



Selvitys sprinklerilaitteistojen luotettavuudesta

Mikko Nieminen

Paloturvallisuussuunnittelija

DI, Rakennustekniikka

Palotekninen Insinööritoimisto Markku Kauriala Oy

Esityksen sisältö

- Tutkimuksen tavoite
- Sprinklerilaitteiston luotettavuuden arviointimenetelmät
- Systemipohjainen tarkastelu
- Komponenttipohjainen tarkastelu
- Sprinklerilaitteiston luotettavuuden hyödyntäminen paloturvallisuussuunnittelussa
- CASE-kohteet: Puukerrostalo & teräsrakenteinen kauppakeskus



Tutkimuksen tavoite

Esitys perustuu TTY:n palotekniikan ryhmässä tehtyyn diplomityöhön.

Tutkimuksen tavoite oli selvittää:

- 1) tyypillisten rakennuskohteiden sprinklerilaitteistojen luotettavuustasoja käytännön paloturvallisuussuunnittelun sekä viranomaistoiminnan tueksi,
- 2) mitä asioita tulee ottaa huomioon luotettavuutta määritettäessä ja minkälaisia epävarmuuksia saatuihin arvoihin liittyy,
- 3) millaiset vaikutukset sprinklerilaitteistojen luotettavuudella on oletettuun palonkehitykseen perustuvassa suunnittelussa.



Sprinklerilaitteiston luotettavuuden arviointimenetelmät

1) Systemipohjainen menetelmä

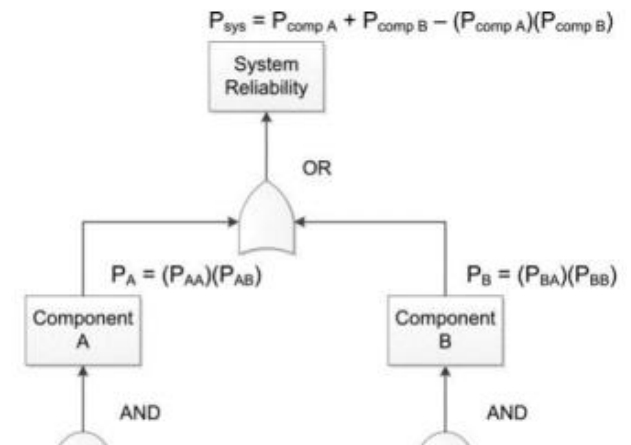
- Laitteistojen toimivuutta arvioidaan tutkimalla aiemmista palotapauksista koottuja tietokantoja ja tilastoja.
- Palotilastojen avulla arvioidaan suoraan koko sprinklerilaitteiston luotettavuutta.

2) Komponenttipohjainen menetelmä

- Muodostetaan laitteiston toimintaa kuvaava vikapuu.
- Laitteiston yksittäisille komponenteille määritetään toimintavarmuusarvio.
- Lasketaan vikaantumistodennäköisyys vikapuun avulla.

	Onnistui	Epäonnistui	Ei tied.
Sammutti tai rajoitti	755		
Toiminta puutteellista	6	4	3
Laitteisto ei toiminut			
- Palo rakennuksen tai suo-			

$$P(\text{Onnistuminen}) = \frac{\text{Tapaukset, joissa laitteiston toiminta onnistui}}{\text{Kaikki tapaukset, joissa laitteiston olisi pitänyt toimia}}$$



Systemipohjainen tutkimus

Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto PRONTO

- Tutkittiin Suomessa vuosina 1996-2016 sattuneet rakennuspalot.
- Tutkimus rajattiin yleissuojattuihin kohteisiin.
- Tutkimukseen sisällytettiin vain palot, joissa sammutuslaitteisto olisi voinut reagoida paloon.
 - Esimerkiksi tapaukset, joissa palo sammui itsestään tai se sammutettiin ennen kuin lämpötila nousi sprinklerin reagoimisen vaatimalle tasolle, jätettiin pois.
 - Kaikista onnettomuusselostuksista ei selvinnyt täyttikö palo tämän kriteerin ja niihin tapauksiin pyrittiin saamaan lisätietoja kohteen käyttäjältä.



