

PALOILMOITINLAITTEISTOJEN LUOTETTAVUUS

T. Nyyssönen¹, J. Rajakko² & O. Keski-Rahkonen
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
PL 1803, 02044 VTT

Tiivistelmä

Tässä työssä selvitettiin paloilmoinlaitteistojen luotettavuutta pääasiassa Suomen pelastusalan keskusliiton (SPEK) sekä ydinvoimalaitostemme tarkastustilastojen pohjalta. Kirjallisuustutkimuksessa havaittiin, että kansainvälisessä avoimessa kirjallisuudessa asiasta oli hyvin vähän ajankohtaista tietoa. Kenttätutkimuksilla selvitettiin laitteistojen ja niiden tärkeimpien osien populaatiot, jotta komponenttien vikaantumistodennäköisyyksiä olisi voitu määrittää. Lopuksi tehtiin lyhyt katsaus PRONTO-tilastokannasta paloilmoinlaitteistojen toiminnasta todellisissa tulipaloissa. Viat luokiteltiin alustavasti vakavuuden ja havaintotavan mukaan. Osajärjestelmin ja muutamien komponenttien vikataajuudet määritettiin Suomessa ensimmäistä kertaa. Tulosten käytössä ja tulkinnassa on kuitenkin muistettava lähdeaineiston heikkoudet. Yllättävää oli yleensä paloilmoinlaitteistojen matala luotettavuus $74 \pm 2 \%$ vaadetta kohden sekä erityisesti lämpöilmalaisimilla luotettavuus oli $44 \pm 5 \%$ vaadetta kohden.

JOHDANTO

Paloilmoinlaitteisto on monimutkainen tekninen kokonaisuus, jonka tulisi säilyä toimintakunnossa kymmeniä vuosia. Kun sitä tarvitaan onneksi melko harvoin, se on saattanut olla pitkäänkin viallinen, sillä Suomessa pakollinen tarkastusväli tavallisissa rakennuksissa on viisi vuotta. Maassamme ei ole tehty laitteistojen luotettavuudesta eikä käytettävyydestä tieteellisiä tutkimuksia. Paloilmoinlaitteisto on huomattava palovahingon riskiä pienentävä tekijä suurissa kohteissa kuten merkittävässä julkisissa rakennuksissa tai suurteollisuuden huomattavissa laitoksissa. Ellei laitteiston käytettävyydestä ole kvantitatiivista arviota paloriskianalyysin edellyttämässä muodossa, laitteiston merkitys jää taloudellisesta sijoituksesta huolimatta marginaaliseksi. Tämä työ käynnistyi ydinvoimateollisuuden tarpeista osana ala kansallista tutkimusohjelmaa. Se suunniteltiin alusta alkaen luotettavuustekniikan malleilla kattamaan koko tarvittava ilmiöalue. Sitä on tehty pääosin opinnäytetöinä pala kerrallaan; siksi työ on jatkunut useita vuosia. Kattava yhteenveto työn alkuosasta on äskettäin julkaistu [1], mutta loppuosa on kirjattu sisäisiin raportteihin tai on vielä osittain analysoimatta.

Kirjallisuustutkimuksella selvitettiin aivan ensimmäiseksi paloilmoinlaitteistoista avoimista lähteistä maailmanlaajuisesti saatavat luotettavuustiedot, mutta tulos oli melko laiha ja vähäisetkin raportit monin osin vanhentuneeseen tietoon perustuvia [2-5] tai muuten sovellettavuudeltaan rajoitettuja [6-7]. Tuore yleiskatsauskaan [8] ei juuri sisältänyt uutta tilastoaineistoa. Paras sarja saatiin äskettäin kahdesta Saksan ydinvoimalasta vuosilta 1988-94 kerätyistä tiedoista yhteensä 21 reaktorivuoden käyttökokemuksesta [9-12]. Sekä Suomen ydinvoimateollisuuden että SPEKin keräämien aineistojen olemassaolo tiedettiin, mutta

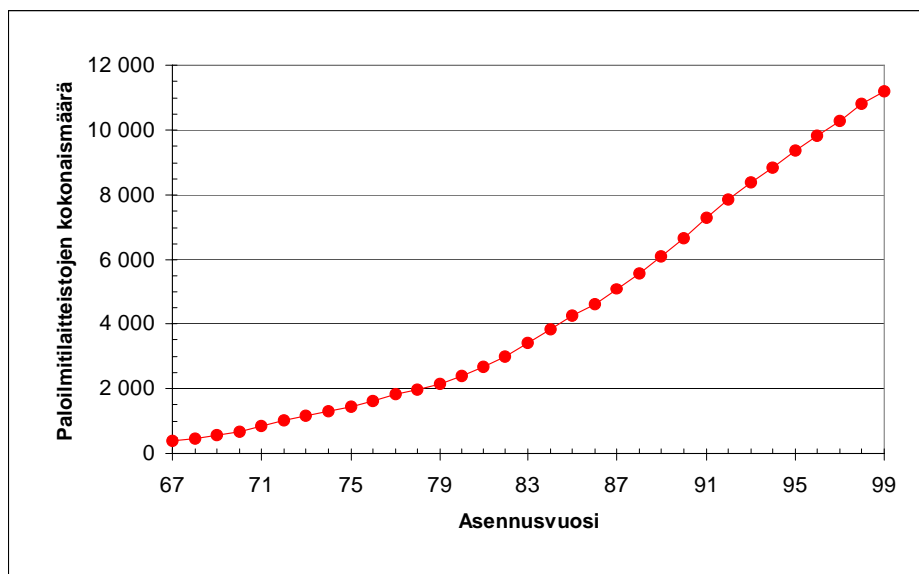
¹ Nykyinen osoite: Sisäasiainministeriö, Pelastusosasto, PL 29, 00023 Valtioneuvosto.

