

Sähköiset paloriskit ja niiden hallinta

SÄHKÖPETO® -ohjelma

SÄHKÖPETO® -materiaalia ja tietoa voit hankkia seuraavasti:

Pidätämme oikeudet muutoksiin.

| Aineisto | Toimitustapa | Tilaukset | Hinta |
|---|--------------------------------|---|------------------------------------|
| Julkaisu: Perustietoa sähköpaloista ja niiden ennalta ehkäisystä | PDF -tiedosto | Imuroitavissa internetistä www.tukes.fi >> sähkö - ja hissit >> Sähköpeto | Vapaa |
| Julkaisu: Perustietoa sähköpaloista ja niiden ennalta ehkäisystä | 4-värikopiosarja, 40 A4 -sivua | asiakaspalvelu.saty.fi tai puh. 0400-861 978 | 23 €/kpl alv 0 % +toimituskulut |
| Julkaisu: Sähköiset paloriskit ja niiden hallinta (tämä julkaisu) | PDF -tiedosto | Imuroitavissa internetistä www.tukes.fi >> sähkö - ja hissit >> Sähköpeto | Vapaa |
| Julkaisu: Sähköiset paloriskit ja niiden hallinta (tämä julkaisu) | 4-värikopiosarja, 60 A4 -sivua | asiakaspalvelu.saty.fi tai puh. 0400-861 978 | 31 €/kpl alv 0 % +toimituskulut |
| TUKES:n laatimia sähköpalojen torjuntaan liittyviä ohjeita, kalvosarjoja, esitteitä ja julkaisuja | PDF -tiedostoja | Imuroitavissa internetistä www.tukes.fi >> sähkö - ja hissit >> Sähköpeto | Vapaa |

Kouluttajamateriaali

| | | | |
|---|----------|---|--|
| Sisältää edellä mainitut 2 julkaisua, kouluttajien kalvosarjat, koulutusohjeet. Toimitetaan Sähköpeto- kouluttaja-koulutuksen käyneille. | CD -levy | asiakaspalvelu.saty.fi tai puh. 0400-861 978 | |
|---|----------|---|--|

Lisätietoja SÄHKÖPETO -ohjelmasta ja koulutuksien järjestämisistä antavat

| Henkilö | Yhteisö | Yhteystiedot |
|--------------------------------------|--------------------------------|---|
| Valtuutettu tarkastaja Jorma Korkalo | Sähkötarkastusyhdistys SÄTY ry | 0400-861978 jorma.korkalo@primatest.fi |
| Ylitarkastaja Ari Keijonen | Turvatekniikan keskus | 09-61671 ari.keijonen@tukes.fi |
| Johtaja Veli-Pekka Nurmi | Turvatekniikan keskus | 09-61671 veli-pekka.nurmi@tukes.fi |

SÄHKÖPETO-sana on Sähkötarkastusyhdistys SÄTY ry:lle rekisteröity tavaramerkki.

Sisällysluettelo

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | ESIPUHE | 4 |
| 2. | JOHDANTO | 5 |
| 3. | TURVALLISUUSKULTTUURI | 6 |
| 4. | SÄHKÖPALOT FYSIKAALISINA ILMIÖINÄ | 9 |
| 5. | SYTTYMISRISKEJÄ AIHEUTTAVIA SÄHKÖILMIÖITÄ JA NIILTÄ SUOJAUTUMINEN | 10 |
| 6. | SÄHKÖPALOT FYSIKAALISINA ILMIÖINÄ | 17 |
| 7. | SÄHKÖLAITTEISTOIHIN LIITTYVÄT SYTTYMISRISKIT JA NIILTÄ SUOJAUTUMINEN | 24 |
| 8. | SÄHKÖLAITTEISTON LAITERYHMIEN TYYPILLISIÄ SÄHKÖPALORISKEJÄ | 27 |
| 9. | SÄHKÖN KÄYTTÖÖN LIITTYVIEN SÄHKÖTURVALLISUUSRISKIEN HALLINTA | 31 |
| 10. | SÄHKÖLAITTEISTOJEN KUNNOSSAPITO | 35 |
| 11. | SÄHKÖISTEN PALORISKIEN HALLINTAAN LIITTYVIÄ MUITA NÄKÖKOHTIA | 37 |
| 12. | LÄPIVIENTIEN TIIVISTYKSET ELI PALOKATKOT | 39 |
| 13. | KAAPELEIDEN VALINTA JA KÄYTTÖ | 43 |
| 14. | YHTEENVETO KAAPLEIDEN PALO-OMINAISUUKSISTA | 49 |
| 15. | ESIMERKKEJÄ SÄHKÖN AIHEUTTAMISTA PALOISTA | 51 |
| 16. | KESKEISIMPIÄ SÄHKÖTURVALLISUUSSÄÄDÖKSIÄ | 58 |
| 17. | KIRJOITTAJAT, LÄHDEAINEISTO, KÄSITTEITÄ | 59 |

1. Esipuhe

Sähköstä aiheutuvia tulipaloja on tutkittu TkT Veli-Pekka Nurmen johdolla vuonna 1996 alkaneessa Turvatekniikan keskuksen (TUKES) tutkimusohjelmassa. Tutkimusohjelman myötä on syntynyt useita tutkimusjulkaisuja.

Tutkimusohjelman johtopäätösten ja toimenpidesuosituksen perusteella Sähkötarkastusyhdistys SÄTY ry. (SÄTY) on tuottanut materiaalia käytettäväksi sähköpalojen ennalta ehkäisyyn liittyvässä koulutuksessa ja tiedon jakamisessa. Materiaali käsittää kaksi julkaisua sekä niihin perustuvat koulutusmateriaalit.

Materiaali perustuu suurelta osin TUKES:n tutkimuksiin, julkaisuihin ja asiantuntija-apuun. Lisäksi kirjoittajina ja tekstin tarkistajina ovat toimineet useat alan asiantuntijat

SÄHKÖPETO -projektin nimi on johdettu sanoista **SÄHKÖ**palojen **En**nalta **Tor**junta **O**hjelma. Projektin tavoitteena on koulutuksen tiedottamisen keinoin vähentää sähköstä aiheutuvia paloja ja minimoida niistä aiheutuvia henkilö- ja omaisuusvahinkoja. Tutustu materiaaleihin, osallistu koulutuksiin sekä käytä tietoa hyödyksesi työssäsi. Toimi aktiivisesti yhtenä ”sähköpetona” sähköpaloja vastaan.

Sähkötarkastusyhdistys SÄTY osoittaa suuret kiitokset Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus ry:lle, jonka rahoituksella koulutusmateriaalin laadinta on tullut mahdolliseksi, sekä Turvatekniikan keskukselle, joka on luovuttanut auliisti käyttöön sähköpaloihin liittyvät ainutlaatuiset tutkimustietonsa, muuta aineistoa sekä asiaan liittyvän asiantuntemuksensa. Erityisesti SÄTY haluaa kiittää TkT Veli-Pekka Nurmea, jonka asiantuntemus ja kannustus ovat olleet ratkaisevan tärkeitä koulutusohjelman rakentamisessa ja eteenpäin viemisessä. Kiitokset myös jokaiselle kirjoittajalle, sekä niille henkilöille, joiden lausuntojen, kommenttien tai myötävaikutuksen avulla aineistoon on saatu monia näkökulmia ja lisää kokemukseen perustuvaa tietoa.

Sähkötarkastusyhdistys SÄTY ry.

2. Johdanto

Käsissäsi olevassa julkaisussa on sähköpaloihin ja niiden ennalta ehkäisyyn liittyvää syventävää tietoa. Tietoja voivat hyödyntää henkilöt, jotka ammatissaan työskentelevät tavalla tai toisella sähköpalojen tai niiden ennalta ehkäisyyn liittyvien asioiden kimpussa. Tällaisia ammattiryhmiä ja yhteisöjä ovat mm. sähkösuunnittelijat, sähkötöiden ja käytönjohtajat, kiinteistöjen haltijat, rakentamiseen ja kiinteistönpitoon liittyvä opetustoimi, palo- ja pelastustoimi, vakuutusala, sähkötarkastajat sekä poliisin erikoistutkijat.

Sähköhän sinänsä on harvoin perimmäinen syy palon syttymiseen. Perimmäinen syy on se, että sähkö joka paikassa esiintyvänä energialähteenä saa vikaantumisen tai inhimillisen virheen seurauksena sellaisen vallan, että seurauksena on palon syttyminen. Juuri mainitut ammattiryhmät ovat paalupaikalla, kun tavoitteena on sähköpalojen ennalta ehkäisy ja vahinkojen minimointi.

Tämä julkaisu on jatkoa ”Perustietoa sähköpaloista ja niiden ennalta ehkäisystä” -julkaisulle. Siinä on esitetty hyödyllisiä turvallisuusvinkkejä kaikille sähkön käyttäjille. Edellä mainitussa julkaisussa on tähän julkaisuun liittyvää tausta- ja perustietoa, joten siihen tutustuminen edesauttaa asioiden omaksumista.

Molemmat julkaisut sekä niihin liittyvät koulutuskalvot ovat imuroitavissa vapaasti julkaisussa toisaalta mainituista www-osoitteista. Molemmat julkaisut on tilattavissa 4 -väri kopioina sekä CD-levynä Sähkötarkastusyhdistys Sätý:ltä. Lähinnä kouluttajien käyttöön tarkoitetulla CD-levyllä on muun muassa tulipaloihin liittyviä videoleikkeitä ja koulutuksen kalvosarjat.

Sähköpalojen ennalta ehkäisyyn liittyvistä asioista tiedotetaan TUKES:n, SÄTY:n ja STEK:n www-sivuilla. Mainituilta sivuilta ja yhteisöistä saa tietoa myös kouluttajista eri osa-alueille. Varsinaista koulutusta ja valistusta toteuttavat alaan liittyvät koulutusorganisaatio, pelastus-, poliisi- ja vakuutusala sekä etujärjestöt omien tavoitteiden mukaisesti ja organisaatioittensa kautta.

Tässä julkaisussa sähkön aiheuttamia palojen ja syttymisen syitä lähestytään syvällisemmin myös teoreettiselta pohjalta. Julkaisusta saa tietoa sähkölaitteistojen keskeisimmistä sähköisistä paloriskeistä ja ajattelumalleja siitä, miten sähköturvallisuusriskejä voidaan minimoida riskienhallin periaatteiden mukaan laadittuja kunnossapito-ohjelmia noudattamalla.

Lukijoiden oletetaan olevan perillä sähköturvallisuusmääräysten perusteista ja sähkötekniikan perusteista. Julkaisussa ei anneta kovinkaan yksityiskohtaisia teknisiä ratkaisuja tai esitetä määräyksiä käsiteltävistä asioista, sillä kustakin asiasta on saatavilla kirjallisuutta ja artikkeleita erittäin runsaasti. Tässä julkaisussa onkin tuotu esiin sähköpalojen ennalta ehkäisyyn liittyvistä eri osa-alueista vain pääkoh- tia, joita lukijoiden ja kouluttajien toivotaan soveltavan omassa työssään tarkoituk- senmukaiseksi katsomallaan tavalla.

Tekijät¹

¹ Tiedot tekijöistä on esitetty julkaisun lopussa.

3. Turvallisuuskulttuuri

3.1 Organisaatiokulttuurin, turvallisuuskulttuurin ja yksilöiden käyttäytymisen yhteys turvallisuustasoon

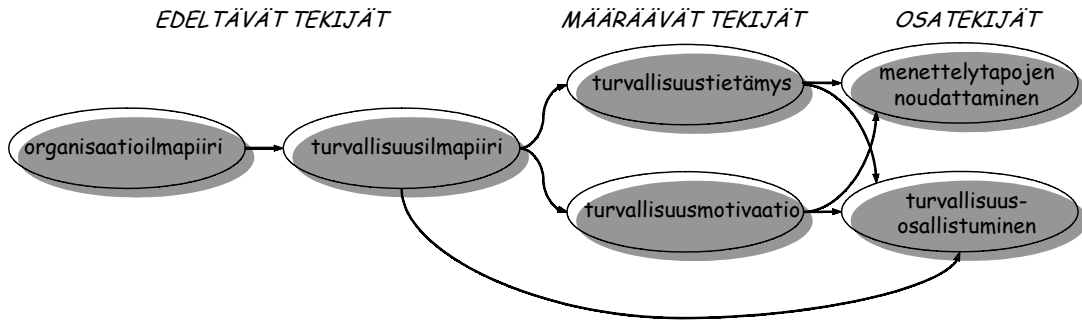
Tekn. tri Veli-Pekka Nurmi Turvatekniikan keskus

Turvallisuuskulttuurin käsite on alun perin lähtöisin organisaatiotutkimuksen piiristä, jossa sitä on käytetty kuvaamaan sellaisia työpaikoilla ja muissa organisaatioissa tapahtuviin onnettomuuksiin vaikuttavia tekijöitä, joilla uskotaan olevan kulttuurinen perusta. Vuonna 1979 sattuneen Three Mile Islandin ydinvoimalaonnettomuuden jälkeen turvallisuuskulttuurista on tullut paljon puhuttu aihe sekä tutkijoiden että eri organisaatioiden parissa.

Turvallisuuskulttuuria voidaan pitää organisaatiokulttuurin erityismuotona. Vaikka turvallisuuskulttuurille ei ole olemassa vakiomääritelmää, mutta sen voidaan katsoa sisältävän minimitekijöinä: ¹yhteiset arvot (mikä on tärkeää) ja ²uskomukset (miten asiat ovat ja toimivat), jotka vaikuttavat organisaation rakenteeseen ja kontrollijärjestelyihin tuottamalla ³käyttäytymisnormeja (tapa, jolla me teemme asioita täällä). Turvallisuuskulttuuri muodostuu sekä yhteisöjen, organisaatioiden ja yksilöiden näkyvästä toiminnasta turvallisuuden ylläpitämiseksi ja kehittämiseksi että toimintaa ohjaavista arvoista, asenteista ja uskomuksista. Näin turvallisuuskulttuurin kanssa läheinen käsite on turvallisuusjohtaminen.

Yksinkertaisena esimerkkinä turvallisuuskulttuurin ja turvallisuusjohtamisen merkityksestä voidaan pitää eroja eri lentoyhtiöiden onnettomuustiheyksissä. Lentoyhtiöt eripuolilla maailmaa käyttävät hyvin samanlaista kalustoa ja lentäjät, lennonjohtajat ja kunnossapitohenkilökunta koulutetaan ja auktorisoidaan hyvin samankaltaisten standardien mukaan. Kuitenkin todennäköisyys kuolla tai joutua vakavaan onnettomuuteen lennolla vaihtelee lentoyhtiöittäin 1/260.000 ja 1/11.000.000 välillä. Vaikka kansallisilla olosuhteilla ja resurssieroilla on oma vaikutuksensa näihin eroihin, selittyy leijonanosaa eroista vain erilaisten turvallisuuskulttuurien kautta.

Yleisellä organisaatiokulttuurilla oletetaan olevan merkittävä vaikutus turvallisuuskulttuuriin, kuitenkin vielä toistaiseksi on tutkittu suhteellisen vähän niitä mekanismeja, joilla turvallisuusilmapiiri vaikuttaa turvallisuuteen liittyvään käyttäytymiseen. Empiirisillä havainnoilla, on pystytty löytämään vahvaa tukea teoreettiselle mallille, jonka mukaan vaikuttamalla henkilöstön turvallisuutta koskevaan tiedon tasoon ja motivaatioon voidaan vaikuttaa organisaation turvallisuustasoon (kuva 1). On selkeästi nähtävä, että turvallisuuskulttuuria ei voi kehittää erillisenä organisaation ja yhteisön muusta toiminnasta.



Kuva 1 Turvallisuustasoon vaikuttavien tekijöiden rakennemalli.

Turvallisuuskulttuuri ilmenee makrotasolla yhteiskunnan ja kansalaisten yleisenä ilmapiirinä ja suhtautumisena turvallisuusasioihin. Mikrotasolla on kysymys työpaikoilla ja kodeissa vaikuttavien yksittäisten ihmisten arvoista ja asenteista. Kypärä ei mene päähän, pesukoneen hana ei väännä kiinni tai palovaroitin ilmesty kattoon, jos henkilö ei pidä kyseistä toimenpidettä minään.

Kaikki ihmisten omaksuma tieto on suodattunut heidän henkilökohtaisten asenteitensa, arvojensa, kokemustensa ja koulutuksensa läpi. Se mikä on arkijärjen mukaan totta toiselle, ei välttämättä ole sitä toiselle. Turvallisuussäännöt ovat yleensä yritysten johdon ja muiden päättäjien arkijärjen mukaisia, koska he ovat laatineet säännöt. Tavallisille ihmisille säännöt voivat kuitenkin näyttäytyä jopa naurettavina, koska heillä ei ehkä ole käytettävissään sitä tietoa, mitä tarvittaisiin säännön hyväksymiseen. Jotta ihmisiä voidaan auttaa hyväksymään turvallisuussäännöt, tulee ensin selvittää, miten ihmiset näkevät asiat. Vasta sen jälkeen voi olla edellytyksiä ryhtyä muuttamaan heidän riskikäsityksiään sekä näin kehittämään turvallisuusasenteita ja parantamaan turvallisuutta.

Lähteet:

- Glendon, A.I., Stanton, N.A. *Perspectives on safety culture. Safety Science 34 (2000). Pp. 193-214.*
- Neal, A., Griffin, M.A., Hart, P.M. *The impact of organizational climate on safety climate and individual behavior. Safety Science 34 (2000). Pp. 99-109.*
- Nurmi, V-P.: *Sähköpalojen riskienhallinta. TUKES -julkaisu 3/2001, Helsinki 2001. 113 s.*
- Petersen, D. *Human Error Reduction and Safety Management. 3rd edition. Van Nostrand Reinhold. New York 1996. 397 p.*
- Reason, J. *Managing the risks of organizational accidents. Ashgate Publishing Company. Brookfield 1997. 252 p.*
- Reason, J. *Can a safety culture be engineered? Proceedings of the European Conference on Safety in the Modern Society. 15-17 September 1999. People and Work. Research Reports 33. Finnish Institute of Occupational Health. Helsinki 2000. pp. 3 - 8.*
- Ruuhilehto, K., Vilppola, K. *Turvallisuuskulttuuri ja turvallisuuden edistäminen yrityksessä. TUKES -julkaisu 1/2000. Helsinki 2000. 75 s.*
- Ruuhilehto, K., Kuusisto, A. *Turvallisuuskulttuuri - mitä se on? TUKES -julkaisu 3/1998. Helsinki 1998. 83 s.*
- Saastamoinen, M. *Turvallisuuskulttuuri kuluttajatutkimuksen näkökulmasta. TUKES -julkaisu 6/1999. Helsinki 1999. 48 s.*
- van Vuuren, W. *Cultural influences on risks and risk management: six case studies. Safety Science 34 (2000). Pp. 31-45.*

3.2 Turvallisuuskulttuurissamme on kehittämisen varaa²

Toimittanut Jorma Korkalo.

Tutkimusten mukaan sekä kansalaisten, että yritysten sähköpaloriskeihin liittyvässä tiedoissa ja toimintatapakulttuureissa on parantamisen varaa.

Turvallisista toimintatavoista ja turvallisen toiminnan merkityksestä voidaan viestinnän keinoin levittää tietoa. Näin voitaneen parantaa sekä ihmisten halua että kykyä toimia turvallisesti. Pyrittäessä kehittämään turvallisuuskulttuuria sähköpalojen ennaltaehkäisyn näkökulmasta, tulee motivoivan viestinnän kohdistua useisiin eri kohderyhmiin.

Havaitut viat ja puutteet ilmoitettava kunnossapito-organisaatiolle

Eräs keskeisimmistä sähkön paloturvallisuuteen vaikuttavista turvallisuuskulttuurin yksityiskohdista on se, miten suhtaudutaan epänormaalisti toimiviin sähkölaitteisiin tai epätavallisiin sähköilmiöihin. Toimintatavoissa tulisi olla selkeät ohjeistukset siitä, poistetaanko laitteet käytöstä, huollatetaanko ne vai jatketaanko niiden käyttöä niin kuin mitään ei olisi tapahtunut ja jätetäänkö syyt epätavallisiin sähköilmiöihin selvittämättä.

Sähkölaitteiden viat antavat tyypillisesti merkkejä hyvissä ajoin ennen kuin viasta kehittyy palo. Sähkölaitteiston käyttäjiä tulee opastaa tunnistamaan poikkeavat sähköilmiöt sekä välittämään tieto havainnoistaan kiinteistöhoito-organisaatiolle. Tällä tavalla sähkölaitteiston kunnan havainnointiin saadaan merkittävää tehostumista siihen, nähden, että havainnointi olisi ainoastaan kiinteistöhoito-organisaation harvojen henkilöiden vastuulla. Olennaista on lisäksi, että huolto-organisaatio reagoi asianmukaisella vakavuudella ripeydellä saamiinsa ilmoituksiin.

Edellä mainittuja poikkeavia sähköilmiöitä, joita maallikkokin voi tunnistaa, ovat esimerkiksi sulakkeiden toistuva palaminen, epätavalliset äänet sähkölaitteissa, laitteiden selittämättömät toimintahäiriöt, laitteiden epänormaali lämpötilat sekä tietysti silmin nähden vialliset sähkölaitteet.

Laitteiden valinta, käyttö ja kunnossapito sekä varautuminen onnettomuuteen

Hyvään turvallisuuskulttuuriin kuuluu laitteiden valinta käyttäjät ja käyttöolosuhteet huomioiden, suunnitelmalliset kunnossapito- ja korjaustoimet sekä varautuminen onnettomuustilanteiden varalle. Varautuminen kattaa menettelytapojen suunnittelun, perehdyttämisen sekä tarvittavien suojaimien sekä muiden laitteiden, kuten alkusammutusvälineiden hankinnan ja huollon.

² Lähde: TUKES julkaisu 3/2001 Sähköpalojen riskien hallinta, Veli-Pekka Nurmi.

4. Sähköpalot fysikaalisina ilmiöinä

Tämä on lyhennelmä yliopettaja Väinö Bergmanin artikkelista, joka on kokonaisuudessaan esitetty julkaisun osassa 6.

