



Yleiskaapelointiverkon suunnittelu RP3-kategorian vaatimusten mukaisesti

Aimo Raassina

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024

Talotekniikan tutkinto-ohjelma,
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ
Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

RAASSINA, AIMO:
Yleiskaapelointiverkon suunnittelu RP3-kategorian vaatimusten mukaisesti

Opinnäytetyö 29 sivua
Toukokuu 2024

Opinnäytetyö toteutettiin Rejlers Rakentaminen Oy:n toimeksiantona. Yleiskaapelointi eli langallinen tietoliikenneverkko on olennainen osa kiinteistön talotekniikkaa. Nykyään kehittynyt teknologia mahdollistaa tiedonsiirron lisäksi myös tehonsyötön yleiskaapeloinnissa. Laitteille pystytään siis toimittamaan tietoliikennekaapelia pitkin sekä data että sähkönsyöttö tiettyyn tehomäärään asti. Tämä Power Over Ethernet -tekniikka kasvattaa kaapelien ja jakamotilojen lämpökuormaa merkittävästi.

Työn tavoitteena oli tuottaa suunnittelijalle perustiedot siitä, mitä pitää ottaa huomioon suunniteltaessa yleiskaapelointiverkkoa kohteeseen, jossa tilaaja haluaa käyttää kyseistä teknologiaa. Sekä miten hallita jakamotilojen ja kaapelien lämpökuormia.

Tietoa haettiin alan kirjallisuuskatsauksella sekä kokeneiden talotekniikkasuunnittelijoiden haastatteluilla. Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltiin yleiskaapeloinnin suunnittelua, asennusta sekä ylläpitoa koskevaa EN-50173 ja EN-50174 standardisarjaa, ST 681-sähkötietokorttisarjaa sekä ST-käsikirjoja 16 ja 25. Näkökulmaa antoivat alan asiantuntijahaastattelut. Haastatteluilla haettiin kokemusperäistä asiantuntemusta ja tietoa alan suunnittelusta, jota ei välttämättä alan kirjallisuudesta löydy. Näkemyksiä jakamotilojen lämpökuormista sekä yleiskaapelointijärjestelmän suunnittelusta antoi yli kymmenen vuoden suunnittelukokemuksen omaava, tällä hetkellä suunnittelupäällikkönä toimiva henkilö. Keskustilojen jäähdytyksestä sekä ilmastoinnin vaikutuksesta kertoi LVI-suunnittelija.

Tuloksena saatiin kattava selostus kaapelien lämpötilan noususta laskukaavoineen ja jakamotilojen lämpökuorman kasvun aiheuttavista tekijöistä sekä pohdintaa, miten lämpötilat olisivat paremmin hallittavissa. Toimeksiantajalle suunnittelun avuksi sekä yhteenvetona johtopäätöksistä voidaan todeta, että talotekniikan suunnittelijan on tärkeää olla mukana jo hankkeen alkuvaiheessa antamassa näkemyksiään myös arkkitehtuuria koskevista asioista kuten jakamotilojen sijainnista ja määristä. Lisäksi tilaajan kanssa on käytävä selkeästi läpi, miten tehon etäsyöttö yleiskaapelointia hyödyntäen vaikuttaa aktiivilaitteiden, kaapelien ja sitä kautta jakamotilojen lämpökuormaan, joka vaikuttaa jäähdytyksen osalta LVI-suunnitteluun sekä kohteen käyttö ja rakennuskustannuksiin.

Asiasanat: yleiskaapelointi, power over ethernet, lämpökuorma

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Service Engineering
Electrical Systems

RAASSINA AIMO

Planning generic cabling accordance with requirements of the RP3 category

Bachelor's thesis 29 pages

May 2024

The thesis was assignment from Rejlers Rakentaminen Oy. Telecommunication network is an essential part of property's building technology. Today's advanced Power Over Ethernet technology makes it possible to transfer data and power by the same cable. This increased temperature of cables and telecommunication distribution boards.

The purpose of this thesis was to give information and instructions on telecommunication designer source information and instructions what needs to be considered when planning *power over ethernet* system and how to control temperature rise on cables and telecommunication distribution rooms.

Answers to these questions were sought by a literature review and an interview of building services engineering experts. The literature review includes the standard series EN-50173 and EN-50174 for the design, installation and maintenance of telecommunication cabling. The interviews aimed to bring up the experts' knowledge and experience, which cannot necessarily be found in the literature of the field.

As a result of this study, an extensive report was made about the temperature rise in cables, based on mathematical formulas and factors causing the increase on heat load of distribution rooms. Moreover, a reflection was provided on how the temperatures would be better controlled. Furthermore, a number of summarising observations were made. It is important to include a telecommunication engineering in the early stages of the project, also giving views on architectural issues such as the location and quantity of distribution rooms. The customer should also be informed about how remote power affects the heat load of active devices, cables and distribution board room which, in terms of cooling, affects the HVAC design and the construction and operating costs of the property.

Key words: telecommunication, power over ethernet, heat load

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	YLEISKAPELOINNIN PERUSTEET	8
	2.1 Rakenne kiinteistössä	9
2.2	Pover Over Ethernet	10
	2.2.1 RP kategoriat	10
	2.2.2 PoE-tekniikka	11
	2.2.3 Yleiskaapeloinnin RP3 vaatimukset	14
3	LÄMPÖKUORMAT	15
	3.1 Kaapelipituuksien laskenta.....	19
	3.2 Jakamon sijainnit ja tilavaraukset.....	20
	3.3 Jakamorakenne	21
	3.3.1 Aktiivilaitteiden lämpökuorma.....	23
4	YHTEENVETO HAVAINNOISTA.....	26
5	POHDINTA	27
	LÄHTEET	29

LYHENTEET JA TERMIT

PoE	Power Over Ethernet
ANSI	American National Standards Institute
EN	Norme Europeenne, eurooppalainen standardi
FC	Optinen liitintyyppi
F/FTP	Parisuojattu parikaapeli, jossa on yhteinen metallifolio-suoja ja metallifoliolla toteutetut parisuojat
F/UTP	Suojattu parikaapeli, jossa on yhteinen metallifolio-suoja, mutta ei parisuojaa
IEC	International Electrotechnical Commission, Kansainvälinen sähköalan standardointijärjestö
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Sähkö- ja elektroniikka-alan järjestö
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
MM	Multimode, monimuotokuitu
SC	Optinen liitintyyppi
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
S/FTP	Parisuojattu kaapeli, jossa on yhteinen metallipalmikko-suoja ja metallifoliolla toteutetut parisuojat
SM	Singlemode, yksimuotokuitu
TIA	Telecommunication Industries Association, Yhdysvaltalainen teleteollisuuden järjestö
U/UTP	Suojaamaton parikaapeli, jossa ei ole yhteistä suojaa eikä parisuojaa
PSE	Power Sourcing Equipment

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään yleiskaapelointiverkon suunnittelua. Työssä perehdytään PoE-tehonsyöttöön, joka on lyhenne sanoista Power Over Ethernet sekä siihen liittyvään RP kategorioihin ja niiden tuomiin vaatimuksiin. Tekniikka mahdollistaa tehonsyötön päätelaitteille samaa tietoliikennekaapelia pitkin datan kanssa. Power Over Ethernet tehonsyöttöön liittyviä RP-kategorioita (*Remote Power*) on kolme RP1, RP2 ja RP3. Kategoriat määritellään kaapelin johtimessa kulkevan enimmäisvirran perusteella. RP3 on ehdottomasti suositeltavin kategoria, koska se antaa mahdollisuuden lisätä PoE-päätelaitteen mihin tahansa tietoliikennesasiaan riippumatta siitä, kuinka paljon saman jakamon kaapeleissa on jo virtakuormitusta. Se on käyttäjäystävällinen ja tilan käyttötarkoituksen mahdollinen muutos ei vaikuta järjestelmän toimintaan ja sitä kautta kaapelointiin tai jakamolaitteisiin. Siksi tässä työssä perehdytään kyseisen kategorian tuomiin haasteisiin ja vaatimuksiin. Standardoinnin osalta seurataan eurooppalaisia yleiskaapeloinnin standardeja, enimmäkseen EN 50174-1 sekä EN 50174-2.