² Nykyinen osoite: Insinööritoimisto Magnus Malmberg Oy, Lauttasaarenmäki 4, 00200 Helsinki.

niiden sisällöstä ei ollut mitään käsitystä, koska varsinaisia luotettavuusteknisiä analyysejä niistä ei ollut.

TILASTOAINEISTOT JA POPULAATIOIDEN MÄÄRITYKSET

Suomessa SPEKillä on ollut pitkään monopoliasema paloilmoinlaitteistojen tarkastajana. Heidän tietokannastaan saatiin käyttöön kaikkiaan 17 154 tarkastusraporttia laitteistoista, joiden kokonaismäärä oli 1.9.1999 yhteensä 11 253. Ne kattoivat muodollisesti jakson 1967 – 1999, mutta sekä populaation kasvun että raportoinnin kehittymisen takia painoittuivat viimeisiin kahteenkymmeneen vuoteen. Laitteistojen kokonaismäärä saatiin selville melko tarkasti voimassaolevien huoltosopimusten perusteella, mikä on esitetty kuvassa 1. Raportit olivat pääosin sähköisessä muodossa, mutta olennaiset kommentit olivat sanallisia. Ilmaisuja ei ollut standardisoitu vikaraporttien edellyttämällä tavalla, koska se ei koskaan ollut tietojen keräämisen päätarkoitus. Raportit luettiin läpi ja havainnot siirrettiin sähköiseen tietokantaan luokittelemalla viat 59 eri nimikkeeseen alle ja 3 vakavuusluokkaan. Työn tulokset, SPEKin tarkastuksissa havaittujen vikojen määrät, esitellään taulukoituna, mutta lähdeaineiston luonteen vuoksi kovin tarkkoihin yksityiskohtiin ei ole mahdollista mennä.



Kuva 1. Paloilmitilaitteistojen populaatio Suomessa asennusvuosittain.

Laitteistojen laajuudesta ei kuvassa 1 esitettyä kokonaismäärää lukuunottamatta ollut mitään tietoa. Jotta olisi päästy edes likimääräisiin vikataajuuksiin, tavoitteena oli kerätä tietoja laitteistojen laajuudesta ja niiden komponenttien määristä sekä muista tarvittavista ominaisuuksista sadasta SPEKin tarkastuslistasta satunnaisesti valitusta kohteesta. Kohteet olivat hajallaan eri puolella maata, eikä tarvittavia asiakirjoja saatu suurellakaan vaivannäöllä kuin noin 40 rakennuksesta, mikä oli liian pieni otos. Koska tehtävää ei voitu ajan ja työmäärän paisumisen takia venyttää, sen perusteella kuitenkin luettiin komponenttien määrät, määritettiin suojatut pinta-alat sekä laskettiin ensimmäiset ennusteet populaatioiden koosta ja piirrettiin tarvittavat jakaumat. Kiinnittäminen rakennuksen kerrosalaan on tärkeää, koska syttymistaajuus on tilastollisesti määritetty pinta-alaa kohden [13-15]. Tätä otosta

täydennettiin myöhemmin pääkaupunkiseudulta saaduilla valtion omistamien kohteiden tiedoilla. Vaikka sekään otos ei ole satunnainen, siitä saatuja ja aiempia jakaumia verrattiin keskenään ja tuloksia korjattiin tarvittaessa. Näiden uusien tulosten vaikutuksen analyysi on vielä kesken.

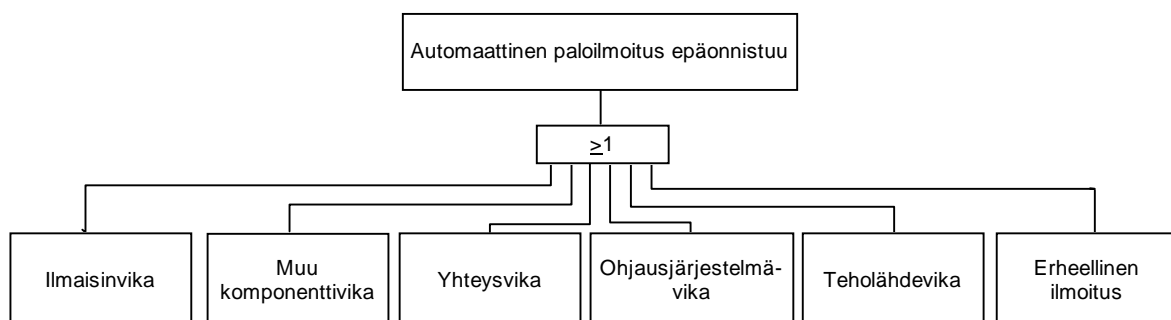
Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimalaitoksista vikatiedot huoltoraporteista oli saatavissa sähköisessä muodossa ja luokiteltuina melko hyvin tämän tehtävän tarkoitukseen. Ne poimittiin erilleen suuresta perusjoukosta ja käsiteltiin yksitellen ottaen mukaan myös sanalliset kommentit. Laitosten komponenttien populaatiot saatiin osaluetteloista ja suojattujen alueiden pinta-alat määritettiin tasopiirustuksista.

Lopuksi kerättiin todellisten palojen tai hälytysten tietoja muutamista eri lähteistä. Tässä vain tulokset PRONTOsta. Se sisältää 24909 rakennuspaloa vuosilta 1996 - 2003, joista 1768 kohteessa (7.1 %) oli asennettu paloilmoitinlaitteisto. Tietokannan sisältämää aineistoa ei ole aiemmin tutkittu tieteellisesti. Tässä esitetään niistä muutamia havaintoja keskustelun pohjaksi.