Yleistä

Sähköpaloksi nimitetään tässä paloa, jonka sähkö aiheuttaa. Sähkönkäytön yhteydessä esiintyy vuotovirtoja, vikavirtoja, yliaaltojännitteitä ja -virtoja, sähköpurkauksia, sähkökipinöitä sekä valokaaria, joiden seurauksena pahimmassa tapauksessa voi olla sähköpalo. Kiinteiden eristeiden tärkeitä ominaisuuksia ovat mm. mekaaninen, terminen ja sähköinen lujuus. Eristeiden lämpenemisen, lämpötilavaihteluiden, käyttöympäristön olosuhteiden, värinän, materiaalien vanhenemisen, jänniterasitusten jne. seurauksena tapahtuu niissä kemiallisia, mekaanisia ja sähköisten ominaisuuksien muutoksia niin, että ne voivat johtaa haitallisen suuruisiin vuotovirtoihin ja jopa edistää vaurioita eristeissä.

Sähköpaloa johtavia sähköilmiöitä:

- Vuoto-, oikosulku- ja ylikuormitusvirrat
- Yliaaltojännitteet ja -virrat
- Sähköpurkaukset, -kipinöinnit
- Valokaaret

Sähköpaloa edellyttäviä ovat: syttyvä ja palava materiaali, happi ja sytytysenergia. Helpoimmin syttyviä ovat pölyt, jauheet, kaasut, höyryt ja palavat nesteet. Räjähdyksenvaarallisten pölyjen keskimääräinen hiukkaskoko, alin räjähdyskykyinen pölypitoisuus, maksimi räjähdyspaine ja syttymislämpötila sekä palavien kaasujen, höyryjen ja nesteiden koostumus, tiheys, leimahduspiste, itsesyttymislämpötila, vallitseva paine, syttymis- ja räjähdysrajat vaikuttavat siihen syttyykö aineen ja ilman seos korkeasta lämpötilasta, kipinästä tai valokaaresta. (SFS-käsikirja 59 ja SFS-käsikirja 60 jotka käsittelevät räjähdysvaaraa)

Sähkön aiheuttama lämpeneminen

Eräs keskeinen sähköpaloa syy on virtapiirin tai sähkölaitteen jonkin osan yllilämpeneminen. Se voi johtua suuresta vuotovirrasta sekä ylikuormituksen tai oikosulun aiheuttamasta virrasta. Virran vaikutuksesta syntyy tehohäviöitä, joka ilmenee ko. osan lämpenemisenä.

Lämpenemisen sähköteknistä prosessia on valotettu syvällisemmin varsinaisessa artikkelissa.

I^2t -arvo

Elektroniikkaa sisältävät sähkölaitteet saattavat olla hyvinkin herkkiä ylivirroille. Eräs tähän esitykseen sopiva aihe on tehopuolijohdekomponentin I^2t -arvo. Komponentti on valittava ja sen suojaus on järjestettävä niin, että se kestää tuhoutumatta esiintyvät kuormitus- ja vikavirrat. Puolijohdekomponentti tuhoutuu ylivirrasta

hyvinkin nopeasti. Tehopuolijohdekomponentin suojana on käytettävä niitä varten suunniteltuja suoja. Komponentin ja suojan keskinäinen valinta on tehtävä niin, että suojan I^2t -arvo on pienempi kuin suojattavan komponentin I^2t -arvo.

I^2t -arvon käyttöä on laajennettu myös katkaisijoihin. Katkaisijoilla voidaan siten suojata kaapelia oikosulkuja vastaan asettelemalla sen I^2t -arvo kaapelin vastaavaa arvoa pienemmäksi. Näissä tapauksissa I^2t -arvo määritetään eri tavalla kuin tehopuolijohteilla.

Staattinen sähkövaraus

Kaikilla kappaleilla on kapasitanssia maahan nähden, joten niihin voi kerääntyä sähkövarausta. Staattinen sähkövaraus aiheuttaa hyvinkin helposti sähköpurkauksia. Jos purkausenergia on riittävän suuri, sen seurauksena voi olla palavan tai räjähtävän aineen syttyminen ja sähköpalo. Elektroniikan komponentit ja laitteet ovat erityisen herkkiä staattisen sähköpurkauksille. Staattisen sähkövarauksen ennaltaehkäisyä, vähentämistä tai muita hallintakeinoja ei tässä esityksessä käsitellä.

Ihminen staattisen sähköpurkauksen aiheuttajana

Liikkuvaan ihmiseen syntyy varsin helposti staattinen sähkövaraus, jonka suuruus riippuu ilman suhteellisesta kosteudesta, lattian pintamateriaalista sekä vaatetuksen ja jalkineiden materiaaleista. Sähköä eristävillä jalkineilla, ihmistä voidaan pitää ympäristöstään eristettynä kappaleena. Staattisen sähkövarauksen kannalta ihminen muodostaa tällöin "kondensaattorin" toisen elektrodin. Ihmisen kapasitanssi maahan nähden on normaalisti (50 ... 250) pF. Eristävällä lattialla ja eristävillä jalkineilla voi ihmisen sähköstaattinen jännite nousta jopa (20 ... 30) kV:iin. Ihminen havaitsee ja tuntee tyypillisesti jännitteeltään yli 3 kV:n suuruiset staattiset sähköpurkaukset.

5. Syttymisriskejä aiheuttavia sähköilmiöitä ja niiltä suojautuminen

Valtuutettu tarkastaja Paavo Hakala Suunnittelutoimisto Hakala Oy

5.1 Resisttiivinen syttyminen

Ylikuormitus

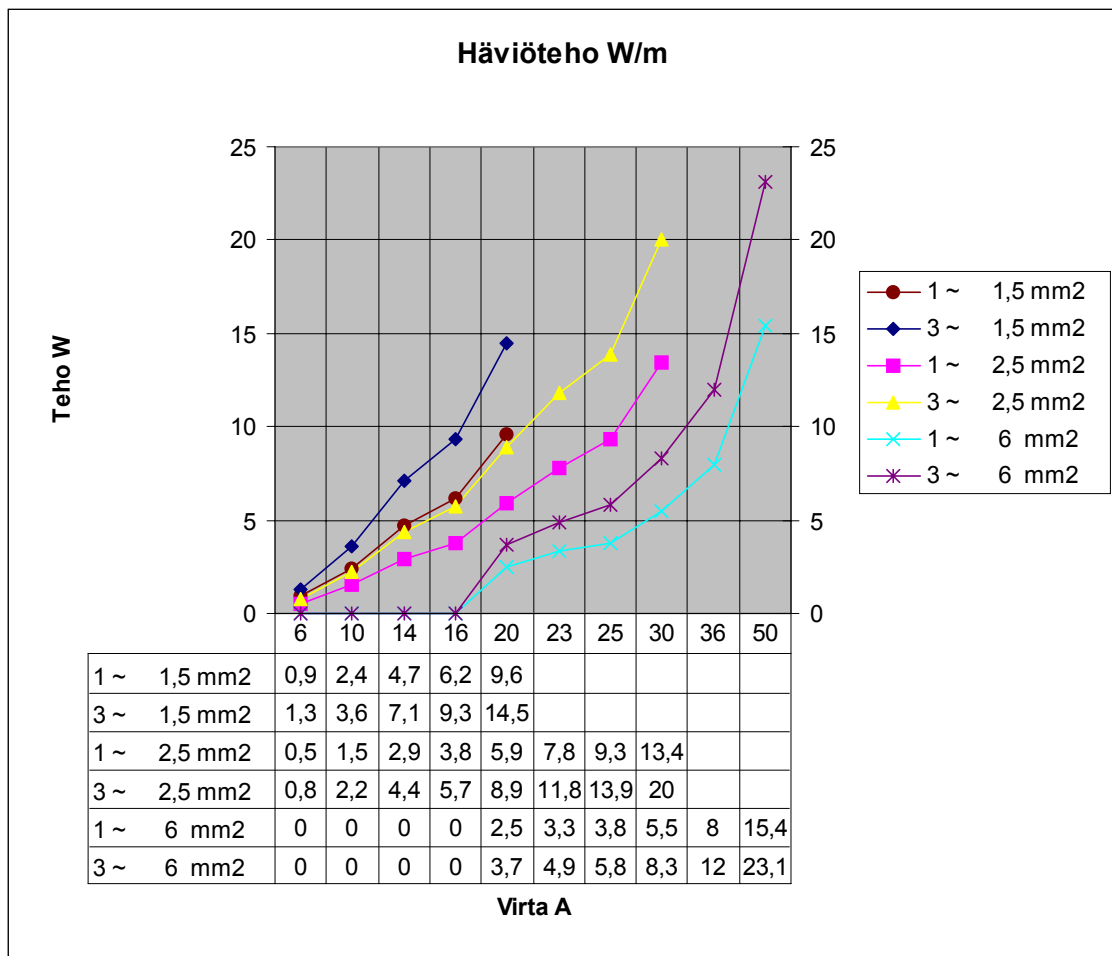
Kaikissa sähkövirran kulkuteissa syntyy tehoa kaavan $I^2 \times R$ mukaan. Mikäli virran kulkutie joltain osin poikkeaa muusta virtatiestä aiheuttaen suuremman vastuksen, kohta lämpenee muuta virtatietä enemmän. Tällaisia ovat esimerkiksi liitokset ja jatkokset.

| Virta A | Lämmittävä teho ylimenokohdassa W |
|------------|--------------------------------------|
| 10 | 10 |
| 16 | 25,6 |
| 25 | 62,5 |
| 100 | 1000 |

Taulukko 1 Esimerkkejä 100 mΩ ylimenovastuksen (esimerkiksi liitos, jatkos) aiheuttamasta lämmittävstä tehosta.

Kaapelin tai johdon lämpiäminen tapahtuu aivan samoin johtimien ominaisvastuksen (tasavirtaresistanssi) mukaan. Lämpeneminen riippuu siitä, kuinka monta johdinta kuormittuu ja mikä on kuormitusvirta. Tarkastellaan tässä tavanomaisia 1,5 mm², 2,5 mm² ja 6 mm² kuparijohtimia.

Näiden ominaisvastukset ovat metriä kohti:



1,5 mm² = 12,1 mΩ/ m, 2,5 mm² = 7,41 mΩ/ m, 6 mm² = 3,08 mΩ/ m.

Kuva 2: Lämmön tuotto metriä kohti eri kuormitusvirroilla

5.2 Kolmas yliaalto (150 Hz)³

Insinööri Jorma Korkalo Primatest Oy

Yliaaltoja esiintyy lähes kaikissa sähköverkoissa enenevässä määrin johtuen epälineaaristen sähkölaitteiden jatkuvasta lisääntymisestä. Ne aiheuttavat ylivirtoja ja ylijännitteitä, joista voi ainakin välillisesti aiheutua sähköpalo. Yliaaltoja sisältävän jännitteen ja virran käyrämuoto ei ole puhdasta sinimuotoa. Yliaaltojen aiheuttamia käyrämuodon virheellisyyttä kuvataan särökertoimella. Palovaaran lisäksi merkittävä haittatekijä on myös ”epäpuhtaan” sähkön aiheuttamat häiriöt elektroniikkaa sisältäville sähkölaitteille.

Kaikkein haitallisin yliaaltoihin liittyvä ilmiö on kuitenkin resonanssi. Resonanssi syntyy, kun jonkin yliaallon taajuus on lähellä verkon resonanssitaajuutta. Tällöin yliaaltovirrat tai jännitteet usein moninkertaistuvat normaaliin tilanteeseen verrattuna. Resonanssi syntyy jonkin verkon osan kapasitanssien ja induktanssien välille. Artikkelissa käsitellään kuitenkin lähinnä 3. yliaaltoon liittyviä asioita.

Sähköpalojen syntymisen suhteen haitallisin on kolmas harmoninen yliaalto (150 Hz), koska sen vaihekohtaiset yliaaltovirrat kolmivaiheverkossa ovat samanvaiheiset jolloin ne summautuvat nollajohtimeen synnyttäen siihen jopa vaihejohtimia suuremman 150 Hz virran. Yksivaiheverkossa nollajohtimen virta voi olla yliaalloista johtuen olla jopa 1.7 -kertainen vaihejohtimen virtaan verrattuna.

Symmetrisessä lineaarisessa kolmivaihekuormituksessa nollajohdossa ei kulje virtaa, sillä vaihevirtojen summa on nolla. Vaaraa lisäävät kuitenkin ne tosiasiat, että nollajohtimen mitoitus etenkin suurimmissa kolmivaiheisissa virtapiireissä todennäköisesti on vain puolet vaihejohtimen poikkipinnasta ja, että nollajohdinta ei ole suojattu ylikuormitukselta. Nollajohtimen jopa monikertainen ylikuormittuminen aiheuttaa sen ylikuumentumisen ja eristevaurioiden myötä edelleen oikosulun tai maasulun ja niiden seurauksena palovaaran.

Yliaaltolähteet

Yliaaltojen lähteitä esiintyy lähes kaikissa sähkölaitteistoissa koska epälineaarisia virtalähteitä on käytännössä kaikissa sähkölaitteistoissa yhä enenevässä määrin. Sellaisia ovat mm. elektroniset virtalähteet, elektroniset purkaus- ja loistevalaisimien liitäntälaitteet, tietokoneet, kotielektroniikka sekä teollisuuden valokaariuunit, suuntaajat, tyristorikytkimet, moottorit, generaattorit, sähkösuotimet ja hitsauslaitteet.

Esimerkiksi tavallinen toimistotietokone aiheuttaa verkkoon 4 A/kW 150 Hz virtaa ja purkauslamppukuorma 1A/kW 150 Hz virtaa.

5.2.1 Kolmannesta yliaallosta aiheutuvia ongelmia

Seuraavassa käsitelty lähinnä palovaaraa lisääviä seurauksia, joista useimmat johduvat juuri kolmannen yliaallon aiheuttamista suurista nollavirroista.

³ Lähde ABB Oy Kolmannen yliaallon opas THF 80 Fi 99-9

Sähköverkkoon:

- Nollajohdin lämpenee > ylikuumentuminen aiheuttaa tulipalovaaran
- Potentiaalierot nollapisteiden ja maan välillä kasvavat
- Tehohäviöt lisääntyvät (150 Hz)
- Synnyttää sähköverkkoon häiriöitä, jotka edelleen saattavat häiritä suoja- ja turvajärjestelmien toimintaa

Muuntajiin:

- Tehohäviöiden kasvua
- Resonanssiriskin
- Lämpenemistä > vanheneminen nopeutuu > elinikä laskee > sähköturvallisuusriskit kasvavat

Kondensaattoreihin:

Kondensaattoriparistot ovat erityisen herkkiä yliaalloille. Ne joudutaan ylivoimaisesti, että ne kestäisivät laitteistojen aiheuttamat yliaallot. Yliaalto-ongelmat johtuvat pääosin rinnakkaisresonanssista.

- Tehohäviöiden kasvua > lämpenemistä > vanheneminen nopeutuu > elinikä laskee > sähköpaloriskit kasvavat
- Resonanssiriski
- Resonanssi syntyy, kun jonkin yliaallon taajuus on lähellä verkon resonanssitaajuutta. Tällöin yliaaltovirrat tai jännitteet usein moninkertaistuvat normaaliin tilanteeseen verrattuna. Resonanssi syntyy jonkin verkon osan kapasitanssien ja induktanssien välillä. Yliaaltopitoisessa verkossa kompensointi tulee varustaa estokelaparistoilla, ellei ole käytetty yliaaltosuotimia.
- Automaattisesti säädetyillä paristolla pariston kapasitanssi vaihtelee loistehotarpeen mukaan mistä syystä myös resonanssitaajuus vaihtelee.

$$f_r = f_1 * \sqrt{\frac{S_k}{Q_c}}$$

f_i = analysoitava taajuus

S_k = Verkon oikosulkuteho

Q_c = Kompensointipariston kapasitanssi

Kaapeleihin ja johtimiin:

- Tehohäviöt lisääntyvät > lämpenemistä > vanheneminen nopeutuu > elinikä laskee > sähköpaloriskit kasvavat
- Nollajohtimen tai PEN -johtimien ylikuormitusta
- Kolmas yliaalto summautuu nollajohtimeen kolminkertaisesti
- Huom. Useimmissa asennuksissa N-johdin on vain puolet vaihejohtimen poikkipinnasta!
- Tulipalovaara, nollajohdin tai PEN -johdin saattavat palaa poikki
- Vaihejohtimessa kulkevan 150 Hz yliaaltovirran.

Tietokoneisiin, elektronisiin laitteisiin, signaalikaapeleihin:

- Yliaaltojen jännitesäröt saattavat aiheuttaa toimintavirheitä mittalaitteissa, tietokoneissa sekä säätö- ja suojalaitteissa, joista edelleen voi aiheutua toimintahäiriöitä esim. suoja- ja turvajärjestelmiin ja siten välillisesti sähköpalovaaran lisääntymiseen.
- TN-C -järjestelmissä potentiaalierot aiheuttavat tasoisuuseroja 150 Hz:n ollessa usein dominoiva. Harhavirrat kulkevat putkistoissa, rakenteissa, maadoitusjohtimissa jne. aiheutta-

en ympärilleen magneettikentän ja siitä seurauksena häiriöitä esim. signaalikaapeleihin. Nämä harhavirrat voivat aiheuttaa toimintahäiriöitä tietokoneille.

5.2.2 Kolmannen yliaallon vaikutuksien minimointi ja ehkäisy

Koska suunnitteluvaiheessa ei useinkaan ole mahdollista ennakoida riittävällä tarkkuudella yliaaltojen syntyä, täytyy asia tavalla tai toisella huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Yliaaltohaittoja pienennettäessä käytettävä keino valitaan teknisten ja taloudellisten seikkojen perusteella.

Tällöin on syytä pohtia onko edullisempaa suodattaa yliaaltoja vai estää niiden syntyminen ja/tai miten asia huomioidaan muutoin sähkölaitteiston rakenteessa.

- Perustoimenpide tällöin on se, että nollajohtimen mitoituksessa otetaan huomioon kolmas yliaalto. Standardisarjassa SFS 6000 kohdissa 524.2 ja 524.3 on ohjeet mm. nollajohtimen mitoituksesta kolmannen yliaallon nollajohtimeen aiheuttaman kuormituksen vuoksi.
- Yliaaltojen esiintyminen tulee huomioida myös yliaaltoja tuottavien sähkölaitteiden sekä signaalikaapeleiden sijoittamisessa, asennuksessa ja kytkennöissä. Ne tulee toteuttaa valmistajien ohjeita ja standardeja noudattaen.
- Perustoimenpide on myös maadoitusten ja potentiaalitasauksien toteuttaminen häiriöiden vaikutukset minimoivalla tavalla. Näillä on välillinen merkitys paloturvallisuuteen elektronisten suoja- ja turvajärjestelmien luotettavan toiminnan varmistamisessa.
- Yliaaltovirtoja voidaan myös rajoittaa käyttämällä yliaaltosuotimia ja paloturvallisuuden kannalta nimenomaan kolmannen yliaallon suotimella, jolla saadaan poistettua jopa 95 % kolmannelta yliaallosta.
- Sähkölaitteiston yliaaltotilannetta tulisi vähintään vuoden välein seurata mittauksin. Seuranta tulisi liittää kunnossapito-ohjelmiin. Seurannan avulla mahdollisesti kehittymässä olevaan yliaalto-ongelmaan päästään käsiksi hyvissä ajoin ennen kuin se yllättäen aiheuttaa vakavampia häiriöitä esim. irityksen varsinaiselle toiminnalle.

5.3 Eristysviat, vuotovikavirrat

Laitteiston tai laitteen eristysvika aikaansaa vikavirtoja virtapiirin osista maahan tai suojajohtimeen. Vikavirrat voivat otollisissa olosuhteissa aiheuttaa vaarallisia lämpötiloja jo 100 mA virran tasolla. Nykyisissä asennusmääräyksissä vikavirroilta suojautumiseen määrätyissä käyttöympäristöissä vaaditaan 300 mA vikavirtasuojaa, jonka toiminta-alue on 150 - 300 mA. Tämä yleensä riittää tehokkaaseen palosuojaukseen.

5.4 Ylijännitteet⁴

Insinööri Jorma Korkalo Primatest Oy

5.4.1 Ylijännitteiden syntyminen

Ylijännitteet syntyvät sähkölaitteiden kytkemisen ja sähköstaattisten purkausten yhteydessä. Näiden lisäksi vakuutusyhtiöiden tilastojen kärkipaikoilla ovat ukkospurkauksen yhteydessä tapahtuvien sähkömagneettisten vaikutusten sähkö- ja elektroniikkalaitteissa aiheuttamat vahingot.

Ylijännitteiden kytkeytyminen järjestelmästä toiseen voi tapahtua galvaanisesti, induktiivisesti tai kapasitiivisesti.

Galvaaninen kytkentä

Ylijännite voi kytkeytyä galvaanisesti häiriölähteestä kohdelaitteeseen yhteisen **impedanssin** kautta.

Salaman syöksyvirran korkeat amplitudit aiheuttavat maadoitusvastuksessa ylijännitteen, joka potentiaalintasauskiskon kautta kytkeytyy järjestelmään liitettyihin johtimiin. Lisäksi johtimissa, joiden kautta salamavirta kulkee, syntyy induktiolain $UL = L di/dt$ mukaisesti ylijännite virran suuren nousunopeuden vuoksi.

Induktiivinen kytkentä

Johtimen läpi kulkeva virta aiheuttaa **magneettikentän** vuoksi induktiivisen kytkennän induktioperiaatteen mukaisesti Suoraan kytkeytynyt ylijännite aiheuttaa johtimessa syöksyvirran, jonka nousunopeusarvo di/dt on suuri. Johtimen ympärille syntyy virran suuruutta vastaava magneettikenttä (muuntajan ensiökäämin toiminta). Magneettikentän vaikutusalueella oleviin muihin johtimiin, esimerkiksi signaali-kaapeliin, indusoituu ylijännite (muuntajan toisiokäämin toiminta). Laitteisiin ylijännite etenee niihin kytkettyjä johdimia pitkin.

Kapasitiivinen kytkentä

Kapasitiivinen kytkentä tapahtuu **sähkökentän** vuoksi kahden pisteen välillä, joilla on suuri potentiaaliero.

