



Tietomallipohjainen sähköisen huipputehon mitoitus raken- nuksessa

Paul Boijer

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2024

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

BOIJER, PAUL:

Tietomallipohjainen sähköisen huipputehon mitoitus rakennuksessa

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Kesäkuu 2024

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia tietomallipohjaisessa sähkösuunnittelussa tehtävää rakennuksen sähköisen huipputehon mitoitusta. Tavoitteena oli luoda selkeä käsitys huipputehon mitoituksen prosessista rakennuksessa ja huipputehon suuruuteen vaikuttavista asioista. Tarkoituksena oli myös tutkia ja vertailla sitä nykyisin yleisesti käytössä oleviin mitoitus tapoihin.

Tietomallipohjainen suunnittelu on lisääntynyt viime vuosina merkittävästi ja tulee tulevaisuudessa lisääntymään entisestään. Uusi rakentamislaki (751/2023) edellyttää, että 1.1.2025 alkaen kaikista rakennuslupaa vaativista rakennushankkeista on esitettävä kolmiulotteinen koneluettava malli. Mallissa on esitettävä pääasialliset tiedot rakennuksesta sekä rakennusosista ja niiden ominaisuuksista. Tämä koskee myös rakennuksen sähkölaitteistoa, minkä vuoksi luonnollista, että rakennuksen huipputeho on mukana mallissa.

Tässä työssä käytettiin Autodesk Revit 2024 -suunnitteluohjelmistoa tietomallipohjaisen sähköisen huipputehon mitoituksessa. Tavoitteena oli tutkia tämän ohjelmiston Electrical Analysis -työkalun käyttöä ja soveltuvuutta mitoituksen suorittamisessa Revit-ohjelmistossa.

Työ tehtiin Ramboll Finland Oy:n toimeksiantona. Tehtävänä oli sähköisen huipputehoon perehtyvän kirjallisuuskatsauksen lisäksi luoda selkeä prosessikuvaus huipputehon mitoituksesta tietomallipohjaisesti sekä luoda pohja, jolla tietomallipohjaista mitoitusta voidaan tehdä Revit-suunnitteluohjelmistolla tulevaisuuden suunnittelukohteissa.

Lopputuloksena saatiin kokonaisvaltainen käsitys huipputehon mitoituksesta, yleisesti käytössä olevista mitoitus tavoista sekä tietomallipohjaisen mitoittamisen hyödyistä ja kehittämistä vaativista kohdista. Työn aikana tuotettiin selkeä prosessikuvaus huipputehon mitoitukseen sekä luotiin Revit-suunnitteluohjelmistoon pohja, jota toimeksiantaja voi käyttää huipputehon mitoitukseen tulevaisuudessa.

Asiasanat: huipputeho, sähkösuunnittelu, tietomalli, Revit

ABSTRACT

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

BOIJER, PAUL:
BIM-Based Dimensioning of Electrical Peak Power in a Building

Bachelor's thesis 40 pages, appendices 6 pages
June 2024

The purpose of this thesis was to investigate the sizing of a building's electrical peak power in BIM-based electrical design. The goal was to create a clear understanding of the peak power determination process within a building and the factors influencing the magnitude of electrical peak power. Additionally, the study aimed to compare BIM-based sizing with commonly used peak power dimensioning methods in Finland.

BIM-based design has significantly increased in recent years and is expected to continue growing. The new Finnish Building Code (751/2023) requires that starting from January 1, 2025, all building permit applications must include a three-dimensional machine-readable model. This model should present essential information about the building, its components, and their properties, including the electrical system. Consequently, including the building's peak power in the model is a natural step.

In this work, Autodesk Revit 2024 BIM software was used for BIM-based electrical peak power sizing. The objective was to explore the usage and suitability of the Electrical Analysis tool within the Revit software for performing this sizing.

The study was conducted as an assignment for Ramboll Finland Oy. In addition to reviewing relevant literature on peak power, the task involved creating a clear process description for BIM-based peak power sizing and establishing a foundation for implementing BIM-based sizing in future design projects using the Revit software.

As a result of this study, a comprehensive review of peak power sizing, commonly used sizing methods, and the benefits and areas for improvement in BIM-based sizing was produced. During the project, a clear process description for peak power sizing was developed, along with a framework in Revit to facilitate future implementation by the client.