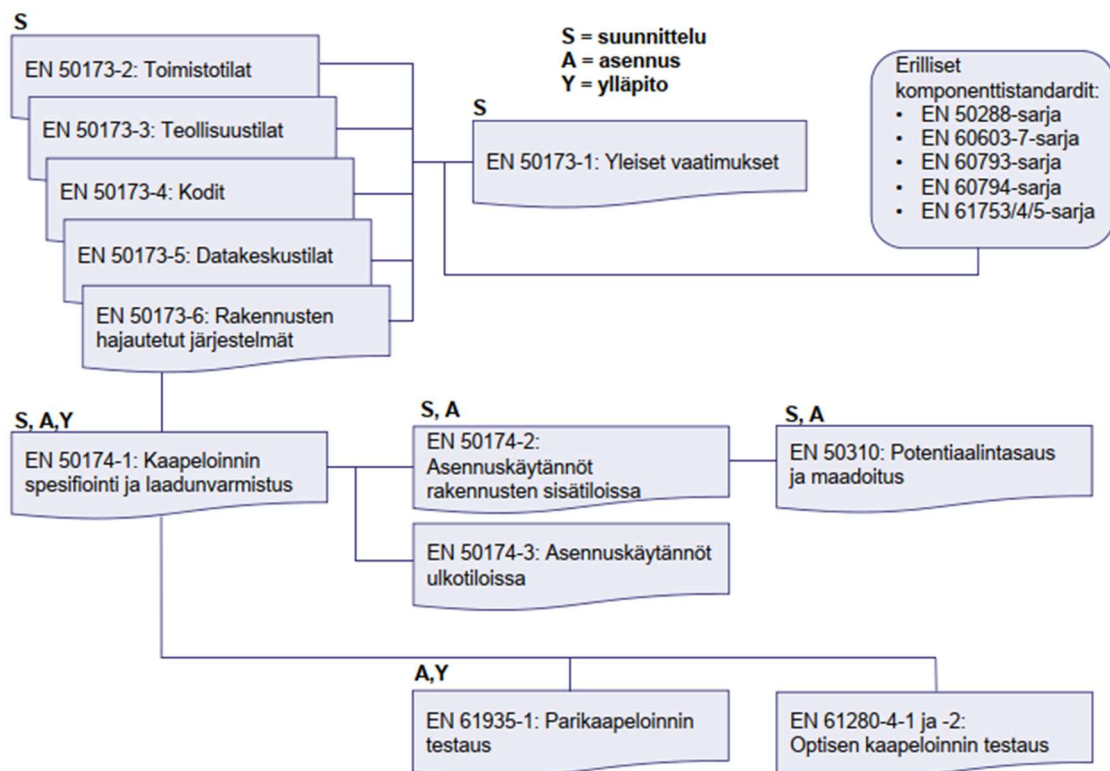
Työ tehdään Rejlers Rakentaminen Oy:n toimeksiantona. Aiheeseen päädyttiin työn tekijän mielenkiinnosta *Power Over Ethernet* järjestelmää kohtaan sekä toimeksiantajan ehdotuksesta. Nykyään kehittyneemmät PoE-järjestelmät tuovat jo uusia vaatimuksia telesuunnitteluun ja asiakkaat ovat yhä useammin vaatineet RP3-kategorian vaatimuksia yleiskaapeloinnilleen. On tärkeä tiedostaa mitä vaatimuksia se asettaa kohteen suunnittelulle.

Tutkimuksessa haetaan vastauksia mahdollisiin kysymyksiin, jotka heräävät lähettäessä suunnittelemaan yleiskaapelointia kohteeseen. Miten välttää kaapelien ylikuormitus niiden lämpökuormia hallitsemalla? Kuinka suureksi jakamokaapin lämpökuorma muodostuu kaapeloinnin ja aktiivilaitteiden takia? Kuinka määrittää jakamon tilavaraukset ja miten hallita jakamon lämpökuormia yhä lisääntyvien tehonsyöttölaitteiden ja kaapelien takia? Tähän kehittämisen- ja selvitystyöhön haetaan vastauksia alan kirjallisuuskatsauksella, sekä kokeneiden eri talotekniikka-suunnittelijoiden haastatteluilla.

Työssä käsitellään tietoliikenneverkon eli yleiskaapeloinnin perusteita, PoE-järjestelmää, päätelaitteiden aiheuttamaa lämpökuormaa ja sen vaikutukset kaapelin pituuteen. Toisessa luvussa kerrotaan yleiskaapeloinnin perusteista sekä Power Over Ethernet-järjestelmästä. Kolmannessa luvussa esitetään kaapelin lämpökuorman syntyyn vaikuttavat tekijät ja lämpökuorman vaikutus kaapelipituuksiin sekä jakamotilojen ja aktiivilaitteiden kasvavat jäähdytystarpeet nousseiden lämpöhäviöiden myötä. Neljäs luku esittää työn tärkeimmät havainnot yhteenvedon ja viidennessä pohditaan työn tulosten vaikuttavuutta ja esiin nousseita jatkotutkimustarpeita.

2 YLEISKAPELOINNIN PERUSTEET

Yleiskaapelointi on yksi rakennuksen tärkeimmistä järjestelmistä tiedonsiirron kannalta. Järjestelmä toimii kiinteistön tietoliikenneverkkojen runkona, eli kiinteistön käyttäjien tietoliikenne kulkee tyypillisesti sen kautta. Järjestelmä koostuu jakamoista, aktiivilaitteista, kaapeleista, liittimistä ja rasioista. Keskeisimmät ja tärkeimmät standardit ovat osa Eurooppalaista EN-standardisarjaa. Tässä työssä kirjallisuuslähteinä standardien osalta toimii EN 50174-1 ja 50174-2 sekä EN 50173-1. Kuviossa 1. on esitetty tärkeimmät EN-standardit yleiskaapeloinnin osalta. (ST-käsikirja 16, Yleiskaapelointijärjestelmät, 2019,14)

