toimenpiteisiin saapuakseen palopaikalle
- palokunnan saavuttua palopaikalle seuraa yhteistoimintaa palokunnan ja valvomon välillä jolloin
  - palokunta mahdollisesti pyytää valvomolta palotilan tekemistä jännitteettömäksi, jolloin
    - valvomo pyytää sähkömiehiä tekemään tilan jännitteettömäksi
    - sähkömiehet tekevät tilan jännitteettömäksi
- palokunta ryhtyy toimenpiteisiin palon sammuttamiseksi

Em. prosessissa on useita toimijoita, joiden päätöksentekoon ja operatiiviseen toimintaan sekä yhteistoimintaan kuuluu aikaa. Mikäli toiminnassa ja/tai päätöksenteossa tapahtuu virheitä, aiheuttaa se lisäviiveitä, jotka huomioidaan sammuttamiseen tähtäävän toiminnan kestoajan laskennassa. Virheitä oletetaan olevan kahden tyyppisiä: täysin satunnaisia (kuten savuilmaisimen toimimattomuus), sekä niitä, jotka liittyvät päätöksentekotilanteisiin ja joiden todennäköisyyteen vaikuttavat päätöksentekoon käytettävissä oleva aika sekä erilaiset käyttäytymiseen vaikuttavat tekijät (Performance Shaping Factors, PSF, ks. liite 1).

## 4 Mallinnuslähestymistapa

Fysikaalisen palosimuloinnin Monte Carlo –analyysin (Hostikka ym., 2008) perusteella saadaan jakauma vikaantumisajalle  $\Delta t_{\text{fail}}$  tilanteessa, jossa palo saa rauhassa kehittyä tai sitä rajoitetaan sprinklauksella. Nyt halutaan huomioida myös se mahdollisuus, että palokunta ehtii sammuttaa palon, ennen kuin vikaantumista ehtii tapahtua.

Mallissa eri toimijoiden suorittaman toiminnan vaiheita kuvataan aikaviiveillä kuvan 1 mukaisesti. Jokaisen toimijan kohdalla on myös mahdollista, että tapahtuu virhe, joka aiheuttaa lisäviiveen. Kun kaikki peräkkäiset toiminnan ja mahdollisen virhetoiminnan aiheuttamat viiveet lasketaan yhteen, saadaan palon sammuttamiseen tähtäävän toiminnan kokonaiskestoaika  $\Delta t_{\text{prevent}}$ . Mikäli  $\Delta t_{\text{prevent}} < \Delta t_{\text{fail}}$ , ei vikaantumista tapahdu, mikä voidaan ottaa huomioon Monte Carlo -analyysissä vikaantumistodennäköisyyttä laskettaessa.



Kuva 1. Eri toimijoiden aikajanat..

Eri toimijoiden (savuilmaisin on nyt yksi toimijoista) aikaviiveitä käyttäen kuvan 1 mukaisesti saadaan palon sammuttamiseen tähtäävän toiminnan kokonaiskestoaika seuraavasti:

$$\Delta t_{\text{prevent}} = (\Delta t_{\text{det}} \vee \delta t_{\text{det}}) + \max\left[ (\Delta t_V + \delta t_V + \Delta t_K + \delta t_K), (\Delta t_H + \delta t_H + \Delta t_{\text{FB},1-3} + \delta t_{\text{FB}}) \right] + \Delta t_Y + \delta t_Y + \Delta t_S + \delta t_S + \Delta t_{\text{FB},4} \quad (1)$$

jossa

$\Delta t_{\text{det}}$ tai $\delta t_{\text{det}}$	= savuilmaisimen ilmaisuus aika tai aistein havaitsemiseen kuluva aika
$\Delta t_V + \delta t_V$	= valvomon toiminta-aika
$\Delta t_K + \delta t_K$	= palon varmistamiseen kuluva aika
$\Delta t_H + \delta t_H$	= hälytysaika
$\Delta t_{\text{FB},1-3} + \delta t_{\text{FB}}$	= palokunnan viive palotilan ovelle
$\Delta t_Y + \delta t_Y$	= yhteistoiminta-aika
$\Delta t_S + \delta t_S$	= sähkömiesten toiminta-aika
$\Delta t_{\text{FB},4}$	= palon etsimiseen ja sammuttamiseen kuluva aika

Eri toimijoiden toiminnan kuvaamista mallissa on tarkasteltu luvussa 5. Tyypillisesti toiminnan vaatimaa aikaviivettä kuvataan tilastollisella mallilla ts. todennäköisyysjakaumalla, josta Monte Carlo –simuloinnin yhteydessä arvotaan kulloinkin ko. toimijan toiminnan vaatima aika. Virheen todennäköisyyttä kuvataan joko ajasta riippumattomalla todennäköisyydellä (esim. savuilmaisimen 95 % toimintavarmuus tarkoittaa, että savuilmaisim ei toimi 5 % todennäköisyydellä) tai inhimillisen toiminnan ollessa kyseessä ns. inhimillisen erehdyksen aikariippuvuus –mallilla (liite 1.). Em. todennäköisyysjakaumien mukaisesti osassa tapauksista tapahtuu virhe, joka aiheuttaa prosessiin lisäviiveen, jonka suuruus puolestaan määräytyy ko. lisäviivettä kuvaavan tilastollisen mallin perusteella.

Mikäli mallinnettavasta aikaviiveestä  $\Delta t$  ei ole olemassa tutkittua tai mitattua tietoa, eikä sitä voida laskea deterministisesti, kuvataan aikaviivettä esim. tasajakaumalla  $U(a,b)$ , jossa  $a$  ja  $b$  ovat jakauman parametrit ( $\Delta t_{\text{min}}$  ja  $\Delta t_{\text{max}}$ ), jotka määritetään asiantuntija-arvioiden perusteella.

## 5 Eri toimijoiden aikaviiveet

### 5.1 Savuilmaisin (ilmaisuus aika)

Savuilmaisimen ilmaisuus aika  $\Delta t_{\text{det}}$  määräytyy palosimuloinnin perusteella. Yksittäisen palosimuloinnin (Monte Carlo –simuloinnin realisaation) sisällä sitä voidaan pitää deterministisesti määritettynä suureena. Jos savuilmaisimen toimintavarmuus on  $p_{\text{det}}$ , savuilmaisim ei toimi todennäköisyydellä  $1-p_{\text{det}}$ . Mikäli savuilmaisim ei toimi, havaitaan palo ennemmin tai myöhemmin aistinvaraisesti, jolloin aistinvaraiseen havaitsemiseen kuluva aika  $\delta t_{\text{det}}$  voidaan kuvata esim. tasajakaumalla  $U(a,b)$ , jossa  $a$  ja  $b$  ovat jakauman parametrit. Käytännössä palo havaitaan myös mahdollisten sprinklereiden lauetessa, mutta tämä vaihtoehto on yksinkertaisuuden vuoksi jätetty toistaiseksi huomiotta.