PALOILMOITINLAITTEISTOJEN LUOTETTAVUUSMALLEISTA

Paloilmoitinlaitteistole tehtiin hyvin yksinkertainen luotettavuusmalli jakamalla se eri osiin karkean laitteiden toimintatavan ja sijoittelun mukaan. Tavoitteena oli ensi vaiheessa katsoa, mitkä osat laitteistosta ovat kriittisimpiä sekä missä osissa mahdollisesti vikojen esiintyminen on runsaampaa kuin jossakin järjestelmän muussa osassa. Koska laajassa tilastomateriaalissa oli vain niukalti teknistä yksityiskohtaista tietoa, mallin vikapuu rajoitettiin kahdelle tasolle. Tässä niistä esitetään vain ensimmäinen taso. Osa paloilmoitinlaitteistosta kuten kaapelit ja ilmaisimet ovat rakennuksessa laajalle jakautuneita ja soveltuvat huonosti perinteisillä vikapuilla mallitettaviksi. Tämä seikka jätettiin kuitenkin sivuun ensimmäisessä kartoittavassa tarkastelussa tarvittavien tietojen puuttuessa.

Katsottaessa paloilmoitinjärjestelmää yhdestä suojatun kohteen pisteestä palon onnistunut ilmaisu vaatii useamman peräkkäisen laitteen virheettämän toiminnan. Laitteiston ylläpitäjän kannalta, mikä on lähellä tässä käytettyjen tietokantojen laatijoita, osat ovat rinnakkaisia. Kuvassa 2 paloilmoitinlaitteiston 'vikapuu' on esitetty tämän ajatustavan mukaisesti. Sen osat ovat vasemmalta: (1) ilmaisinvika, (2) muu komponenttivika, (3) yhteysvika, (4) ohjausjärjestelmävikä, (5) tehölähdevika ja (6) erheellinen ilmoitus.



Kuva 2. Paloilmoitinlaitteiston 'vikapuu' jakautuu järjestelmän toiminnan kannalta kuuteen alayksikköön.

Kutakin yksikköä voidaan jakaa alaspäin eri osiin niin pitkälle kuin on järkevää järjestelmän rakenteen kannalta. Koska tilastotietoja ei ole saatavissa aivan laitteistojen komponenttien tasolle saakka, vikapuun jako ulotettiin enintään kaksi tasoa alaspäin. Paloilmoitinlaitteistojen lukumäärältään yleisin komponentti on paloilmaisin. Niitä on useita periaatteeltaan erilaisia tyyppisiä, mutta tässä jakoa ei tehty; ydinvoimaloiden osalta tieto olisi ollut olemassa, mutta SPEKin aineistosta siitä oli vain satunnaisia tietoja. Ilmaisinvikoja ovat kaikki ne viat, jotka koskevat ilmaisimien toimintaa lukuun ottamatta ilmaisimien irtoamisia. Ilmaisimen irtoaminen ja huono kiinnitys tai virheellinen asennus on kirjattu ilmaisimen yhteysvikoihin. Yleinen ilmaisinvika on savuilmaisimen likaisuus. Savuilmaisimet likaantuvat ajan kuluessa ympäröivästä ilmasta emittoituvan pölyn ja lian vaikutuksesta. Tästä syystä savuilmaisimet vaativat säännöllistä huoltoa. Sulkujärjestelmässä likaantunut ilmaisin antaa aiheuttoman palohälytyksen ilmaisinerkkyyden laskiessa. Analogis-osoitteellisissa järjestelmissä ilmaisin antaa likaantumisestaan osoitekohtaisen huolto- tai vikailmoituksen. Uusissa ilmaisimissa on sisäänrakennettu automaattikalibrointi, joka pitää ilmaisimen hälytysherkkyyden tasaisena likaantumisesta huolimatta.

Ilmaisinallaitteistoista muodostettiin vikapuut, mitä ei mistään kirjallisuudesta ollut suoraan saatavissa jatkamalla kuvassa 2 esitettyä vikapuuta kaksi tasoa alaspäin [1]. Järjestelmän tällainen esittäminen on ensimmäinen arvaus mallitussarjassa, jossa pyritään muodostamaan laitteistosta kuva, mikä kattaa oleellisen mutta karsii epäoleellisen [16]. Tärkeimpänä karsimiskriteerinä on vikataajuus eikä niinkään järjestelmän rakenne. Vaikka järjestelmä voitaisiin periaatteessa kuvata viimeistä komponenttia myöten, sillä ei ole mitään käyttöarvoa, ellei samalla eri osille voida määrittää tilastoista vikataajuuksia ja sen muita tarvittavia ominaisuuksia. Kuvan 2 yksinkertaistettu 'vikapuu' on tulosten graafinen esitys, missä laitteiston eri komponentteja on yhdistetty laatikoihin kokonaisuuden havainnollistamiseksi. Myöhemmissä kierroksissa tätä jakoa on ilmeisesti tarpeen tarkentaa tai muuttaa ottaen huomioon sekä laitteistojen yksityiskohtaisen toiminta että edellisistä kierroksista karkeasti arvioidut vikataajuudet. Koska laitteistojen rakenne poikkeaa toisistaan sekä valmistajittain että ajallisesti, yksityiskohtainen mallitus ei olisi kovin järkevää. Pienimmäksi alayksiköksi on valittu jokin selvä toiminnallinen kokonaisuus, joiden luotettavuutta arvioidaan keskimääräisesti. Kuinka yksityiskohtaiseen mallitukseen voidaan mennä, on arvioitavissa vasta myöhemmin, kun tuloksia on käsitelty kokonaisuuksina useasta eri näkökulmasta.