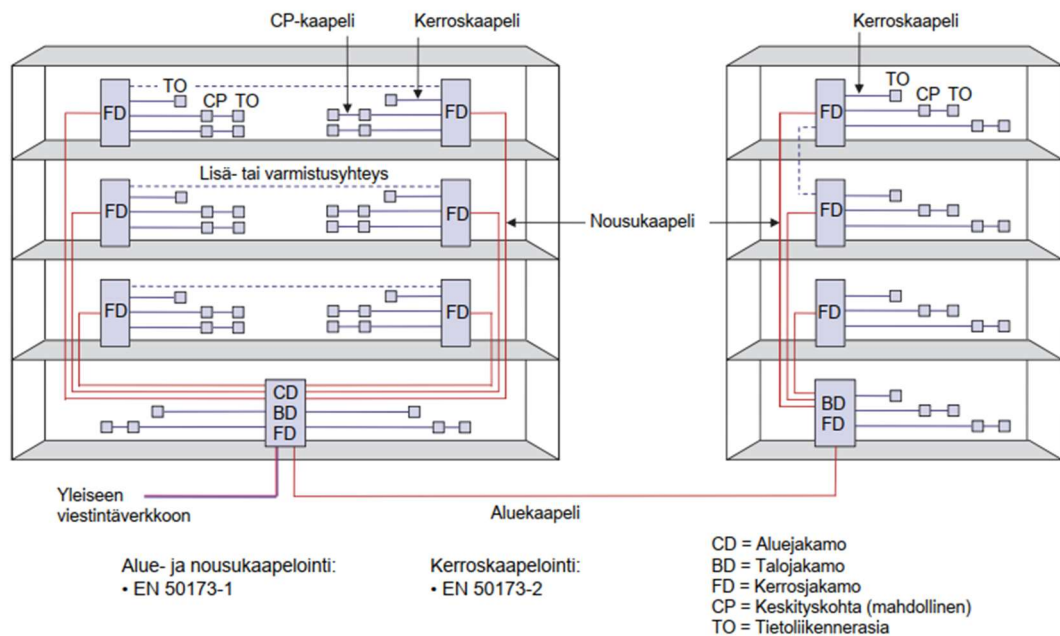


KUVIO 1. Eurooppalaiset EN-standardit yleiskaapeloinnin osalta.

(ST- käsikirja 16, Yleiskaapelointijärjestelmät, 2019,14)

2.1 Rakenne kiinteistössä

Yleiskaapelointijärjestelmän rakenne on pääperiaatteiltaan usein samantyylinen. Kaapelointi on tähtimäinen ja kokoonpanossa sekä rakenteessa toimii samat pääperiaatteet kohteesta riippumatta. Kiinteistöön tulee usein operaattorilta aluejakamoon tai talojakamoon valokuituyhteys kaapelilla, josta jatketaan kerroksiin joko optisella kuitukaapelilla tai kuparisella parikaapelilla. Kerrosjakamoista lähtee tähtimäisesti kerroksen kaikkiin tietoliikennesioihin parikaapeli, jonne kaapelointi päätetään RJ45 liittimeen. Kuviossa 2 on esitetty yleismallinen esimerkki toimistokiinteistön yleiskaapelointirakenteesta. (ST-käsikirja 16 Yleiskaapelointijärjestelmät, 2019, 59).



KUVIO 2. Esimerkki yleiskaapeloinnin rungosta toimitilakiinteistössä.

(ST- käsikirja 16, Yleiskaapelointijärjestelmät, 2019, 59)

2.2 Power Over Ethernet

Power Over Ethernet, lyhyemmin PoE on tehonsyöttötekniikka, joka on tarkoitettu Ethernet-lähiverkon päätelaitteiden tehonsyöttöön tasavirralla. PoE-tehonsyötön kaapelointina käytetään rakennuksen yleiskaapelointiverkkoa. Näin ollen PoE päätelaite ei tarvitse erillistä virransyöttöä sähköverkosta, vaan saa käyttötehonsa parikaapelin kautta yleiskaapelointiverkosta.

Vuonna 2003 julkaistiin ensimmäinen PoE-standardi IEEE 802.3af. Sitten on julkaistu standardeja vuonna 2009 ja 2018. Viimeisin vuonna 2018 julkaistu standardi IEEE 802.3bt mahdollistaa neljän parin käytön tehonsyöttöön. Tämä mahdollistaa suuremmat kokonaisvirrat ja sen myötä suuremmat tehot päätelaitteille.

Ensimmäinen vuoden 2003 standardi mahdollisti enimmäislähtötehoksi 15,4 W ja järjestelmä perustui kahden parin käyttöön. Vuoden 2009 standardijulkaisussa määriteltiin uusi tyyppi, jonka enimmäislähtöteho on 30 W. Tämäkin järjestelmä perustuu kahden parin käyttöön. Uusin vuoden 2018 julkaisu mahdollistaa enimmäislähtötehoksi 60 W ja 90 W ja neljän parin käytön tehonsyötössä. Tehoa syöttävät laitteet on näin jaettu neljään eri tyyppiin enimmäislähtötehojen perusteella. Tyyppi 1 (15,4W), tyyppi 2 (30 W), tyyppi 3 (60 W) ja tyyppi 4 (90 W). Tehonsyöttölaitteella tarkoitetaan PoE-kytkintä eli Ethernet kytkintä, jonka sisälle on integroitu PoE-järjestelmän mukainen tehoa syöttävä laite (PSE, Power Sourcing Equipment). (ST-käsikirja 25 PoE-tekniikka käytännössä, 2021)

2.2.1 RP kategoriat

Yleiskaapeloinnin suunnittelussa tulee ottaa huomioon kehittyvä PoE-tekniikka. Hankkeen alkuvaiheessa tulee määrittellä PoE-syötön tavoitteet, koska sillä on vaikutuksia yleiskaapeloinnin tietoliikennesoihin, kaapelipituuksiin, kaapelivaihtoihin ja johtoteihin. Mahdollinen PoE-syöttö vaikuttaa myös jakamotiloihin, joissa sähkönsäntarve kasvaa ja lämpötila nousee aktiivilaitteiden myötä.

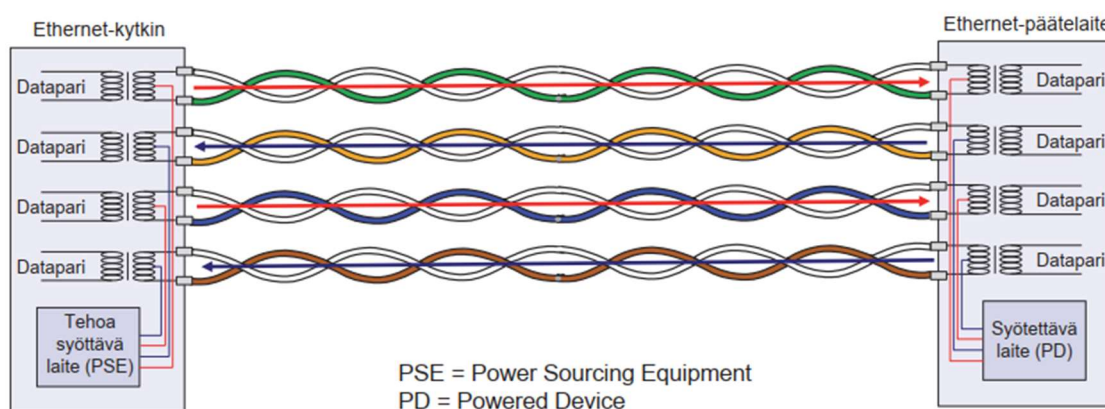
Kun PoE-syötön tarve on määritelty, voidaan standardin EN 50174-1 ja -2 mukaan määrittää mihin RP kategoriaan järjestelmä kyseisessä kohteessa kuuluu. Kategorioita on kolme RP1, RP2, ja RP3. Kategoriat määritellään parikaapelin

johtimessa kulkevan enimmäisvirran perusteella, reunaehtona kuitenkin niin että kaapelin yhtä johdinta kohden syötetään enintään 500 mA virtaa. Yleiskaapeloinnin suunnittelijalla tulee olla riittävät lähtötiedot RP kategorian valitsemiseksi. RP1 kategoriassa kaikkien jakamoon päätettyjen johtimien virran keskiarvo saa olla enintään 212 mA. RP2 kategoriassa tämä virran keskiarvo on välillä 212 mA - 500 mA. Ja RP3 kategoriassa saa kaikkien johtimien jatkuva virta olla enintään 500 mA. RP3 kategoriasta ja sen tuomista rajoituksista ja mahdollisuuksista kerrotaan lisää omassa luvussa 2.2.3. (ST 681.01 Power Over Ethernet -tehonsyöttö yleiskaapeloinnissa, 2019, 4)

2.2.2 PoE-tekniikka

Kuten edellä mainittiin, uusi standardi IEEE 802.3bt mahdollistaa neljän parin käytön ja enimmäislähtötehoksi 60 W ja 90W. Kuviossa 3 näkyy, kuinka tehonsyöttö suoritetaan neljällä parilla ja virta kulkee kahdessa parissa kytkimeltä päätelaitteelle ja toisessa kahdessa parissa toiseen suuntaan.