### 5.2 Valvomo

Sekä valvomon toiminnan normaalisti vaatiman ajan  $\Delta t_V$ , että virheen tuottaman aikaviiveen  $\delta t_V$  oletetaan noudattavan tasajakaumaa seuraavasti:

$$\Delta t_V \propto U(a_1, b_1)$$

$$\delta t_V \propto U(a_2, b_2)$$

jossa  $a_i$  ja  $b_i$  ovat jakaumien parametrit.



Monte Carlo –simuloinnissa virheen aiheuttama lisäviive otetaan huomioon osassa tapahtumia inhimillisen virheen todennäköisyyden  $p_{HF}(t)$  mukaisesti (liite 1). Tällöin oletetaan, että valvomon toiminnan aikaviive johtuu tilanteen hahmottamiseen ja päätöksentekoon kuluva ajasta. Mikäli valvomon toimintaan liittyy muunlaisia aikaviiveitä ja virhelähteitä, tulee nämä mallintaa erikseen.

### 5.3 Käyttömies (palon varmistamiseen kuluva aika)

Oletetaan, että palon varmistaminen tapahtuu siten, että käyttömies kävelee palotilan ovelle ja toteaa palon olemassaolon. Tällöin käyttömiehen toiminnasta aiheutuva aikaviive  $\Delta t_K$  on tiettyjen välimatkojen  $S_k$  tietyllä vakionopeudella  $v_k$  kulkemiseen kuluva aika:

$$\Delta t_K = \frac{S_1}{v_1} + \frac{S_2}{v_2} + \dots + \frac{S_N}{v_N} \quad (2)$$

missä N on palotilaan johtavien välimatkojen lukumäärä se. kuljettava kokonaismatka on:

$$S_{tot} = S_1 + S_2 + \dots + S_N \quad (3)$$

Jos oletetaan, että nopeus  $v_k$  riippuu vain siitä, kuljetaanko

- vaakatasossa, matka  $S_{hor}$ , nopeus  $v_{hor}$
- portaissa, matka  $S_{stair}$ , nopeus  $v_{stair}$

saadaan malli seuraavaan muotoon.

$$\Delta t_K = \frac{S_{hor}}{v_{hor}} + \frac{S_{stair}}{v_{stair}} \quad (4)$$

Kun vielä oletetaan, että liikkuminen portaissa eroaa tasaisella alustalla liikkumisen nopeudesta vakioarvoisella skaalaustekijällä  $\zeta$ , saadaan:

$$\Delta t_{FB,3} = \frac{S_{hor}}{v_{hor}} + \frac{S_{stair}}{\zeta \cdot v_{hor}} \quad (5)$$

Hietaniemen (2009) mukaan tasaisella alustalla liikkumisen nopeutta voidaan kuvata normaalijakaumalla, jonka keskiarvo on 1,34 m/s ja keskihajonta 0,14 m/s. Liikkumisnopeuden portaissa voidaan olettaa olevan noin 70 % tasaisella alustalla liikkumisen nopeudesta.

Oletetaan, että palon varmistamisessa tapahtuu virhe todennäköisyydellä  $p_K$  ja tämä virhe aiheuttaa lisäviiveen  $\delta t_K$ , joka noudattaa tasajakaumaa  $U(a,b)$ , jossa a ja b ovat jakauman parametrit.

## 5.4 Vartiokeskus (hälytysaika)

Hälytyksen normaalisti vaatiman ajan ja tilanteen hahmottamiseen ja päätöksentekoon liittyvän inhimillisen virheen aiheuttaman lisäviiveen oletetaan noudattavan tasajakaumaa seuraavasti:

$$\Delta t_H \propto U(a_1, b_1)$$

$$\delta t_H \propto U(a_2, b_2)$$

jossa  $a_i$  ja  $b_i$  ovat jakaumien parametrit.

Monte Carlo –analyysissä virheen aiheuttama lisäviive otetaan huomioon osassa tapahtumia inhimillisen virheen todennäköisyyden  $p_{HF}(t)$  mukaisesti (liite 1). Tällöin oletetaan, että vartiokeskuksen toiminnan aikaviive johtuu tilanteen hahmottamiseen ja päätöksentekoon kuluva ajasta. Mikäli vartiokeskuksen toimintaan liittyy muunlaisia aikaviiveitä ja virhelähteitä, tulee nämä mallintaa erikseen.

## 5.5 Palokunta

Palokunnalla tarkoitetaan tässä yhteydessä ydinvoimalaitoksen laitospalokuntaa. Palokunnan toiminnan vaatiman ajan kuvaamiseen käytetään Hietaniemen (2009) jaottelua, joka on esitetty liitteessä 2. Palokunnan toiminnan eri vaiheet esitetään tarkemmin seuraavissa kappaleissa. Merkintöjä on hieman muutettu liitteen 2 merkintöihin nähden, koska palokunnan malli on liitetty osaksi laajempaa kokonaisuutta, jossa on muitakin toimijoita.

### 5.5.1 Toimintavalmiusaika hälytyksestä kohteeseen

Tässä kohdassa käsitellään viive hälytyksestä siihen, kun sammutusyksikön auto on paikalla kohteessa eli aikaviive  $\Delta t_{FB,1}$ . Viivettä käsitellään tilastollisena suurena seuraavasti:

- viiveen keskimääräinen arvo määritellään eri laitoksilla tehtyjen harjoitusten keskimääräistä arvoa edustavan tunnusluvun mukaisesti tai, jos harjoituksista mitattua tietoa ei ole saatavilla, laitoksen tai palokunnan ilmoittaman arvion perusteella
- viiveen tilastollinen jakauma määritellään PRONTO – onnettomuustietokannan tiedoista johdettujen toimintavalmiusajan jakaumien perusteella (Tillander ym., 2009)

Soveltaminen ydinvoimalaitoksen laitospalokunnan toimintavalmiusajan tilastolliseen mallintamiseen tehdään seuraavasti:

- Oletetaan, että keskimääräinen laitospalokunnan toimintavalmiusaika  $\Delta t_{TV,NPP,mean}$  on kohdekohtainen ja tunnetaan esim. harjoitusten perusteella
- ”Tavallisista” tulipaloista tehtyjen tilastojen perusteella määritettävissä oleva toimintavalmiusaika  $\Delta t_{TV}$  lasketaan 3 suuren kaupungin (Helsinki, Turku, Tampere) uusimpien toimintavalmiusajan analysointien perusteella (Tillander ym., 2009). Koska näissä tilastoissa esiintyy merkintöjä sekä varsin lyhyistä (0-1 min) että hyvin pitkistä (jopa 2 tuntia) toimintavalmiusajoista, niissä esiintyviä tietoja ei käytetä sellaisenaan vaan karsittuina siten, että välin [2,5 min, 25 min] ulkopuolella olevat havainnot jätetään analyysin ulkopuolelle. Tällöin saadaan tulos, että ”tavallisissa” tulipaloissa toimintavalmiusaika voidaan kuvata 3-parametrisella gammajakaumalla, jonka tiheysfunktio on seuraava:

$$f(x) = \frac{(x - x_{\min})^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x - x_{\min}}{\beta}\right)}{\Gamma(\alpha)\beta^{\alpha}}, x \in [0, \infty], \beta > 0 \quad (6)$$