KOMPONENTTIEN JA OSAJÄRJESTELMIEN VIKATAAJUUKSIA

Havaitut vikojen määrät sijoitettiin laadittuihin vikapuihin ja tehtiin ensimmäiset arviot laitteistojen merkittävistä vikatyypeistä sekä määritettiin karkeat vikataajuuksien estimaatit virherajoineen. Taulukossa 1 on esitetty vakavimpaan vikaryhmään luokiteltujen vikojen taajuus piste-ennusteena sekä havaintojen määrästä arvioituine ala- ja ylärajoineen. Vakavimpia taulukossa 1 ovat kolme ylintä vikatyypistä, jolloin ilmoitusta ei saada ollenkaan koko kohteesta. Vakavia, mutta kokonaisuuden kannalta lievempiä ovat loppupään kolme ryhmää, jolloin vika rajoittuu yhden tai useamman silmukan alueelle, miltä osalta rakennusta sitten paloilmointi epäonnistuu.

Kaikkien vakavien vikojen taajuus yhteensä on luokka pari prosenttiyksikköä vaadetta kohden. Tämä on pieni luku verrattuna parhaaseen ulkomaiseen arvioon [3]. Vaikka tämä työ

antaa monipuolisen kuvan Suomen paloilmalaitteistojen kunnosta ja huoltoperinteestä, on muistettava, että havaintoaineistoa ei ollut suunniteltu luotettavuustekniikan näkökulmasta. Siten saadut tulokset ovat vasta ensimmäinen kvantitatiivinen arvio, jonka todelliset virheet voivat olla paljon esitettyjä muodollisia virherajoja (min – max) suuremmat.

PALOILMOITINLAITTEISTOT TULIPALOISSA

Vaikka paloilmoitinjärjestelmä olisi suunniteltu kaikkien taiteen sääntöjen mukaan ja läpäissyt kaikki vaadittavat tarkastukset, ne eivät välttämättä takaa sen hyvyttä, sillä sen todellinen toiminta testataan vasta sattuneissa tulipaloissa. Sisäasiainministeriön ylläpitämässä PRONTO-tietokannassa on vuodesta 1996 saakka kirjattu paloilmoitinlaitoksen toiminta sattuneissa rakennuspaloissa. Viat on luokiteltu kolmeen pääryhmään: '01 Ilmoitti hätäkeskukseen ensimmäisenä', '02 Ilmoitti hätäkeskukseen, ei ensimmäisenä' ja '03 Ei tehnyt ilmoitusta'. Taulukossa 2 on esitetty PRONTOssa käytetty ilmoitinlaitteiston '03 Ei tehnyt ilmoitusta'-vikojen tarkennettu luokittelu.

Taulukko 1. Paloilmoitinlaitteistojen vakavien piilovikojen todennäköisyys vaadetta kohden SPEKin aineiston mukaan.

Vikaryhmä	Lukumäärä	Piilovikoja vaadetta kohden		
		min	estimaatti	max
AHK yhteyttä ei ole kytketty	187	9.7E-3	1.1E-2	1.2E-2
AHK yhteys ei toimi	48	2.2E-3	2.8E-3	3.6E-3
Keskuksen vakava vika	22	9.4E-4	1.3E-3	1.8E-3
Toimimaton silmukka	188	8.3E-4	9.4E-4	1.1E-3
Irtikytketty silmukka	118	5.1E-4	5.9E-4	6.8E-4
Silmukka ilmoittaa vikaa	110	4.7E-4	5.5E-4	6.4E-4

Taulukko 2. '03 Ei tehnyt ilmoitusta'-vikojen tarkennettu luokittelu.

01	Palo sammutettiin ennen kuin ilmoitin ehti toimia (paloilmoittimessa ei vikaa)
02	Paloilmoitin oli kokonaan tai osittain kytketty pois toiminnasta (esim. silmukka irti)
03	Palo suojatun alueen ulkopuolella rakennuksessa
04	Palo rakennuksen ulkopuolella
05	Paloilmoittimessa tekninen vika
99	Muu syy

Taulukossa 3 on esitetty PRONTOsta vuosilta 1996 – 2003 poimitut paloilmoitinlaitteistojen toimintaa koskevat tiedot ilmaisintyypeittäin. Raporttien kattavuus on ilmeisesti meko hyvä, sillä ilmoitinlaitteiston sanottiin olleen rakennuksessa palon sattuessa 1768 kertaa ja 1736 tapauksesta laitteiston toiminnasta on annettu myös olennaiset vaaditut lisätiedot, jollon määrittelemättömiä tapauksia on vain 34 eli alle 2 %. Palovaroittimien osalta tiedot olivat paljon vajavaisempia. Taulukon 3 toinen sarake vasemmalta ilmoittaa kohteiden

kokonaismäärän ilmaisintyypeittäin. Seuraavissa kolmessa sarakeessa on ilmoituksen onnistuminen hätäkeskukseen.

Taulukossa 3 paloilmoitinlaitteisto hälytti ensiksi hätäkeskukseen 66% , hälytti, mutta ei ensiksi 8 %, ja epäonnistui hälytyksessä 24% tapauksista. Siten vain kolmessa neljästä kerrasta ilmoitus meni perille. Tämä osuus on paljon suurempi kuin yleensä on oletettu, sillä Suomessakin on uskottu käytettävyyden olevan 10 % luokkaa ja aika lähellä Watanaben [3] ilmoittamaa 11% tasoa. Jos halutaan tulkita tuloksia ‘parhain päin’ uskomalla sinisilmäisesti, että Taulukon 3 ryhmän 03 alaryhmä ‘01’ Palo sammutettiin ennen kuin ilmoitin ehti toimia (paloilmoittimessa ei vikaa) tiedot ovat täysin oikeita ja vähennetään kaikki kirjatut 193 tapausta vikamääristä, vikataajuudeksi tulee 13%, mikä on jo melko lähellä viitteen [3] arvoa. Todellisuus lienee kuitenkin jossain näiden lukujen välimaastossa.

Taulukko 3. Paloilmaisinallaitteistojen toiminta ilmaisintyypeittäin Suomessa PRONTOn mukaan 1996 – 2003. Tapausten kokonaismäärät sekä suluissa prosenttiosuudet.