Systemipohjainen tutkimus

Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto PRONTO

PRONTO-luokittelu	Laitteiston toiminta tapauksessa			
	Onnistui	Epäonnistui	Ei tietoa	Tapaus ei täytä kriteerejä
Sammutti tai rajoitti	755			15
Toiminta puutteellista	6	4	3	57
Laitteisto ei toiminut				
- Palo rakennuksen tai suojatun alueen ulkopuolella tai laitteisto ei ehtinyt toimia				1920
- Inhimillinen virhe tai laitteisto ei toiminut muusta syystä		5	3	53
Yhteensä	761	9	6	2045
Luotettavuusprosentti	98,1 %			

761 tapauksessa

sprinklerilaitteisto onnistui sammuttamaan tai rajoittamaan palon.

Yhteensä 15 tapauksessa

toiminta arvioitiin epäonnistuneeksi

9 tapauksessa

laitteiston toiminta selvästi epäonnistui

6 tapauksessa

toiminnan onnistumiseen ei saatu varmuutta.

Näiden perusteella laitteistojen luotettavuusprosentti = 98,1 %



Systemipohjainen tutkimus

Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto PRONTO

15 epäonnistuneeksi arvioitua tapausta:

- 10 teollisuusrakennuksissa
 - 2 putkisto jäässä
 - 2 laitteisto ei käytössä
 - 6 ei tarkempaa tietoa
- 2 ravintoloissa
 - 2 suutin rasvan peitossa
- 1 vanhainkodissa
 - Sähkönsyöttö katkesi, ei varavoimaa
- 1 autohallissa
 - Laitteisto ei käytössä
- 1 koulussa
 - Ei tarkempaa tietoa



Systemipohjainen tutkimus

Selvitys kansainvälisestä tutkimusaineistosta

19 kansainvälistä systemipohjaista tutkimusta (Yhdysvallat, Kanada, Australia, Uusi-Seelanti ja Iso-Britannia)

Tutkimusten antamissa luotettavuusarvioissa **hyvin laaja hajonta**

Erot tuloksissa johtuivat monista seikoista:

- Käytettävän aineiston ja raportoinnin laatu
- Erot tulkinnoissa (aineiston valinta, onnistuneen sammutuksen kriteerit)
- Tulipalot, jotka eivät aktivoineet sprinklerilaitteistoa



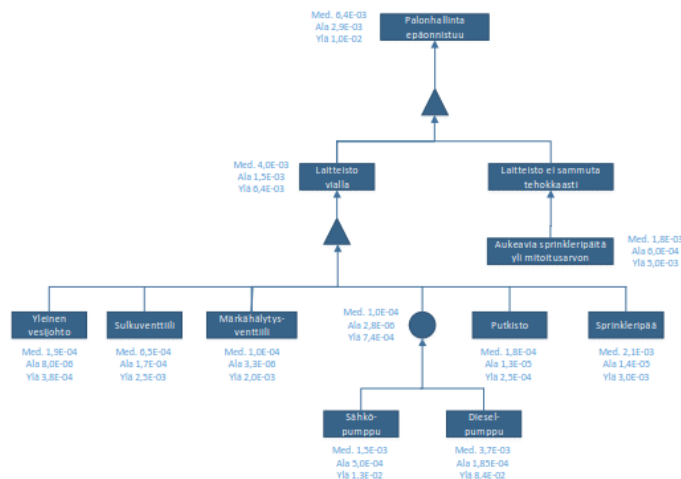
Kansainvälisten tutkimustulosten käyttö laitteistojen luotettavuuden arvioinnissa todettiin erittäin vaikeaksi.