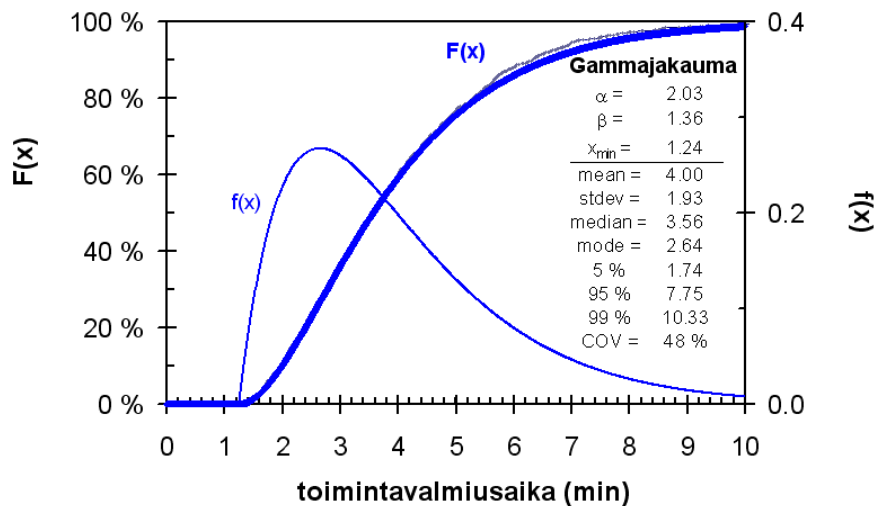
Jakauman parametrit ovat:  $\alpha=2,32$ ,  $\beta=2,05$  min ja  $x_{\min}= 2$  min. Jakauman tunnusluvut ovat: odotusarvo  $\mu_{TV} = 6,8$  min ja keskihajonta = 3,13 min

- Seuraavaksi ”tavallisista” tulipaloista saatu jakauma saatetaan normitettuun muotoon määrittelemällä tekijä  $\theta_{TV} = \Delta t_{TV}/\mu_{TV}$  eli toimintavalmiusaika normitettuna sen odotusarvolla. Tämän jakauman parametrit ovat  $\alpha=2,82$ ,  $\beta=0,27$  min ja  $x_{\min}= 0,24$  min. Jakauman tunnusluvut ovat: keskiarvo  $\mu_{TV} = 1$  ja keskihajonta = 0,45.
- Lopuksi keskimääräinen laitospalokunnan toimintavalmiusaika muunnetaan jakaumaksi käyttäen tekijää  $\theta_{TV}$ . Ydinvoimaloiden laitospalokuntien toimintavalmiusaika  $\Delta t_{FB,1}$  tilastollisena suurena esitettynä on:

$$\Delta t_{FB,1} = \theta_{TV} \otimes \Delta t_{TV,NPP,mean} \quad (7)$$

missä symboli  $\otimes$  tarkoittaa jakaumaksi muuntamista.

Esimerkiksi TVO:lla vuoden 2008 lopulla tehdyssä harjoituksessa toimintavalmiusaika oli suunnilleen 4 min, jolloin toimintavalmiusajan jakaumasta tulee kuvan 2 mukainen.

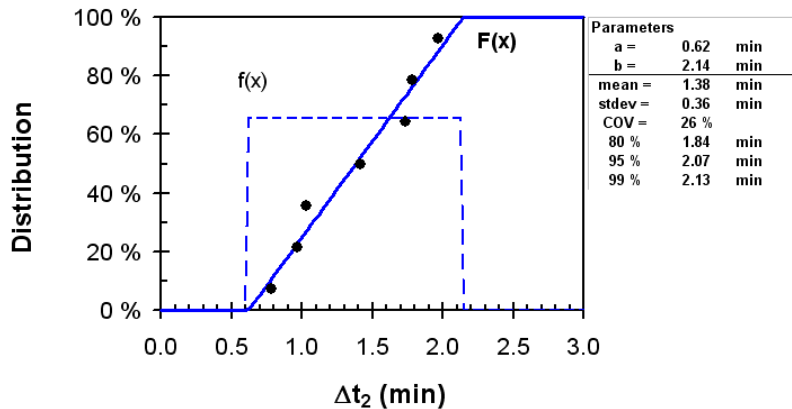


Kuva 2. Toimintavalmiusajan jakauma, kun  $\Delta t_{TV,NPP,mean}$  on 4 min.

### 5.5.2 Selvitysaika kohteen ulko-ovelle

Tässä kohdassa käsitellään viive siitä, kun sammutusyksikön auto on paikalla kohteessa siihen, kun sammutusyksikkö on ulko-ovella eli aika  $\Delta t_{FB,2}$ . Oletetaan, että ko. aikaviivettä voidaan käsitellä palotilanteesta riippumattomana tekijänä.

Hietaniemi (2009) on analysoinut TVO:n ydinvoimalaitoksissa tehdyissä harjoituksissa 2006 ja 2008 kerätyn tiedon käyttäen tasajakaumaa ja saanut kuvassa 3 esitetyt tulokset. Tasajakauman  $U(a,b)$  parametrit ovat:  $a=0,62$ ,  $b= 2,14$ .



Kuva 3. Aikaviiveen  $\Delta t_{FB,2}$  likimääräinen tasajakaumalla kuvattu malli.

Vertailun vuoksi liitteessä 3 on esitetty palokunnan selvitysaikoihin liittyviä viiveitä, jotka on mitattu Pelastusopiston ja VTT:n tutkimuksessa: ”Pelastusyksikön ensimmäisiin toimenpiteisiin kohteessa kuluva aika” (Jäntti ym, 2009).

### 5.5.3 Selvitysaika ulko-ovelta palotilan ovelle

Tässä kohdassa käsitellään viive  $\Delta t_{FB,3}$  siitä, kun sammutusyksikkö on ulko-ovella, siihen, kun sammutusyksikkö on palotilan luona valmiina aloittamaan sammuttamisen. Perusmalli tekijälle  $\Delta t_{FB,3}$  on tiettyjen välimatkojen  $S_k$  tietyllä vakionopeudella  $v_k$  kulkemiseen kuluva aika

$$\Delta t_{FB,3} = \frac{S_1}{v_1} + \frac{S_2}{v_2} + \dots + \frac{S_N}{v_N} \quad (8)$$

missä  $N$  on ulko-ovelta palotilaan johtavien välimatkojen lukumäärä, so. sammutusyksikön kuljettava kokonaismatka on:

$$S_{tot} = S_1 + S_2 + \dots + S_N \quad (9)$$

Jos oletetaan, että nopeus  $v_k$  riippuu vain siitä, kuljetaanko

- vaakatasossa, matka  $S_{hor}$ , nopeus  $v_{hor}$
- portaissa, matka  $S_{stair}$ , nopeus  $v_{stair}$

saadaan malli seuraavaan muotoon.

$$\Delta t_{FB,3} = \frac{S_{hor}}{v_{hor}} + \frac{S_{stair}}{v_{stair}} \quad (10)$$

Kun vielä oletetaan, että liikkuminen portaissa eroaa tasaisella alustalla liikkumisen nopeudesta vakioarvoisella skaalaustekijällä  $\zeta$ , saadaan:

$$\Delta t_{FB,3} = \frac{S_{hor}}{v_{hor}} + \frac{S_{stair}}{\xi \cdot v_{hor}} \quad (11)$$

Hietaniemen (2009) mukaan tasaisella alustalla liikkumisen nopeutta voidaan kuvata normaalijakaumalla, jonka keskiarvo on 1,34 m/s ja keskihajonta 0,14 m/s. Liikkumisnopeuden portaissa voidaan olettaa olevan noin 70 % tasaisella alustalla liikkumisen nopeudesta. Lisäksi tulisi huomioida, että koulutetun palomiehen kävelynopeus on ”tavallisen” ihmisen kävelynopeutta suurempi.