Ilmaisintyyppi	Yht.	Ilmoitti hätäkeskukseen		
		01 Ensiksi	02 Ei ensiksi	03 Ei
Lämpöilmaisoin	393	167 (42)	55 (14)	171 (44)
Ioni-ilmaisoin	581	470 (81)	29 (5)	82 (14)
Optinen savuilmaisoin	358	297 (83)	25 (7)	36 (10)
Näytteenottoilmaisoin	15	11 (73)	2 (13)	2 (13)
Kanavailmaisoin	5	2 (40)	2 (40)	1 (20)
Optinen linjailmaisoin	6	6 (100)	0 (0)	0 (0)
Liekki-ilmaisoin	8	5 (63)	1 (13)	2 (25)
Ylärajailmaisoin	3	2 (67)	1 (33)	0 (0)
Erotusilmaisoin	2	1 (50)	0 (0)	1 (50)
Muutosilmaisoin	18	11 (61)	3 (17)	4 (22)
Yhdistelmäilmaisoin	2	1 (50)	1 (50)	0 (0)
Paloilmoituspainike	66	46 (70)	6 (9)	14 (21)
Keskuslaitteisto	26	17 (65)	2 (8)	7 (27)
Muu	34	16 (47)	1 (3)	17 (50)
Ei tietoa	217	109 (50)	15 (7)	93 (43)
Määrittelemätön	34			
Yhteensä	1768	1161	143	430
(%)		65.7	8.1	24.3

Taulukossa 4 on laskettu taulukon 3 vikatodennäköisyyksille piste-ennusteiden (estimaatti) lisäksi tilastollisin keinoin sekä ala- että ylärajat 90% luotettavuustasolla ensin päätason kolmelle ryhmälle ja sitten ryhmän 03 viat ilmaisintyypeittäin. Tässä ei ole tehty mitään ‘parhain päin’ -korjauksia. Viimeisestä osasta on jätetty pois sellaisia ilmoitinryhmiä, missä havaintoja on niin vähän, että tilastovirhe on kohtuuttoman suuri itse piste-ennusteeseen verrattuna. Taulukon 4 luvuista ilmenee, että päätason estimaattien virherajat ovat prosenttiyksikön luokkaa ja riskianalyysin tarpeeseen teknisesti täysin tyydyttäviä silloin, kun uskomme annettujen tietojen oikeellisuuteen. Kun katsomme alajakoa ilmaisintyypeittäin, virherajat ovat suurempia tai jopa paljon suurempia. Luvuista voidaan kuitenkin tehdä muutama selkeä johtopäätös: (i) ilmaisintyypeittäin vikatodennäköisyys on yleensä 10 ... 20 %, keskimäärin koko ryhmästä 13%, (ii) lämpöilmaisimilla se on peräti 44%, 3,4-kertainen edelliseen verrattuna, (iii) painikkeilla lähellä koko joukon keskiarvoa 21%, johon myös

keskuslaitteiston vikatodennäköisyys likimain sattuu. Oletusarvona lämpöilmaisimien ei pitäisi olla vikaherkempiä kuin muiden ilmaisintyyppien. Niiden yksinkertaisen rakenteen vuoksi odotukset ovat juuri päinvastaiset. Siten laitteiston mahdollinen väärä mitoittaminen lienee ensiksi eteen osuva selitys. Epäily muuttuu kuitenkin tiedoksi vasta sitten, jos tarkemmilla tutkimuksilla voidaan näin osoittaa.

Taulukossa 5 on esitetty Taulukon 2 alajaon mukaisesti, miten päätason ryhmässä '03 Ei tehnyt ilmoitusta' jakautuvat taulukossa 2 esitettyjen vikaryhmien kesken. Vaikka Taulukon 2 jako on ensi silmäyksellä selkeä, se ei ole kuitenkaan laitteiston toiminnan kannalta yksiselitteinen. Yleisin ryhmä 01 (11.2%) väittää, että paloilmittimessa ei ole vikaa. Siitä ei kuitenkaan varmasti tiedetä ilman lisäselvityksiä, olisiko ilmaisimen jo pitänyt ilmoittaa. Asia on jäänyt raportoijan henkilökohtaisen arvioinnin varaan. Siten laitteiston mahdollinen väärä mitoittaminen jää tässä epäselväksi. Koska osuus on suuri lämpöilmaisimissa, joiden osalta epäilimme mitoitusvirhettä, tämä tulos lisää epäilyksiä edelleen. Seuraavaksi suurimmat ryhmät 03 (5.0%) ja 99 (5.0%) ovat sisällöltään myöskin luotettavuustekniikan kannalta epäselviä ja vaativat mahdollisen sanallisten selitysten tarkempaa selvittämistä kuten myös ryhmä 04 (2.7%). Tiedoista ei ilmene, olisiko laitteiston niissäkin pitänyt jotenkin reagoida. Erityisesti kohdassa 03 jää epävarmaksi, oliko kyseessä järjestelmän ylläpidon ja/tai hallinnon virhe. Alue on ehkä jäänyt muutostyön takia vahingossa suojaamatta. Ryhmät 02 (1.1%) ja 05 (0.3%) ovat laitteiston todellisia vikoja ja vain pieni murto-osa kaikista pääotsikon 03 alla olevista vioista. Ne ovat samaa suuruusluokkaa kuin viitteestä [3] löytyvät vastaavat viat, vaikka luokittelut eivät tarkkaan vastaa toisiaan.

Taulukko 4. Paloilmaisinlaitteistojen toiminta ilmaisintyypeittäin Suomessa PRONTOn mukaan 1996 - 2003.