Sähköä johtavan osan tai laitteen potentiaali kasvaa suureksi, näin käy esimerkiksi ukkosenjohdattimen potentiaalille salamaniskusta. Laitteiston ja osien, joilla on alhaisempi potentiaali (esimerkiksi rakennuksen sisällä oleva sähkö- tai signaalijohdin), välille syntyy sähkökenttä. Eri potentiaaleissa olevien osien välinen jännite pyrkii tasoittumaan, ja seurauksena on läpilyönti. Se aiheuttaa ylijännitteen kohteena olevaan johtimeen ja siihen kytkettyyn laitteeseen.

⁴ Lähde Phoenix Contact Trabtech Basic

5.4.2 Ylijännitteen aiheuttamat vahingot

Ylijännitteet tuhoavat suuren määrän sähkö- ja elektroniikkalaitteita, ja vahinkojen määrä ja suuruus ovat kasvaneet huomattavasti viimevuosina.

Yleensä rikkoutuneita komponentteja ovat johtimet, piirilevyt ja kytkimet. Lisäksi laitteille ja laitteistoille voi aiheutua mekaanisia vahinkoja.

Kustannuksia aiheuttavat vahinkojen korjaukset sekä luonnollisesti käyttökeskeytyksistä aiheutuvat menetykset.

Välittömän palovaaran voi aiheuttaa käytännössä suora salamanisku. Välillisesti palovaaran aiheuttaa suoja- ja turva- ja hälytysjärjestelmien vioittuminen toimimattomaksi esimerkiksi suojalaitteen elektroniikkaan tulleen vian vuoksi.

Ylijännitteistä johtuvat vahingot voidaan estää huolellisesti toteutetulla ylijännitesuojauksella.

5.4.3 Ylijännitesuojauksen suunnittelu

Suojauksen suunnittelu tulee toteuttaa kokonaisvaltaisesti jopa kiinteistön ympäristön rakenteet huomioiden. Tehokkaimmillaan suojaus on, kun se toteutetaan kolmiportaisesti lähtien sähkönsyöttöön liitettävästä ukkospurkaussuojista, jatkuen ylijännitesuojiiin (esimerkiksi jakokeskuksessa) ja päättyen laitekohtaisiin kojiesuojauksiin. Portaittaisessa suojauksessa ylijännite rajoitetaan portaittain sille tasolle (1,5 kV), että viimeisenä portaana olevat kojiesuojat kykenevät hoitamaan laitteeseen kohdistuvat jäännösylijännitteet. Toisaalta laitteen tulee sietää tietyt ylijännitetasot siten kuin ko. laitestandardeissa on edellytetty.

Olenainen osa ylijännitesuojausta on asianmukaisesti toteutettu maadoitus ja potentiaalintasaus. Ylijännitesuojauksessa jäljelle jäävä jäännösjännite on paljolti riippuvainen maadoitusten ja potentiaalintasauksien kaikkien osien mahdollisimman pienestä impedanssista maadoituselektrodi mukaan lukien.

Sekä sähkönsyötön eri portaiden suojaamiseen, että erilaisten teleliitännöiden (tulevat ja lähtevät) suojaamiseen on olemassa omat erityiset suojalaitteensa ja mitoitusohjeet.

Usein näkee ylijännitesuojaus toteutetun käyttämällä pelkkiä laitteen sähkönsyöttöön liitetty kojiesuojia. Tällöin tulee muistaa, että pelkkä kojiesuoja antaa suojaa enintään 1,5 kV:n ylijännitteille mikä suojaustaso todennäköisesti on täysin riittämätön. Myös ylijännitesuojan laatuun tulee kiinnittää huomiota sillä "halpatuonti" kojiesuoja osoittautuu todennäköisesti kelvottomaksi tosipaikan tullen.

Herkimpiä ylijännitteille ovat mikropiirit, joiden jännitekestoisuus on tyypillisesti mitoitettu vain muutamaan volttiin. Niinpä jo 500 V:n ylijännite on jopa satakertainen mitoitusjännitteeseensä nähden - "vain" 500 V:n ylijännitteen aiheuttamia seuraukset mikropiiriin on siten helppo kuvitella. Kun lisäksi muistamme sen, että ylijännite voi kytkeytyä esimerkiksi salaman aiheuttamien syöksyvirtojen seurauksena sekä induktiivisesti, että kapasitiivisesti datajohtojen ja sähkökojeiden piirikorttien johdinsilmukoihin, ymmärretään helpommin elektroniikkalaitteiden suuri alttius ylijännitevahingoille.

Toimivan suojauksen toteutus edellyttää sekä sähkönsyöttöjärjestelmän, että laitteeseen liitettyjen teleliityntöjen ylijännitesuojauksen ammattitaitoista suunnittelua ja asennusta.

5.5 Palo- ja räjähdysvaaralliset tilat

Valtuutetu tarkastaja Paavo Hakala Suunnittelu- ja Suunnittelutoimisto Hakala Oy

Palo- tai räjähdysvaarallisissa tiloissa käsitellään tai varastoidaan materiaaleja, jotka aiheuttavat palo- tai räjähdysvaaran. Palovaaralliset tilat luokitellaan kansallisten käytäntöjen mukaan. Suomessa luokittelu tapahtuu Ympäristöministeriön julkaiseman Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa E. Siinä julkaisu E1 on juuri vahvistettu, mutta uutta painosta ei ole vielä saatavilla (8/2002)

Pienjännitesähköasennukset standardisarjan SFS 6000muutos A1 on kiristänyt vaatimuksia kohdassa 482. Palonvaarallisina tiloina tulee nyt myös käsitellä osastoidut ulosmenotiet eli lähinnä porraskäytävät. Niihin saa asentaa sähkölaitteistoja palokuormaa lisäävästi vain, jos ne liittyvät ulosmenoteiden valaistukseen tai pistorasioihin ja virtapiirit ovat suojattu vikavirtasuojilla. Muut asennukset tulee palosuojata (EI 30) A2-s1,d0 suojaustavalla tai sitä paremmin. Lisäksi kaikkien laitteiden pintalämpötilat tulee valita siten, että ne eivät todennäköisesti aiheuta vaaraa ympäristöönsä.

6. Sähköpalot fysikaalisina ilmiöinä

Sähkötekniikan yliopettaja Väinö Bergman Tampereen ammattikorkeakoulu

6.1 Yleistä

Sähköpaloksi nimitetään tässä paloa, jonka sähkö aiheuttaa. Sähkönkäytön yhteydessä esiintyy vuotovirtoja, vikavirtoja, yliaaltojännitteitä ja -virtoja, sähköpurkauksia, sähkökipinöitä sekä valokaaria, joiden seurauksena pahimmassa tapauksessa voi olla sähköpalo. Kiinteiden eristeiden tärkeitä ominaisuuksia ovat mm. mekaaninen, termien ja sähköinen lujuus. Eristeiden lämpenemisen, lämpötilavaihteluiden, käyttöympäristön olosuhteiden, värinän, materiaalien vanhenemisen, jännitetasitusten jne. seurauksena tapahtuu niissä kemiallisia, mekaanisia ja sähköisten ominaisuuksien muutoksia niin, että ne voivat johtaa haitallisen suuruisiin vuotovirtoihin ja jopa edistää vaurioita eristeissä.

Sähköpaloön johtavia sähköilmiöitä:

- Vuoto-, oikosulku- ja ylikuormitusvirrat
- Yliaaltojännitteet ja -virrat
- Sähköpurkaukset, -kipinöinnit
- Valokaaret

Vuotovirrat

Vuotovirtoja esiintyy aina, kun on potentiaalieroja. Kun tasajännite kytketään eristeen yli, kulkee sen läpi virta, joka vaimenee vuotovirraksi aiheuttaen eristeen pinnolle staattisen sähkövarauksen. Normaalisti vuotovirrat ovat niin pieniä, että niistä ei ole haittaa. Vuotovirran tiheys saattaa kuitenkin esim. pistemäisellä alueella nousta niin suureksi, että seurauksena on eristeen terminen läpilyönti tai komponentin tuhoutuminen. Edelleen jos eristeen yli vaikuttava lyhyt tai pitkäaikainen jänniterasitus ylittää eristeen jännitelujuuden tapahtuu eristeen terminen tuhoutuminen. Vaihtosähkökentässä syntyy vuotovirrasta johtuvien häviöiden lisäksi dielektrisiä häviöitä. (Aro ym., 1996, 53, 120-126)

Vikavirrat

Vikavirroiksi nimitetään tässä virtoja, jotka ovat yli- tai oikosulkuvirtoja. Nämä virrat voivat olla niin suuria, että ne aiheuttavat virtapiirin tai sähkölaitteen jonkin osan ylläampemisen ja vaurioitumisen.

Yliaaltovirrat

Yliaaltovirrat ja -jännitteet aiheutuvat pääasiassa sähköverkon epälineaarisista kuormituksista, joita ovat mm. kyllästyviä magneetti-piirejä sisältävät sähkölaitteet ja suuntaajat. Yliaallot voivat johtaa sähkökomponenttien ja -laitteiden ylikuumentumiseen ja ylijännitevaaraan kondensaattoreissa.

Sähköpurkaukset

Sähköpurkaukset ja -kipinät johtuvat kertyneen staattisen sähkövarauksen purkautumisesta. Staattinen sähkövaraus voi syntyä eri materiaalien, aineiden tai molekyylien välisestä kosketuksesta, hankauksesta tai influenssista. Staattisen sähkövarauksen suuruus ja polariteetti riippuvat mm. materiaalien keskinäisestä sijainnista triboelektrisessä sarjassa ja niiden sähkönjohtokyvystä. Sähköpurkaukset, -kipinät ja lämpötilanvaihtelut voivat aiheuttaa sähkökomponentteihin piileviä vaurioita, niiden jännitekestoisuuden ja -lujuuden alenemista sekä johdotusvaurioita ja juotosrappeutumia. Toistuvien purkausten aiheuttamat jännitepulssit aiheuttavat siten vähitellen komponenttien ominaisuuksien heikkenemistä ja lopulta niiden viikaantumisen.

Valokaaret

Valokaaret syntyvät ulkoisten tai sisäisten ylijännitteiden aiheuttamina yli- tai läpilyönteinä ja varastoituneen sähköenergian purkautuessa kytkentätilan muutoksien yhteydessä kytkinlaitteen koskettimien välillä.

Sähköpaloön edellytyksiä ovat: syttyvä ja palava materiaali, happi ja sytytysenergia.

Helpoimmin syttyviä ovat pölyt, jauheet, kaasut, höyryt ja palavat nesteet. Räjähdyksivaarallisten pölyjen keskimääräinen hiukkaskoko, alin räjähdyskykyinen pölypitoisuus, maksimi räjähdyspaine ja syttymislämpötila sekä palavien kaasujen, höyryjen ja nesteiden koostumus, tiheys, leimahduspiste, itsesyttymislämpötila, vallitseva paine, syttymis- ja räjähdysrajat vaikuttavat siihen syttyykö aineen ja ilman seos korkeasta lämpötilasta, kipinästä tai valokaaresta. (SFS-käsikirja 59 ja SFS-käsikirja 60 jotka käsittelevät räjähdysvaaraa)

6.1 Sähkön aiheuttama lämpeneminen

Eräs keskeinen sähköpalon syy on virtapiirin tai sähkölaitteen jonkin osan ylläampneneminen. Se voi johtua suuresta vuotovirrasta sekä ylikuormituksen tai oikosulun aiheuttamasta virrasta. Virran vaikutuksesta syntyy tehohäviötä, joka ilmenee ko. osan lämpenemisenä.

Lämpenemisen sähkötekniistä taustaa voidaan valottaa yksinkertaistetulla esimerkillä johtimesta, jonka pituus on l ja jossa kulkee vakiovirta I (kuva 1). Johtimen resistanssi R oletetaan vakioksi lämpötilan noususta huolimatta. Johtimen lämpenemää merkitään ϑ :lla.

Johtimessa syntyy ajassa dt häviöenergia $I^2 R dt$ niin, että sen lämpötila nousee määrällä $d\vartheta$. Tästä häviöenergiasta osa $mc d\vartheta$ varastoituu johtimeen ja osa $a\alpha\vartheta dt$ siirtyy ympäristöön. Tasapainotilanteessa tulee syntyvän häviöenergian olla yhtä suuri kuin johtimeen varastoituvan ja siitä poistuvan lämpömäärän summa: (esim. Paavola 1964, 199 -205)

$$I^2 R dt = mc d\vartheta + a\alpha\vartheta dt \quad (1)$$

missä

| | |
|-------------|--|
| m | = johtimen massa |
| c | = johtimen ominaislämpö |
| a | = johtimen vaippapinnan ala |
| α | = johtimen pinnan lämmönsiirtymiskerroin |
| ϑ | = johtimen lämpenemä |

Yhtälön ratkaisuna saadaan lämpenemälle lauseke

$$\vartheta = \frac{I^2 R}{a\alpha} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = \vartheta_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \quad (2)$$

missä

$$\tau = \frac{mc}{a\alpha} = \text{lämpenemisaikavakio}$$

$$\vartheta_{\infty} = \text{loppulämpenemä.}$$

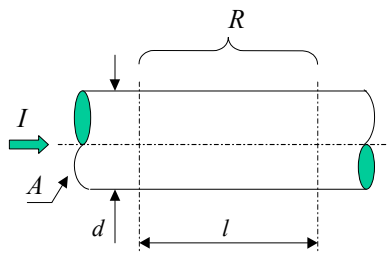
Yhtälö (2) voidaan kirjoittaa myös *virrantiheyden* J avulla, kun johtimen poikkipinta-ala on A ja johtimen ominaisresistanssi on ρ , muotoon

$$g = \frac{J^2 \rho l A}{a \alpha} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right). \quad (3)$$

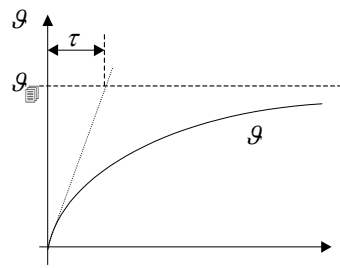
Johtimen lämpeneminen noudattaa siis ajan funktiona kuvan 2 mukaista lämpenemiskäyrää, missä loppulämpenemä on

$$g_{\infty} = \frac{I^2 R}{a \alpha}. \quad (4)$$

Loppulämpenemä saavutetaan käytännössä jo n. 5τ :n eli viiden lämpenemisaikavakion kuluttua. Esimerkiksi eristetyn $1,5 \text{ mm}^2 \text{Cu}$ -johtimen lämpenemisaikavakio on asennusympäristöstä riippuen n. 5 min.



Kuva 1. Johdin, jota sähkövirta lämmittää.



Kuva 2. Johtimen lämpenemiskäyrä.

Mikäli johtimen virta on niin suuri, että lämpöenergian siirtyminen johtimesta ympäristöön jää merkityksettömäksi, voidaan yhtälöstä (1) jättää tätä koskeva lämpöenergian osuus pois.

Silloin lämpenemälle saadaan lauseke

$$g = \frac{I^2 R}{mc} t. \quad (5)$$

Yhtälön (5) mukaan johdin lämpenee lineaarisesti. Tällainen tilanne esiintyy esim. oikosulkuvirroilla, jolloin tilanne voi olla niin vaarallinen, että se voi johtaa suuriin vahinkoihin. *Tässä on syytä muistuttaa, että em. yhtälöt on johdettu käyttäen tämän luvun alussa mainittuja yksinkertaistavia oletuksia.*

Edelleen voidaan käytettyihin oletuksiin perustuen johtaa em. yhtälöistä myös seuraava yhtälö (6). Yhtälö ilmaisee sen, että johtimen loppulämpenemä on verrannollinen virran neliöön. Sen avulla voidaan loppulämpenemää $g_{\infty 2}$ arvioida sitä vastaavalla virralla I_2 , kun loppulämpenemä $g_{\infty 1}$ tunnetaan virralla I_1 . Olosuhteiden on täl-

lön luonnollisesti oltava samanlaiset.

$$g_{\infty 2} = \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^2 \cdot g_{\infty 1} \quad (6)$$

6.2 I^2t -arvo

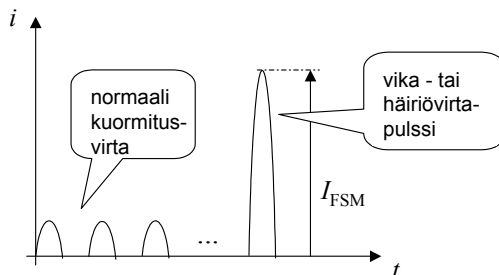
Elektroniikkaa sisältävät sähkölaitteet saattavat olla hyvinkin herkkiä ylivirroille. Eräs tähän esitykseen sopiva aihe on tehpuolijohdekomponentin I^2t -arvo. Komponentti on valittava ja sen suojaus on järjestettävä niin, että se kestää tuhoutumatta esiintyvät kuormitus- ja vikavirrat. Puolijohdekomponentti tuhoutuu ylivirrasta hyvinkin nopeasti. Tehpuolijohdekomponentin suojana on käytettävä niitä varten suunniteltuja suoja. Komponentin ja suojan keskinäinen valinta on tehtävä niin, että suojan I^2t -arvo on pienempi kuin suojattavan komponentin I^2t -arvo eli

$$(I^2t)_{\text{suoja}} < (I^2t)_{\text{komp}} \quad (7)$$

Tässä mitoituksessa komponentin säilyminen ehjänä vaatii suojalta hyvin lyhyitä toiminta-aikoja. Ajat ovat tavallisesti alle 10 ms. Lisäksi on otettava huomioon, että I^2t -arvo riippuu komponentin koosta ja ympäristön lämpötilasta.

Esimerkiksi 50 Hz verkkoon tarkoitetuille diodeille tai tyristoreille määritellään I^2t -arvo 10 ml:n sinimuotoisena vikavirtapulssina (jaksonaika $T = 20$ ms). Kun vikavirtapulssin amplitudi on \hat{i} (diodeilla I_{FSM} surge forward current, tyristoreilla I_{TSM} surge on-state current), saadaan I^2t -arvo yhtälöstä

$$(I^2t)_{\text{diodi}} = \int_0^{\frac{T}{2}} [\hat{i} \sin(\omega t)]^2 dt = \frac{T}{4} I_{\text{FSM}}^2 \quad (8)$$



Kuva 3. Tehpuolijohdekomponentin oikosulkukestävyyteen liittyvä vika- tai häiriövirtapulssi.

I^2t -arvon käyttöä on laajennettu myös katkaisijoihin. Katkaisijoilla voidaan siten suojata kaapelia oikosulkuja vastaan asettelemalla sen I^2t -arvo kaapelin vastaavaa arvoa pienemmäksi. Näissä tapauksissa I^2t -arvo määritetään eri tavalla kuin teho-
puolijohteilla.

6.3 Staattinen sähkövaraus

Kaikilla kappaleilla on kapasitanssia maahan nähden, joten niihin voi kerääntyä sähkövaraus. Staattinen sähkövaraus aiheuttaa hyvinkin helposti sähköpurkauksia. Jos purkausenergia on riittävän suuri, sen seurauksena voi olla palavan tai räjähtävän aineen syttyminen ja sähköpalo. Elektroniikan komponentit ja laitteet ovat erityisen herkkiä staattisen sähköpurkauksille. Staattisen sähkövarauksen ennaltaehkäisyä, vähentämistä tai muita hallintakeinoja ei tässä esityksessä käsitellä.

Jos kappaleen kapasitanssi maahan nähden on C ja jännite (potentiaali) on U , on siihen silloin varastoitunut staattinen sähkövaraus Q ja staattinen sähköenergia E , jotka voidaan laskea yhtälöistä (9 ja 10).

$$Q = CU, \quad (9)$$

$$E = \frac{1}{2}CU^2. \quad (10)$$

Staattinen sähköenergia E on suurin mahdollinen energia, mikä kondensaattorista täydellisessä purkauksessa voidaan saada. Sähköpurkaus voi tapahtua korona-, huisku-, liuku- tai kipinäpurkauksena. Näiden purkausten tyypillinen purkausenergia sijoittuu vastaavasti välille (0,01 ... 10000) mJ (Koivisto, 2000). Jos sähköpurkauksen energia E ylittää syttyvän ja palavan aineen minimisyttymisenergian E_{MIE} (Minimum Ignition Energy), johtaa se todennäköisesti sähköpaloon.

6.4 Ihminen staattisen sähköpurkauksen aiheuttajana

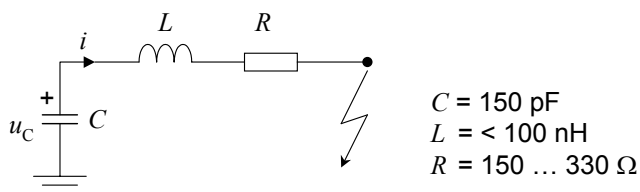
Koska ihminen on keskeisessä asemassa myös sähköpurkauksien aiheuttajana, tarkastellaan tässä asioita ihmisestä johtuvan sähkövarauksen kannalta. Liikkuvaan ihmiseen syntyy varsin helposti staattinen sähkövaraus, jonka suuruus riippuu ilman suhteellisesta kosteudesta, lattian pintamateriaalista sekä vaatetuksen ja jalkineiden materiaaleista. Sähköä eristävillä jalkineilla, ihmistä voidaan pitää ympäristöstään eristettynä kappaleena. Staattisen sähkövarauksen kannalta ihminen muodostaa tällöin "kondensaattorin" toisen elektrodin. Ihmisen kapasitanssi maahan nähden on normaalisti (50 ... 250) pF. Eristävällä lattialla ja eristävillä jalkineilla voi ihmisen sähköstaattinen jännite nousta jopa (20 ... 30) kV:iin. Ihminen havaitsee ja tuntee tyypillisesti jännitteeltään yli 3 kV:n suuruiset staattiset sähköpurkaukset. (ABB, 2000, 191 - 193)

Jos ihmisen sähköstaattinen jännite on esim. 10 kV ja kapasitanssi 150 pF, on ih-

misen staattinen sähkövaraus silloin $1,5 \mu\text{As}$ ja staattinen sähköenergia $7,5 \text{ mJ}$ (yhtälöt 9 ja 10). Tämä sähköenergia on jo niin suuri, että sen purkautumisen aiheuttama syttymisriski on erittäin suuri materiaaleilla, joiden minimisyttymisenergia on tätä arvoa pienempi. Lisäksi myös sähköstaattisen jännitteen arvo on niin suuri, että se ylittää komponentista riippuen moninkertaisesti, jopa kymmeniä ja satoja kertoja, puolijohdekomponenttien sietokyvyn. Esimerkiksi MOSFET:ien jännitekestoisuus on tyypillisesti ($100 \dots 200$) V ja operaatiovahvistimien jännitekestoisuus on ($190 \dots 2500$) V.