(ST-käsikirja 25, PoE-tekniikka käytännössä, 2021, 22)



KUVIO 3. Periaatekuva neljän parin käytöstä tehonsyötössä. (Sähköinfo Severi. ST-käsikirja 25, 2021, 22)

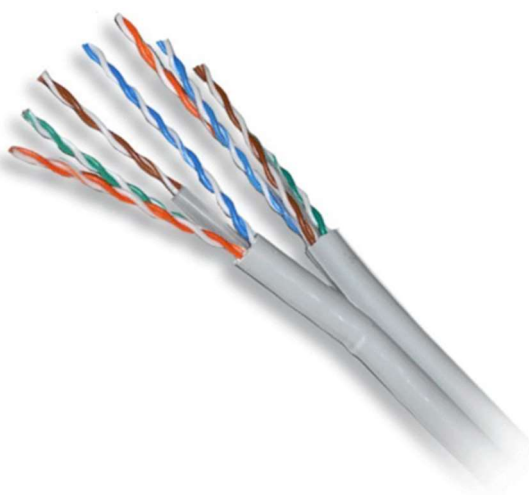
Tehonsyöttölaite tunnistaa PoE-kelpoisen päätelaitteen, sen teholuokan ja kriteerit, joiden perusteella se pystyy kytkemään syötön päälle tai pois. Syöttö katkeaa,

jos päätelaite irrotetaan, virta tai teho kasvaa liian suureksi tai tapahtuu oikosulku. (ST-käsikirja 25, PoE-tekniikka käytännössä, 2021, 22)

Jatkuvasti kehittyvän PoE-tekniikan ansiosta myös järjestelmän laitteistoa on enemmän kuin koskaan aikaisemmin ja lisää kehitetään jatkuvasti. Yleisimpiä käytettäviä PoE-päätelaitteita ovat esimerkiksi seuraavat:

- IP kamerat
- WLAN tukiasemat
- Kulunvalvonnan lukijalaitteet
- AV- tekniikka
- LED- valaistus
- Näyttölaitteet
- Viivakoodinlukijat
- VoIP- puhelimet (Voice Over IP)
- RFID lukijat

Kun puhutaan kanavapituuksista, tarkoitetaan sillä jakamon ja tietoliikennesiasian välillä olevaa kaapelia (kuvio 4), josta käytetään myös käsitettä kiinteä tai pysyvä asennus/siirtotie. Jakamon sekä tietoliikennesiasian välissä kulkevan kaapelin päihin tulee naaras puoliset CAT6 -liittimet (kuvio 5). KytKentäkaapelista puhutaan, kun tietoliikennesiasista liiitytään päätelaitteeseen Ethernet / RJ45-kaapelilla. (kuvio 6.)



KUVIO 4. 2xCAT6 U/UTP kaapeli sopii pysyvän siirtotien kaapeliksi. (Finnpartia.fi)



KUVIO 5. CAT6 -liitin jakamon sekä tietoliikennesasian päässä (Finnparttia.fi)

Kuviossa 5 oikealla puolella liittimen osa, johon kaapeli kytketään värikoodin mukaisesti sekä vasemmalla kokonainen CAT6 -liitin, johon voi liittää Ethernet/ RJ45 kaapelin päätelaitteelle.



KUVIO 6. RJ45 -kytkentäkaapeli päätelaitteelle tai jakamon ristikytkentäkaapeli. (Finnparttia.fi)

2.2.3 Yleiskaapeloinnin RP3 vaatimukset

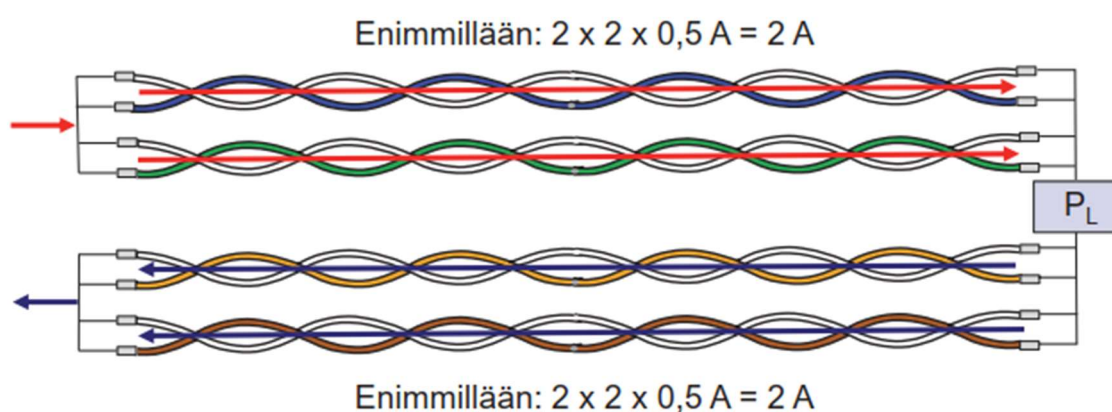
Kategorian RP3:n ainoa virtaa koskeva rajoitus on raja-arvo 500 mA johdinta kohden. Virtaa tai sen keskiarvoa ei tarvitse erikseen valvoa. Riittää, kun tehonsyöttölaite (PSE) rajoittaa virran arvoon 500 mA. Lämpötilan nousu tulee kuitenkin hallita, ja se edellyttää standardin EN 50174-2 mukaisia suunnittelu- ja asennuskäytäntöjä. (ST-käsikirja 16, Yleiskaapelointijärjestelmät, 2019, 291). RP3-kategoria mahdollistaa kaikkien neljän eri PoE-typin (ks. Luku 2.3) tehonsyötön ilman rajoituksia.

3 LÄMPÖKUORMAT

Parikaapelin johtimissa kulkeva sähkövirta aiheuttaa kaapeleiden lämpenemisen. Kaapelin lämpötilan nousun määrä riippuu kaapelin johtimissa kulkevasta kokonaisvirrasta, kaapelin asennustavasta, kaapelirakenteesta ja sijainnista, muiden samassa nipussa olevien lukumäärästä sekä ympäristön lämpötilasta. (Vuorinen 2016, 12.)

Edellä mainittu suora lainaus opinnäytetyöstä kiteyttää hyvin mistä kaapelien lämpökuorma muodostuu. Suunniteltaessa yleiskaapelointiverkkoa, tuleekin tutustua standardiin EN 50174-2: "Asennuskäytännöt rakennusten sisätiloissa". Standardi antaa ohjeet kaapelin lämpökuormien laskemiseen ottaen huomioon juuri edellä mainitut seikat lämpökuorman muodostumisessa.