Komponenttipohjainen tutkimus

Menetelmä

- 1) Vikapuun muodostaminen
- 2) Komponenttien vikaantumistodennäköisyyksien määrittäminen
- 3) Vikapuulaskenta
- 4) Tulosten tulkitseminen

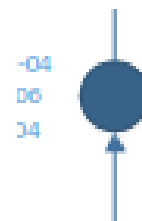


Component	Current study		
	Mean value	95% confidence	n
Alarm valve	20.3×10^{-4}	29.4×10^{-4}	21
Main stop valve	2.33×10^{-3}	3.19×10^{-3}	20
Zone isolation valve due to tenancy changes	2.24×10^{-2}	3.17×10^{-2}	21
Ordinary Stop valve	0.67×10^{-3}	0.96×10^{-3}	22



TAI-portti

$$P = 1 - (1 - P_1) * (1 - P_2)$$



JA-portti

$$P = P_1 * P_2$$



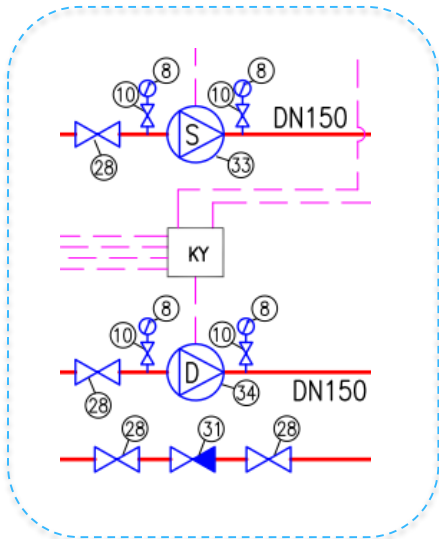
Komponenttipohjainen tutkimus Vikapuun muodostaminen

- Ensimmäisenä määritetään ei-toivottu tapahtuma (palonhallinta epäonnistuu).
- Vikapuu muodostetaan vastaamaan laitteiston toimintaa.
 - Vikapuu muodostetaan tapauskohtaisesti perustuen aina kyseisen laitteiston komponentteihin.
- Palonhallinta voi epäonnistua yksittäisen komponentin vikaantumisen seurauksena tai vaatia useamman komponentin vikaantumisen.
 - Yhdistelmiä kuvataan JA- sekä TAI-porteilla.
- Tutkimuksessa muodostettiin sprinklerilaitteiston tyypillisistä komponenteista yksi vikapuu ja lisäksi kahdesta case-kohteesta omat vikapuut.