Ilmoitustapa	Todennäköisyys (%)		
	Min	Estimaatti	Max
01 Ilmoitti hätäkeskukseen ensimmäisenä	64	66	68
02 Ilmoitti hätäkeskukseen, ei ensimmäisenä	7	8	9
03 Ei tehnyt ilmoitusta (yhteensä)	23	24	26
'03 Ei tehnyt ilmoitusta' ilmaisintyypeittäin			
Lämpöilmaisin	39	44	48
Ioni-ilmaisin	12	14	17
Optinen savuilmaisin	8	10	13
Näytteenottoilmaisin	5	13	36
Muutosilmaisin	11	22	44
Paloilmoituspainike	14	21	31
Keskuslaitteisto	15	27	45
Muu	35	50	65
Ei tietoa	37	43	49

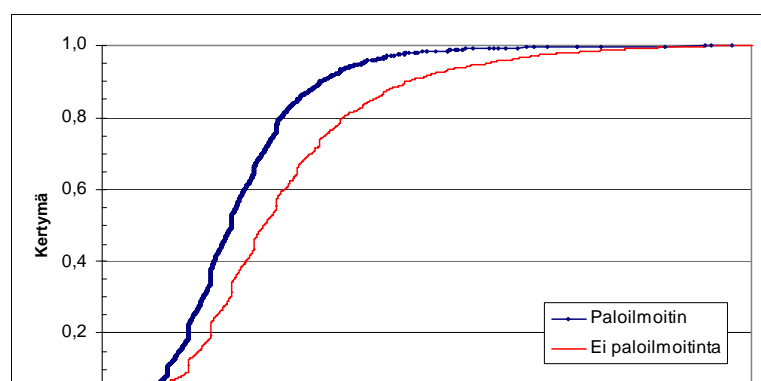
PRONTOn tiedoista analysoitiin myöskin rakennuspaloissa ilmoitinlaitteiston vaikutus palokunnan toimintavalmiusaikaan (kuva 3) ja aineelliseen palovahinkoon (kuva 4). Koska paloilmittinlaitteistot ovat harvinaisia asuinrakennuksissa, joita taasen rakennuskannasta on valtaosa, ne jätettiin vertailussa ottamatta huomioon. Palokunnan toimintavalmiusaikojen jakauma koko maassa on kuvassa 3 esitetty ohuella viivalla (Ei paloilmittintä) ja paksulla viivalla (Paloilmittin). Molemmat jakaumat ovat vinoja ja luonteeltaan gammajakaumia [16].

Paloilmoitinlaitteisto lyhentää toimintavalmiusajan mediaania (359 s) 20 % ja keskiarvoa (383 s) 26 % verrattuna ilman paloilmoitinlaitteistoa oleviin rakennuksiin, missä mediaani on 446 s ja keskiarvo 514 s.

Seurausvahinkoihin (kuva 4c) paloilmoitinlaitteistolla näyttää olevan negatiivinen vaikutus. Kertymäkäyrät menevät käytännöllisesti päällekkäin alueessa 0 ... 60% ja sen yläpuolella vahinko on ilmoittimilla varustetuissa kohteissa suurempi. Ilmiö on tietenkin tilastoharha, sillä kohteita ei ole valittu satunnaisesti, mitä sokea lukujen vertailu edellyttäisi. Ilmoitinlaitteisto on yleisempi suurissa kohteissa, joiden seurausvahingot ovat pieniä kohteita vakavampia. Rakennuksen (4a), irtaimiston (4b) ja kokonaisvahinkoon (4d) paloilmoitinlaitteistolla on positiivinen vaikutus. Mediaanit ovat samassa järjestyksessä (suluissa %-osuus ilmoitinlaitteistolla varustettujen kohteiden mediaanista): 3000 € (37%), 1700 € (50%) ja 1500 € (41%). Keskiarvo on tilastollisesti mediaania huomattavasti levottomampi suure, koska yksittäisvahingot vaikuttavat siihen erittäin paljon, eikä lukuja esitetä tässä. Mediaanien prosenttisuhteet antavat kuitenkin suunnan paloilmoitinlaitteistojen merkityksestä vahinkoon. Kun katsotaan niihin tehdyn sijoituksen takaisinmaksuaikaa, on arvioitava vahinkojen odotusarvoa 90 ... 95 % luotettavuustasolla, mitä ei ole vielä tehty. Sieltä saatavat numeroarvot ovat aivan eri luokkaa kuin tässä mediaaneille määritetyt.

Taulukko 5. Paloilmaisilaitteistojen vikatyypin jakauma pääryhmässä 03 ilmaisintyypeittäin Suomessa PRONTO:n mukaan 1996 - 2003.