Kaapelin mitoituksessa halutaan olla varmoja, että kaapelit eivät ylikuumene, joten lämpötilat lasketaan yleensä "heikoimmalla" oletusarvolla ja suurimmalla virralla mitä kaapelissa voi kulkea. Näin ollen, oletetaan että parikaapelin yhtä johdinta syötetään 500 mA virralla (RP3) eli 0,5 Ampeerilla. Johtimia kaapelissa on 2x4 eli yhden kaapelin lämpökuorman vaikuttava virta on näin ollen $2 \times 4 \times 0,5 \text{ A} = 4 \text{ A}$. Jos kaapeleita on hyllyllä nipussa esimerkiksi 12 kpl, niiden lämpökuorman vaikuttava kokonaisvirta voi olla 12 kpl $\times 4 \text{ A} = 48 \text{ A}$. Kuviossa 7 näkyy virran muodostumine yhdessä kaapelissa. Huomiona se että 2 A menee molempiin suuntiin, josta muodostuu yhteensä 4 ampeeria.



KUVIO 7. Yhden kaapelin virran muodostuminen. (ST-käsikirja 25, PoE-tekniikka käytännössä, 2021, 72)

Kaapelin lämpötila määräytyy em. PoE-virran aiheuttaman lämpötilan nousun ja kaapelin asennusympäristön perusteella. Yhteenlaskettu lämpötila ei saa koskaan ylittää kaapelille annettua suurinta sallittua käyttölämpötilaa. Parikaapelien suurimman sallitun käyttölämpötila-arvon saa kaapelinvalmistajalta. Tyypillinen maksimiraja-arvo käyttölämpötila on 60 Celsiusta, mutta markkinoilta löytyy myös erikoiskaapeleita, joiden suurin sallittu käyttölämpötila on korkeampi.

Kaapelin lämpötilan nousu vaikuttaa välittömästi sen resistanssin kasvuun, joka taas vaikuttaa parikaapelin signaalinsiirron vaimennuksen kasvuun. Vaimennus mitataan desibeleissä (dB). Se kasvaa korkeintaan 0,4 %/°C lämpötiloissa 20 °C – 40 °C ja noin 0,6 %/°C lämpötiloissa 40 °C – 60 °C. Jos siis kaapelin lämpötila on alkuun 20 °C ja nousee lämpötilaan 50 °C, vaimennus kasvaa desibeleissä noin 14 %. $[(20 * 0,4 \%) + (10 * 0,6 \%) = 14 \%]$. Edellä mainittu resistanssin kasvu on haitallista PoE syötön kannalta. Taulukossa 1 on esitetty kanavan ja pysyvän siirtotien maksimipituuksia kaapelin lämpötilasta riippuen.

Taulukko 1. Parikaapelin sallitut maksimipituudet lämpötilan mukaan.

(EN 50174-2)

Kaapelin lämpötila, °C	KytKentäkaapeleiden kokonaispituus, m		
	10	15	20
	Kanavan/pysyvän siirtotien pituus, m		
20	100/90	98/83	95/75
25	98/88	96/81	93/73
30	97/87	94/79	91/71
35	95/85	92/77	89/69
40	93/83	90/75	87/67
45	90/80	87/72	85/65
50	86/76	84/69	82/62
55	83/73	81/66	79/59
60	80/70	78/63	76/56

HUOMAUTUS 1: Kanavapituuksien arvoissa on oletettu käytettävän kytKentäkaapeleita, joiden vaimennus on 50 % suurempi kuin kiinteän kaapelin vaimennus ja joiden kokonaislämpötila-kerroin on 0,4 % per °C lämpötilaan 40 °C asti ja 0,6 % per °C lämpötiloissa 40...60 °C.

HUOMAUTUS 2: Kaapelin lämpötilaan T vaikuttavat sekä tehonsyöttövirran aiheuttama kaapelin lämpötilan nousu että ympäristön lämpötila.

Taulukossa 2 on esitetty PoE-tehonsyötöstä aiheutuvia lämpötilan nousuja eri kaapelityypeille, erikokoisille kaapeliniipuille sekä eri asennustavoille. Kaikissa tapauksissa oletetaan, että kaapelissa on kahdeksan johdinta ja jokaisessa johtimessa kulkee 500 mA virtaa. Taulukossa 2 esiintyvä tunnus R on johdin resistanssi (Ω/m) ja tunnus D on kaapelin halkaisija (m). N on kaapelien lukumäärä nipussa. Taulukon lämpötilan nousun tulokset ovat laskettu siinä esiintyvän kaavan (1) avulla.

$$\approx \left(0,8 \times N + \frac{0,0578 \times \sqrt{N}}{D} \right) \times R \quad (1)$$

Kaava mahdollistaa lämpötilan nousun laskemisen muillekin kuin taulukon 2 kaapeleille, kun vain arvot R, D ja N tunnetaan.

TAULUKKO 2. Lämpötilan nousu erikokoisille kaapelinipuille kategoriassa RP 3 (ST 681.01, 2022, 8.)

		Asennustapa E/F - Vapaa ilman kierto								
		Kaapeleiden lkm N	6	12	24	48	72	96	144	216
Kaapelin R ja D		ΔT °C								
0,095 Ω/m ja 0,005 m	$= \left(0,8 \times N + \frac{0,0578 \times \sqrt{N}}{D} \right) \times R$	3,0	5,0	7,0	11,0	15,0	18,0	24,0	32,5	
0,075 Ω/m ja 0,007 m		2,0	3,0	4,5	7,0	9,5	12,0	16,0	22,0	
0,065 Ω/m ja 0,0077 m		1,5	2,5	4,0	6,0	8,0	10,0	13,5	18,5	
		Asennustapa C - Avoin reiätön kaapelihylly								
		Kaapeleiden lkm N	6	12	24	48	72	96	144	216
Kaapelin R ja D		ΔT °C								
0,095 Ω/m ja 0,005 m	$= \left(0,8 \times N + \frac{0,0772 \times \sqrt{N}}{D} \right) \times R$	4,0	6,0	9,0	14,0	18,0	21,5	28,5	38,0	
0,075 Ω/m ja 0,007 m		2,5	3,5	5,5	8,5	11,5	14,0	18,5	25,0	
0,065 Ω/m ja 0,0077 m		2,0	3,0	4,5	7,0	9,5	11,5	15,5	21,0	
		Asennustapa B - Johtokanava/putki								
		Kaapeleiden lkm N	6	12	24	48	72	96	144	216
Kaapelin R ja D		ΔT °C								
0,095 Ω/m ja 0,005 m	$= \left(0,8 \times N + \frac{0,12 \times \sqrt{N}}{D} \right) \times R$	6,0	9,0	13,0	19,5	25,0	29,5	38,0	**	
0,075 Ω/m ja 0,007 m		3,5	5,0	7,5	12,0	15,0	18,5	24,0	32,0	
0,065 Ω/m ja 0,0077 m		2,8	4,0	6,0	9,5	12,5	15,0	19,5	26,0	
		Asennustapa A - Eristetty								
		Kaapeleiden lkm N	6	12	24	48	72	96	144	216
Kaapelin R ja D		ΔT °C								
0,095 Ω/m ja 0,005 m	$= \left(0,8 \times N + \frac{0,27 \times \sqrt{N}}{D} \right) \times R$	13,0	18,5	27,0	39,0	**	**	**	**	
0,075 Ω/m ja 0,007 m		7,5	10,5	15,5	23,0	29,0	34,0	**	**	
0,065 Ω/m ja 0,0077 m		6,0	8,5	12,5	18,5	23,0	27,5	35,0	**	
Huomautus: ** tarkoittaa yli 60 °C lämpötilaa (oletuksena on ympäristön lämpötila 20 °C), mikä edustaa ei-hyväksyttävää paikallista lämpenemistä.										