Staattisen sähköenergian purkautumisen aiheuttamaa virtaa voidaan arvioida ns. ihmismallin avulla.

(HBM = Human Body Model, kuva 4). (ABB, 2000, 192)



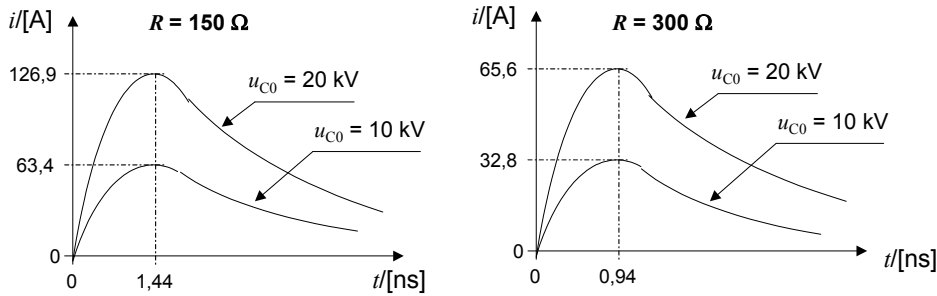
Kuva 4. Ihmismalli (HBM) staattisen sähkövarauksen purkauksessa.

Kuvan 4 mukaisella mallilla saadaan kuvan 5 mukaiset purkausvirtapulssit, kun $C = 150 \text{ pF}$, $L = 50 \text{ nH}$, $R = 150 \Omega$ ja 300Ω sekä ihmisen sähköstaattinen jännite on 10 kV ja 20 kV . Kuten kuvasta 5 nähdään virtahuippu voi saavuttaa useiden kymmenien ampeerien arvoja. Virran suurin arvo esiintyy n. ($1 \dots 2$) ns:n tienoilla. Virtapulssi vaimenee käytännöllisesti katsoen olemattomiin alle 100 ns :ssa. Ihmisen aiheuttamalla resistanssilla on suuri vaikutus purkausvirran huippuarvoon ja sen esiintymishetkeen, koska se voi vaihdella varsin laajoissa rajoissa ($500 \dots 10000$) Ω .

Purkausvirran amplitudia \hat{i} ja sen ajanhetkeä voidaan hyvin arvioida likiarvoyhtälöillä (11 ja 12). Kun $R = 300 \Omega$ ja $u_{C0} = 10 \text{ kV}$, saadaan $\hat{i} = 33,3 \text{ A}$ ja $\tau = 1,67 \text{ ns}$. Kuvassa 5 vastaavat tarkemmat arvot ovat $32,8 \text{ A}$ ja $0,94 \text{ ns}$.

$$\hat{i} = \frac{u_{C0}}{R}, \quad (11)$$

$$\tau = \frac{L}{R}. \quad (12)$$



Kuva 5. Staattisen sähkövarauksen purkausvirta ihmismallissa kahdella ihmisen eri sähköstaattisen jännitteen ja resistanssin arvoilla.

Lähteet ja kirjallisuutta

- Väinö Bergman Tampereen ammattikorkeakoulu
- ABB (2000) Teknisiä Tietoja ja Taulukoita. Ykkös-Offset Oy, Vaasa.
- Aro, M. - Elovaara, J. - Karttunen, M. - Nousiainen, K. - Palva, V. (1996) Suurjännite-tekniikka 568. Otatieto Oy. Jyväskylä.
- Jones, T. B. Capacitive Discharge Energy and MIE. University of Rochester.
 - wysiwyg://7/http://www.ee.rochester.edu:8080/~jones/demos/MIE.html. 2.5.2002.
- Koivisto, R. (2000) STARA Menetelmä staattisen sähkönsiintymismahdollisuuksien tunnistamiseksi tuotannossa. STAHA Staattisen sähkönsiintymisen hallinta, VTT Automaatio.
- Paavola, M. (1965) Sähköjohtojen laskeminen. WSOY, Porvoo.
- SFS - Käsikirja 59. (1998) Räjähdyksenvaarallisten tilojen luokittelu. Palavat nesteet ja kaasut. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki.
- SFS - Käsikirja 60. (1984) Räjähdyksenvaaralliset pölyt. Turvallisuusohjeet. Suomen standardisoimisliitto SFS Roy. Helsinki.

7. Sähkölaitteistoihin liittyvät syttymisriskit ja niiltä suojauminen

Valtuutettu tarkastaja Paavo Hakala Suunnittelutoimisto Hakala Oy

7.1 Yleistä laitteiden suojausmenetelmistä syttymistä vastaan

Suojausmenetelmien keskeiset tavoitteet ovat syttymiseen tai vaurioitumiseen johtavan yllämpenemisen estäminen sähkölaitteiston kaikissa osissa sekä yllämpenemisen lämpövaikutuksien minimointi suojattavaan laitteeseen ja ympäristön syttymiin osiin.

Valokaari on yksi sähköpalon syistä. Valokaaren voi aiheuttaa rakenteen mitoitussarvoja suurempi ylijännite, materiaalien heikentymisestä tai rakennevirheistä johtuva jännitekestoisuuden heikentyminen tai inhimillisestä syystä johtuva ihmisen aiheuttama valokaari sähkötöissä.

Sähkölaitteista johtuva syttymisriski on erityisen suuri tiloissa joissa esiintyy tai käytetään runsaasti syttymisherkkää pölyä, kaasuja tai nesteitä. Tällaisia ovat esimerkiksi sahat, huonekaluteollisuus, eräät elintarviketeollisuuden tilat, eräät pesu-

laiden tilat, polttoaineen jakelu- ja käsittelytilat, maalaamot, räjähdysaineiden valmistus ja varastointi. Tällaisten tilojen sähkölaitteiden rakentamiseen ja kunnossapitoon liittyy yleensä erityisiä määräyksiä ja luvanvaraisuutta. Luonnollisesti sähköpalojen ennalta ehkäisyssä yleisten ohjeiden noudattamisen tärkeys korostuu kyseisissä tiloissa, vaikka julkaisussa ei näitä tiloja erityisemmin käsitellä.

7.2 Sähköteknisiä suojautumiskeinoja syttymisriskejä vastaan

- Suojaus vuotovirroilta
 - mitoittamalla eristeen ja kytkinlaitteiden sähkölujuus riittäväksi
- Suojaus ylikuormitukselta
 - sulakkeella, johdonsuojakatkaisijalla tai aseteltavalla ylikuormitussuojalla
- Suojaus oikosululta
 - sulakkeella, johdonsuojakatkaisijalla tai erityisellä oikosulkusuojalla
- Suojaus vikavirroilta
 - virran katkaisevilla vikavirtasuojakytkimillä
 - vikavirrasta hälyttävillä vikavirran hälytyslaitteilla
- Suojaus ylijännitteen vaikutuksilta
 - ylijännitteen suojausjärjestelmillä
 - maadoitukset ja potentiaalintasaukset

7.3 Rakenteellisia suojautumiskeinoja syttymisriskejä vastaan

- Huolehtimalla riittävästä sijoitusetäisyydestä
 - asennus- ja käyttöohjeet sekä standardien vaatimukset turvaetäisyyksistä
 - ottamalla huomioon materiaali- ja laitevalinnoista käyttöolosuhteiden asettamat vaatimukset
 - suunnittelijoille annettava riittävät suunnitteluohjeet ja valvottava niiden toteuttamista

7.4 Suojautuminen inhimillisten tekijöiden vaikutuksilta

- Noudattamalla laitteistojen ja laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeita ja huolehtimalla jatkuvasti niiden noudattamisesta ja ylläpidosta
- Huolehtimalla riittävästä käytön ja hoidon opastuksesta
- Ottamalla suoja- ja turvajärjestelmien suunnittelussa ja rakentamisessa huomioon inhimillistä tekijöistä sähkölaitteiston käytön turvallisuuteen aiheutuvat riskit
- Virheellinen käyttö on estetty ja/tai seuraukset minimoituvat
- Inhimilliset tekijät ovat erilaiset riippuen käyttäjäryhmästä, joita ovat esimerkiksi lapset, vanhukset, toimintarajoitteiset, vajaakuntoiset
- Havainnointi- ja arviointikyky voi olla heikentynyt myös normaaleista työolosuhteista johtuen
- Käyttämällä riittävän ammattitaitoista ja turvallisuuteen oikein motivoitunutta suoritusporras-

ta

- Noudattamalla sähkötyöturvallisuusmääräyksiä

7.5 Esimerkkejä lämmön vaikutuksista⁵

- Auringon säteilyn lämpövuoto maan pinnalla on noin 1 kW/m^2 , mikä on riittävä vähimmäisarvo lämpövuolle, joka voi aiheuttaa kipua paljaalla iholla.
- Palovammoja paljaalle iholle voi aiheuttaa vähintään 4 kW/m^2 .
- Ohuiden kohteiden, kuten kankaiden syttymiseen tarvitaan noin 10 kW/m^2 .
- Paksujen kohteiden syttymiseen vaaditaan vähintään 20 kW/m^2 lämpövuoto.
- Em. vaikutukset vaativat pitkää, vähintään useiden sekuntien altistusta.
- Kappaleet syttyvät yleensä kun savupatsaan lämpötila on noin $400 - 600 \text{ °C}$.
- Lieskahdus (ja yleissyttyminen) tapahtuu noin $500 - 600 \text{ °C}$ lämpötilassa.

⁵ Lähde: V-P Nurmen kirjareferaatti Quintiere, J.G. Principles of Fire Behavior

8. Sähkölaitteiston laiteryhmiä tyypillisiä sähköpaloriskejä

Valtuutettu tarkastaja Paavo Hakala Suunnittelutoimisto Hakala Oy

8.1 Valaistus, valaisimet

Vaara aiheutuu ensisijaisesti valonlähteen korkeasta pintalämpötilasta tai liian suuresta tehosta jäähtymisolosuhteisiin tai ympäristöön nähden. Syttyvää materiaalia on lähinnä valaisimien lähiympäristössä, valaisimen liitälaitteissa ja liitäntäjohtoissa.

Hehkulampun energiasta vain 5 % muuttuu valoksi, loppu muuttuu lämmöksi, kun taas ledin tehosta valontuotto on 90 %.

Pintalämpötilat ja valotehokkuudet lm/W ovat suunnilleen seuraavat

| VALONLÄHDE TAI KOMPO- NENTTI | PINTALÄMPÖTILA °C | TEHO-ALUE W | VALONTUOTTO lm/W |
|------------------------------------|----------------------|----------------|---------------------|
| hehkulamppu | 150 - 300 | 5-1000 | 10 - 20 |
| halogeenilamppu | 250 - 700 | 5-2000 | 15 - 25 |
| loisteputki | 30 - 90 | 4-100 | 25 - 100 |
| purkauslamput | 30 - 250 | 50 - 2000 | 35 - 150 |
| kuristimet | 80 - 150 | 4-2000 | |
| LED-lamppu | +10 ympäristöön | 0,1 - 10 | 150 - 250 |

Suojautumiskeinoja syttymisriskejä vastaan

- Minimoimalla valonlähteen teho
- Sijoittamalla valaisin turvalliselle etäisyydelle
- Suojautuminen lämpösäteilyltä
- Suojautuminen mekaaniselta vaurioitumiselta
- Käyttämällä valaistuskohdeessa matalalämpöisiä valonlähteitä
- Valokuidun tai led-lamppujen käyttö
- Käyttämällä valaisimen rakenteellisia suojautumiskeinoja

- Valonlähteen sulkeminen kuvun tai suojalasin taakse
- Käyttämällä valonlähde- tai valaisinrakennetta, joka suuntaa lämpöenergiaa pois syttyvästä materiaalista

8.2 Sähkölämpölaitteet

Tyypillisesti vaara aiheutuu jostain syystä johtuvasta häiriöstä lämmönluovutuksessa jonka seurauksena laite tai sen ympäristö kuumenee syttymisrajaan. Tyypillisimmät syyt ovat lämmönlähteen jäähtymisen estyminen tai lämpötilan säätö- tai varolaitteen vioittuminen tai puuttuminen. Riskikartoituksessa tulee ottaa huomioon, että ylikuumentumisen säätö- ja varolaitteet voivat olla rakennettu laajoiksi ohjaus- ja suojausjärjestelmäksi.

Suojautumiskeinoja syttymisriskejä vastaan

- Valitsemalla olosuhteisiin soveltuva lämmönlähde ja sen säätölaitteet
 - alhaiset ja tasaiset pintalämpötilat
 - lämmönsäätimen ja varolaitteiden tarkoituksenmukaisuus ja soveltuvuus käyttöolosuhteisiin
- Asentamalla ja käyttämällä lämmitintä asennus- ja käyttöohjeiden sekä määräysten mukaan
 - riittävän etäälle syttyvistä materiaaleista
 - asennus rakenteeseen rakenteen ehdoilla (huom. lämmityskaapelit)
- Huolehtimalla, että jäähtyminen pysyy jatkuvasti käyttöohjeiden mukaisena
 - ei peitetä, estetään tahaton peittäminen, huolehditaan pölyttömyydestä ja puhtaudesta
- Tarkistamalla säännönmukaisesti säätö- ja turvalaitteiden toimivuus sekä niiden ja itse lämmittimen käytön asianmukaisuus
- Riskialttiissa paikoissa järjestetään indikointi, joka ilmaisee häiriöt suojausjärjestelmän toimivuudessa tai indikoivat käyttöympäristön lämpötilan poikkeuksellisen kohoamisen

8.3 Jakokeskukset

Tyypillisesti vaaraa jakokeskuksissa aiheuttavat komponenttien tai johtimien ylikuormittumiset, löysistä liitoksista johtuvat paikalliset yllilämpenemiset sekä erinäisistä syistä syntyvät valokaaret.

Paloa ylläpitävää materiaali on itse jakokeskuksen komponenteissa, siihen liitetyissä kaapeleissa sekä palavaa materiaalia esimerkiksi keskuksen läheisyyteen varastoiduissa tarvikkeissa sekä keskuksen kertyneessä pölyssä.

Jakokeskukset ovat yksi eniten sähköpaloja aiheuttavia sähkölaitteiston osia. Jakokeskuksia on käytännössä kaikissa sähkölaitteistoissa. Syttymisvaara ei juuri ole riippuvainen jakokeskuksen fyysisestä koosta.

Suojautumiskeinoja syttymisriskejä vastaan

- Rakentamalla ylikuumentumiselta ja valokaarilta suojaavat suojausjärjestelmät määräysten mukaisiksi
- Huolehtimalla säännönmukaisesti em. suoja- ja turvajärjestelmien toimivuudesta ja testauksista
- Huolehtimalla säännönmukaisesti keskuksen teknisestä kunnosta kuten tiiveydestä, puhtaudesta, oikeasta käytöstä
- Tarkkailemalla keskuksen ja sen osien lämpenemistä sekä aistinvaraisesti, että lämpötilamittauksin ja lämpökuvauksin.
- Tarkkailemalla keskuksen ja sen osien kuormituksen tasoa virtamittauksin.
- Pitämällä keskuksien lähiympäristön vapaana palavista materiaaleista.

8.4 Kompensointiparistot

Automaattisissa kompensointiparistoissa tyypillisesti vaaraa aiheuttavat kontaktoreiden, sulakkeiden tai johtimien ylikuumentumiset. Normaalissakin kuormitustilanteessa edellä mainittujen komponenttien toimintalämpötilat ovat korkeahkot 40 - 50 °C, mikä edesauttaa muun muassa johtimien vanhentumista ja rasittaa kontaktoreita sekä niiden johdinliitoksia. Tyypillisesti tästä on seurauksena löystyneitä johdinliitoksia ja johdineristeiden heikentymisiä jopa murentumiseen asti siten, että seurauksena on sisäisiä johdinpaloja ja valokaaria.

Tyypillisiä vikoja ovat myös kontaktoreiden kiinnihitsautuminen, kontaktoreiden arvokilpien irtoamiset ja kompensointiparistojen eristeiden vikaantumisesta johtuvat sisäiset oikosulut.

Koska kompensointiparisto tyypillisesti sijaitsee sähkökeskustilassa, aiheuttaa pariston tuottama lämpöenergia kyseisen huonetilan lämpötilaan nousua, mikä tulee ottaa huomioon tilan jäähdytyksen suunnittelussa.

Kompensointipariston kapasitanssia ja syöttävän verkon impedanssi muodostavat aina rinnakkaisresonanssiipiirin. Mikäli verkossa esiintyy lähellä resonanssitaajuudella olevia yliaaltoja, vahvistuvat yliaaltovirrat monikertaisiksi. Tämä aiheuttaa sähkönlaadun huononemista sekä häiriöiden ja vaurioiden todennäköisyyden kasvua ja välillisesti myös palovaaran. Katso myös luku 5.2 Kolmas yliaalto (150 Hz).

Kompensointiparistot on todettu sähkötarkastuksissa tyypillisesti olleen vailla sen kummempaa huolenpitoa. Toimimattomuus tai vakavat viat on usein todettu vasta loisteholaskuista tai kun vaurio on aiheuttanut savu- tai palovahinkoja.

Kompensointiparistojen toiminnasta ja kunnosta huolehtiminen säännönmukaisesti tulee sisällyttää sähkölaitteistojen hoito-ohjelmiin.

Suojautumiskeinoja syttymisriskejä vastaan

- Tarkkailemalla säännönmukaisesti kompensointilaitteiston lämpötiloja ja toimintaa, aistinvaraisen tarkkailun voi suorittaa esimerkiksi kiinteistönhoitaja.

- Huolehtimalla pariston puhtaudesta ja jäähtymisestä asennustila mukaan lukien.
- Testaamalla ja tarkastamalla säännönmukaisesti kompensointipariston kunto ja toiminta sekä kompensoinnin riittävyys.
- Mittaamalla säännönmukaisesti kyseisessä sähkölaitteistossa esiintyvät haitalliset yliaaltovirrat ja tarvittaessa minimoimalla ne esimerkiksi estokelapariistoilla.

8.5 Sähkökäyttäjän muuntamot

Tyypillisesti vaaraa sähkökäyttäjämuuntajissa aiheuttavat valokaaret suurjänniteosissa, ylikuormituksesta, löysistä liitoksista ja muuntajaöljyvuoodoista aiheutuvat syttymiset, muuntajaöljyn laadun heikentyminen tai väheneminen.

Muuntamoiden sijoittamiseen rakennukseen, sen asentamiseen, sähköisiin suojauksiin sekä säännönmukaiseen hoitoon liittyy runsaasti rakennus- ja sähköturvallisuusmääräyksiä sekä ohjeita.

Määräyksiä ja ohjeita noudattamisella minimoidaan sähköpaloriskejä, sekä samalla turvataan koko muun sähkölaitteiston käytön häiriötömyys.

Suojautumiskeinoja syttymisriskejä vastaan

- Suunnitteleamalla muuntamon suoja- ja turvajärjestelmät määräysten ja käytön häiriöttömyyden asettamien vaatimusten mukaisesti
- Noudattamalla rakentamisessa muuntamoita koskevia määräyksiä ja ohjeita
- Huolehtimalla säännönmukaisesti muuntamon kunnossapidosta
- Huolehtimalla säännönmukaisesti testauksin muuntamon suoja- ja turvajärjestelmien toimivuudesta

8.6 Tuotantolaitteet (moottorit, kuljettimet, koneet yms.)

Tyypillisesti syttymisvaara aiheutuu sähkölaitteiden ylikuormituksesta johtuva ylläampuminen sekä kitkan aiheuttamat kuumeneminen ja kipinäinti. Syttymisen voi aiheuttaa myös moottorista tai sen käynnistyslaitteesta johtuva kipinä tai valo-kaari, moottorin palaminen ylikuormituksesta, roottorin kiinnileikkaamisesta tai myös alijännitteestä johtuen, tai kolmivaihemoottorin yhden vaiheen katkeamisesta (esim. sulakkeen palaminen) kesken käynnin.

Syttymisvaara voivat huomattavasti lisätä laitteen käyttöolosuhteissa esiintyvät syttymistä edistävät pölyt, pienhiukkaset, lika, syttymisherkeit aineet ja kaasut jolloin syttymislähteenä riittää staattisensähkön aiheuttama kipinä.

Suojautumiskeinoja syttymisriskejä vastaan

- Suunnitteleamalla suoja- ja turvajärjestelmät määräysten ja käytön häiriötömyyden asettamien vaatimusten mukaisesti. Tuotantolaitteisiin liittyvät turvallisuusnäkökohtia tulee useimmiten lähestyä koneturvallisuuden näkökulmasta mikä tässä kuitenkin ohitetaan.

- Suojauksissa tulee huomiota myös mekaanisen kitkan aiheuttamien ylikuumentumisten estäminen (esim. kuljettimet)
- Noudattamalla rakentamisessa laitevalmistajien ohjeita
- Mitoittamalla sähköiset komponentit, kaapeloinnit sekä turva- ja ohjusjärjestelmät käytön ja olosuhteiden asettamien vaatimusten mukaan siten, ettei syttymistä aiheuttavaa ylikuumentumista pääse normaalissa käyttötilanteessa tapahtumaan
- Huolehtimalla jatkuvasti laitteiston kunnossapidosta ja puhtaudesta
- Huolehtimalla säännönmukaisesti testauksin laitteiston suoja- ja turvajärjestelmien toimivuudesta
- Huolehtimalla siitä, että laitteiden käyttöympäristössä on mahdollisimman vähän syttyvää ja paloa edistävää materiaalia ja, että palon leviäminen on estetty

9. Sähkön käyttöön liittyvien sähköturvallisuusriskien hallinta

Insinööri Jorma Korkalo Primatest Oy

Sähköturvallisuuteen liittyvissä säädöksissä, määräyksissä, standarteissa ja ohjeissa on sähköpalojen ennalta ehkäisyyn liittyviä vaatimuksia verrattain runsaasti. Henkilöturvallisuuteen liittyvien vaatimusten rinnalla sähköpalojen torjuntaan liittyvät vaatimukset ovat varsin keskeisessä asemassa säädöksissä ja standarteissa.