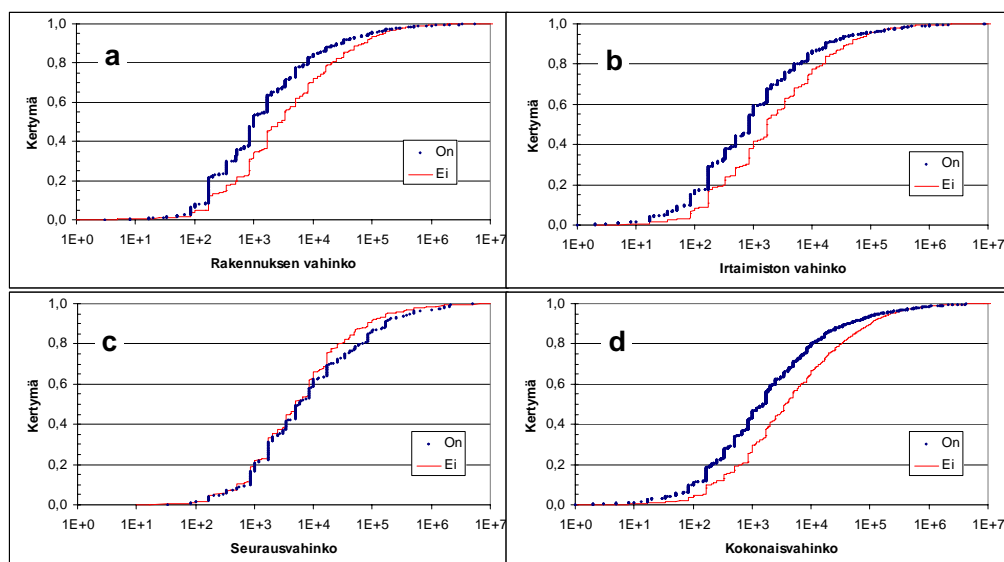
Ilmaisintyyppi	03 Vika					
	01	02	03	04	05	99
Lämpöilmaisin	96	5	29	20	0	28
Ioni-ilmaisin	30	8	20	8	1	21
Optinen savuilmaisin	13	2	6	3	1	12
Näytteenottoilmaisin	0	0	0	2	0	1
Kanavailmaisin	0	0	0	0	0	2
Optinen linjailmaisin	0	0	0	1	0	0
Liekki-ilmaisin	1	0	1	1	0	0
Ylärajailmaisin	0	0	0	0	0	0
Erotusilmaisin	0	0	1	0	0	0
Muutosilmaisin	1	0	2	0	0	1
Yhdistelmäilmaisin	0	0	0	0	0	0
Paloilmoituspainike	3	0	3	3	0	6
Keskuslaitteisto	3	0	0	1	0	4
Muu	8	2	4	1	0	2
Ei tietoa	43	3	23	8	3	16
Yhteensä	198	20	89	48	5	93
(%)	11.2	1.1	5.0	2.7	0.3	5.3



Kuva 3. Palokunnan toimintavalmisajan [s] jakauma muissa kuin asuinrakennusten paloissa 1996 – 2003.

POHDINNAT JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Artikkelin otsikko puhuu luotettavuudesta, mutta työssä on tähän mennessä edetty vasta hiukan kartoitusta pidemmälle. Laitteistoista on Suomessa laadittu ensimmäiset tieteelliseltä pohjalta lähtevät mallit käyttäen kansainvälistä kirjallisuutta ja maamme vikatilastoja. Luokittelemalla viat ja määrittämällä osajärjestelmien populaatiot tarkastusraporttien pohjalta on saatu aineisto, josta on voitu määrittää sekä koko järjestelmän että sen osien luotettavuuksia ja vikataajuuksia. Lisäksi on analysoitu laitteistojen toimintaa todellisissa rakennuspaloissa.



Kuva 4. Paloilmoitinlaitteiston vaikutus omaisuusvahinkolajien sekä kokonaisvahingon jakaumiin.

Ydinvomalaitoksista saadut raportit olivat melko luotettavia ja sisälsivät luotettavuustekniikan kannalta oikeaan muotoon puettua tietoa. Kannat yhteensä olivat kuitenkin niin suppeita, että niitä oli laajennettava SPEKin tiedoilla yleiskuvan saamiseksi.

Näistä taasen vian syyn ja sen vakavuuden luokittelun päättäminen ei ollut helppoa. Samoin vikoja ei esitetty riittävän kvantitatiivisesti (esim. viallisten silmukoiden tai ilmaisimien määriä oli harvoin mainittu). Myöskin ajan kuluessa ilmeisen löysät ohjeistukset ovat joko muuttuneet tai vaihtuneet vähitellen henkilöiden mukana.

Käytännön kokemuksena tietojen keräämisessä tuli vastaan tehtävän laajuus. Koska laitteet ovat palotekniikan lisäksi elintärkeitä rakennuksen muulle turvallisuudelle, tietojen saanti niistä oli vaikeata ja lupien hankinta joskus itse keruutyötä suurempi. Siksi vastaisuudessa aineiston täydennys olisi kytkettävä osaksi lakisääteistä valvontaa, jotta kohteet tunteva henkilöstö lain suojan ja siitä eri osapuolten välille muodostuvan luottamuksen turvin voisi saada käyttöön arkojakin tietoja, jotka sitten käsitellään nimettömästi tilastoissa.

Laajin aineisto SPEKin raporteista oli kerätty heidän tarkastustoimintansa lähtökohdista. Se tarjosi hyvän pohjan ensimmäiselle turvallisuustekniselle kierrokselle. Kuitenkin jatkossa tarkastajan raporttia tulisi kehittää siten, että siihen otettaisiin mukaan toimintavarmuuden näkökohdista lähteviä täydentäviä kysymyksiä. Lisäksi raportointi olisi systematisoitava sanallisesta taulukkomuotoon, jotta tuloksia olisi helppo käsitellä automaattisesti tietokantaohjelmilla.

PRONTOsta saatu aineisto paloilmoittimista todellisissa paloissa on korvaamaton, koska siitä näkyy itse järjestelmien toiminta ilman mallien tuomia tulkintavirheitä. Ilmaisun todellisen luotettavuuden putoaminen väliin 74 ± 2 % vaadetta kohden on suuri muutos oletettuun 90% yleistason verrattuna. On mahdollista, että matala arvo johtuisi tilastovirheestä, mutta parhaaseen mahdolliseen suuntaankin korjattuna (85 ± 2 %; tätä lukua ei saa käyttää toiminnallisen suunnittelun lähtötietona!) arvo on ennako-odotuksia pienempi. Erityisen huolestuttava on lämpöilmaisimilla varustetun paloilmoitinlaitoksen heikko luotettavuus 44 ± 5 % vaadetta kohden. Tällaisten laitteistojen suunnittelu ja ylläpito vaatii lisätarkasteluja, jotta vikojen todellinen syy paljastuisi.