3.1 Kaapelipituuksien laskenta

Kuten edellä mainittua, tässä tutkimustyössä käsitellään kategorian RP3 tuomia suunnitteluvaatimuksia. Kategorian ainoa virtaa koskeva rajoitus on 500 mA raja-arvo johdinta kohden. Lämpötilan nousu on kuitenkin hallittava ja se edellyttää standardin EN 50174-2 mukaisia suunnittelu- ja asennuskäytäntöjä. Ensin tulee selvittää kaapelin lämpötila T , jotta voidaan tarkastella kaapelien kokonaispituuksia taulukosta 1. Kaapelin lämpötila lasketaan kaavan 2 tavalla.

$$T = T_{\text{ympäristö}} + \Delta T \quad (2)$$

Jossa,

T = kaapelin lämpötila

$T_{\text{ympäristö}}$ = kaapelin ympäristön lämpötila

ΔT = PoE-virran aiheuttama kaapelin lämpötilan nousu (Taulukko 2)

”Standardin EN 50174-2 mukainen enimmäismäärä on 24 kaapelia/nippu. Jos niput kuitenkin ovat vierekkäin kiinni toisissaan, tulee luvun N arvona käyttää nippujen yhteenlaskettua lukumäärää.” (ST 681.01 Power over Ethernet- tehonsyöttö yleiskaapeloinnissa 2019, 8.)

Esimerkki 1.

Oletetaan tässä esimerkissä, että johtokanava kulkee samaa asennustapaa 24 kaapelin pyöreässä nipussa ja kaksi nippua on vierekkäin kiinni toisissaan. Joten lämpötilaan vaikuttavien kaapelien yhteenlaskettu lukumäärä on 48 kpl. Käytetään asennustapaa E/F – vapaa ilmankierto. Kaapelina käytetään CAT6A jonka resistanssi (R) on 0,095 Ω/m ja johtimen poikkipinta-ala (D) 0,005 m^2 .

Edellä mainittujen arvojen perusteella katsotaan taulukosta 2 kaapelin lämpötilan nousu kyseisellä asennustavalla (E/F). Saadaan 11 °C. Kun oletetaan ympäristön lämpötilan olevan 20 °C saadaan kaapelin lämpötilaksi (20 °C + 11 °C) 31°C.

Taulukosta 1 selvitetään kanavan/pysyvän siirtotien enimmäispituus tässä kohonneessa lämpötilassa. Kun 31°C saraketta ei ole, valitaan seuraava 35°C sarakke ja huomataan kuinka kanavan suurin sallittu enimmäispituus, laskee 100 metrissä 95, 92 tai 89 metriin. Pysyvän siirtotien pituus laskee arvosta 90 m arvoon 85, 77, 69 metriin, riippuen kytkentäkaapelien kokonaispituuksista.

Esimerkki 2.

Kun suunnitellaan suurempia rakennuksia kuten kouluja, kerrostaloja tai toimistorakennuksia, on hyvin epätodennäköistä, että kaapeliniput kulkisivat asennustavan A tai B mukaan (taulukko 2). Useimmiten kaapeliniput kulkevat erityyppisillä kaapelihyllyillä. Joten valitaan tähän esimerkkiin asennustavaksi C – Avoin reiätön hylly. Kaapelina käytetään samaa CAT 6_A kaapelia, jonka arvot ovat $R = 0,0095 \Omega/m$ ja $D = 0,005 m$. Kolme kaapeliniippua vierekkäin, joten kaapelien lämpötilaan vaikuttava yhteenlaskettu lukumäärä $3 \times 24 \text{ kpl} = 72 \text{ kpl}$. Taulukosta 2 nähdään kuinka 500 mA PoE-virran aiheuttama kaapelin lämpötilan nousu edellä mainituilla oletusarvoilla on 18 °C. Joten ympäristö (20°C) huomioiden kaapelin lämpötila on 38°C. Taulukosta 1 selvitetään kyseisellä arvolla (taulukon seuraava arvo 40°C) että suurin sallittu kanavapituus laskee 100 metristä arvoon 93 m, 90 m, tai 87. Ja pysyvän siirtotien maksimipituus lyhenee arvosta 90 m arvoon 83 m, 75 m, tai 67 m, riippuen kytkentäkaapelien kokonaispituudesta.

3.2 Jakamon sijainnit ja tilavaraukset

Yleiskaapeloinnin jakamot ovat eräänlaisia verkon solmukohtia, jotka liittävät yhteen kaapeloinnin eri osat. Jakamoiden ristikytkennoillä toteutetaan yleiskaapelointiverkkoon haluttu topologia ja verkon muoto. Jakamoiden sijoittelussa tulisi huomioida kerroskaapeloinnin enimmäispituus 100 m, sekä alue-, nousu ja kerroskaapeloinnin yhteenlaskettu kanavan enimmäispituus 2000 m. (ST-käsikirja 16, Yleiskaapelointijärjestelmät, 2019, 76). Pituudet johtuvat parikaapeloinnin standardien EN 50147-1 ja 2 asettamista rajoituksista. Omakotitalo rakennuksissa edellä mainitut rajoitukset tuskin tulevat vastaan, mutta toimitilat, koulut, kerrostalot ja muut isomman kokoluokan rakennukset vaativat tiukempaa tarkastelua jakamoiden sijaintia valitessa. Jakamot sijoitetaan yleensä rakennuksen keskushuoneisiin, tietoliikennehuoneisiin tai muihin teknisiin tiloihin.

Kuten kuvioista 2 (sivu 10) huomaa, pääjakamo sijoitetaan yleensä rakennuksen pääkeskustilaan tai sen lähistölle alempiin kerroksiin. Tilaan, johon operaattoreiden on helppo liittyä liittymä/kuitukaapeillaan ja josta nousukaapelointi ylempiin kerroksiin on järkevää. Rakennuksen koosta muodosta ja käyttäjistä riippuen kerrosjakamot sijoitetaan yleensä kerroksiin, vähintään yksi jakamo kerrosta kohden. Usein tarvitaan useampi jakamo kerrosta kohden, jos parikaapeloinnin maksimipituus tulee vastaan tai jos mahdolliset vuokralaiset haluavat oman yleiskaapelointiverkon eikä liittyä rakennuksen yleiseen verkkoon tietoturvariskeihin vedoten.

3.3 Jakamorakenne

Lähes poikkeuksetta uudiskohteisiin valitaan standardoitu 19 tuuman jakamoräkki/kaappi. Nimensä mukaisesti jakamoon voi asentaa 19 tuumaa (482,6 mm) leveällä etulevyllä varustettuja aktiivilaitteita ja ristikytkentäpaneeleja (kuvio 9). Ristikytkentäpaneelin yhteyteen asennetaan kaapelinohjainpaneeli (kuvio 10), jonka pääasiallisena tarkoituksena saada ristikytkentäpaneelilta lähtevät kaapelit siistiin järjestykseen. Räkkiin sijoitettavien kytkentäpaneelien ja laitteiden korkeus ilmoitetaan yksiköllä U. Yksikkö tulee englannin kielen sanasta *unit*. Yhden räkkiyksikön (1U) korkeus on 44,45 mm eli 1,75 tuumaa. Jos laite tai paneeli vie räkistä yhden räkkiyksikön verran korkeutta, ilmoitetaan se 1U merkinnällä. Kahden ja kolmen yksikön korkuinen laite taas merkitään 2U tai 3U. Usein myös itse jakamoa valitessa ilmoitetaan sen korkeus U yksiköissä millimetreinä lisäksi. Esim 42U tai 24U. Kuviossa 9 näkyy 42U:n korkeampi sekä 24U:n matalampi 19 tuuman jakamokaapit.