Sähkö on niin jokapäiväinen asia kaikkien elämässä, että siihen liittyviä riskeihin ei ehkä juuri siksi osata suhtautua riittävän vakavasti. Välinpitämättömyyteen voi osaltaan olla myös se, että sähköturvallisuuden taso Suomessa on verrattain korkea. Moni ajattelee asioiden hoituvan itsestään ilman omaa panostusta. Sähkön käytön yleisyys ja jokapäiväisyys tuovat sen käyttöön kuitenkin omat inhimilliset ja kaikkialla olevat riskitekijät.

Sähkön käyttöön liittyviä vaaroista ei voida syyllistää mitään yksittäistä sähkölaitetta, -laitteistoa tai käyttäjäryhmää, vaan vaara sisältyy siihen, että sähkölaitteita ja -laitteistoja on käytössä kaikkialla runsaasti ja monimutkaisuuden johdosta ne ovat usein vikaantumisalttiita.

Sähköturvallisuus ja sen ylläpito tulee mieltää sähkön käyttöön liittyvien riskien hallinnaksi. Riskien hallinnassa onnistumisessa on roolinsa yhtäläillä yksittäisellä henkilöllä kuin yrityksilläkin.

Lähtökohtana käytössä olevalle sähkölaitteistolle voidaan pitää sitä, että sähkölaitteisto on aikoinaan rakennettu sähköturvallisuusmääräysten mukaan, mikä asianmukaisin tarkastuksin on todettu ja dokumentoitu. Elinkaaren aikana teknistä ja toiminnallista turvallisuutta ylläpidetään ja kehitetään säännönmukaisin kunnossapitotoimin. Kunnossapito-ohjelmien laadinnassa on tarkoituksenmukaista käyttää riskienhallinnan periaatteita. Teknisen turvallisuuden lisäksi käytön aikana tulisi nykyistä enemmän kiinnittää huomiota käyttäjien kouluttamiseen ja opastamiseen sähkölaitteistojen ja -laitteiden turvallisesta käytämisestä ja epänormaalien sähköilmiöiden havainnointiin.

9.1 Riskien hyväksyttävyyden arviointi ja priorisointi

Riskien hyväksyttävyyden arviointi suoritetaan sen haltijan (käyttäjän) näkökulmasta, jonka sähkölaitteistosta on kysymys. Arvioinnissa selvitetään ja priorisoidaan ne seuraamukset, jotka sähkön käyttöön liittyvän riskin laukeamisesta voi seurata. Sähköpalojen ennalta ehkäisyssä keskitytään tietysti niihin syihin ja seurauksiin, joita liittyy sähköisiin paloriskeihin. Ne ovat kuitenkin vain osa kokonaisvaltaisesta sähköturvallisuusriskien hallinnasta.

Riskien hyväksyttävyys kriteerit ovat luonnollisesti erilaiset eri yhteisöissä ja sähkölaitteistoissa. Kriteerit arvotetaan taloudellisten ja juridisten seuraamusten mukaan. Taloudellisilla seuraamuksilla on käytännössä merkittävästi suurempi painoarvo kuin esimerkiksi oikeudellisilla sanktioilla. Taloudellisten seuraamusten suuruutta on toisaalta erittäin vaikea ennakoida. Taloudelliset seuraukset voivat mittasuhteiltaan, esimerkiksi käyttökeskeytyksien vuoksi, olla suhteettoman suuret verrattuna itse sähköpalon näkyviin (fyysisiin) seurauksiin.

Esimerkkejä seuraamuksista:

- Hengen tai terveyden menettämiseen liittyvät riskit
- Toiminnan häiriintymisestä itselle aiheutuvat välittömät taloudelliset menetykset
- Väilliset menetykset luotettavuuden ja imagon laskemisen seurauksena
- Taloudelliset vahingonkorvausvastuut kolmannelle osapuolelle
- Korvausvastuut ympäristövahingoista
- Vakuutuskorvauksien saamiseen liittyvät epävarmuustekijät
- Riskit menettää toimilupa tai muu vastaava oikeus (yritys tai henkilö)
- Lakeihin liittyvät sanktiot sekä yrityksille, että henkilöille

9.2 Riskien todennäköisyyksien arviointi

Sähkön käyttöön liittyviä riskitekijöitä on runsaasti mutta niiden laukeamisen todennäköisyys (vikaantumisherkkyyys) riippuu monesta asiasta ja riskit tulee siksi tapauskohtaisesti arvioida. Todennäköisyyttä arvioitaessa kiinnitetään huomiota niiden perussyihin, joista riskin laukeaminen voi seurata tai todennäköisyys siihen kasvaa.

Sähköturvallisuusriskien laukeamiseen johtavia perussyitä ovat

- **Luonnollinen ikääntyminen**
Seurauksia ovat esimerkiksi eristemateriaalien vanhenemisesta johtuva eristyskyvyn heikkeneminen, johdinliitoksien löystyminen, kosketintoimintojen vikaantuminen ja asetusarvojen ”ryömintä”.
Säädökset vaativat, että sähkölaitteisto tulee jatkuvasti pitää sellaisessa kunnossa, ettei siitä aiheudu vaaraa kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle. Näin ollen myöskin vanhojen sähköturvallisuusmääräysten mukaan rakennetut sähkölaitteisto on aika ajoin uusittava turvallisuustason säilyttämiseksi ”*Olellaisten turvallisuusvaatimusten*” edellyttämällä tasolla..
- **Käyttäjistä johtuvat syyt**
Koska yksi suurimpia turvallisuusriskejä ovat sähkölaitteiden käyttäjien inhimilliset toiminnot, tulee riskiarvioinneissa tähän asiaan kiinnittää erityistä huomiota. Käyttäjärhmittelystä

esimerkkeinä: lapsi/aikuinen; laitteiston tunteva/ei tunteva; sähkön vaarat tunteva/ei tunteva. Yhtenä käyttäjäryhmänä ovat myös henkilöt joiden toiminta- tai harkinta kyky on iän, vamman tai sairauden johdosta alentunut sähkölaitteiden käyttötilanteissa.

- **Käyttötavasta johtuvat syyt**

Käyttötavan vaikutuksia arvioitaessa, tarkastellaan sitä, aiheutuuko laitteiston normaali käyttö sellaisenaan riskejä sähköturvallisuudelle. Esimerkkeinä mekaanisesta rasituksesta tai tärinästä johtuvat vaurioitumisriskit eräissä teollisuus- ja rakennusympäristöissä.

- **Ympäristötekijöistä (käyttöolosuhteet) johtuvat syyt**

Käyttöympäristössä esiintyvät korroosiota tai syöpymistä aiheuttavat aineet, pölyisyys, liikkaisuus, rasvaisuus voivat heikentää sähkölaitteiden toiminnallista luotettavuutta tai lisätä syttymisvaara ja/tai edesauttaa palon leviämistä.

- **Käyttötavassa tai ympäristötekijöissä tapahtuvista muutoksista johtuvat syyt**

Sähkölaitteiston alun pitäen suunniteltu ja rakennettu tiettyä käyttötarkoitusta varten tiettyihin olosuhteisiin. Ei ole lainkaan harvinaista, että sähkölaitteiston tai sen osa käyttötarkoitusta voidaan elinkaaren aikana muuttaa jopa useaan kertaan. Käyttötapamuutoksien vaikutukset sähköturvallisuusasioihin tulee muutoksien yhteydessä sekä kunnossapito suunniteltaessa ottaa huomioon.

KTMP 1193/99 6 § edellyttää, että sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että käyttöolosuhteiden muuttuessa ryhdytään tarvittaviin toimenpiteisiin, joilla voidaan varmistaa sähkölaitteistojen turvallisuus muuttuneissa olosuhteissa.

- **Muutos- ja laajennustöistä johtuvat syyt**

Lähtökohta käytönaikaiselle kunnossapidolle on, että sähkölaitteisto on aikoinaan suunniteltu- ja rakennettu vaatimusten mukaiseksi mikä asianomaisin tarkastuksin on todettu ja dokumentoitu. Kun myös muutos- ja laajennustöiden rakentaminen, suunnittelu ja käyttöönotto toteutetaan ammattitaitoisesti ja vaatimusten mukaan, niihin liittyvät sähköturvallisuusriskit saadaan minimoitua.

Muutoksiin liittyviä riskejä ovat esimerkiksi: muutoksien vaikutuksia kuormitettavuuksiin ja suoja- ja turvajärjestelmiin ei huomioida oikein, puutteelliset käyttöönottoaiheen testaukset ja tarkastukset, puutteelliset dokumentoinnit, aikaisempien ja uusien asennusten toisiinsa liittämiseen liittyvät virheet, sähköverkkoon yliaaltoja tuottavien laitteiden lisäykset.

9.3 Rakennustyyppikohtaiset sähköpaloriskit⁶

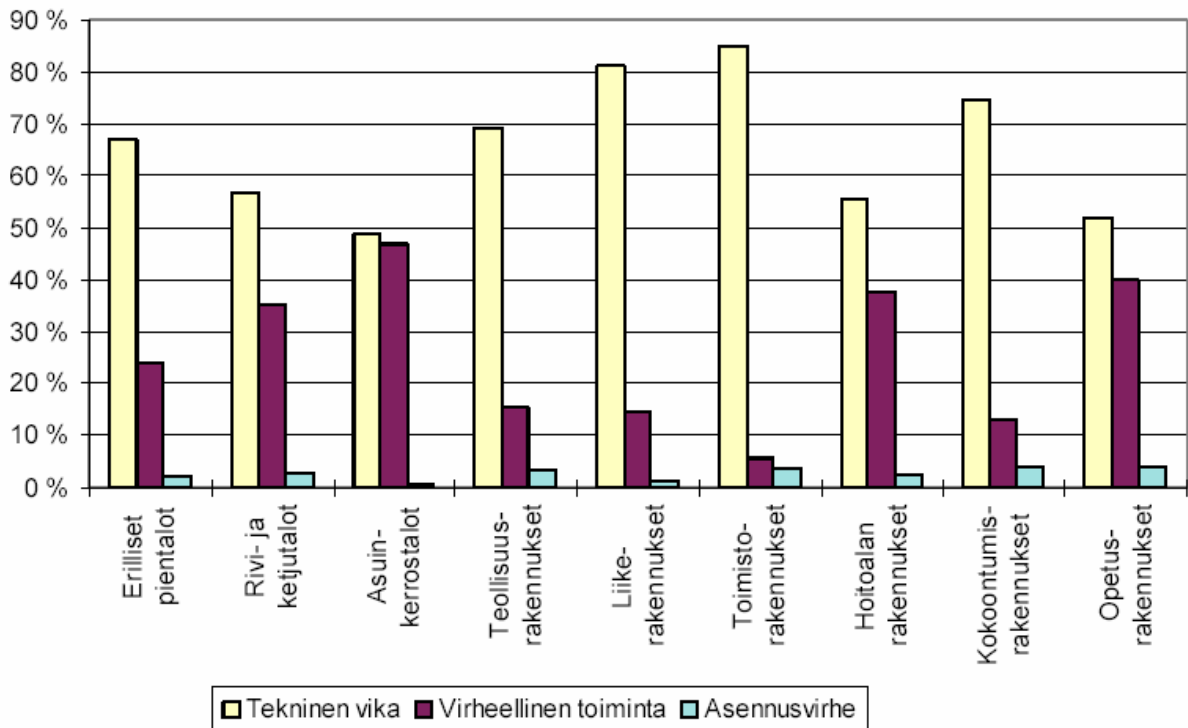
Riskikartoituksessa voidaan ottaa huomioon, että sähköturvallisuusriskit ovat erilaiset eri rakennustyypeistä. Tietoja voidaan hyödyntää kunnossapito-ohjelmissa siten, että ohjelmien sisältöä suunnataan niiden riskitekijöiden hallintaan, joista sähköpalo voi todennäköisimmin syttyä.

Asuinrakennuksissa palon syyt eroavat kaikista rakennuksista erittäin merkittävästi niin, että virheellisen toiminnan osuus on asuinrakennuksissa korostunut.

Teollisuusrakennusten sähköpalot aiheutuivat yli kahdessa kolmasosassa tapauksista teknisistä vioista.

Liikerakennuksissa tekninen vika palon syynä oli erityisen korostunut yli 80 % osuudella.

⁶ Lähde: TUKES julkaisu 3/2001 Sähköpalojen riskien hallinta, Veli-Pekka Nurmi



Taulukko 2 Sähköpalojen syyryhmät erilaisissa rakennustyypeissä.

Kokoontumisrakennuksissa teknisiä vikoja oli suhteellisesti hieman liikerakennuksia vähemmän, joskin ero voi selittyä tuntemattomien syiden osuuden kasvulla.

Toimistorakennusten osalla tekniset viat hallitsivat selvästi yli 80 % osuudella, virheellisen toiminnan osuuden ollessa 6 %.

Hoitoalan rakennuksissa yleisimmät syyt sähköpaloihin ovat erilaiset tekniset viat, mutta lisäksi on syytä havaita virheellisen toiminnan merkittävä osuus, joka oli 38 %.

Opetusrakennusten tilanne oli hyvin samankaltainen hoitoalan rakennusten kanssa, missä virheellisen toiminnan osuus oli korostunut.

9.4 Paloja aiheuttaneet laiteryhmittä eri rakennustyypeissä

Tätä asiaa on käsitelty enemmän Sähköpeto -julkaisussa "Perustietoa sähköpaloista ja niiden ennalta ehkäisystä".

9.5 Riskien hallintatoimet

Riskien hallintatoimilla pyritään estämään riskin laukeaminen ja/tai minimoimaan sen seuraukset. Estäminen tapahtuu toteuttamalla säännönmukaista sähkölaitteiston kunnossapitoa.

Kunnossapito-ohjelma suunnitellaan ja toteutetaan ottamalla huomioon sähkölaitteistokohtaisesti edellä kerrotut näkökohdat riskien hyväksyttävyyteen, riskien laukeamiseen johtavat perussyöt sekä rakennustyyppi- ja laitekohtaiset riskitekijät. Näin kunnossapito-ohjelmasta saadaan rakennettua sähkölaitteistokohtaisesti tarkoituksenmukainen, tehokkaasti ja taloudellisesti toteuttava sekä yhteisön etuja palveleva. Kun kunnossapitotoimista saadaan näin karsittua pois "turhanpäiväiset" toiminnot, tulee siitä uskottava ja toteuttajia motivoiva.

10. Sähkölaitteistojen kunnossapito

Insinööri Jorma Korkalo Primatest Oy

10.1 Yleistä

Sähkön aiheuttamia paloja voidaan estää tai vahinkoja minimoida huolehtimalla suunnitelmallisesti ja ennalta sähkölaitteiston kunnosta, tarkastuksista ja käytännöllä sähkölaitteistoja ja -laitteita ohjeiden mukaan.

Kunnossapitoon liittyy sähköturvallisuuslakiin 419/96 perustuvia määräyksiä ja viranomaisten ohjeita. Niissä edellytetään kunnossapidolta ennakoivuutta ja säännönmukaisuutta.

Velvollisuus huolehtia käytössä olevan sähkölaitteiston kunnosta kuuluu laitteiston haltijalle.

Niissä tapauksissa, joissa kiinteistön hoitopalvelut ostetaan ulkopuoliselta, sähköturvallisuuden ylläpitoon liittyvät velvollisuudet ja menettelytavat tulisi kirjata palvelusopimukseen.

Palvelusopimuksen tilaajan tulisi toteuttaa myös laadunvalvontaa sen varmistamiseksi, että kiinteistöhoito-organisaatio täyttää ne toiminnalliset ja laadulliset tavoitteet, joita kiinteistöhoitolle palvelujen ostaja on heille asettanut.

Kunnossapitoon ja sähkötarkastuksiin liittyviä asioita on käsitelty enemmän SÄHKÖPETO -julkaisussa "Perustietoa sähköpaloista ja niiden ennalta ehkäisystä".

10.2 Kunnossapito-ohjelmat

Säännönmukaisen kunnossapidon toteuttaminen edellyttää vaativissa kiinteistöissä yksilöityä kunnossapito-ohjelmaa, tavanomaisimmissa kiinteistöissä riittää usein yleisten sähkölaitteistojen hoito-ohjeiden noudattaminen. Olennaista kunnossapidossa on toteuttamisen systemaattisuus ja säännönmukaisuus.

Pisimmälle kehittyneet kunnossapito-ohjelmat laaditaan pääosin ATK-sovelluksien, joita markkinoilla on useita.

Asiasisällön lisäksi, kunnossapito-ohjelmissa tulee kiinnittää huomiota muun muassa niiden jatkuvaan kehittämismenettelyyn, raportoinnin helppouteen, käytön vaihtavuuteen ja miten varsinaiset käyttäjät saadaan integroitua kunnossapidon toteuttamiseen.

Kunnossapito-ohjelmien sisältöä rakennettaessa tulisi kiinnittää huomioita myös sähköisten palorikien eliminoimiseen.

Kunnossapitoa koskeviin säädöksiin on tulossa muutoksia vuoden 2004 aikana.

10.3 Hissit, hissien konehuoneet

Toimialapäällikkö Pertti Kukkonen Elspecta Oy

Hissien rakentamisen turvallisuusvaatimuksissa on aina huomioitu paloturvallisuuden liittyvät riskit. Näitä riskejä on pystytty myös valvomaan ja hallitsemaan kattavammin kuin sähkölaitteistoissa osin siksi, että hissit ovat vuosikymmeniä kuuluneet säännöllisten määräaikaistarkastusten piiriin ja myös niiden huoltaminen on ollut säädösperusteista. Hisseistä aiheutuneita paloja onkin tapahtunut Suomessa hyvin harvoin.

Hissin haltija vastaa käytössä olevan hissien turvallisuudesta. Haltijan velvollisuutena on huolehtia siitä, että hissille laaditaan huolto-ohjelma ja että hissiä huolletaan ohjelman mukaisesti. Hissin huoltaja huolehtii huolto-ohjelman mukaisesti mm. siitä, että hissitilat säilyvät paloturvallisina (roskat, pöly, öljy) riittävin puhdistustoimenpitein. Hissin haltijan tulee huolehtia määräaikaistarkastusten toteutumisesta ajallaan sekä havaittujen puutteiden ja vikojen korjaamisesta riittävän nopeasti.

Mikäli hissien haltija laiminlyö edellä mainitut hissien käytön turvallisuuden liittyvät velvoitteensa, voi se vaikuttaa suoraan paloriskin esiintymiseen ja suuruuteen. Myös harkitsemattomat käyttöolosuhteiden muutokset voivat aiheuttaa riskejä.

Seikkoja, jotka voivat yleisten syttymisriskien lisäksi lisätä paloriskejä hissilaitteistossa, ovat mm.

- hissitilojen (konehuone, kuilu, kori) roskaisuus ja pölyisyys
- koneistojen runsaat öljyvuodot
- palokatkojen puutteellisuus (esim. hydraulisten hissien konehuoneen ja kuilun välinen putkiaukko)
- osastoivien kuilunovien aukipitäminen (esim. hotellien aulat)
- lisääntynyt palokuorma hissitiloissa (esim. konehuoneeseen lisätyt lautarakenteiset väliseinät)
- ilmastoinnin riittämättömyys esim. tapauksessa, jossa konehuoneeseen on lisätty lämpöä kehittäviä laitteita

10.3.1 Hissin konehuoneen käyttötavan muutoksien huomioiminen

Hissien turvallisuusohjeiden mukaan konehuoneita ei saisi käyttää muuhun tarkoitukseen, kuin hissiä varten. Viime vuosina konehuoneisiin on kuitenkin alettu sijoittamaan lämpöä voimakkaastikin kehittäviä laitteita kuten teleoperaattoreiden tukiasemia. Laitteiden vaatima tila on yleensä erotettu hissilaitteiden vaatimasta tilasta lautaseinällä tai metalliverkotuksella.

Hissin konehuoneen ilmastointia ei yleensä ole parannettu muuttuneita käyttöolosuhteita (mm. kasvanut lämpöteho) vastaavaksi. Uudet, lämpöä kehittävät laitteet saattavat aiheuttaa konehuoneen lämpötilan nousun varsinkin kesän hellekausina huomattavasti yli turvallisuusohjeiden salliman arvon, joka esim. uusilla hisseillä on +40°C. Lämpötilan kasvaminen voi aiheuttaa häiriöitä hissien asianmukaiselle toiminnalle sekä voi lisätä oleellisesti paloriskiä. Lisäksi esim. laudoista tehty väliseinä lisää palokuormaa usein ahtaissakin hissitiloissa.

Turvallisuusvaatimusten mukaan korjaus- ja muutostyöt eivät saa heikentää hissiltä vaadittua turvallisuutta. Mikäli esim. edellä kuvatun kaltaisia rakenteellisia muutostöitä tehdään, edellyttäisi se etukäteen asianmukaista riskin arviointia mm. ilmastoinnin riittävyys ja mahdollisesti lisääntyneen palokuorman osalta. Useimmissa tapauksissa ilmastoinnin tehostaminen esim. painovoimaisesta koneelliseksi olisi paloriskin vähentämiseksi välttämätöntä. Mahdollista on myös se, ettei muutostöitä voi tehdä ollenkaan esim. tilojen ahtauden vuoksi.

11. Sähköisten paloriskien hallintaan liittyviä muita näkökohtia

11.1 Paloilmoittimet ja sammutuslaitteisto⁷

Toimittanut Jorma Korkalo.

Tässä tuodaan esiin vain eräitä lähteenä käytetyssä TUKES:n julkaisuissa esitettyjä näkökantoja.

Paloilmoitinlaitteiston hankinnan harkintaan liittyviä näkökohtia

Automaattisten paloilmoittimien ja automaattisten sammutuslaitteistojen käyttöä tulisi harkita vahinkojen vähentämiseksi erityisesti niissä kohteissa, joissa on ilman valvontaa toimivia sähkölaitteita tai laitteistoja sekä alueilla, joissa on pitkät pelastusvälytykset.