Vertailun vuoksi liitteessä 3 on esitetty palokunnan selvitysaikoihin liittyviä viiveitä, jotka on mitattu Pelastusopiston ja VTT:n tutkimuksessa: ”Pelastusyksikön ensimmäisiin toimenpiteisiin kohteessa kuluva aika” (Jäntti ym, 2009).

#### 5.5.4 Palon etsimiseen ja sammuttamiseen kuluva aika

Hietaniemi (2009) on analysoinut tekijöitä jotka haittaavat palotilassa liikkumista ja toimimista. Näitä ovat:

- Tilan savuisuus haittaa näkemistä ja hidastaa siten kulkemista
- Palomiehiin kohdistuu lämpörasitus, joka rajoittaa aikaa, jonka palomiehet voivat tilassa olla ja voi myös estää tilassa etenemisen
- Palotilaan muodostuvat myrkylliset palamistuotteet edellyttävät paineilmalaitteiden käyttöä ja rajoittavat aikaa, joka tilassa voidaan olla
- Palo, joka halutaan saada hallintaan voi olla voimakkuudeltaan niin suuri, että sen sammuttaminen vie runsaasti aikaa tai voi olla pahimmillaan niin voimakas, että sen sammuttaminen ei onnistu ensimmäisellä sammutushyökkäyksellä

Tässä tarkastelussa jätetään toistaiseksi huomioimatta sammuttamiseen kuluva aika ja oletetaan, että palo sammutetaan välittömästi, kunhan se on löydetty.

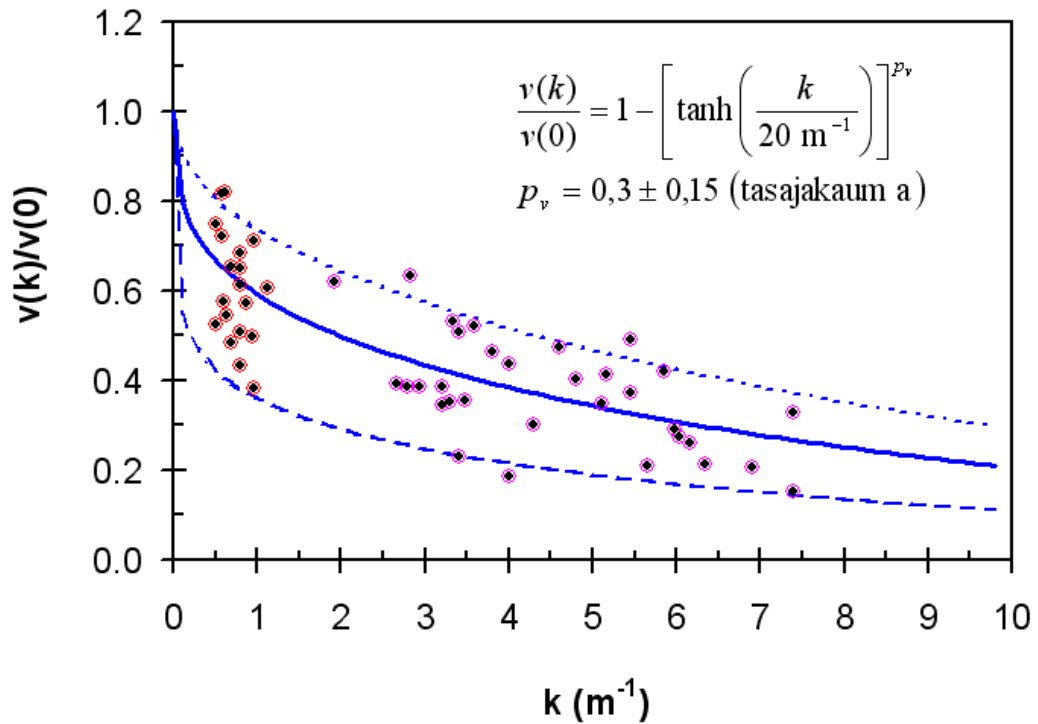
Hietaniemen (2009) mukaan liikkumisnopeutta savussa voidaan kuvata Jinin (1970, 1985, 1997) sekä (Franzich ja Nilssonin (2003) tutkimuksiin (kuva perustuvalla mallilla:

$$v(k) = \xi \cdot v(0) \quad (12)$$

$$\xi = 1 - \left[ \tanh\left(\frac{k}{20m^{-1}}\right)^{p_v} \right] \quad (13)$$

jossa

$v(k)$	= liikkumisnopeus savussa
$v(0)$	= liikkumisnopeus savuttomissa olosuhteissa
$\xi$	= savun tiheydestä riippuva liikkumisnopeuden alennuskerroin
$k$	= savuntiheys ( $m^{-1}$ )
$p_v$	= $0,3 \pm 0,15$ (tasajakauma)



Kuva 4. Tyypillisellä savuttomassa tilassa esiintyvällä keskimääräisellä etenemisnopeudella  $v(0) = 1,2 \text{ m/s}$  normitettu liikkumisnopeus savussa. Punaiset pisteet ovat Jinin (1970, 1985, 1997) sekä Franzich ja Nilssonin (2003) tutkimuksissa mitattuja arvoja.

Palomallista saadaan savuntiheys, jonka perusteella voidaan laskea liikkumisnopeus palotilassa ja liikkumiseen kuluva aika, kun tiedetään matka palotilan ovelta palon luokse ja oletetaan, että eteneminen tapahtuu suoraviivaisesti.

Muut liikkumista haittaavat tekijät jätetään toistaiseksi tarkastelussa huomioonottamatta.

Vertailun vuoksi liitteessä 3 on esitetty palon etsimiseen kuluvia aikoja, jotka on mitattu Pelastusopiston ja VTT:n tutkimuksessa: ”Pelastusyksikön ensimmäisiin toimenpiteisiin kohteessa kuluva aika” (Jäntti ym, 2009).

### 5.5.5 Palokunnan virheestä aiheutuva viive

Palokunnan toiminnassa tapahtuvasta virheestä aiheutuvaa lisäviivettä  $\delta t_{\text{FB}}$  kuvataan tasajakaumalla seuraavasti:

$$\delta t_{\text{FB}} \propto U(a,b)$$

jossa  $a$  ja  $b$  ovat jakauman parametrit.