KUVIO 8. 19 tuuman 42U ja 24U jakamokaapit (Perel.fi)



KUVIO 9. Jakamoon asennettava ristikytkentäpaneeli 1U (Finnparttia.fi)



KUVIO 10. KAAPELINOHJAUSPANEELI 1U (Tietosähkö.fi)

3.3.1 Aktiivilaitteiden lämpökuorma

Tietoverkkopisteiden määrään rakennuksessa vaikuttaa oleellisesti kohteen koko sekä käyttötarkoitus. Standardin EN 50173-2 mukaan tulisi jokaista 1000 m² toimistopinta-alaa kohden olla vähintään yksi kerrosjakamo.

Standardeissa ei ole määritelty jakamokaapin kokoonpanoa tarkemmin. Kokeen tietoverkkojärjestelmien suunnittelijan haastattelun perusteella yhteen 42U:n jakamokaappiin olisi järkevä sijoittaa maksimissaan 10 kpl 24xRJ45 paneelia (kuva 10) sekä 2 kuitupaneelia. Näin ollen, kun jokaisen ristikytkentäpaneelin yhteyteen asennetaan kaapelinohjauspaneeli, ne vievät yhteensä (10U + 10U) 20U yksikön verran tilaa jakamosta, eli noin puolet. Loput paikoista jää kuitupaneeleille ja PoE-kytkimille. Kun halutaan että jokaiseen kaapeliin on mahdollisuus syöttää 500mA PoE-virtaa, tarkoittaa se, että kytkinlaitteiden portteja tulisi olla kaapelien lukumäärän verran eli 240 kpl.

PoE-kytkimien lämpöhäviöt ovat valmistajan ohjeissa usein ilmoitettu yksikössä BTU, *British Thermal Unit*. Lukema saadaan muutettu kilowateiksi (kW) kertomalla se 0,000293:lla. Tutkiessa eri tuotevalmistajien PoE-kytkimien datalehtiä, kävi selväksi, että mitoitettu lämpökuorma kasvaa kohtuuttoman suureksi. Yksi tietoverkkokytkimien valmistajista on Yhdysvaltalainen Netgear joka toimii 23 eri maassa tuottaen verkkolaitteita kuluttajille, yrityksille ja palveluntarjoajille. Yrityksen nettisivuilta löytyvässä tuotteiden datalehtiöstä selviää, että kaikki 24 porttiset kytkimet on mahdollista varustaa sisäisen virtalähteen lisäksi myös erillisellä ulkoisella virtalähteellä, joka nostaa kytkimen PoE-kapasiteetin korkeimpaan mahdolliseen. 24 porttisen kytkimen, jonka PoE-kapasiteetti sisäisellä virtalähteellä on 290 W, tuottaa lämpöhäviötä noin 464 W. Lisäämällä ulkoisen virtalähteen, kapasiteetti nousee 1770 W:iin sekä myös lämpöhäviöt nousevat 2057 W:iin. (Netgear (n.d.) Datasheet, AV line managed switches)

Keskimäärin Netgearin 24–48 porttisten kytkimien lämpöhäviöt ovat sisäisellä virtalähteellä 300-800 W välillä. Kun taas ulkoisen virtalähteen lisäämällä lämpöhäviöt ovat 800-2000 W välillä. Näin ollen täyden jakamokaapin pelkkien aktiivilaitteiden aiheuttama lämpökuorma on 3 kW:sta ylöspäin.

LVI-suunnittelijan haastattelun tuloksena esiin nousi seuraavat pääkohdat. Ilmanvaihdon ja jäähdytyksen suunnittelu jakamotiloihin tehdään aina tapauskohtaisesti. Mitoituksen kannalta olennaiset lähtötiedot LVI-suunnittelijalle ovat sähkölaitteiden lämpöhäviöt, tilan laitteiden ja sähköasennusten asennustapa sekä tilan koko. Kohteen jakamotilojen pinta-alat ovat hankkeen alkuvaiheen suunnittelussa usein tiedossa, eivätkä ne oleellisesti muutu hankkeen edetessä. Sen sijaan jakamotilojen lämpöhäviölaskelmia hankkeen alkuvaiheen lähtötietojen perusteella ei voi kovin tarkasti tehdä ja siinä on otettava huomioon tulevaisuuden mahdolliset muutokset ja lisäykset. LVI-suunnittelijalle riittää kilowattien tarkkuudella arvioitu lämpökuorma. Kohteesta riippuen tilan lämpöhäviöitä voidaan hallita noin 1kW:iin asti tehostetulla ilmanvaihdolla, jos lämpöhäviöt nousee 1,5 kW:iin olisi hyvä olla jokin pienempi jäädytyslaite. Näitä suuremmat lämpöhäviöt vaativat jo omia jäähdytysratkaisuja tilaan.

Tietoteknisten järjestelmien asiantuntijan haastattelussa esiin nousi kokemusperäisiä havaintoja liittyen jakamotilojen lämpökuormiin ja niiden pinta-aloihin. Jos jakamotilojen lämpökuormia halutaan hallita lisäämällä rakennuksiin pienempiä jakamotiloja tai kasvattaa yhtä jakamotilaa isommaksi, että saadaan useampia räkkeitä, pitää se perustella tilaajalle ja käyttäjälle hyvin. Jakamotilat pyritään pitämään mahdollisimman pieninä, jotta säästetty pinta-ala olisi käytettävissä tiloihin, mitkä palvelevat loppukäyttäjiä paremmin.

4 YHTEENVETO HAVAINNOISTA

Lähdettäessä suunnittelemaan kattavaa RP3 kategorian yleiskaapelointiverkkoa kohteeseen, on normaalin verkon suunnittelun lisäksi huomioitava ainakin seuraavat asiat:

- Lämpölaskelmat ja lämpötilojen vaikutukset kanavapituuksiin. Tähän vaikuttaa johtimen paksuus, resistanssi, asennustapa, kaapelien lukumäärä nipussa sekä ympäristön lämpötila.
- Kaapelihyllyt, määrät sekä reitit. Suurin lämpövaikutus on jakamoiden lähellä missä kaapelinippujen määrä hyllyissä on suuri, ennen kuin lähtevät hajaantumaan kerrokseen. On suositeltavaa että, jakamosta lähtee useampi telehylly, jotta lämpökuorma on hallittavissa. Hyllyreitillä on myös syytä välttää lämpötilaltaan kuumempia huoneita/tiloja eli kiertää mahdolliset LVI huoneet, muuntamot tai vastaavat tilat.
- Edellä mainituiden seikkojen takia on tärkeää, että tietotekniikan ammattilainen on mukana suunnittelussa jo aikaisessa vaiheessa ja tuo näkemyksiään esiin myös arkkitehtuuria koskevissa kysymyksissä.
- Kaapelien niputus. Maksimissaan 24 kaapelin nippuja. Jos useampi nippu vierekkäin, huomioidaan ilmarako, jotta lämpötilan nousu saadaan hallittua.
- Kytkimille tarvittava sähkönsyöttö.
- Jakamotilojen lämpökuorma. PoE-kytkimistä aiheutuva lämpökuorma jakamotilossa kasvaa. Jäähdytystarve huomioitava.