Key words: peak power, electrical design, BIM, Revit

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	SÄHKÖLIITTYMÄ	8
2.1	Sähköliittymän mitoittaminen.....	8
2.2	Liittymisjohdon mitoittaminen	9
3	RAKENNUKSEN HUIPPUTEHO	10
3.1	Velanderin kaava	10
3.2	Kuormitusmallipohjainen verkostolaskenta	11
3.3	Lineaariset laskentamallit.....	14
3.4	Laitetietoihin perustuva laskentamalli.....	15
3.5	Tilojen käyttöön ja ominaisuuksiin perustuva laskentamalli	17
4	REVIT ELECTRICAL ANALYSIS	25
4.1	Area Based Load Boundary	26
4.2	Area Based Load	27
4.3	System Browser.....	29
5	VERTAILU	32
5.1	Logistiikkakeskus	32
5.2	Toimistorakennus.....	34
6	POHDINTA	36
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET	40
	Liite 1. Logistiikkakeskuksen huipputehon mitoituksen tulokset.....	40
	Liite 2. Toimistorakennuksen huipputehon mitoituksen tulokset	40

LYHENTEET JA TERMIT

AMR	Automated Meter Reading, automaattinen mittarin luenta
BIM	Building Information Modeling, rakennuksen tietomalli
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
SLY	Suomen Sähkölaitosyhdistys ry

1 JOHDANTO

Rakennuksen huipputehon määrittäminen on sähkösuunnittelussa yksi ensimmäisistä askeleista rakennuksen sähkösuunnitteluprosessissa. Tämä on kuitenkin aina haastavaa, sillä varsinaista sähkösuunnittelua ei yleensä tässä vaiheessa ole vielä tehty. Rakennuksen laskennallisen huipputehon määrittämiseen on olemassa erilaisia työkaluja ja vakiintuneita toimintatapoja.

Uusi rakentamislaki (751/2023) velvoittaa, että 1.1.2025 lähtien kaikista rakennuslupaa vaativista rakennushankkeista on tehtävä rakennussuunnitelmia vastaava suunnitelmamalli eli tietomalli. Tietomalliin voidaan nykyään sisällyttää kaikki perinteiset suunnitteludokumentit. Myös sähkötehot voidaan liittää tietomalliin, joiden perusteella myös rakennuksen huipputeho voidaan määrittää tietomallipohjaisesti. Tässä opinnäytetyössä perehdytään tietomallipohjaisen huipputehon määrittämiseen ja tutkitaan tarkemmin tämän käyttökelpoisuutta verrattuna nykyisiin yleisesti käytössä oleviin tapoihin määrittää rakennuksen sähköisen huipputeho.

Tässä opinnäytetyössä tietomallinnusohjelmanä käytetään Autodeskin Revit 2024 -ohjelmaa ja tutkitaan erityisesti ohjelman Electrical Analysis -työkalun käyttöä ja soveltuvuutta rakennuksen huipputehon määrittämiseen. Autodeskin Revit suunnitteluohjelmiston vuoden 2023 päivityksessä tuli uusi sähkösuunnitteluun ja mallintamiseen tarkoitettu työkalu Electrical Analysis. Tämän työkalun tarkoituksena on antaa suunnittelijalle mahdollisuuden arvioida rakennuksen sähkötehoa ennen kuin sähkölaitteita tai sähköpisteitä on piirretty suunnitelmiin. Revitissä voidaan myös luoda kokonaisia virtapiirejä ja jokaiselle ryhmälle voidaan asettaa tarkat tehot, tehokertoimet ja samanaikaisuuskertoimet.

Opinnäytetyössä pyritään vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Onko tietomallipohjainen sähköisen huipputehon määrittäminen järkevää?
- Onko Revitin Electrical Analysis -työkalu toimiva sähkösuunnittelun apuna ja rakennuksen tehon arvioinnissa?

- Onko tällaiselle työkalulle kysyntää ja hyötyä suunnittelussa tietomallinnuksen lisääntyessä?