Toiminnassa tapahtuvan virheen oletetaan olevan satunnainen ja tapahtuvan todennäköisyydellä  $p_{\text{FB}}$ .

## 5.6 Sähkömies

Sähkömiesten toiminta-aikaa tullaan jatkossa selvittämään tarkemmin, mutta tässä vaiheessa sähkömiehen toiminnan normaalisti vaatiman ajan ja virheen aiheuttaman lisäviiveen oletetaan noudattavan tasajakaumaa seuraavasti:

$$\Delta t_S \propto U(a_1, b_1)$$

$$\delta t_S \propto U(a_2, b_2)$$

jossa  $a_i$  ja  $b_i$  ovat jakaumien parametrit.

Toiminnassa tapahtuvan virheen oletetaan olevan satunnainen ja tapahtuvan todennäköisyydellä  $p_S$ .

## 6 Toteutus

Malli on toteutettu Excel-laskentatyökaluna ja voidaan liittää PFS-ympäristöön (Hostikka ym. 2003) erillisenä välilehtenä. Toteutuksessa on pyritty informatiivisuuteen ja helppokäyttöisyyteen, mutta tarvittavien lähtötietojen määrä on varsin suuri.

## 7 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Edellä esitetty ensimmäinen versio operatiivisen toiminnan laskentamallista on kehitetty työkalumuotoon, mutta työkalun toimivuuden kannalta olennaisten mallinnusparametrien tunnistamisessa on haasteita, koska lähtötietoa on runsaasti ja todellisuuteen perustuvaa mittaustietoa eri toimijoiden aikaviiveistä ei ole riittävästi saatavilla. Mallintamisen luotettavuuden kannalta asiantuntija-arvioilla on suuri merkitys.

Mallin edelleen kehittäminen edellyttää, että FIRAS-projektin ad hoc –ryhmän edustajien ja muiden tarvittavien asiantuntijoiden kanssa käydään läpi mallinnettavassa skenaariossa tarkasteltavaa operatiivista toimintaa paremman kokonaiskäsityksen muodostamista ja puuttuvien tietojen selvittämistä varten. Esim. joidenkin toimijoiden roolista prosessissa ei ole vielä riittävästi tietoa, joten tarkennuksia tarvitaan näiltä osin. Palotilanteen hallintaan liittyviä toimintatapoja, toimijoiden välisiä kytkentöjä ja toiminta-aikoihin vaikuttavia seikkoja pohditaan asiantuntijoiden tiedon ja kokemusten pohjalta ja hyödyntämällä CHARISMA-projektissa kehitetyn lähestymistavan avulla saatuja tutkimustuloksia (esim. Hukki & Holmberg 2006). Keskustelujen perusteella mallia kehitetään asteittain vastaamaan paremmin todellisuutta. Asiantuntijaryhmän kokoontuminen järjestetään keväällä 2010.

## Lähdeviitteet

Bladh, K., Holmberg, J. & Pyy, P. 2009. An evaluation of the Enhanced Bayesian THERP method using simulator data. *Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications* – Martorell et al. (eds) © 2009 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-48513-5

Frantzich, H. & Nilsson, D. Utrymning genom tät rök: beteende och förflyttning. Lund: Lund University: Report 3126. 2003. 75 s. ISSN: 1402-3504. ISRN: LUTVDG/TVBB--3126--SE

Hietaniemi, J., 2009. Palokunnan operatiivisten toimien vaatimien aikojen arviointimalli ydinvoimalaitoksille.

Hietaniemi, J. & Hukki, K., 2009. Ydinvoimalaitosten paloriskien kokonaisvaltainen hallinta yhdistämällä palotapahtuman fysikaalinen ja ihmisen toiminnan mallintaminen: alustavia tarkasteluja. VTT-R-03215-09.

Holmberg, J. & Pyy, P. 2000. An expert judgement based method for human reliability analysis of Forsmark 1 and 2 probabilistic safety assessment. In: Kondo, S. & Furuta, K. (eds.), *Proc. of the 5th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM 5)*, Osaka, JP. Vol. 2/4. Universal Academy Press, Tokyo, pp. 797–802.

Hostikka, S., Keski-Rahkonen, O. & Korhonen T., 2003. Probabilistic Fire Simulator, Theory and User's Manual for Version 1.2., Espoo 2003. VTT Publications 503. 72p. + app.1p.

Hostikka, S., Matala, A. and Mangs, J., 2008. Probabilistic Fire Simulation of Cable Room – Preliminary Simulations of Cable-Originated Fires. Working report for the 2007 contribution to Firas, task 2.1. Espoo 2008.

Hukki, K. & Holmberg, J.-E. 2006. Systeeminen näkökulma ydinvoimalaitoksen palotilanteiden riskitietoiseen hallintaan. Vuoden 2005 työraportti. VTT:n tutkimusraportti VTT-R-06-00074.

Jin, T. Visibility Through Fire Smoke. *Journal of Fire and Flammability*, Vol. 9, No. 2, p. 135-155, April 1978, 1970.

Jin, T.; & Yamada, T. Irritating Effects of Fire Smoke on Visibility. *Fire Science and Technology*, Vol. 5, No. 1, 79-90, September 1985.

Jin, T. Studies on Human Behavior and Tenability in Fire Smoke. *International Association for Fire Safety Science. Fire Safety Science. Proceedings. Fifth (5th) International Symposium. March 3-7, 1997, Melbourne, Australia, Intl. Assoc. for Fire Safety Science, Boston, MA, Hasemi, Y., Editor, 3-21 pp, 1997.*

Jäntti, J., Miettinen, P. & Tillander, K., 2009. Pelastusyksikön ensimmäisiin toimenpiteisiin kohteessa kuluva aika. Pelastusopiston julkaisu, B-sarja: Tutkimusraportit 3/2009. 90 s., 3 liitettä (28 s). Joulukuu 2009.



Kolaczowski, A., Forester, J. Lois, E. & Cooper, S.. 2005: "Good Practices for Implementing Human Reliability Analysis (HRA)", NUREG-1792, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington DC, USA, April 2005.

NUREG/CR-6850. EPRI/NRC\_RES Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities. Volume 1: Summary and Overview. EPRI 1011989, NUREG/CR-6850. Final Report. September 2005.

Kolaczowski, A., Forester, J., Gallucci, R., Klein, A., Bongarra, J., Qualls, P. & Barbadoro, P. 2007. Demonstrating the Feasibility and Reliability of Operator Manual Actions in Response to Fire. Final Report. NUREG-1852. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Office of Nuclear Regulatory Research. October 2007.

Swain, A.D. & Guttman H.E. 1983. Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications. NUREG/CR-1278, Sandia National Laboratories, Albuquerque, USA, 554 p.

Tillander, K., Oksanen, T. & Kokki, E. 2009. Paloriskin arvioinnin tilastopohjaiset tiedot. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2479. 106 s. + liit. 5 s.

Veibäck E., 2008. Säkerhetsanalys av brandbekämpning i kritiska utrymmen på Forsmark 1. Examensarbete 30 hp. UPTEC STS08 026. Uppsala Universitet. Maj 2008.