5 POHDINTA

Yleiskaapelointi on jo pitkään ollut olennainen osa rakennusten talotekniikkaa. Sen tuomat hyödyt ovat niin datan siirron kuin tehon etäsyötön (*remote power*) osalta kiistattomat. Optimaalisesti suunniteltuna ja käytettynä *Power Over Ethernet*- tekniikka helpottaa ja nopeuttaa ihmisten työskentelyä sekä tuo kustannussäästöjä kohteeseen niin kaapeloinnin vähentymisen kuin energiatehokkuuden kautta. Kun kohteeseen lähdetään suunnittelemaan yleiskaapelointiverkkoa, tulee se määritellä kuuluvaksi johonkin kolmesta kategoriasta: RP1, RP2, RP3. Kolmas kategoria (RP3) on suositeltavin valinta käyttäjän kannalta. Pääperiaatteena siinä on, että jokaiseen johtimeen on tilanteen vaatiessa mahdollisuus syöttää max. 500mA virtaa. Eli kun käyttäjä haluaa, voi hän kytkeä mihin vain tietoliikennesasiaan 90 W PoE-päätelaitteen, ilman että verkkoon tarvitsee tehdä muutoksia. Laite voi olla esimerkiksi Wlan tukiasema, IP kamera, jokin näyttölaite, Led-valaisin tai muu vastaava.

Aivan näin yksinkertainen ja helppo ratkaisu se ei kuitenkaan ole suunnitella ja toteuttaa. Reaalimaailmassa on hyvin epätodennäköistä, että käyttäjällä olisi kaikissa tietoverkkopisteissä PoE-päätelaite. Standardin mukaan suunnittelijan pitää kuitenkin mitoittaa verkko niin, että jokaisen kaapelin suurin sallittu virta on 500 mA. Tämä saattaa aiheuttaa sen, että jakamotilojen lämpökuorma kasvaa aktiivilaitteiden, kaapeloinnin ja mitoitetun virran takia liian suureksi, että järjestelmää olisi järkevä toteuttaa. Lisäkustannuksia tulee jakamotilojen jäähdytyksestä. Pelkällä tehostetulla ilmanvaihdoilla lämpökuormaa ei enää pysty hallitsemaan vaan vaaditaan jo erillinen suunniteltu jäähdytysratkaisu. Jakamotilat ovat käyttäjälle ja kiinteistön omistajalle usein sitä ”turhaa” tilaa, joka on aina pois muusta käyttäjiä paremmin palvelevasta tilasta sekä pois mahdollisesti vuokratavasta pinta-alasta. Näin ollen käyttäjät ovat usein eri mieltä siitä, jos hankkeen alkuvaiheessa jakamotilojen pinta-alaa kasvatetaan turhan suuriksi tai jos ehdotuksena on useampi pienempi tai normaalikokoinen jakamotila. Jakamotilan pinta-alan kasvattaminen tai useamman tilan hajauttaminen olisi yksi lämpökuormien hallintaan liittyvistä keinoista.

Ongelmat ovatkin pääsääntöisesti jakamotiloissa eikä kaapelireittien varrella tai liitäntäpisteissä. Kaapelointi kyllä onnistuu, kunhan ottaa huomioon hyllyjen mahdollisen määrän kasvun sekä tilantarpeen. Kaapelipituudetkaan harvemmin tulevat esteeksi.

Työn tuloksien perusteella voitaisiin ehdottaa seuraavia ratkaisuja: Suunnittelun alussa päätetään, että tietty paneelimäärä olisi RP 3 kategoriaan kuuluvaa. Eli rajataan/vähennetään tähän kategoriaan kuuluvia pisteitä esim. kahteen paneeliin (48 pistettä). Näin saadaan mitoitettua lämpökuormaa alhaisemmaksi, tehdään kustannussäästöjä jäähdytyksen osalta, eikä jakamotilojen pinta-alan kasvattamisesta tarvitse miettiä. Riippuen toki kohteen pinta-alasta ja käyttötarkoituksesta, niin tuo 48 mahdollista PoE-päätelaitetta tiloissa, joita jakamo palvelee ei kuulosta yhtään alimitoitetulta. Toinen looginen ratkaisu olisi enemmän pienempiä räkkeitä rakennukseen jaoteltuna, jolloin kaapelimäärät jakaantuvat tasaisemmin sekä kytkimien määrät ja niistä aiheutuvat lämpöhäviöt ei olisi niin suuret ja helpommin hallittavissa kuin yhdessä isossa räkissä. Tosin tässä tilanteessa arkitehdillä ja tilaajalla on varmasti omat mielipiteensä rakennuksen rajallisen pinta-alan hyödyntämiseen ja käyttötarkoitukseen liittyen. Mikä on hyvin ymmärrettävissä. Sähkötekniikka ei ole tässä asiassa se määräävä osapuoli, mutta asettaa tekniset rajat sille, mitä tietyllä pinta-alalla ja jäähdytysteholla voidaan PoE-tekniikan osalta toteuttaa.

Hankkeen alkuvaiheessa suunnittelijan kannattaa siis heti reagoida, jos ja kun tilaaja kyselee RP3 toteutuksen perään. Realiteetit on hyvä kertoa ja usein yhteisymmärrykseen eri osapuolien kanssa päästään, kun kerrotaan jakamotilan sähkötehon ja jäähdytyksen lisätarpeesta sekä näiden mukana tulevista lisäkustannuksista.

LÄHTEET

Finnparttia. CAT6 D tietoverkkokaapeli sisäasennus U/UTP 2x4p. n.d. Verkkosivu. Viitattu 23.04.2024. https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectID=2351845

Finnparttia. KEY 6 UTP liitin RJ45 CAT6A. n.d. Verkkosivu. Viitattu 23.04.2024. https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/KEY6UTP

Finnparttia. RKP 24 K ristikytkentäpaneeli. n.d. Verkkosivu. Viitattu 23.04.2024. <https://www.finnparttia.fi/RKP-24-K>

Datasheet, AV line managed switches. n.d. Netgear. Verkkosivu. Viitattu 1.4.2024. https://www.downloads.netgear.com/files/GDC/M4250/M4250_Datasheet.pdf

IT-laitekaappi. n.d. Perel. Verkkosivu. Viitattu 23.04.2024. <https://www.perel.fi/tuotteet/89113199/19-it-laitekaappi-24u-42u>

Kaapelinohjainpaneeli. n.d. Tietosähkö. Verkkosivu. Viitattu 23.04.2024. https://www.tietosahko.fi/epages/tietosahko.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2016061603/Products/8000805M

SFS-EN 50173-2:2018 Tietotekniikka. Yleiskaapelointijärjestelmät. Osa 2: Toimistotilat

SFS-EN 50174-2:2018 Tietotekniikka. Kaapeloinnin asentaminen. Osa 2: Asennuksen suunnittelu ja asennuskäytännöt rakennusten sisätiloissa

ST-käsikirja 16. Yleiskaapelointijärjestelmät. Viitattu 13.1.2024. Sähköinfo Serveri. (n.d.). Sähköinfo.

ST-käsikirja 25. PoE-tekniikka käytännössä. Viitattu 15.1.2024 Sähköinfo Serveri. (n.d.). Sähköinfo.

ST 681.01 Power Over Ethernet -tehonsyöttö yleiskaapeloinnissa. Viitattu 13.2.2024. Sähköinfo.

Vuorinen, K. 2016. Sähkötekniisten tilojen lämpöhäviöt. Sähkötekniikka. Metropolia. Opinnäytetyö. Viitattu 12.1.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201605178236>