Työ tehdään Ramboll Finland Oy:n toimeksiantona. Ramboll on aktiivisesti pyrkinyt siirtymään täysin tietomallipohjaiseen suunnitteluun ja tämä opinnäytetyön aihe tukee tätä kehitystä. Ramboll on myös kehittänyt Revit-ohjelmistoa omiin tarpeisiinsa ja yrityksellä on edelleen halu kehittyä Revitin osajana. Käytännössä tämä tarkoittaa Revitin jokaisen osa-alueen ja työkalun osaamista ja hallitsemista. Ramboll tekee myös tiivistä yhteistyötä Autodeskin ja Magicadin kanssa, jotka suunnittelevat ja kehittävät näitä ohjelmistoja. Tulevaisuudessa rakennusten muuttuessa entistä energiatehokkaammiksi ja tietomallinnuksen muuttuessa käytännössä pakolliseksi uusissa rakennuskohteissa, tarvitaan entistä tarkempaa mallinnusta myös sähkötehojen osalta.

2 SÄHKÖLIITTYMÄ

Sähköliittymä on verkkoyhtiön hallitseman jakeluverkon ja asiakkaan sähkölaitteistojen välinen rajapinta. Liittymällä tarkoitetaan myös liittymissopimuksessa tarkemmin määrättyä sijaintia, jossa liittyjällä on oikeus liittyä sähkönjakeluverkkoon. (LE 2019, 1.)

Sähköliittymä koostuu liittymisjohdosta, sähköenergian mittauksesta ja liittymisjohdon suojalaitteista. Liittymisjohto kytketään jakeluverkkoon pylväässä, kaapelijakokaapissa tai jakelumuuntamon pienjännitekeskuksessa. Asiakkaan sähkölaitteistossa liittymisjohto kytketään pää- tai mittauskeskukseen. Liittymisjohdon omistus- ja toimitusraja on yleensä tontin rajalla. Verkkoyhtiön vastuulla on siis toimittaa liittymisjohto tontin rajalle. Liittyjän vastuulla on hankkia liittymisjohto tontin rajalta sähkölaitteistolle. Yksinkertaisimmillaan tämä tapahtuu hankkimalla liittymisjohto verkkoyhtiöltä samalla, kun kiinteistön haltija ja verkkoyhtiö tekevät liittymissopimuksen. (Eckert 2019, 3–4.; ST 13.31 2021, 2.)

Liittymän tehtävä on siirtää sähkötehoa jakeluverkosta asiakkaan sähkönkäyttöpaikkaan. Jos sähkönkäyttöpaikassa on sähkön tuotantoa, voidaan sähkötehoa siirtää sähköliittymän kautta myös liittyjän sähkölaitteistosta jakeluverkkoon. Tämä tulee kyseeseen esimerkiksi silloin, kun kohteessa on sähkön pientuotantoa kuten aurinkosähkövoimala. (Eckert 2019, 3.)

2.1 Sähköliittymän mitoittaminen

Rakennuksen liittymän mitoittaminen on tärkeimpiä asioita rakennusten sähkösuunnittelussa. Liittymän suuruus on myös ensimmäisiä asioita, joita lyödään lukkoon rakennuksen sähkösuunnitteluprosessissa. Sähköliittymän tilaaminen tontille tapahtuu yleensä rakennuksen maanrakennusvaiheessa, jonka takia liittymän mitoittaminen tulee tehdä rakennuksen alkuvaiheessa. Tämä luo haasteen suunnittelulle, sillä usein tarkempaa sähkösuunnittelua ei tyypillisesti ole tässä vaiheessa vielä tehty ja esimerkiksi rakennuksen todellinen huipputeho ei ole selvillä.

Sähköliittymän mitoittaminen on aina kustannusteknillinen kysymys. Alimitoitettu liittymä rajoittaa rakennuksen käyttöä ja altistaa rakennuksen vioille. Ylimitoitettu liittymä taas aiheuttaa ylimääräisiä rakennuskustannuksia sekä myöhemmin suurempia käyttökustannuksia. (ST 13.31 2021, 1.)

Sähköliittymän mitoittamisessa ratkaisevaa on rakennuksen hetkellinen huipputeho. Käytännössä tämä tarkoittaa, että liittymästä otettava sähköteho ei saa missään tilanteessa ylittää sähköliittymän kapasiteettia. Tämä voidaan välttää valitsemalla suunnitteluvaiheessa rakennuksen huipputehoa suurempi liittymä. Kapasiteetiltaan liian suuren liittymän valitseminen ei myöskään ole tarkoituksenmukaista, sillä se nostaa kohteen rakennus- ja käyttökustannuksia huomattavastikin. Huipputehon arviointiin kehitettyjä menetelmiä on esitetty tarkemmin myöhemmin tässä työssä luvussa 3. (ST 13.31 2021, 3.)