Myös hoitoalan rakennuksissa, joissa asukkaiden tai potilaiden pelastautumiskyky ja muu toimintavalmius on heikentynyt, pelkkä palovaroitin ei riittäne kiinnittämään huomiota alkaneeseen paloon. Palovaroittimet ovat hyödyllisiä, mikäli vaarassa olevat henkilöt pystyvät havaitsemaan palovaroittimen hälytysäänen ja toimimaan sen jälkeen järkevästi. Palovaroittimen käyttöä kannattaisi harkita säädos-

⁷ Lähde: TUKES julkaisu 3/2001 Sähköpalojen riskien hallinta, Veli-Pekka Nurmi.

ten edellyttämää pakkoa laajemmalle esimerkiksi kouluissa, lastentarhoissa ja asuinkerrostalojen yleisissä tiloissa. Sopivien alkusammutusvälineiden (sammutuspeitteiden ja käsiammuttimien) hankkiminen, niiden käyttöön perehtyminen sekä käyttökunnosta huolehtiminen on muiden tilojen ohella myös kotiympäristössä järkevää varautumista palotilanteisiin.

Uusia teknisiä ratkaisuja

Pienten sähkötilojen, keskusten ja erillisten laitteiden kohdekohtaiseen suojaukseen on olemassa automaattisia sammutuslaitteita, jotka koostuvat sammutusainesäiliöstä ja siihen kytketystä, palonilmaisimena toimivasta erikoisvalmistetusta sammutusaineletkusta. Letku on valmistettu niin, että alkava palo polttaa sen puhki ja mahdollistaa sammutusaineen suihkuamisen palokohteeseen. Sammutusaineena näissä laitteissa on mahdollista käyttää hiilidioksidia (CO₂), vettä, sammutusjauhetta tai -vaahtoa.

Yhdysvalloissa ja Ruotsissa on kehitetty tavallisiin asuinrakennuksiin sopivia automaattisia vesisammutusjärjestelmiä. Ruotsalaisten kokemusten mukaan laitteistot ovat helppoja asentaa rakennuksessa jo olevien putkitusten osaksi. Järjestelmän hinnaksi arvioidaan noin 70 mk/m².

11.2 Sähkön erottaminen tulisi olla helppoa

Sähkölaitepalojen seurauksia voitaneen usein tehokkaasti vähentää, mikäli syttynyt laite tai laitteisto saadaan nopeasti sähköttömäksi. Eri maissa kehitetään parhailaan laitteistoja, jotka kytkevät laitteen nopeasti jännitteettömäksi paloon mahdollisesti johtavan vikatilanteen alussa. Vian tunnistaminen perustuu kehitteillä olevissa laitteissa joko laitteen ottaman sähkövirran mikroprosessoripohjaiseen tarkkailuun tai palon havaitsemiseen savu- tai lämpöilmaisimien avulla. Ensimmäisiä versioita tällaisista laitteistoista löytyy jo markkinoilta.

Tällä hetkellä laitteiden pistokytkimet ovat usein hyvin hankalassa paikassa, esimerkiksi astianpesukoneen, kirjahyllyn tai kalustekaapin takana. Vaikka laitteen palonalku havaittaisiin hyvin aikaisessa vaiheessa, pistotulppaa ei ehkä saa kohdullisessa ajassa irrotettua pistorasiasta. Näissä tapauksissa jää ainoaksi vaihtoehdoksi saada laite jännitteettömäksi avaamalla pääkytkin jako- tai pääkeskukselta. Pääkytkimen avaaminen vie sähköt tyypillisesti myös valaistukselta, jolloin pimeys voi vaikeuttaa pelastautumista.

Pääkytkimen käyttö ei yleensä onnistu kotiympäristön ulkopuolella, koska keskusket ovat usein lukittuja eivätkä ihmiset tyypillisesti tiedä, missä sähkökeskukset sijaitsevat. Palon havaitsijalla olisi mahdollisuus kytkeä pistorasiaryhmistä sähköt nopeasti pois mikäli ryhmille olisi asennettu erilliset kytkimet. Tällä hetkellä palon aiheuttaneen laitteen merkin ja mallin selvittäminen on niin epävarmaa, että sattuneiden palojen perusteella ei ole edellytyksiä löytää muita palovaarallisempia laitemalleja.

11.3 Palamattomat arvokilvet helpottaisivat palotutkintaa

Eräänä palontutkintaa helpottavana tekijänä olisi sähkölaitteiden arvokilpien val-

mistaminen palonkestäviksi. Näin saataisiin palon jälkeen paljon nykyistä paremmin selvitettyä mistä laitteista oli kysymys. Parhaillaan voimakkaan kehitystyön ja markkinoinnin kohteena olevissa älytalaratkaisuissa ei saisi unohtaa kauko-ohjausten ja automatiikan turvallisuusvaikutuksia. Kauko-ohjattujen ja ajastettujen sähkölaitteiden automaattisen päälle kytkeytymiseen liittyy selviä vaaroja. Kehitettävää ja käyttöön tulevaa uutta taloautomaatiotekniikkaa voitaisiin pyrkiä hyödyntämään käyttömukavuuden parantamisen lisäksi myös kiinteistöjen turvallisuuden parantamisessa, esimerkiksi nykyistä kehittyneempinä palovaroitinjärjestelminä.

Teknisten parannusten osalla kannattaa muistaa, että niiden vaikutukset näkyvät vasta pitkän ajan kuluttua, koska käytössä oleva laitekanta uusiutuu hitaasti. Käytössä olevien laitteiden ja laitteistojen turvallisuuden merkittävä parantaminen teknisillä keinoilla voi olla käytännössä hyvin hankalaa, koska toimet perustuvat vapaaehtoisuuteen. Käytössä olevaan tekniikkaan voidaan velvoittaa tekemään muutoksia vain äärimmäisessä poikkeustilanteessa.

12. Läpivientien tiivistykset eli palokatkot

Diplomi-insinööri Timo Salmi Palokatkomiehet Oy

Läpiviennit ja niiden puutteellinen tiivistys on yksi kiinteistöjen keskeisimmistä paloturvallisuuden riskeistä.

Osa kiinteistöjen läpivienneistä jätetään tiivistämättä toteamalla rakennuksen olevan yhtä ja samaa palo-osastoa. Vielä tänä päivänä läpivientejä tiivistetään epäkuranteilla ratkaisuilla. Niin ikään rakennusten käyttötapaosastointi on unohnut tai sen merkitys on hämärtyneet. Käyttötapaosastointiin ja sen puutteiden korjaamiseen tulisikin kiinteistön omistajan kiinnittää huomiota. Pelastustoimilain mukaan kiinteistön omistaja on viime kädessä vastuussa kiinteistönsä paloturvallisuudesta.



Kuva 3: Kaapelimäärät huomioitava jo palokatkon suunnitteluvaiheessa!

12.1 Viranomais määräykset

Rakennusmääräysten mukaan kiinteistö tulee jakaa paloteknisiin osastoihin. Osastoinnin tarkoituksena on estää **palon ja haitallisten savukaasujen** leviäminen palo-osastosta toiseen.

Palotekniset osastot erotetaan toisistaan osastoivien rakennusosin, joilta edellytetään määrättyä palonkesto-aikaa minuuteissa, esim. EI30, EI60, EI120. Edellä esitettyjen osastoivien rakenteiden läpi kulkevien installaatioiden tiivistyksiä kutsutaan **palokatkoiksi**. Myös palokatkolta tulee edellyttää samaa paloluokkaa kuin ympäröivältä osastoivalta rakennusosalta.

Palomääräyksissä (E1, Rakennusten paloturvallisuus, kohdat 5 ja 7) on selvitetty eri osastointitavat ja -vaatimukset. Käyttötavaltaan tai palokuormaltaan toisistaan poikkeavat tilat on muodostettava eri palo-osastoiksi henkilöiden tai omaisuuden suojaamiseksi. Tyypillisesti sähkö-, automaatio- ja ATK-tilat tulee osastoida tämän kohdan perusteella. Lisäksi vakuutusyhtiöiden suojeluohjeissa annetaan ohjeita näiden tilojen osastoinnista (esim. Teollisuusvakuutus, suojeluohjeet: B2 ja E-sarja).

12.2 Testaus ja hyväksyntä

Sähköläpivientien palonkesto testataan polttokokein. Koemenetelmässä otetaan huomioon tulipalon aiheuttama paine-ero sekä testataan varsin runsas ja kattava kaapelimäärä niin seinä- kuin lattiatestinä. Osastointikriteerin täytyminen tutkitaan eristyskyvyn ja rakenteen tiiveyden säilyvyyden perusteella. Osastoinnissa lämpötilan nousu ei saa ylittää 180 °C eikä palokatkorakenteeseen saa syntyä sellaisia halkeamia, joiden kautta palokaasut leviävät palo-osastosta toiseen. Onnistuneen koetuloksen ja haetun tyyppihyväksynnän tai lausunnon perusteella luokitellaan katkorakenteen palonkesto.



Kuva 4: Tyyppihyväksytty palokatko on merkittävä tyyppihyväksyntää osoittavalla tarralla tai kilvellä. Tarrasta tai kilvestä tulee käydä ilmi STF –merkki, hyväksynnän numero, käytetty järjestelmä, paloluokka, asentaja ja asennuksen ajankohta.

Eurooppalainen teknillinen hyväksyntä (ETA) lienee perustana yhteiseurooppalaiselle palokatkoluokittelulle. Kuitenkin tois-taiseksi on varmintä pitäytyä kansallisessa hyväksyntäkriteerissä eli edellyttää tyyppihyväksyntää.

Tyyppihyväksyntä on kansallinen hyväksymismenettely, joka yksinkertaistaa ja helpottaa kentällä suoritettavaa valvontaa. Eri tuotteiden tyyppihyväksyntäpäätök-sissä on ehtoja ja rajoituksia, joihin valvontaa suorittavien tulee perehtyä. Vaihto-ehtoisesti kansallisen hyväksynnän voi myöntää myös paikallinen rakennusvalvon-taviranomainen. Tällöin hyväksyntä voi perustua viranomaisen omakohtaiseen har-kintaan ja kokemukseen tai sitten lähtökohtana on luotettavan asiantuntijan selvi-tys, testausseleste tai laskelma.

Olenainen osa tyyppihyväksyntää on tutkimuslaitoksen kanssa tehty laadunval-vontasopimus. Laadunvalvontaa suorittava laitos tarkastaa vuosittain pistokokein asennettuja kohteita sekä raportoi tarkastusten tuloksista Ympäristöministeriöön ja hyväksynnän haltijalle. Toistuvat virheet ja laiminlyönnit johtavat tyyppihyväksyn-nän peruuttamiseen.

12.3 Palokatkomenetelmät

Markkinoilla käytössä olevat palokatkojärjestelmät voidaan jakaa neljään eri ryhmään:

- palokatkomassat
- pinnoitetut villalevyt
- silikonivaahdot ja vaahdotetut tyynyt
- tiiviste-elementit.

Näistä järjestelmistä tulee erottaa erilaiset palokitit, joilla voidaan ainoastaan paikata pieniä ($\varnothing < 50$ mm) aukkoja sekä palopussit, joilla on käyttöä väliaikaisratkaisuissa.

Massoja on pääasiassa kipsi-, vermikuliitti- sekä sementtipohjaisia. Sementtipohjaisten massojen huono puoli on niiden kovettuminen ja kutistuminen. Massojen käyttöä on lisännyt niiden edullisuus. Palomaalilla pinnoitettu villalevy oikein asennettuna on hinnaltaan kaksinkertainen massaratkaisuun verrattuna. Silikonivaahdot, tyynyjen ja tiiviste-elementtien hinnat ovat 7-15 -kertaiset verrattuna massapohjaiseen ratkaisuun. Tämän takia massojen käyttö on yleistynyt niin Suomessa kuin muualla Euroopassa. Viime aikoina maahantuojat ja valmistajat ovat olleet aktiivisia, jonka vuoksi tarjolla on runsaasti erilaisia vaihtoehtoja.

12.4 Palokatkojärjestelmien suunnittelu ja valinta

Sähköläpiviennin palokatkon mitoittaminen on varsin yksinkertaista. Palokatko täyttää sille asetetut vaatimukset silloin kun vaadittu paloluokka saavutetaan ja kun katkoon on jätetty riittävästi varauksia uusille kaapeloinneille. Varausten tulee olla polttokokeessa hyväksytysti testattuja ja mielellään myös tyyppihyväksytyjä. Varausten järkevällä käytöllä helpotetaan kunnossapitoa ja vähennetään sen kustannuksia.

Palokatkon tulee palotilanteessa ensisijaisesti säilyttää palotiiveyensä ja -eristyskykynsä. Tärkeää on myös, että palokatkon käyttötilanteen edellyttämät vaatimukset täytetään. Näitä ovat mm. mekaaninen kesto, uusin installaatioiden lisäysmahdollisuus, paineenkesto, kosteudenkesto, äänen eristyskyky, kaapelien lämmönnousun rajoittaminen, pölyttömyys.



Kuva 5: Tavalliset muoviputket eivät täytä varauksille asetettuja vaatimuksia.

Kiinteistön huoltotoiminnassa tavoitteena tulee olla käyttäjäystävällisyys ja huolto-

kustannusten minimointi. Tämä tarkoittaa sitä, että mahdolliset kaapelisäykset voidaan viedä turvallisesti ja vaivattomasti läpi muita kaapeleita vahingoittamatta. Kiinteistön käyttäjän asettamat vaatimukset ja paloturvallisuus voidaan joustavasti sovittaa yhteen ylimääräisiä kustannuksia välttämällä.

12.5 Palokatkojen kunnossapito

Kiinteistöjen paloturvallisuuden parantamiseksi ja paloriskien pienentämiseksi on löydettävissä päteviä ja edullisia ratkaisuja. Olemassa olevien kiinteistöjen läpiviennit tulisi kartoittaa ja todeta niiden kunto sekä mahdollinen kunnostustarve. Kartoitustyön tuloksena valitaan taroitukseen sopivat järjestelmät sekä luonnollisesti laaditaan toimenpiteiden edellyttämä kustannusarvio. Erittäin tärkeää on luoda ja sopia periaatteet siitä, kuinka palokatkojen kunnossapito tullaan hoitamaan. Avainasemassa tässä on tiivis vuoropuhelu kunnossapito-organisaation kanssa, joka ymmärtää elinkaariajattelun merkityksen.



Kuva 6: Varaukset helpottavat jälkiasennuksia ja säästävät kunnossapitokustannuksia.

Palokatkojen kunnossapito on syytä jättää alan erikoisliikkeen tehtäväksi, koska valtaosa katkoista edellyttää vankkaa ammattitaitoa, jota ei muutaman tunnin paloluennolla saavuteta. Kun paloriskejä ehkäistään ja hallitaan, on ammattitaitoisella ja huolellisella asennuksella hyvin keskeinen merkitys. Luokattomalla asennuksella tuhoetaan paraskin tuotejärjestelmä.

12.6 Muistilista onnistuneelle palokatkolle

- Vaadi tyyppihyväksyntä (tai vastaava selvitys)
- Varmista vaadittu paloluokka (esim. EI60)
- Vaadi palokatkon tunnistetiedot (tarra tai kilpi)
- Huomioi suunnittelussa
- Käytä varauksia helpottamaan kunnossapitoa
- Kaapelien kuormittuminen, mekaaninen rasitus, paineenkesto, äänieristys, huoltokustannukset
- Ei liikaa kaapeleita, täyttöaste max50 % poikkipinta-alasta
- Teknistä neuvontaa ja hintatietoa saat alan erikoisliikkeestä
- Huomioi asennuksessa

- Käytä ammattitaitoista, palokatkoihin erikoistunutta yritystä
- Tarkista kunto säännöllisesti ja sovi periaatteet kunnossapidosta
- Varmista huolellinen työsuoritus
- Kaapelien vaikutus sähköpaloihin

13. Kaapeleiden valinta ja käyttö

Tuotepäällikkö Toni Suomela NK Cables

Artikkelissa on kaapeleiden valintaan ja käyttöön liittyviä asioita tarkasteltu sähköisten paloriskien hallinnan näkökulmasta.

Valittaessa kaapeleita eri käyttökohteisiin, tulee varmistaa, että käytetyt kaapelit ja niiden materiaalit täyttävät niihin liittyvät säädökset ja turvallisuusvaatimukset. Kaapelien on oltava turvallisia asennettaessa, käytön aikana sekä käytöstä poistettaessa. Lisäksi kaapelimateriaalien tulee soveltua mahdollisimman hyvin käyttökohteen olosuhteiden rasituksiin. Käytettävien materiaalien tulee olla mahdollisimman vähän ympäristöä rasittavia.

Kaapelin valinnassa tulee ottaa huomioon kaapeleiden koko suunniteltu elinkaari, jotta ne toimisivat taloudellisesti, turvallisesti ja teknisesti oikein. Suomessa sähkölaitteissa ja kaapeleissa käytettävien materiaalien perusvaatimukset löytyvät CE-NELECIN valmistelemista eurooppalaisista EN -standardeista, jotka pääosin SESKO:n toimesta käännetään SFS - EN -standardeiksi, Esikuvina ovat yleensä vastaavat kansainväliset IEC -standardit.

Yleisimmät valintakriteerit kaapelin valinnassa ovat: käyttöjännite, kuormitus, käyttölämpötila, sääolosuhteet, kemikaalien asettamat vaatimukset, palokäyttäytyminen, asennustaivutukset, suunniteltu käyttöikä, käytönaikainen energiahäviö, ylläpitokustannukset, kierrätettävyyden ja hävitys sekä kaapelin hankintakustannukset.

13.1 Kaapelimateriaalien palo-ominaisuudet

Kaapelien palokuorma muodostuu käytännössä kaapelin eriste- ja vaippamateriaaleista jotka tyypillisesti ovat muovi- tai kumiperäisiä. Johdinmateriaalina käytettävä alumiini voi palaa tarpeeksi korkeassa lämpötilassa, joskin tämä on hyvin epätavallista. Valittaessa kaapeleita palokriittisiin kohteisiin, on hyvä ottaa huomioon kuparin korkeammasta sulamispisteestä, noin 1080 °C, johtuva parempi palonkesto verrattuna alumiinijohtimen sulamispisteeseen, joka on noin 660 °C.

Kaapelien muovimateriaalien (yleisimmin PVC, PE, PP ja HFFR) välillä, valinta kaapelin materiaaliksi on perinteisesti tapahtunut sähköisten ominaisuuksien, käyttöolosuhteiden, asennettavuuden ja palo-ominaisuuksien perusteella. Rakennuksien sisäkaapeleissa PVC on yleisintä, koska se vaipan materiaalina on itsestään sammuva. PE ja PP taas kerran sytyttyään jatkavat palamista loppuun asti ja, voivat vielä lisäksi levittää paloa ympäristöönsä muovista tippuvien palavien pisaroiden avulla.

PVC:n hyvät palonesto-ominaisuudet ovat seurausta PVC:n sisältämästä kloorista

(halogeeniryhmän alkuaine), mikä toimii muovissa palonsuoja-aineena. Kun PVC palaa, siitä vapautuu pääsääntöisesti hiilidioksidia, vesihöyryä, hiilimonoksidia (häkää) sekä kloorivetyä, josta muodostuu suolahappoa ilman kosteuden vaikutuksesta. Vapautuva suolahappo on myrkyllinen kaasu ja aiheuttaa korroosiota monille laitteille/materiaaleille sekä vaaraa ihmisille.

Suolahaposta voi olla myös hieman hyvääkin sanottavaa paloturvallisuutta tarkasteltaessa, sillä joidenkin paloasiantuntijoiden mielestä suolahapon ärsyttävät vaikutukset voivat toimia ikään kuin ennakoivana palohälytyksenä, ennen kuin hapen puute ja hiilimonoksidin hengittäminen aiheuttavat hengen vaaran. PE:ssä ja PP:ssä ei taas ole mitään paloa rajoittavaa ominaisuutta. Lisäksi PE:n ja PP:n lämpöarvo (palossa vapautuva lämpöenergia) on yli kaksi kertaa suurempi kuin PVC:n.

Rakennuksien sisäkaapeleissa voidaan käyttää myös itsestään sammuvaa halogeenitonta muovimateriaalia, HFFR -seosta. PE, PP ja HFFR -seokset eivät poltettaessa synnytä syövyttäviä epäorgaanisia kaasuja ja lisäksi niistä vapautuva savumäärä on huomattavasti pienempi kuin halvimasta PVC -materiaaleista, myös savun väri on vaaleampi. On kuitenkin syytä ottaa huomioon, että HFFR -seoksien muoviosa, mikä on yleisesti PE:n ja/tai PP:n seospolymeeri, on täysin palavaa materiaalia, josta palossa vapautuva lämpöenergia on yhtä suuri kuin polttoöljyllä. Lisäksi PE, PP ja HFFR -seoksien palaessa syntyy kuitenkin aina häkää, tappavan myrkyllinen kaasu.

13.2 Kaapelipalojen syyt

Kaapelit eivät yleensä sellaisenaan aiheuta kovin suurta palokuormaa, mutta syytymislähteenä tai jo syttyneen palon levittäjänä, kaapelit voivat edesauttaa paloherkässä ympäristössä palon nopean leviämisen. Kaapelipalon leviämistä edistävät kaapeleiden runsas asentaminen samalle johtoreitille, sekä huonosti toteutetut tai täysin tekemättömät paloläpiviennit. Kaapeleiden keskitetyillä asennusreiteillä, kuten esimerkiksi kaapelihyllyillä, palokuorma voi kasvaa paikallisesti suureksi. Suuret yhtenäiset tilat ovat kaapelipalossa ongelmallisia.

Kaapelipalojen perussyyt voidaan jakaa karkeasti seuraaviin kohtiin: suunnitteluvirhe, asennusvirhe, kaapelivirhe, puutteellinen huolto ja huolimaton sekä virheellinen käyttö.