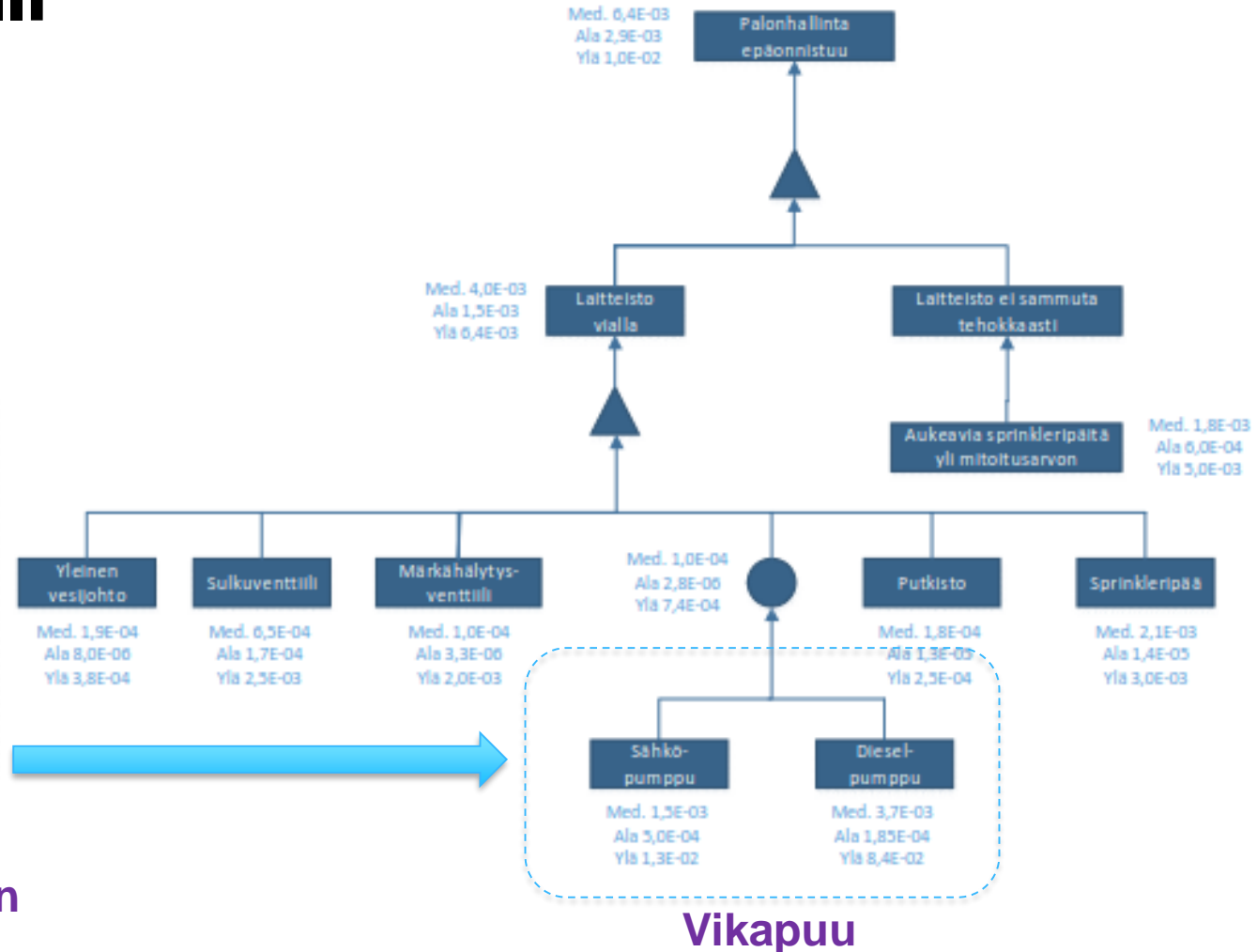


Komponenttipohjainen tutkimus

Vikapuumalli



**Sprinklerilaitteiston
kytkentäkaavio**



Vikapuu



Komponenttipohjainen tutkimus

Komponenttien vikaantumistodennäköisyydet

- Komponenttien vikaantumistiedot esitetään vikaantumisen todennäköisyytenä tarvittaessa tai vikaantumistaajuutena.
- Vikapuuhun tarvitaan vikaantumisen todennäköisyys tarvittaessa.
 - Voidaan laskea vikaantumistaajuuden ja tarkastusvälin avulla.
 - $P = 1 - e^{-\lambda t}$
- Tarkastusvälit määritettiin Sprinklerilaitteiston kunnossapito-ohjelman laadintaohjeessa annettujen ohjeistusten mukaan.
- Komponenttien vikaantumistietoja oli saatavilla vähän ja ne vaihtelivat paljon eri lähteiden välillä.
 - Tutkimukseen otettiin kaikki vikaantumistodennäköisyydet.



Komponenttipohjainen tutkimus

Vikapuulaskenta

- Vikapuulaskennassa hyödynnettiin Monte Carlo –simulointia, koska lähtöarvot olivat epätarkkoja.
- Jokaisen komponentin vikaantumistodennäköisyyksistä muodostettiin erillinen kolmiojakauma.
- Kolmiojakaumista poimittiin satunnaisesti vikaantumistodennäköisyyden arvot ja suoritettiin vikapuumallin mukainen laskenta.
 - JA-portissa $P = P_1 * P_2$
 - TAI-portissa $P = 1 - (1 - P_1) * (1 - P_2)$
- Simulaatio toistettiin 1000 kertaa.
- Yleisessä tapauksessa sprinklerilaitteiston luotettavuus oli 99,4 % (99,0 – 99,7 %).