Kun rakennuksen huipputeho on arvioitu, valitaan sen perusteella sopivat pääsulakkeet. Liittymän koko ilmaistaan pääsulakkeiden avulla. Esimerkiksi 3x25A on tyypillinen pientalon sähköliittymän koko. Merkintä tarkoittaa, että kyseinen liittymä on kolmivaiheinen ja jokaista vaihetta kohti on 25 ampeerin sulake.

2.2 Liittymisjohdon mitoittaminen

Liittymisjohto mitoitetaan pääsulakkeiden perusteella. Sulakekoko määrää liittymisjohdolle vaadittavan kuormitettavuuden. (Eckert 2019, 5.)

Liittymisjohdon poikkipinta-alan ja tyypin valinta ovat yleensä sekä rakennuksen sähkösuunnittelijan, että verkkoyhtiön suunnittelijan vastuulla. Liittymisjohtoja koskevat tekniset reunaehdot ja vaatimukset on annettu määräyksissä, standardeissa ja ohjeissa. Suomessa johtojen kuormitusta ja mitoitusta ohjaava standardi on SFS 6000-5-52:2017. Liittymisjohdon on täytettävä standardin tekniset vaatimukset. Myös paikallisella verkkoyhtiöllä voi olla tarkempia vaatimuksia liittymisjohdon poikkipinta-alalle. (Eckert 2019, 5; SFS 6000-5-52 2022, 6.)

3 RAKENNUKSEN HUIPPUTEHO

Rakennuksen huipputeho tarkoittaa rakennuksen kuluttamaa suurinta hetkellistä sähkötehoa rakennuksen elinkaaren aikana. Huipputehon suuruus ja ajankohta on aina rakennuskohtainen. Näihin vaikuttaa todella moni muuttuja. Tämä aiheuttaa haasteen sähkösuunnittelijalle tämän määrittäessä suunnitteluvaiheessa olevalle rakennukselle sähköisen huipputehon suuruutta. Määritetyn huipputehon perusteella rakennukselle valitaan sähköliittymän pääsulakekoko. Huipputeho ei missään tilanteessa saa olla rakennukselle mitoitettua sähköliittymää suurempi, vaikka suojalaitteet ylityksen kestäisivätkin. (ST 13.31 2021, 3.)

Suunnitteluvaiheessa huipputehon määrittäminen perustuu usein valistuneeseen arvioon rakennuksen huipputehosta. Tämän arvion tekemiseen voidaanakin käyttää erilaisia tapoja. Vakiintuneita ja yleisesti käytössä olevia tapoja ovat muun muassa Velerin kaava, kuormitusmallit, rakennuksen kokoon ja laitetietoihin perustuvat laskentamallit. (Lakervi & Partanen 2008, 53.)

Keskeistä rakennuksen huipputehon määrittämisessä on tuntee suunniteltava kohde, sen käyttötarkoitus ja rakenne. Myös rakennuksen laitekanta on tunnettava. Erityisesti suurta sähkötehoa vaativat koneet ja laitteet ovat kriittisessä roolissa huipputehoa määritettäessä. Yksittäiset suurta sähkötehoa kuluttavat laitteet voivat nostaa rakennuksen huipputehoa merkittävästi. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 18.)

3.1 Velerin kaava

Velerin kaavalla voidaan arvioida huipputeho vuosien energian ja käyttäjäryhmäkohtaisten kerrointen avulla. Velerin kaava on johdettu käyttäen todella voimakkaita oletuksia erilaisten kohteiden ja käyttäjäryhmien sähkökäyttötottumuksista. Mittaukset ovat kuitenkin osoittaneet, että Velerin kaava antaa likimain oikeita arvoja tehohuipulle silloinkin, kun osakuormitukset ovat erilaisia. Velerin kaava soveltuu parhaiten suuren sähkökäyttäjäjoukon huipputehon arviointiin esimerkiksi jakeluverkkoa suunniteltaessa. Yksittäisen käyttäjän huipputehon arviointiin kaava ei juurikaan sovellu. (Lakervi & Partanen 2008, 53.)

Kaavassa 1 on esitelty Veleranderin kaava,

$$P_{max} = k_1 \cdot W + k_2 \cdot \sqrt{W} \quad (1)$$

jossa P_{max} on huipputeho kilowatteina (kW), k_1 ja k_2 ovat Veleranderin kertoimet ja W on vuosienenergia megawattitunteina (MWh). Taulukossa 1 on esitelty tyypillisiä Veleranderin kertoimia. (Lakervi & Partanen 2008, 53.)