## Liite 1: Inhimillisen erehtymisen aikariippuvuuteen perustuva mallintaminen

### Malli

Tässä esitetty kuvaus inhimillisen erehtymisen mallista on pääosin lainattu Hietaniemen & Hukin raportista (2009), jossa on tehty alustavia tarkasteluja palon sammuttamiseen tähtäävän operatiivisen toiminnan huomioonottamisesta osana Monte Carlo –mallinnusta, jonka tavoitteena on vikaantumisriskin arviointi palotilanteessa.

Mitä enemmän aikaa ihmisellä tai ihmisryhmällä on aikaa muodostaa käsitys meneillään olevasta häiriö- tai uhkatilanteesta, sitä pienempi on virheellisen johtopäätöksen ja sitä seuraavan väärän toimenpiteen todennäköisyys. Kvantitatiivisesti tämä ilmaistaan monesti käyttäen Swainin & Guttmannin (1983) esittämää inhimillisen erehtymisen todennäköisyyden perusaikariippuvuutta  $p_0(t)$  modifioituna käyttäytymistä muokkaavilla tekijöillä (Performance Shaping Factors, PSF),  $K_i$ . Tämä riippuvuus kirjoitetaan usein muodossa (Bladh ym., 2009; Holmberg & Pyy 2000)

$$p(t) = \min \left\{ 1, p_0(t) \cdot \prod_{i=1}^n K_i \right\}, \quad (1)$$

missä  $t$  on päätöksentekoon ja toimintaan käytettävissä oleva aika.

### Inhimillisen erehtymisen todennäköisyyden aikariippuvuutta kuvaava perusfunktio

Swainin & Guttmannin (1983) esittämä inhimillisen erehtymisen todennäköisyyden perusaikariippuvuus  $p_0(t)$  on esitetty kuvassa 1.

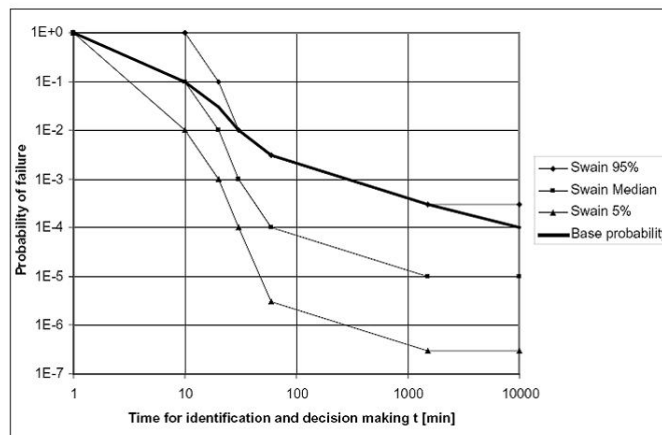


Figure 2. Time-dependent human error probability curve.

*Kuva 1. Swainin & Guttmannin (1983) esittämä inhimillisen erehtymisen todennäköisyyden perusaikariippuvuus  $p_0(t)$ .*

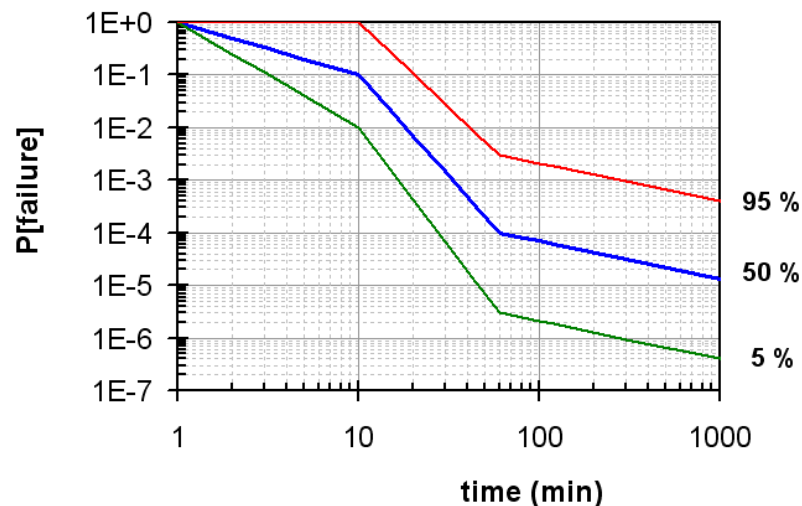
Tämä käyrän eri fraktiiliarvot voidaan riittävällä tarkkuudella mallintaa käyttäen kolmea potenssifunktiota, so. kullekin fraktiilikäyrälle pätee (Hietaniemi & Hukki, 2009)

$$p_0(t) = \begin{cases} a_1 \cdot t^{p_1}, & t \in [1 \text{ min}, 10 \text{ min}] \\ a_2 \cdot t^{p_2}, & t \in [10 \text{ min}, 60 \text{ min}] \\ a_3 \cdot t^{p_3}, & t \in [60 \text{ min}, 1500 \text{ min}] \end{cases}, \quad (2)$$

jossa esiintyvät parametriarvot voidaan määrittää kuvasta 1 luettavissa olevista tiedoista. Nämä tulokset esitetään koottuna alla olevaan taulukkoon. Annettuja parametreja käyttäen lasketut käyrät esitetään kuvassa 2.

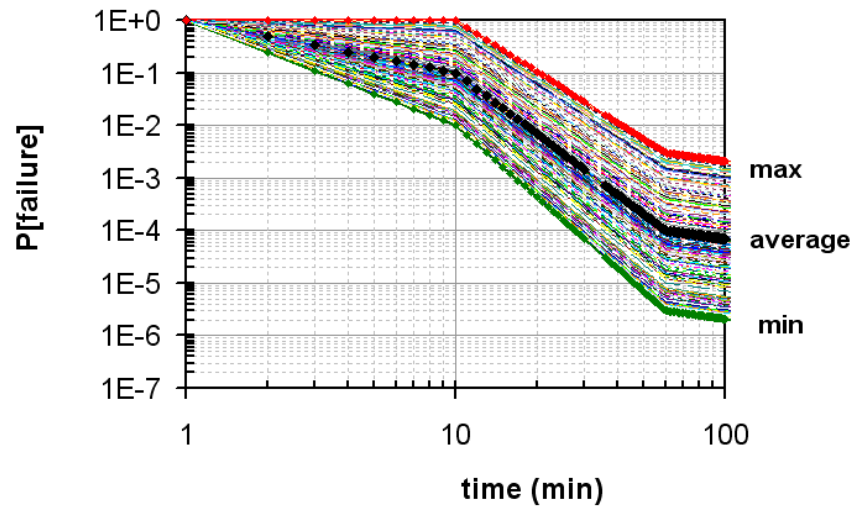
*Taulukko 1. Swainin & Guttmannin [1983] esittämän inhimillisen erehtymisen todennäköisyyden perusaikariippuvuuden parametrusointi(Hietaniemi & Hukki, 2009).*