Sprinklerilaitteiston luotettavuuden huomioiminen paloturvallisuussuunnittelussa

Asetus rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) mukaan:

Taulukkomitoitus

Jos rakennus on varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla, joka täyttää käyttökohteen mukaiset vaatimukset, määräykset sallivat **lievennyksiä rakennuksen paloteknisiin vaatimuksiin**. Laitteiston tulee olla käyttökohteessaan riittävän luotettava. Laitteiston luotettavuusprosenttia ei voida huomioida.

Oletettu palonkehitys

Rakennuksen turvallisuustasoa tarkastellaan todennäköisyyspohjaisella riskitarkastelulla. Mitoituksen **hyväksymisperusteena voidaan käyttää nykyistä turvallisuustasoa vastaavaa vähimmäisvaatimusta**.

Sprinklerilaitteisto pienentää hallitsemattomien palojen todennäköisyyttä ja **laitteiston luotettavuudella on merkittävä vaikutus paloriskianalyysin tuloksiin**.



Oletettu palonkehitys

Hyväksytyä turvallisuustasoa vastaavaksi vähimmäisvaatimukseksi määritetään yleensä **vertailuratkaisu**, joka on yleensä asetuksen 848/2017 paloluokkiin ja lukuarvoihin perustuva ratkaisu.

$$p_{ver} = (1 - p_{alk}) * (1 - p_{pk,cr})$$

Vertailuratkaisu

\geq

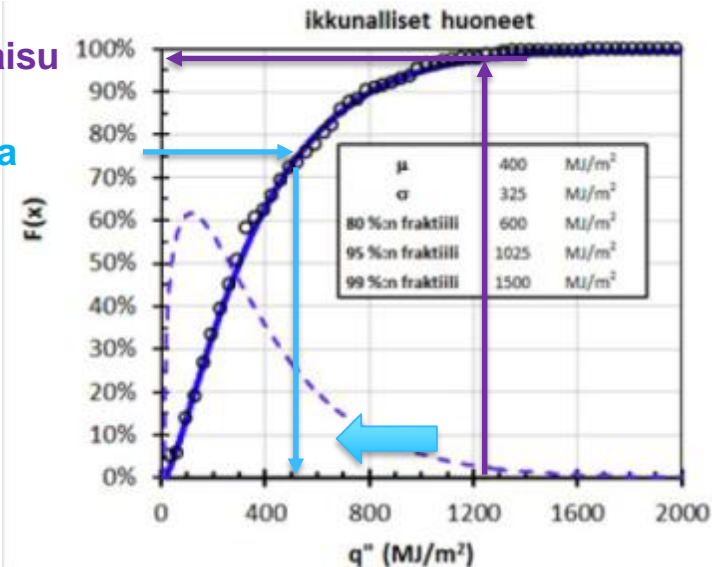
$$p_{uhk} = (1 - p_{spr}) * (1 - p_{alk}) * (1 - p_{pk,cr})$$

Tarkasteltava kohde

- p_{alk} = todennäköisyys alkusammutuksen onnistumiselle
- $p_{pk,cr}$ = todennäköisyys sille, että rakenteiden kannalta kriittinen palokuorma ei ylitä
- p_{spr} = todennäköisyys sprinklerilaitteiston onnistuneelle toiminnalle

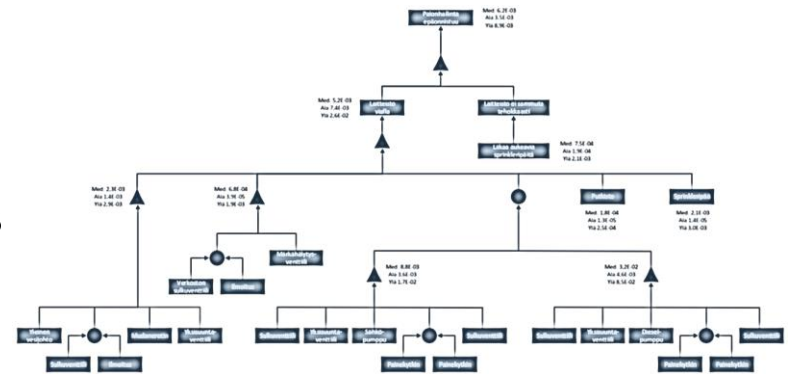
Vertailuratkaisu

Tarkasteltava kohde



CASE – Puukerrostalo

Komponenttipohjainen tutkimus



- 14 kerrosta, $h > 28$ m.
- Vertailuratkaisuna asetuksen 848/2017 luokkien ja lukuarvojen mukainen A-luokan tarvikkeista rakennettu vastaava rakennus.