TAULUKKO 1. Veleranderin kaavan kertoimia (Lakervi & Partanen, 2008, 53.)

Sähkön käyttäjäryhmä	k1	k2
Kotitalous	0,29	2,50
Sähkölämmitys	0,22	0,90
Palvelu	0,25	1,90

3.2 Kuormitusmallipohjainen verkostolaskenta

Tarkempaan huipputehojen arviointiin päästään profiloimalla erityyppisten sähkökäyttäjien sähkökäyttötottumukset. Kuormitusmallien avulla voidaan laskea halutun yksittäisen tunnin teho, kun tunnetaan käyttäjän vuosienenergia. (Eckert 2019, 6.) Kuormitusmallit perustuvat vuonna 1992 Sähkölaitosyhdistysten julkaisemaan kuormitustutkimukseen, jossa mitattiin erilaisten käyttäjien sähköenergian käyttöä. Kuormitustutkimuksen mittaukset suoritettiin vuosina 1984–1990. Kuormitusmalleja varten on määritetty 40 kappaletta erilaista sähköenergian tyyppikäyttäjää. Mittausten tuloksena on saatu eri tyyppikäyttäjien tuntikohtainen tehovaihtelu, tuntikeskitehojen hajonta ja lämpötilariippuvuus. (Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo 2008, 54.)

Kuormitusmallit perustuvat sähkökäyttäjien keskitehojen laskentaan. Keskiteho on kuitenkin eri asia kuin huipputeho. Yksittäisen sähkökäyttäjän sähkökäytössä esiintyy tyypillisesti voimakasta satunnaisvaihtelua; välillä teho on suurempi ja välillä keskitehoa pienempi. Kuormitusmallilaskenta soveltuukin parhaiten muuntopiiritason mitoituksiin. Sitä voidaan kuitenkin myös käyttää yksittäisen

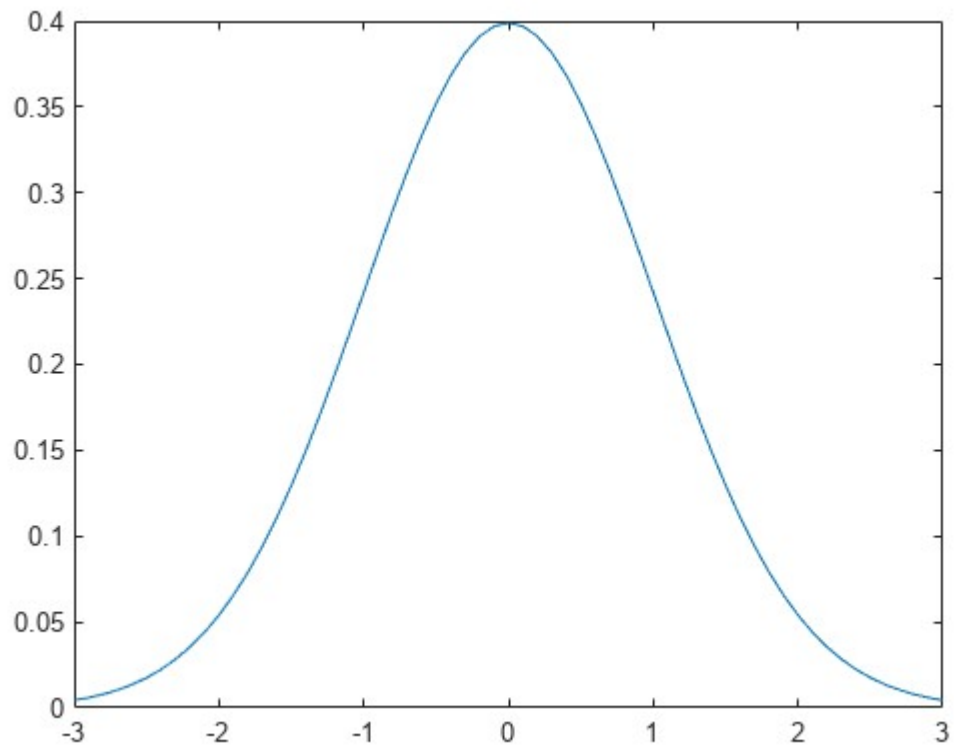
sähkönkäyttäjän huipputehon karkeaan arviointiin. (Lakervi & Partanen 2008, 58.)