	<b>MEDIAN</b>	<b>5 %</b>	<b>95 %</b>
<b>t<sub>1</sub> (min)</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>t<sub>2</sub> (min)</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>t<sub>3</sub> (min)</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
<b>t<sub>4</sub> (min)</b>	<b>1500</b>	<b>1500</b>	<b>1500</b>
<b>p(t<sub>1</sub>) =</b>	<b>1E+00</b>	<b>1E+00</b>	<b>1E+00</b>
<b>p(t<sub>2</sub>) =</b>	<b>1E-01</b>	<b>1E-02</b>	<b>1E+00</b>
<b>p(t<sub>3</sub>) =</b>	<b>1E-04</b>	<b>3E-06</b>	<b>3E-03</b>
<b>p(t<sub>4</sub>) =</b>	<b>1E-05</b>	<b>3E-07</b>	<b>3E-04</b>
<b>a1</b>	<b>1.00000</b>	<b>1.00000</b>	<b>1.00000</b>
<b>p1</b>	<b>-1.00000</b>	<b>-2.00000</b>	<b>0.00000</b>
<b>a2</b>	<b>716.62446</b>	<b>336.69886</b>	<b>1746.36295</b>
<b>p2</b>	<b>-3.85529</b>	<b>-4.52724</b>	<b>-3.24214</b>
<b>a3</b>	<b>0.00187</b>	<b>0.00006</b>	<b>0.05612</b>
<b>p3</b>	<b>-0.71534</b>	<b>-0.71534</b>	<b>-0.71534</b>



*Kuva 2. Taulukossa 1 esitettyjä parametreja käyttäen lasketut likimääräiset esitykset inhimillisen erehtymisen todennäköisyyden perusaikariippuvuuden eri fraktiileille.*

Eri fraktiilit yhdistävä tilastollinen malli laaditaan käyttäen tasajakaumaa siten, että keskimääräistä arvoa kuvaavana suurena käytetään mediaania, minimiarvoa kuvaavana tekijänä 5 %:n fraktiilia ja maksimiarvoa kuvaavana tekijänä 95 %:n fraktiilia. Joukko näin määritettyjä todennäköisyyskäyriä esitetään kuvassa 3.



Kuva 3. Esimerkki tasajakaumaa käyttäen saadusta todennäköisyysjakaumien otoksesta.

### Käyttäytymiseen vaikuttavat tekijät

Käyttäytymiseen vaikuttavat ns. PSF-tekijät  $K_i$  kuvaavat esim. seuraavia seikkoja:

- $K_1$ : toimenpiteisiin ja niihin liittyvään ohjeistukseen liittyvä tekijä, joka ilmaisee toimenpiteiden laadun ja asianmukaisuuden merkityksen
- $K_2$ : koulutukseen/harjoitteluun liittyvä tekijä
- $K_3$ : prosessiin liittyvä tekijä
- $K_4$ : vuorovaikutustarpeisiin liittyvä tekijä
- $K_5$ : tilanteen henkiseen kuormittavuuteen liittyvä tekijä

Käyttäytymistä muokkaaville tekijöille annetaan yleensä arvot  $K_i = 1/5, 1/2, 1, 2$  ja  $5$  [Bladh, Holmberg & Pyy 2009, Holmberg & Pyy 2000]. Nämä arvot voidaan tulkita seuraavasti:

- Holmbergin & Pyy [2000] mukaan arvo 1 vastaa toimijan suhteen neutraalia tilannetta, ykköistä pienemmät arvot vastaavat neutraalia tilannetta helpompia tilanteita ja ykköistä suuremmat arvot vastaavat neutraalia tilannetta vaativampia tilanteita.
- Bladhin, Holmbergin & Pyy 2009 esittämä tulkinta on seuraava:
  - arvo 1 vastaa nimellistä (nominal) tilannetta (eli vastaa tyypillistä työssä eteen tulevaa haastetta)
  - esimerkiksi tekijän  $K_1$  (toimenpiteet & ohjeistus) suhteen eri arvot vastaavat seuraavia tilanteita:
    - $K_1 = 1/5$ : erittäin hyvät toimintaohjeet, operaattoreiden ei tulisi tehdä virheitä,
    - $K_1 = 1/2$ : hyvät toimintaohjeet, jotka tukevat hyvin tilanteen vaatimia toimenpiteitä,
    - $K_1 = 1$ : toimintaohjeilla ei ole merkittävää osuutta tilanteessa,
    - $K_1 = 2$ : toimintaohjeet ovat tärkeitä, mutta ne ovat epätäydellisiä,
    - $K_1 = 5$ : toimintaohjeita ei ole olemassa tai ne ovat harhaanjohtavia; ohjeita tarvittaisiin.

PSF-tekijöiden arvoilla on suuri vaikutus inhimillisen virheen esiintymistodennäköisyyteen. Eri PSF-tekijöiden esiintymistodennäköisyydet vaihtelevat tilanteesta, henkilökunnan valmiuksista yms. tekijöistä riippuen.

Mallia sovellettaessa valitaan aina kulloiseenkin tilanteeseen soveltuvat tekijät, jotka voivat liittyä esimerkiksi seuraaviin seikkoihin (Kolaczowski ym, 2005):

- ajan riittävyys
- stressi
- päätöksenteon haastavuus
- toimenpiteen toteutuksen haastavuus
- kokemus ja harjoitus
- ohjeet ja ohjaus
- ihminen-kone –rajapinta
- ergonomia
- laitteiden toimivuus
- toimintatapa
- kommunikaatio
- yhteistoiminta

### Inhimillisten erehdysten seuraamusten mallintaminen

Mallintamisessa sovelletaan hyvin yksinkertaista aikaviiveeseen perustuvaa lähestymistapaa, joka perustuu oletukseen, että virheen seuraamus heijastuu pääasiallisesti palontorjunnan viivästymisenä, mikä puolestaan lisää palon kestoaikaa ja siten pahentaa sen mahdollisia seuraamuksia: jos toimenpide ilman virheitä vie ajan  $\Delta t$ , niin virhe pidentää tuota aikaa  $\delta t$  eli

$$\Delta t \xrightarrow{\text{virhe}} \Delta t + \delta t . \quad (3)$$

Sekä toimenpiteen normaalisti vaatiman ajan että virheen tuottaman aikaviiveen oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi noudattavan tasajakautumaa:

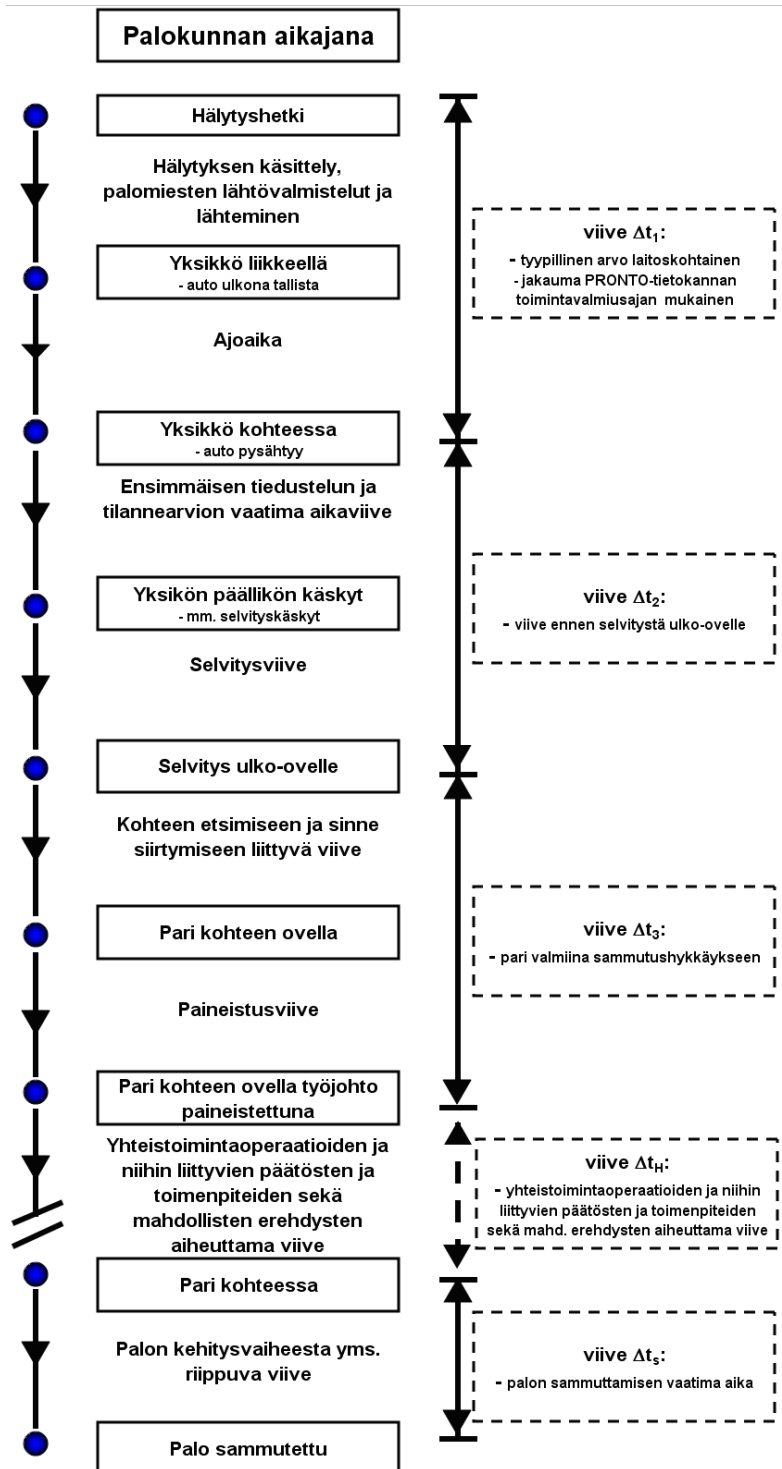
$$\begin{aligned} \Delta t &\propto U(a_1, b_1) \\ \delta t &\propto U(a_2, b_2) \end{aligned} \quad (4)$$

missä  $a_i$  ja  $b_i$  ovat jakaumien parametrit.

Virheen tapahtumista voidaan arvioida Monte Carlo – menetelmää käyttäen seuraavasti:

- arvotaan viiveelle  $\Delta t$  jokin arvo tasajakaumasta  $U(a_1, b_1)$
- lasketaan edellä esitettyjä menetelmiä käyttäen tätä viivettä vastaava todennäköisyys  $p(\Delta t_s) = \min \left\{ 1, p_0(\Delta t_s) \cdot \prod_{i=1}^n K_i \right\}$ .
- arvotaan mielivaltainen todennäköisyyslukema  $p_{rand}$  tasajakaumasta  $U(0,1)$
- virheen katsotaan toteutuvan jos  $p_{rand} < p(\Delta t_s)$ .
- arvotaan viiveelle  $\delta t$  jokin arvo tasajakaumasta  $U(a_2, b_2)$

## Liite 2: Palokunnan aikajana



Kuva 1. Kaaviollinen esitys ydinvoimalaitoksen palokunnan toiminnan aikajanasta (Hietaniemi, 2009)

### Liite 3: Palokunnan selvitysaikoihin liittyviä viiveitä

Pelastusopiston ja VTT:n tutkimuksessa ”Pelastusyksikön ensimmäisiin toimenpiteisiin kohteessa kuluva aika” (Jäntti ym., 2009). kerättiin valituista onnettomuustapauksista todellisiin mittauksiin pohjautuvaa tietoa siitä, kuinka paljon aikaa eri toimintoihin kuluu kohteeseen saapumisen jälkeen. Toinen tutkituista tapauksista oli huoneistopalo 3. kerroksessa 7 m maanpintaa ylempänä olevassa huoneistossa. Mittaukset tehtiin pelastusopiston harjoitusalueen palotalossa kahdella eri yksikkövahvuudella (1+5 ja 1+3). Tulokset on esitetty taulukossa 1. Kannattaa huomata, että palon sammuttamiseen kulunut aika on käytännössä kulunut palon etsimiseen, koska palo oli helposti sammutettava.

*Taulukko 1. Osasuorituksiin harjoituksissa kuluneet ajat (Jäntti ym., 2009)*

N=64	Mediaani	Kvartiiliväli	
		Q1	Q3
Tiedustelu	0	0	0
Pääjohdon selvitys alaovelle ja pääjohdon paineistus	1 min 59 s	1 min 22 s	2 min 21 s
Odotusaika vuorojakoliittimellä	- 50 s <sup>(1)</sup>	-1 min 27 s	- 33 s
Työjohdon selvitys alaovelta 3. kerrokseen	49 s	42 s	54 s
Työvaran selvitys 3. kerroksen tasanteella	1 min 5 s	51 s	1 min 16 s
Työjohdon paineistus	49 s	34 s	1 min 16 s
Oven murtamisaika suhteessa työjohdon paineistamiseen	33 s <sup>(2)</sup>	10 s	58 s
Ovesta sisään menoaika	18 s	10 s	27 s
Palon sammuttamiseen kulunut aika	55 s <sup>(3)</sup>	30 s	1 min 49 s
<b>Kokonaisuus</b>	<b>5 min 54 s</b>	<b>4 min 57 s</b>	<b>7 min 17 s</b>

1)Negatiivinen aika tarkoittaa sitä, että parit lähtivät selvittämään työjohtoa portaisiin keskimäärin (mediaani) 50 s aikaisemmin kuin vesi oli vuorojakoliittimellä alaovella

2) Viisi kertaa ovi murrettiin ennen kuin työjohtoselvitys oli valmis ja vesi suihkuputkella. Nämä viisi negatiivista aikaa lyhentävät myös keskimääräistä aikaa

3) Tässä harjoituksessa ei ollut kyse tunkeutumisesta kuumia palokaasuja sisältävään tilaan. Yhdessä huoneessa poltettiin ikkunaluukku auki palavaa nestettä pienessä paljussa tai puun palasia tynnyrissä, jotka sammuiivat helposti.