Sprinklerilaitteiston luotettavuus 99,4 % (99,1 – 99,7 %)

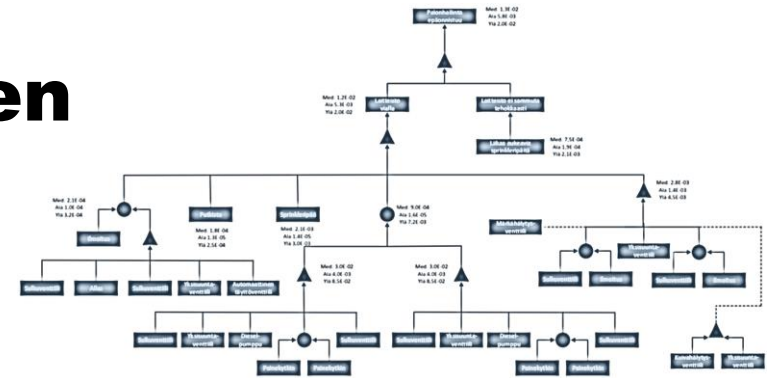
Hyvän luotettavuustason vaikutukset suunnitteluratkaisuun

- Pienentää kantavien puurakenteiden luokkavaatimusta.
- Vähentää sisäpintojen palosuojauksen raskautta.
- Lisää sallitun näkyville jäävän puun määrää.



CASE – Teräsraakenteinen kauppakeskus

Komponenttipohjainen tutkimus



- Asetus 848/2017 - Palokuormaryhmä 600-1200 MJ/m², jolloin P1-luokan rakennuksissa teräsristikot on suunniteltava vähintään luokkaan R60 eli rakenteiden tulee kestää 60 minuuttia standardipaloa.

Sprinklerilaitteiston luotettavuus 99,3 % (98,6 – 99,6 %) (enemmän komponentteja kuin puukerrostalossa, 2 kpl dieselpumppuja, alhaisempi luotettavuus)

Hyvän luotettavuustason vaikutukset suunnitteluratkaisuun

- Pientää kantavien teräsristikoiden luokkavaatimusta ja tätä kautta ristikoiden kustannuksia.
- Antaa mahdollisuuden suurempaan palo-osastoon.

Yhteenveto

- **Systeemipohjaiset luotettavuusarviot** koostuvat aina lukuisista erilaisista sprinklerilaitteistoista, joten **komponenttipohjainen menetelmä soveltuu paremmin yksittäisen kohteen sprinklerilaitteiston luotettavuuden arviointiin.** Systeemipohjaista menetelmää voidaan kuitenkin hyödyntää pohjatietona.

PRONTO-aineisto 98,1 %

Kohdekohtaiset vikapuumallit (2 kpl) 99,3% ja 99,4 %

- **Pieneltäkin vaikuttava ero** sprinklerilaitteiston luotettavuudessa **voi olla merkittävä** paloturvallisuussuunnittelua tehtäessä.
- **Laitteiston ylläpidolla** on huolehdittava, että luotettavuus säilyy korkeana laitteiston koko elinkaaren ajan.



Tutkimuksessa mukana

Rakennustekniikka, Tampereen teknillinen yliopisto TTY

Palotekninen Insinööritoimisto Markku Kauriala Oy

Ramboll Finland Oy

Teräsrakenneyhdistys TRY

Puutuoteteollisuus ry

Promist Oy





Kiitos mielenkiinnosta

Mikko Nieminen, Paloturvallisuussuunnittelija, DI
mikko.nieminen@kauriala.fi
Puh. 044 2645384

Diplomityö ladattavissa:
<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/25673/nieminen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>