Teknisesti kaapelista aiheutuva sähköpalo voi olla seurausta monesta eri asiasta tai niiden yhteisvaikutuksesta:

1) Kaapelien eristysvika, mikä voi aiheutua esimerkiksi seuraavista syistä:

- Eristysmateriaalin normaali vanhentuminen
- Valmistusvirhe kaapelissa
- Liian korkeat käyttö-/ympäristölämpötilat
- Mekaaninen vaurio (terävät ja leikkaavat pinnat, suuri pistemäinen kuorma sekä tärinä)
- Kemikaalien aiheuttama vaurio (varsinkin vesi sekä erilaiset rasvat)
- Säteilyn (etenkin auringon UV -säteily)
- Korroosio

2) Kaapelin huonot liitokset ja jatkokset

- Liian löysä liitos tai muusta syytä huono kosketus liitoskohdissa
- Liittimien alimitoitus tai niiden virheellinen tekotapa
- Kosketuspintojen hapettuminen ja likaantuminen
- Liittimien kosketuspintojen virheellinen asento
- Liittimien jousien kosketuspaineen heikentyminen.

Edellä mainittuja ongelmia esiintyy varsinkin liikuteltavissa kaapeleissa.

3) Kaapeliin kohdistuva liian suuri ylikuormitus, ylijännite tai vuotovirta

4) Sähköverkossa esiintyvät harmoniset yliaallot

Yliaallot (varsinkin 3. harmoninen) voivat aiheuttaa kaapelin nolla- tai PEN - johtimen ylikuormittumisen, etenkin suurissa voimakaapeleissa; huomautettakoon, että näissä kaapeleissahan tavallisesti nolla- tai PEN - johtimen poikkipinta-ala on vielä puolet yhden vaiheen poikkipinta-alasta.

Lue myös luku 5.2 Kolmas yliaalto (150 Hz).

5) Salamanisku

Salamanisku aiheuttaa ylijännitteen, mikä on vaaraksi ennen kaikkea avolinjoille ja niiden päätelaitteille. Tässä syystä linjat suojataan erillisellä ukkosköydellä, joita nykyisin saa myös tietoliikennekaapeloinnilla varustettuna (OPGW -kaapelit).

Lue myös luku 5.4 Ylijännitteet.

Kaapelien ja kaapelijärjestelmien puutteelliset ja ammattitaidottomat suunnitelmat sekä asennukset aiheuttavat todella suuren riskin sähköpalon syntymiselle ja palon leviämiselle.

- Kaapelien virheellinen sähkötekniinen suojaus tai sen toimimattomuus
- Puutteellinen tai jopa kokonaan laimin löytyä kunnossapito
- Väärästä tai huolimattomasta asennustavasta syntyneet mekaaniset vauriot
- Kaapelien puutteellinen jäähdytys, josta seuraa yllämpeneminen (ilmastoinnin tarpeellisuus, kaapelointien puhtaanapito yms). Ota huomioon myös, että joissakin esimerkiksi vaah tomaista tiivistysainetta sisältävissä läpivienneissä kaapelin lämpötila voi normaalissa käytössä nousta vaarallisen korkeaksi.

Kaapelipalo voi olla seurausta yllämainituista kaapelin vioittumisista johtuvista syistä, joiden seurauksena syntyy resistiivinen ylikuumentuminen, oikosulku tai valo-kaari. Vikakohdassa esiintyvä sähköteho saa aikaan tarvittavan virtatiheyden johtimessa/eristyksessä, jolloin kuumentumisen seurauksena saavutetaan materiaalin syttymislämpötila. Palon syttymiseen tarvitaan palavaa materiaalia ja tietenkin riittävästi happea.

Syttyvänä materiaalina voivat olla itse kaapelit, kaapelipäätteet, sähkökeskukset sekä kaapelin asennusympäristö.

On muistettava, että myös kaapelin pintalämpötila voi nousta niin suureksi, että se voi sytyttää palamaan ympäristössään sijaitsevia herkästi syttyviä rakenteita ja laitteistoja, ennen kuin itse kaapeli syntyy palamaan.

Lue myös luku 5 Syttymisriskejä aiheuttavia sähköilmiöitä ja niiltä suojautuminen

ja luku 6 Sähköpalot fysikaalisina ilmiöinä.

13.3 Kaapelipalojen ennalta ehkäisy

Eristysvikojen ja ylikuormituksen aiheuttamien vaarojen torjumiseksi on ensiarvoisen tärkeää, että sähkölaitteiston suoja- ja turvajärjestelmät suunnitellaan, rakennetaan ja hoidetaan asianmukaisesti siten, että ne vian ilmettyä kytkevät syötön automaattisesti pois, ennen kuin viasta aiheutuu palovaaraa.

Eriyiset kaapeli- ja sähkökeskustilat tulisi varustaa vähintäänkin palovaroitinlaitteistolla, tärkeimmät tilat myös automaattisella palosammutuslaitteistolla ja mahdollisesti syötön katkaisulla pois lukien sammutuslaitoksien syöttöä, jonka syöttöä ei saa katkaista.

Sähköpalon leviämistä estää ja vahinkojen pienentämistä edesauttaa se, että rakennuksessa kaikki kaapelien paloaluerajojen läpiviennit tehdään hyväksytyllä tavalla (tyyppihyväksyntä), jotka myös estävät palokaasujen leviämisen läpiviennin kautta.

Lue myös luku 12 Läpivientien tiivistykset eli palokatkot

Suunnittelu- ja asennusvaiheessa huomiota tulee kiinnittää palon syttymisen kannalta kriittisten komponenttien tunnistamis- ja suojausvaatimukseen sekä materiaalien paloa hidastaviin ominaisuusvaatimukseen. Kaapeleita asennettaessa tulee noudattaa kaapelin käsittely-, asennus- ja käyttöohjeita.

Sähkösuunnittelussa tulee ottaa huomioon lisäksi myös mahdolliset "tulevaisuuden" tarpeet kuten:

- Käyttötavassa tai ympäristötekijöissä tapahtuvien muutoksien vaikutukset
- Muutos- ja laajennustöiden toteuttamiseen liittyvät riskit
- Riskikartoitus, jossa pohdittaisiin turvallisuusriskejä sähköpalojen mahdollisista aiheuttajista

Kunnossapidon ja tarkastuksien sisällöissä (käyttöönotto-, varmennus-, määräaikais- ja palotarkastukset) tulee kaapelointien paloturvallisuuteen liittyvät riskitekijät olla huomioon otettu.

Sähkökeskuksien ja -järjestelmien kunnossapidossa lämpökamerakuvaus on hyvä apukeino, jolla voidaan ennakoivasti selvittää laitteistossa mahdolliset piilevät yllämpenemiskohteet. Lisäksi kunnossapitoon tulisi sisällyttää sähkölaitteiston harmonisten yliaaltojen selvittäminen.

Lue myös luku 9 Sähkön käyttöön liittyvien sähköturvallisuusriskien hallinta ja luku 10 Sähkölaitteistojen kunnossapito sekä tutustu Sähköpeto -ohjelman toiseen julkaisuun "*Perustietoa sähköpaloista ja niiden ennalta torjunnasta*"

13.4 Kaapelin valinta palo-ominaisuuksien perusteella

Perusvalintana voidaan pitää sitä, että rakennuksiin kiinteästi asennettavien kaapeleiden tulisi olla vähintään itsestään sammuvia (täyttää polttokoe IEC 60332-1, esim. MMJ ja MCMK). Ulkokaapeleille voidaan sallia paloa ylläpitäviä ominaisuuksia. Joissakin tapauksissa, myös ulkokaapelin tulisi olla itsestään sammuva. Näin esi-

merkiksi tilanteissa, jossa lähellä olevien rakennusten välillä on ilmaan asennettu kaapelointi.

Kun kaapelit asennetaan rakennuksessa seinien "sisään", taloudellisimpaan ja parhaimpaan tulokseen päästään kun käytetään tavanomaisia itsestään sammuvia kaapeleita. Niissä teollisuus- ja toimistorakennuksissa, joissa kaapelit asennetaan sisäkattotilaan kaapeliradoille ja kaapeleita tulee paljon, tulisi käyttää nippupolton kestäviä kaapeleita (täyttää polttokoe IEC 60332-3, esim. MMJ CPD/D). Tällöin tulee ottaa huomioon, että nippupolton kestävien kaapeleiden käyttö nostaa kaapelointikustannuksia tavanomaista korkeammiksi.

Niissä teollisuus- ja toimistorakennuksissa, joissa on aihetta olettaa tilan olevan normaalia alttiimpi palovaaralle ja joissa sisäkattotilaan kaapeliradoille kaapeleita asennetaan runsaasti, kaapelipaloihin liittyviä riskejä voidaan vähentää käyttämällä nippupolton kestäviä kaapeleita (täyttää polttokoe IEC 60332-3, esim. MMJ CPD/D). Nippupolton kestävien kaapeleiden käyttö nostaa kaapelointikustannukset tavanomaista korkeammiksi.

Ulosmenoteiden kaapeloinneista on esitetty turvallisuusvaatimuksia SFS 6000/A1 -standardin kohdassa 482.4. (2002).

Toisaalta suurissa tiloissa savunmuodostumisesta palossa voi jopa olla hyötyä, koska savunmuodostus nopeuttaa palon havaitsemista ja palonsammutustoimien kohdentamista.

Tunnelirakennuksissa tulisi käyttää mahdollisimman huonosti palavia kaapeleita, eli nippupolton kestäviä kaapeleita, ja lisäksi näiden kaapeleiden tulisi olla myös vähänsavuavia.

Niissä kohteissa, joissa kaapelin tulee olla toimintakuntoinen vielä palon aikana, tulee käyttää palonkestäviä kaapeleita (täyttää polttokoe IEC 60331, esim. FRHF-MMJ ja FRHF-XCCMK). Tällaisia toimintoja ovat esimerkiksi hätävalaistukset ja savunpoistoon tarkoitetut moottorit ilmastoinnissa, vesipumpuissa ja hisseissä. Näiden kaapeleiden mitoituksessa pitää ottaa huomioon palotilanteessa kasvava ympäristön lämpötila. Kuparin sähkönjohtokyky alenee, koska resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa. Esimerkiksi noin 900 °C palolämpötilassa kuparikaapelin johdinresistanssi kasvaa noin viisinkertaiseksi normaaliin käyttölämpötilaan nähden.

Halogeenittomia itsestään sammuvia (esim. MMJ-LSZH) tai halogeenittomia nippupolton kestäviä kaapeleita tulisi käyttää niissä rakennuskohteissa/-tiloissa, joissa pienikin kaapelipalo voi normaaleilla halogeenillisilla kaapeleilla aiheuttaa suuria taloudellisia kustannuksia korroosioherkissä laitteistoissa, tällaisia tiloja ovat esimerkiksi sairaalat ja tietoliikennekeskukset.

Alla olevaan luetteloon on kerätty joitakin tyypillisimpiä lisälyhenteitä, joita on käytössä kaapelin normaaliin tyyppimerkkiin lisättynä. Niitä käytetään silloin, kun kaapeli poikkeaa palokäyttäytymiseltään tavanomaisesta rakenteesta, jollainen on esimerkiksi normaali MMJ -asennuskaapeli. Sen halogeeniton ja vähänsavuava versio on MMJ-LSZH sekä MMJ:n halogeeniton palonkestävä versio on FRHF-MMJ, joka on lisäksi myös nippupolton kestävä.

- LS Low Smoke: IEC 61034 & IEC 60332-1 "vähän savuava, itsestään sammuva kaapeli"
- LSZH Low Smoke Zero Halogen: IEC 61034 & IEC 60754 & IEC 60332-1 "vähän savuava, halogeeniton itsestään sammuva kaapeli"
- HF Halogen Free: IEC 61034 & IEC 60754 & IEC 60332-3 & IEC 60332-1 "vähän savuava, halogeeniton nippuna itsestään sammuva kaapeli"
- FR Fire Resistant: IEC 60331 & IEC 60332-1 (& IEC 60332-3) "palonkestävä kaapeli". Yleensä käytetään lyhennettä: -FRHF, mikä on -FR:n ja -HF:n yhdistelmä

Artikkelissa "Kaapeleiden valinta ja käyt" käytetyt lyhenteet

- *SESKO* Suomen Sähköteknillinen Standardoimisyhdistys
- *SFS* Suomen Standardisoimisliitto
- *IEC* International Electrotechnical Commission
- *EN* European Standard
- *PVC* Polyvinyylikloridi, muovi
- *PE* Polyeteeni, muovi
- *PP* Polypropeeni, muovi
- *HFFR* HFFR (Halogen Free Flame Retardant), Halogeeniton palosuojattu muovi
- *LSZH* (Low Smoke Zero Halogen), LS0H
- *CPD* Construction Products Directive, Rakennustuotedirektiivi

14. Yhteenvedo kaapeleiden palo-ominaisuuksista

Lähteet: NK Cables sekä Reka-kaapeli Oy Kauko Akkila

| OMINAISUUDET KAAPELITYYPPI | SAVUN MUODOSTUS - läpinäkyvyys - väri | SAVUKAASUJEN MYRKYLLISYYS - häkä (CO) - kloorivety (HCl) | SAVUKAASUJEN HAPPAMUUS - korroosioriski | PALOSUOJAUS - polttokokeet std - kaapelin käytös | PALOKUORMA - teoreettis. max. lämpöenergian vapautuminen | LÄMMÖNKESTO - lämpötilan nousun kesto | KAAPELIN HINTA asiakkaalle |
|--|--|---|--|--|---|---|---|
| MMJ Std:n mukainen perinteinen asennuskaapeli | HUONO Voimakas tumma savu | HUONO CO ja HCl | HUONO Suolahappoa (HCl) | TYDYTTÄVÄ IEC 60332-1 CPD: E-luokka | HYVÄ / TYDYTTÄVÄ Puuta hieman suurempi | TYDYTTÄVÄ Muovit "haurastuu ja korppuuntuu" | ERINOMAINEN Edullinen tuote |
| HALOGEENITON MMJ-LSZH (NK) HHJ (Reka) Ei ole vielä std:a ltsest. sammuva asennuskaapeli | HYVÄ Vaalea savu | HUONO CO | HYVÄ (Mahd. orgaanisia heikkoja happoja) IEC 60754 | TYDYTTÄVÄ IEC 60332-1. CPD: E-luokka Mahdoll. tippuvia palavia pisaroita. | TYDYTTÄVÄ Perusmuoviosalla suuri lämpöarvo (> polttoöljy), täyteaineen pienentävät | HUONO Perusmuoviosaa sulaa melko alhaisessa lpt:ssä | TYDYTTÄVÄ Normaalia MMJ:tä kalliimpi |
| HALOGEENITON PALONKESTÄVÄ FRHF-MMJ (NK) FLAMEREX-FRHF (Reka) Std:n mukainen perinteinen turvalaitekaapeli | HYVÄ Vaalea savu | HUONO CO | HYVÄ (Mahd. orgaanisia heikkoja happoja) IEC 60754 | HYVÄ IEC 60331 IEC 60332-1 IEC 60332-3 CPD: C-luokka | TYDYTTÄVÄ Perusmuoviosalla suuri lämpöarvo (> polttoöljy), palonsuoja-aineet pienentävät merkittävästi | HUONO Ulkovaippa sulaa melko alhaisessa lämpötilassa (HYVÄ, jos eristeet ovat silloin-tettu, jolloin eivät sula helposti) | HUONO Normaalia MMJ:tä huomattavasti kalliimpi, perussyynä palonkesto-ominaisuus |

Ominaisuudet: HUONO, TYDYTTÄVÄ, HYVÄ, ERINOMAINEN
 Polttokoe-std: IEC 60332-1 itsestänsammuvuuskoekoe, IEC 60332-3 nippupolttokoe, IEC 60331 palonkestävyyskoekoe, IEC 60754 happamuuskoekoe
 EU direktiivi: Euroluokitus CPD (Construction Products Directive), direktiivi 89/106/EEC, päätös 2000/147/EC
 Lyhenteet: CO hiilimonoksidi, HC hiilivedyt (alifaattiset ja aromaattiset), HCl vetykloridi, HF vetyfluoridi
 Muovilyhent.: PVC polyvinyylikloridi, PE polyeteeni, PP polypropeeni

| OMINAISUUDET KAAPELITYYPPI | SAVUN MUODOSTUS | SAVUKAASUJEN MYRKYLLISYYS | SAVUKAASUJEN HAPPAMUUS | PALOSUOJAUS | PALOKUORMA | LÄMMÖNKESTO | KAAPELIN HINTA |
|--|--|---|---|---|---|--|---|
| USA:lainen "PLENUM MMJ" Std:n mukainen tuote USA:ssa (pilvenpiirtä- jissä) eristeet ja vaipat pää- sääntöisesti fluori- muoveja | HYVÄ Vaalea savu (voi esiintyä myös hei- kohko tummaa savua) | HUONO CO ,ja HF (mahd. HCl) | HUONO Fluorivetyhappoa (HF) sekä mahdollisesti HCl | ERINOMAINEN UL 910 UL 1666 CPD: B-luokka | ERINOMAINEN Käytännössä kaapelin muovit palavat todella huonosti ja läm-pöarvo on pieni | HYVÄ Kaapelin muovit eivät juurikaan sula, hajoa- mista tapahtuu yli 300 C lämpötiloissa | HUONO Todella kallis tuote |
| MMJ CPD/D PVC-muovinen voim. palosuojattu asennus- kaapeli Std:n mukainen sovel- tavasti | TYYDYTTÄVÄ Vaalea savu ja lisäksi esiintyy heikohkoa tummaa savua | HUONO CO, HCl, klooriaromat- teeja, kloorialifaatteja, kloorattuja hiilivetyjä | TYYDYTTÄVÄ Rajoitettu määrä suo- lahappoa | HYVÄ IEC 60332-1 IEC 60332-3 CPD: D-luokka | HYVÄ Muovien lämpö-arvo vertailuryh-män toi- seksi pienin (> Ple- num) | TYYDYTTÄVÄ Muovit "haurastuu ja korppuuntuu" | HYVÄ Normaalia MMJ:tä vain hieman kalliimpi |
| HALOGEENITON MCMK KOISTINEN-HF (NK) voim. palosuojattu sa- neerauskaapeli Std:n mukainen XCMK-HF (Reka) | HYVÄ Vaalea savu | HUONO CO | HYVÄ Mahd. orgaanisia heikkoja happoja IEC 60754 | HYVÄ IEC 60332-1 IEC 60332-3 CPD: C-luokka | TYYDYTTÄVÄ Perusmuoviosalla suu- ri lämpöarvo (> poltto- öljy), palonsuoja- aineet pienentävät merkittävästi | TYYDYTTÄVÄ Silloitetut eristeet eivät sula. Vaippa taas su- laa melko alhaisessa lpt:ssa | TYYDYTTÄVÄ Normaalia MCMK:ta kalliimpi |

15. Esimerkkejä sähkön aiheuttamista paloista

Jorma Korkalo Primatest Oy

Esimerkit ovat lyhyitä referaatteja todellisten sähkön aiheuttamien palojen tutkintaraporteista.

Maatilan hirsirakenteisen päärakennuksen palo

Palonsyyn tutkija: Turvatekniikan keskus

Tapahtumatiedot

Palo oli sattunut iltapäivällä talonväen ollessa kotona. Talonväki oli havainnut vähän ennen neljää lyhyen sähkökatkoksen. He eivät olleet välittäneet katkoksesta, vaan olivat jatkaneet normaaleja toimiaan. Noin puolen tunnin kuluttua oli savua alkanut muodostumaan sisätiloihin, jolloin he olivat poistuneet rakennuksesta ja nähneet ulkoseinän palaneen puhki pääsisäänkäynnin ja yläkerran huoneen ikkunan väliseltä alueelta. Tämän jälkeen he olivat hälyttäneet palokunnan paikalle.

Palon seuraukset

Palossa tuhoutui rakennuksen yläkerta kokonaan. Alakertaan oli tullut merkittäviä vesivahinkoja ja osa välipohjasta oli romahtanut alakerran huoneisiin.

Todennäköinen sähköinen palonsyy

Palon aiheuttajaksi epäiltiin komeron vieressä menevää johdinta. Johdinta tutkittaessa löydettiin naula mikä oli lävistänyt johtimen. Kyseinen lävistyskohta sijaitsi eteistilassa seinän ja yläpohjan leikkauskohdassa komeron seinän yläreunassa. Näitten selvitysten perusteella voidaan melko tarkasti päätellä, että palo oli saanut alkunsa kyseisestä lävistyskohdasta. Tähän viittaavat myös palon syttymiskohta määritykset ja paloa edeltänyt sähkökatkos.

Tutkintaraportista tehtyjä johtopäätöksiä vastaavien tapausten välttämiseksi

- Syyt havaittuihin epänormaaleihin sähköilmiöihin tulee selvittää viipymättä
- Asennusten kunnosta tulee huolehtia säännönmukaisesti
- Sähkötöiden tekemiseen tulee käyttää ammattitaitoista henkilöä
- Sähköasennuksille tulee suorittaa vaaditut sähkötarkastukset

Kuntataajamassa sijaitsevan suurehkon teollisuusrakennuksen palo

Palonsyyn tutkija: Turvatekniikan keskus

Tapahtumatiedot

Vartijat olivat olleet kierroksella noin klo 23.00 tehtaan vanhassa osassa, kun toinen heistä oli haistanut savun hajun viherruokalasta. He olivat tarkastaneet tilat, mutta eivät olleet paikallistaneet savun aiheuttajaa. Vartijat olivat yrittäneet tavoittaa kiinteistöhoitajia, mutta tuloksetta.

Hieman ennen klo 23:a testauslinjalla 1 työskennelleet työntekijät olivat havainneet osastolla lyhyen sähkökatkoksen. Katkos oli aiheuttanut palo-ovien sulkeutumisen sekä tietokoneohjelmien kaatumisen.

Klo 23.40 - 23.45 testauslinjalla 2 työskennelleet työntekijät olivat lähteneet tauolle viherruokalaan. Matkalla olivat he huomanneet palo-ovessa olleen lapun, jossa luki "palo-ovi rikki, käynti varasto kautta". Tullessaan ruokalaan olivat he todenneet, että tilan kattovalot olivat päällä ja huoneessa tuntui savunhajua. Etsiessään savun aiheuttajaa he havaitsivat tumman jäljen yhden palaneen kattovalon kiinnityksen pinnalla. Kattovalo sijaitsi tilan peräosassa olevan pöydän päällä.