Lopuksi vetoamus viranomaisille (ministeriöt ja TUKES) paloilmoitinlaitteistojen (kuten sprinklerilaitteistojenkin [17]) vikojen tietojenkeruun organisoimisesta. 'Monopoli aikana' SPEK (ja SVK sprinklereistä) keräsivät kattavat tietokannat, joiden perusteella laitteistojen luotettavuus on voitu arvioida ensi kertaa. Nyt tarkastustoiminnan hajauduttua kattavaa valtakunnallista rekisteriä ei tietojemme mukaan ole. Sen käynnistäminen olisi kiireellinen tehtävä, jotta toiminnallisen mitoituksen yleistyessä saataisiin suoraa tietoa näiden monimutkaisten teknisten järjestelmien vaikutuksesta paloturvallisuuteen.

KIITOKSET

Työmme olisi ollut mahdoton ilman Suomen pelastusalan keskusliiton (SPEK) toimittamaa paloilmoitinlaitteiston tarkastusten tilastoaineistoa sekä monenlaista käytännöllistä apua sen tulkinnassa, mistä lausumme heille suuret kiitokset. Tätä työtä ovat rahoittaneet Kauppa- ja teollisuusministeriö, Säteilyturvakeskus, Fortum Engineering Ltd ja Teollisuuden Voima Oy. Herra Yasuaki Hagimoto toimitti japanilaista, rouva tohtori Marina Röwekamp ja herra tohtori Eduard Hofer saksalaista aineistoa sekä TkT Kati Tillander keräsi suomalaisen PRONTO:n raakatiedoston, josta lausumme heille kiitokset. Lopuksi kiitämme nimettömästi, kuten vakuutimme, niitä monia henkilöitä, jotka kenttäkyselyissä toimittivat tietoja todellisten rakennusten mitoista ja paloilmoitinlaitteistoista.

LÄHDELUETTELO

1. Nyysönen, T., Rajakko, J. & Keski-Rahkonen, O., 2005. On the reliability of fire detection and alarm systems – Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations, VTT-WORK-18, VTT Working Papers 18, VTT, Espoo 62 p. + app. 6 p.
2. Kingswell, L.W. 1972. A post office system for the transmission of alarms, in Proceedings of the Symposium held at the Connaught Rooms, London, 8 - 10 March, 1972. Department of the Environment and Fire Occices' Committee, Her Majesty's Stationary Office, London 1974, p. 132 - 137.
3. Watanabe, A. 1979. Effectiveness of Active Fire Protection Systems. Teoksessa: U.S./Japan Government Cooperative Program on Natural Resources (UJNR). Fire Research and Safety. 4th Joint Panel Meeting. February 5-9, 1979, Tokyo, Japan, 1979, s. 22-37.
4. Krasner, L.M., Ganti, C.S., Vincent, B.G., Samanta, P.K. & Boccio, J.L. 1985. Evaluation of Available Data for Probabilistic Risk Assessment (PRA) of Fire Events at Nuclear Power Plants, NUREG/CR-4231, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., 38 p. + 21 p. App.
5. Finucane, M. & Pinkney, D. 1989. Reliability of Fire Protection and Detection Systems, in Fire Safety Engineering - Proceedings of the 2nd International Conference, BHRA, The Fluid Engineering Centre, Cranfield, p. 211 - 234.
6. T-Book 1992. Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants, The ATV Office, Vällingby, 3rd Edition, 235 p.
T-Book 1992. Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants, The ATV Office, Vällingby, 3rd Edition, 235 p.
7. OREDA 1992. Offshore Reliability Data Handbook, OREDA Participants, Høvik, 2nd Edition, 614 p.
8. Bukowski, R.W., Budnick, E.K. & Schemel, C.F. 1999. Estimates of the Operational Reliability of Fire Protection Systems, in Proceedings of the Third International Conference on Fire Research and Engineering, 4-8 October 1999, Chicago, IL, Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD, USA, p. 87 - 98.
9. Berg, H.P., Hoffmann, H.H. & Röwekamp, M. 1997. Current status of quantitative fire risk assessment in German nuclear power plants, in Proceedings of ICONE 5, 5th International Conference on Nuclear Engineering, May 26 - 30, 1997, Nice, France, 8 p.
10. Röwekamp, M., Riekert, T. & Sehrbrock, W. 1997. Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für Brandschutzeinrichtungen in deutschen Kernkraftwerken, GRS-A-2456, Revision 1, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, 85 p.
11. FBKS 1997. Fachbereich Kerntechnische Sicherheit, Daten zur Quantifizierung von Ereignisablaufdiagrammen und Fehlerbäumen, BfS-KT-Berichte BfS-KT-18/97, Bundesamt für Strahlenschutz, Saltzgitter, 110 p. + 19 p. App.

12. Röwekamp, M. & Berg, H.- P. 2000. Reliability data collection for fire protection features, *Kerntechnik* 65, 102 - 107.
13. Rahikainen, J. & Keski-Rahkonen, O. 1998. Palojen syttymistaajuuksien tilastollinen määrittäminen, *Palontorjuntatekniikka* 28, no 2, s. 12-17.
14. Tillander, K. & Keski-Rahkonen, O., 2003. The Ignition Frequency of Structural Fires in Finland 1996-99, in *Fire Safety Science - Proceedings of the Seventh International Symposium*, Worcester, Massachusetts, USA, 16-21 June 2002, Evans, D.D. (Ed.), International Association for Fire Safety Science, p. 1051 - 1062.
15. Rahikainen, J. & Keski-Rahkonen, O., Statistical Determination of Ignition Frequency of Structural Fires in Different Premises in Finland, *Fire Technology*, 40, 335–353, 2004.
16. McCormick, N.J. 1981. *Reliability and Risk Analysis*, Academic, Orlando, FA, 446 p.
17. Rönty, V., Keski-Rahkonen, O. & Hassinen, J.-P., Reliability of sprinkler systems – Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations, VTT-WORK-15, VTT Working Papers 15, VTT, Espoo, 2004., 89 p. + App. 9 p.