Tässä vaiheessa saapuivat myös 1. testauslinjan työntekijät ruokalaan. Heti heidän saapumisen jälkeen oli lampun luota kuulunut rätinää ja sen perään ukkosen kajahdukselta kuulostanut ääni. Äänen kajahdettua oli lamppu räjähtänyt. Samaan aikaan oli testauslinjoilla katkennut sähköt.

Klo 00.00 yksi työntekijöistä soitti aluehätkeskukseen ja ilmoitti tapahtumista. Keskus ilmoitti viestin eteenpäin päivystävälle palomestarille ja hän saapui ruokalaan klo 00.09. Tällöin oli lamppu kipinänyt ja tuli oli lyönyt seinän läpi terassille aivan oven vierestä. Palo eteni sytyttyään erittäin nopeasti. Palon aikana oli yläpohjassa näkynyt voimakkaita valokaaria.

Todennäköinen sähköinen palonsyy

Johtopäätösten jälkeen tutkinta kohdistettiin ruokalan alueelle. Raivattaessa löytyi kyseiseltä paikalta kaksi valaisinta ja sen lisäksi palaneita sähkökaapelin pätkiä. Yläpohjassa kattovalaisimen linjassa kulki myös kaksi voimakaapelia.

Alkuhavaintojen perusteella voitiin päätellä, että kyseessä saattaa olla syöttökaapeleissa oleva vika. Tiedossa oli, että noin 4 vuotta aikaisemmin oli yksi voimakaapeli jatkos räjähtänyt kaapelihyllyllä. Sen jälkeen voimakaapeleiden jatkokset sijainnit selvitettiin ja ne lämpökuvattiin. Tällöin oli jotain jatkoksia pitänyt uusia.

Tutkinnassa tultiin siihen tulokseen, että oletetulla syttymispaikalla ollut valaisin on joutunut ulkopuolisen palon kohteeksi. Valaisimen sisäosien kunnan perusteella ja ulkoisten palomerkkien perusteella voitiin päätellä, ettei valaisin ollut aiheuttanut paloa, eikä edelleen syöttöjohdon vikaantumista.

Firman toimittamasta mittauspöytäkirjasta voitiin todeta, että syttymiskohdalla oli ollut kaksi jatkosta. Lämpökuvausten perusteella toisen jatkoksen lämpötilaero kaapelin ja jatkoksen välillä oli mittaushetkellä ollut 6,5 astetta. Kaapeli- ja jatkosvalmistajilta pyydettyjen asiantuntijalausuntojen mukaan ehjän jatkoksen ja kaapelin välillä ei ollut merkittävää lämpötilaeroa. Tässä tapauksessa 6,5 asteen lämpötilaero indikoi vikaan jatkoksessa, kun oli huomioitu ulkotilaa vastaava ympäröivä lämpötila. Vuosien mittaan kaapelin ja jatkoksen kuormitus oli edistänyt vian kehittymistä ja näin nostanut edelleen jatkoksen lämpötilaa. Yhteenvetona voitiin todeta, että tulipalon synnä oli ollut voimakaapelin viallinen jatkos, joka oli sytyttänyt ympärillä olleet palavat materiaalit palamaan.



Näkökohtia vastaavien tapausten välttämiseksi

- Syyt sähkölaitteiston kunnonvalvonnassa havaittuihin mahdollista vikaa indikoiviin mittaustuloksiin ja havaintoihin tulee selvittää riittävän nopeasti.
- Sähkölaitteiston kunnossapidon tulee olla säännömukaista ja kunnossapitoon tulee sisällyttää sähköisiä paloriskejä indikoivia mittauksia ja suojalaitteiden testauksia.
- Ylivirralla ja oikosululta suojaavien järjestelmien vaatimusten mukaisuuteen ja toimivuuteen tulee kiinnittää huomiota suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä.

Kaupungissa sijaitsevan ravintolan keittiön palo.

Palonsyyn tutkija: Turvatekniikan keskus

Tapahtumatiedot

Yöllä ravintolan sulkemisen jälkeen talossa liikkunut henkilö oli haistanut savun hajun. Havainnon tehtyään hän oli kiiruhtaen hälyttänyt palokunnan paikalle. Palokunnan ripeän toiminnan ansiosta, palo saatiin rajoitettua ravintolan apukeittiöön.

Palon seuraukset

Palossa keittiö kärsi melko pahoja vaurioita ja koko ravintola sai merkittäviä savu- ja nokivahinkoja.

Todennäköinen sähköinen palonsyy

Tutkinnassa saatiin palopaikka rajattua melko tarkasti, koska palo rajoittui yhteen tilaan ja tilassa oli nähtävissä selvä v-kuvio. Syttymiskohta rajattiin keittiön kylmälaitteiden läheisyyteen. Jääkaapin sivulla ollut liitántärasia ja kaapin yläreunan lamppu olivat sulaneet melkoisen pahasti. Kompressorin relekotelo oli palanut täysin ja muovit olivat sulaneet kaapin alareunassa sijainneen liitinkotelon päälle. Tästä voitiin olettaa tulipalon syttyneen kompressorin relekotelossa.



Tarkemman selvityksen jälkeen syyksi todettiin käynnistysreleen vioittuminen. Tuli oli ilmeisesti edennyt kaapeleita pitkin kompressorin relekotelosta ylös liedessä oleviin johtoihin sekä jääkaapin valaisimen johtoihin. Samalla liedessä olleet palavat materiaalit olivat syttyneet ja mahdollistaneet palon leviämisen kaapistoihin.

Tutkintaraportista tehtyjä johtopäätöksiä vastaavien tapausten välttämiseksi

- Keittiön kylmälaitteisiin liittyy potentiaalisia sähköpaloriskejä.
- Sähkölaitteiden kuntoa ja toimintaympäristön asianmukaisuutta tulee tarkkailla säännömukaisesti.
- Sammutustoimien onnistumista edesauttoi kohteen sijainti lähellä pelastuslaitosta.

Pinnoitustehtaalla syttynyt palo

Palonsyyn tutkija: Turvatekniikan keskus

Tapahtumatiedot

Tehdas (n. 3000 m²) suoritti kemiallisesti hopeointia, niklausta, kultausta ja alumiinin anodisointia. Kemikaaleja säilytettiin vastuksilla lämmitetyissä altaissa. Tuotantolinjoilla oli käytössä yhteensä 20 000 litraa vaarallisia aineita.

Pihalla olleen kuorma-auton kuljettaja kertoi havainneensa yöllä jotain valoja vanhan hallin kulmauksesta, mutta minkään koneiden ääniä hän ei ollut kuullut. Hän oli nukkunut autossa. Kuljettaja oli herännyt tulipalon aiheuttamiin ääniin ja nähnyt vanhan hallin keskipaikkeilla ja päädyssä liekkejä.

Palokunnan tullessa paikalle oli teollisuushallin 1000m² suuruinen osa ollut täyden palamisen vaiheessa. Palo oli leviämässä kattorakenteissa muihin osastoihin. Hallin palavassa osassa todettiin olevan suuria määriä tuotantoprosessissa käytettyjä happoja, emäksiä ja muita nestemäisiä ja kiinteitä kemikaaleja. Kemikaalit vaikoivat merkittävästi sammutusta ja aiheuttivat yhdistyessään tappavia höyryjä. Palo levisi myös uhkaamaan viereisen hallin öljykeskusta.

Palon seuraukset

Palossa tehtaan toinen siipirakennus tuhoutui täysin ja siitä koitui noin 10 miljoonan markan vahingot.

Todennäköinen sähköinen palonsyyn

Tavaroiden vastaanottotilaa vasten ja sen takakulmauksessa olleissa altaissa oli ainakin syanidialtaita ja vesialtaita. Osassa altaita oli 2 kW posliinikuorisista sähkövastuksista. Vastuksia oli käytetty altaissa olleiden nesteiden lämmittämiseen. Kaikki vastukset oli rikki. Palo jäljistä pääteltynä kuumuus oli ollut kovinta juuri tällä alueella.

Todennäköisin syytymissyy oli vastuksen ylikuumentuminen. On mahdollista, että yksi altaista on tyhjentynyt ja vastus on tästä syystä ylikuumentuessaan sytyttänyt altaan palamaan. Syytä nesteen karkaamiseen voidaan vain spekuloida. Yksi syy esimerkiksi voi olla altaan pettäminen.



Tutkintaraportista tehtyjä johtopäätöksiä vastaavien tapausten välttämiseksi

- Sähkölaitteita ja niiden asennusvarusteita valittaessa tulee ottaa huomioon käyttöympäristön ja käytön asettamat erityisvaatimukset mekaaniselle ja kemialliselle kestävyydelle.
- Kunnossapidon kohdentamiseksi tehtävässä riskikartoituksessa tulee erityisesti kiinnittää huomiota käyttöympäristön ja käyttötavan lisäämiin vikaantumiserisoihin.
- Sähkölaitteiston kunnossapidon tulee olla säännönmukaista ja kunnossapitoon tulee sisällyttää sähköisiin paloriskeihin liittyvien suoja- ja turvajärjestelmien toiminnan testaukset ja kunnan tarkkailut.
- Ylikuumentumiselta suojaavien järjestelmien vaatimusten mukaisuuteen ja toimivuuteen tulee kiinnittää huomiota suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä.

Kaupungin keskustassa sijaitsevassa liike/asuinkerrostalossa syttynyt tulipalo.

Palonsyyn tutkija: Turvatekniikan keskus

Tapahtumatiedot

Palokunta sai automaattihälytyksen noin klo 11.30. Paikalle hälytettiin kymmenen sammutusyksikköä. Palokunnan paikalle tullessa oli tulipalo aiheuttanut runsaasti savua, joka oli levinnyt useaan lähikiinteistöön.

Palon seuraukset

Tulipalo oli syttynyt talon kellaritiloissa. Savu oli aiheuttanut merkittäviä vahinkoja. Kellaritiloissa oli palokohteessa ollut sprinkerlaitteisto, joka oli lauennut palon aikana ja sumuttanut autotallin lattialle 10 - 15 cm:ä vettä. Vettä oli tullut muutaman sadan neliön alalle.

Todennäköinen sähköinen palonsyy

Palokunta sai paikallistettua palon aiheuttajaksi sähköpääkeskuksen, joka sijaitsi kellaritiloissa. Palon syyksi löytyi sähköpääkeskuksen sulakepesän löysä liitos. Palon alkusysäyksenä on todennäköisesti ollut ylikuormitus, josta syystä löysä liitos oli aiheuttanut oikosulun ja tulipalon.

Näkökohtia vastaavien tapausten välttämiseksi

- Tapaus kuvaa pienivirtaisiinkin sähkölaitteiston osiin liittyviä sähköpaloriskejä sekä sitä, että sähköpiirien jokainen liitoskohta on sähköpaloriski. Riski ei sinänsä liity siihen, että liitokset sinänsä olisivat epäluotettavia, vaan riskin aiheuttavat liitosten runsaus kaikkialla sähkölaitteistossa.
- Sähkölaitteiston kunnossapidon tulee olla säännömukaista ja, että kunnossapitoon tulee sisällyttää liitoskohtien kunnan tarkkailu. Tässä lämpötilamittaukset ja lämpökuvaukset sekä liitosten systemaattinen jälkikirstys ovat parhaimpia kunnossapitotoimenpiteitä.



Suuren oppilaitoksen neuvotteluhuoneessa syttynyt palon alku

Palonsyyn tutkija: Pimatest Oy

Tapahtumatiedot

Erittäin suuren oppilaitoksen neuvotteluhuoneen (7,5mx12m) metallisessa ovikarmissa ollut pistorasia, 2 kpl valaistuksen säädintä sekä varattuvalokytin olivat tuhoutuneet osittain tunnistamattomiksi möykkyiksi ovipielen sähkölaitteissa olleen palon seurauksena.

Palon seuraukset

Palosta oli aiheutunut vähäisiä savu- ja palovaurioita huonetilaan, seinäverhossa oli palonjälki. Palo oli syttynyt ja sammutunut itsestään valvomattomissa olosuhteissa viikonlopun aikana. Syntyneet palovauriot: em. sähkökalusteiden tuhoutuminen, savuvaurioita ovenkarmissa, palamisjälkiä verhossa, nokea huonetilassa.

Todennäköinen sähköinen palonsy

Palo oli saanut varmuudella alkunsa valaistuksen säätimestä, joka on voittunut muutaman vuoden käytön aikana. Syntymishetkellä säädin ei ole ollut kuormitettuna mutta kuitenkin jännitteinen.

Palavasta säätimestä valunut palava muovi oli sittemmin sytyttänyt alempana olleen pistorasian muoviosat.

Vioittuminen on suurella todennäköisyydellä ollut seurausta säätimen kytkinosan kuormitettavuuteen nähden siihen liitetystä liian suuresta säädettävien valaisimien liitälaitemäärästä. Säädinyksiköt ovat sijainneet valaisimissa. Liian suuri kuormitus on ajan mittaan vaurioittanut (arpeuttanut?) kytkinosan seurauksena säätimen ylikuumentuminen ja syttyminen. Säätimeen oli liitetty valaisimien liitälaitteita enemmän kuin valmistajan ohjeet sallivat.

Palon leviämisen esti se, että säätimen ja läheisyydessä ei ollut syttyvää materiaalia, muun muassa matot ja läheiset verhot olivat itsestään palamattomia.

Sähköiset suojausjärjestelmät olivat vaatimusten mukaiset.

Näkökohtia vastaavien tapausten välttämiseksi

- Sähkölaitteiden valinnassa tulee noudattaa laitevalmistajien kaikkia ohjeita etenkin kuormitusten suhteen
- Tämän tapauksen kehittymistä viikonlopun aikana todelliseksi suurpaloksi ehkäisivät palamattomien sisustusmateriaalin käyttö. Kohteessa ei ole automaattista paloilmoitusjärjestelmää.



Suuren oppilaitoksen konetekniikan syövytyslaboratoriossa syttynyt palon alku.

Palonsyyn tutkija: Primatest Oy

Tapahtumatiedot

Viikonlopun aikana laboratorion työpöydällä oli syttynyt palo. Työpöydällä on ollut pieniä (n. 1 l) astioita, joissa on ollut 1 lk palavaa nestettä sekä sähköverkkoon liitettynä ollut hiustenkuivaajatyypinen lämpöpuhallin. Puhallin ei kuitenkaan ole ollut toiminnassa. Huonetilassa ei ole automaattista paloilmotusjärjestelmää. Maanantaiaamuna todettiin lämpöpuhaltimen ja sen lähiympäristön palaneen täysin.

Palon seuraukset

Lämpöpuhallin oli palanut täysin, työpöytätasossa oli palovaurioita, 50 cm korkeudella työpöytätasosta sijaitsevassa seinäkaapissa oli noki- ja palovaurioita, huonetilassa oli kauttaaltaan nokilikkaa. Läheisen pistorasiankotelon pistorasioiden muoviset peitelevyt osittain sulaneet mutta eivät palaneet.

Todennäköinen sähköinen palonsyyn

Tutkimuksessa päädyttiin täydellä varmuudella siihen, että palon on syyttänyt sähköverkkoon kytketyksi jätetty lämpöpuhallin.

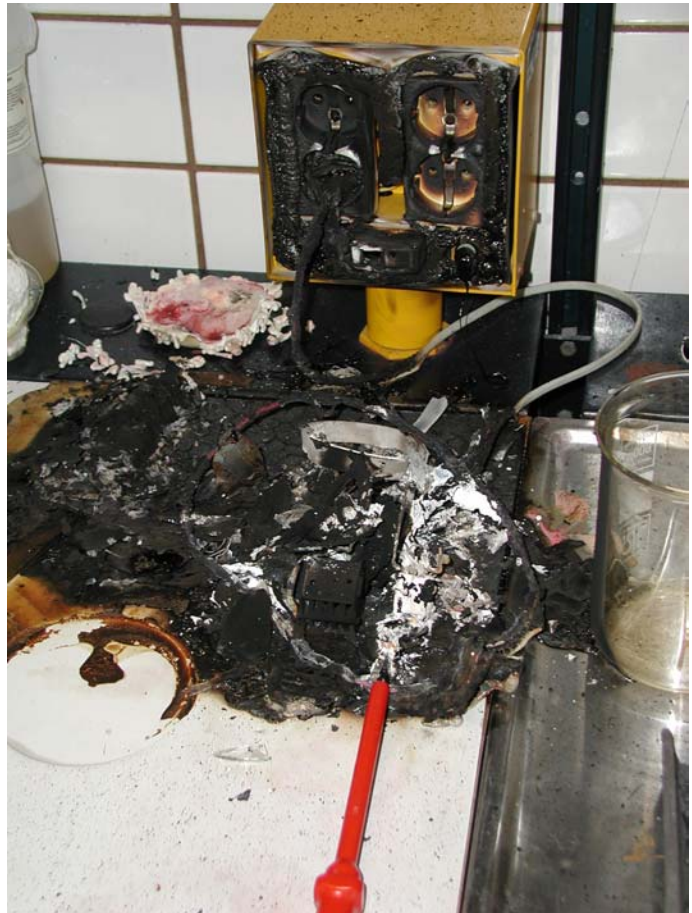
Puhaltimen kytkin ja tehonsäätöosa todettiin tuntemattomasta syystä vikaantuneen siten, että seurauksena on ollut joko puhaltimen osien ylikuumentuminen tai "vahinkokäynnistyminen" lämpöpuhallukseen.

Laitteen ylikuumentuminen tai vahinkokäynnistynyt lämpöpuhallus on sittemmin tavalla tai toisella aikaansaanut välittömässä läheisyydessä (10 cm) sijainneen denaturoitua etanolia (1-lk:n palavaa nestettä) sisältäneen muovipullon sulamisen. Sulavasta pullosta vuotanut palavaneste on syttynyt kuumuudessa palamaan ja pöydälle leviessään edesauttanut myös itse puhaltimen palamista. Kyseisen puhaltimen muovi ei pala itsestään.

Sähköiset suojausjärjestelmät olivat vaatimusten mukaiset.

Näkökohtia vastaavien tapausten välttämiseksi

- Sähkölaitteiden käytössä tulee noudattaa laitevalmistajien ohjeita ja niiden tulee soveltaa käyttöön ja käyttöolosuhteisiin.
- Sähkölaitteet tulee irroittaa sähköverkosta kun niitä ei käytetä ja ovat valvomattomia.



16. Keskeisimpiä sähköturvallisuussäädöksiä

Tämän ohjeen laatimisaikana voimassa ovat olleet alla mainitut keskeisimmät sähkölaitteiston käyttöön ja kunnossapitoon liittyvät säädökset. Koska säädöksiin ajoittain tehdään muutoksia, voimassa olevat säädökset tulee tarvittaessa tarkistaa.

- Sähköturvallisuuslaki 410/96
- Sähköturvallisuusasetus 498/96
- KTMp 517/96 Päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä
- KTMp 516/96 + 1194/99 Päätös sähköalan töistä ja sähkötyöturvallisuudesta
- KTMp 1193/99: Päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta sisältää muunmuassa olennaiset turvallisuusvaatimukset
- Pienjännitesähköasennukset SFS 6000/1999 + lisäys A1/2002
- Suurjännitesähköasennukset SFS 6001/2001
- Sähkötyöturvallisuus SFS 6002/2000
- TUKES -ohjeet löytyvät internetistä www.tukes.fi

Noudatettavat standardit (sähköturvallisuusmääräykset) on ilmoitettu TUKESS10-ohjeessa.

Sähköturvallisuuteen liittyvät voimassaolevat säädökset, viranomaisohjeet, standardit ja -julkaisut sekä neuvoja ja linkkejä löytyy muun muassa internetistä: **www.tukes.fi**.

Säädöksiin on tulossa muutoksia vuoden 2004 aikana. Muutokset koskevat muun muassa sähkölaitteiston kunnossapitoa ja määräaikaistarkastuksia.

17. Kirjoittajat, lähdeaineisto, käsitteitä

17.1 Kirjoittajat

- Sähkötekniikan yliopettaja Väinö Bergman Tampereen ammattikorkeakoulu
- Diplomi-insinööri Timo Salmi, Palokatkomiehet Oy
- Toimialapäällikkö Pertti Kukkonen Oy Elspecta Ab
- Tuotepäällikkö Toni Suomela NK Cables
- Toimitusjohtaja, valtuutettu tarkastaja, Paavo Hakala Suunnittelutoimisto Hakala Oy
- Insinööri, valtuutettu tarkastaja, Jorma Korkalo Pimatest Oy, aineiston toimittaja

17.2 Projektin ohjausryhmä

- Johtaja, TKT Veli-Pekka Nurmi, Turvatekniikan keskus
- Ylitarkastaja Ari Keijonen, Turvatekniikan keskus
- Laatuapäällikkö Teemu Määttänen, Sähköinsinööri-toimisto Niemistö Oy, STEK:n edustaja,
- Toimitusjohtaja, valtuutettu tarkastaja, Curt-Olov Westén, Elwoc Consults Oy, SÄTY r.y.
- Toimitusjohtaja, valtuutettu tarkastaja, Paavo Hakala, Suunnittelutoimisto Hakala Oy, SÄTY ry.

17.3 Lähdeaineisto

- TUKES julkaisu 3/1997 Sähköpalojen henkilö- ja omaisuusvahingot
- TUKES julkaisu 8/1999 Sähkö palon syttymissyynä
- TUKES julkaisu 1/2001 Sähkölaittepalojen palo-ominaisuudet ja sähkölaittepalojen sammuttaminen
- TUKES julkaisu 3/2001 Sähköpalojen riskien hallinta, Veli-Pekka Nurmi
- TUKES tiedotteet ja oppaat
- Sähköturvallisuuslaki 410/96 ja siihen perustuvat säädökset ja ministeriön määräykset
- Lisäksi kirjoittajien artikkeleissa mainitut muut lähteet

17.4 Määritelmiä ja käsitteitä

- Sähköpalo: ”Tulipalo, jossa palon mahdollistavana syttymisenergiälähteenä on sähkö.”/ 8
- Sähkölaitteisto -käsitteen synonyyminä puhekielessä käytetään sanaa ”sähköasennus”.
- Rakentaja -käsitteen synonyymeinä puhekielessä käytetään sanoja ”sähköurakoitsija”, ”sähköasentaja” tai muu sähköasennuksen tekijä.

8/ TUKES -julkaisu 3/2001 ”Sähköpalojen riskienhallinta