Keskitehon laskeminen kuormitusmallien avulla tapahtuu kaavan 2 mukaan,

$$P_{ri} = \frac{E_r}{8760} \cdot \frac{Q_{ri}}{100} \cdot \frac{q_{ri}}{100} \quad (2)$$

jossa P_{ri} on käyttäjäryhmän r ajankohdan i tuntikeskiteho, E_r on käyttäjäryhmän r vuosienenergia, Q_{ri} on käyttäjäryhmän r ajankohtaa i vastaava 2-viikkoindeksi ja q_{ri} on käyttäjäryhmän r ajankohtaa i vastaava tunti-indeksi. Käyttäjäkohtaiset 2-viikkoindeksit ja tunti-indeksit on julkaistu tarkemmin Suomen sähkölaitosyhdistyksen julkaisemassa Sähkön käytön kuormitustutkimus 1992-julkaisussa. (Erkki & Partanen Jarmo 2008, 57.)

Kuormitusmallin tuloksena saatavaa keskitehoa ei voida käyttää yksittäisen sähkönkäyttäjän huipputehona, joka on selvästi keskitehoa suurempi. Huipputehoa voidaan kuitenkin arvioida tilastomatematiikan keinoin. Kun tehoa tarkastellaan tilastollisena suureena, on huipputeho määriteltävä tehona, jolla on tietty ylitysmistodennäköisyys. Tehojakaumat on todettu eräiden tutkimusten perusteella noudattavan likimain normaalijakauman arvoja. Tällöin tarkastellaan ylitystodennäköisyyttä eli millä todennäköisyydellä käyttäjän todellinen huipputeho on suurempi kuin arvioitu huipputeho. Normaalijakauman käyrä on esitetty kuvassa 2. Normaalijakauman tarkat arvot pisteissä z on annettu taulukossa 2. (SA 10:92 1992, 4–10; Lakervi, Erkki & Partanen Jarmo 2008, 58–59.)



KUVA 2. Normaalijakauman käyrä (MathWorks 2024.)

TAULUKKO 2. Normaalijakauman ylitystodennäköisyyksiä (Lakervi & Partanen 2008, 59.)

z	Todennäköisyys sille, että $x < \mu + z \cdot \sigma$
0,00	0,50
0,68	0,75
1,00	0,84
1,65	0,95
2,00	0,97
2,32	0,99
3,00	0,999
4,00	0,9997

Käyrästä ja taulukosta huomataan, että jos esimerkiksi halutaan 99 % todennäköisyys sille, ettei huipputeho ylitä laskettua tehoa, täytyy huipputeho määrittää 2,32 kertaa keskitehoa suuremmaksi.

Huipputeho lasketaan tällä tavalla kaavan 3 mukaisesti,

$$P_{max}(t) = P_{ri}(t) + z_a \cdot \sigma(t) \quad (3)$$

jossa $P_{max}(t)$ on laskettu huipputeho, $P_{ri}(t)$ on tietyn käyttäjäryhmän keskiteho tietyllä ajan hetkellä, z on kerroin, joka vastaa todennäköisyyttä a ja $\sigma(t)$ on hajonta tietyllä ajan hetkellä. Luku $P_{max}(t)$ lasketaan vuoden jokaiselle tunnille. Näistä saaduista arvoista suurin on huipputeho P_{max} . (SA 10:92 1992, 9–10; Lakkervi, Erkki & Partanen, Jarmo 2008, 59.)

3.3 Lineaariset laskentamallit

Huipputehon arviointiin voidaan käyttää myös rakennuksen kokoon perustuvia laskentamalleja. Näissä muuttujana on useimmiten kohteen pinta-ala. Lineaariset laskentamallit perustuvat edellä esitettyyn SLY:n kuormitusmallitutkimukseen ja erilaisiin teho- ja AMR-mittauksiin.

Sähköenergiailiitto ry:n julkaisemassa verkostosuosituksessa (SA 1:87 Pienjänniteverkon mitoitus- ja -energiat 1987) on esitetty lineaariset laskentamallit erityyppisille kohteille, joiden muuttujana käytetään rakennuksen kerrosalaa. Verkostosuosituksessa on esitetty lineaariset laskentamallit kerros-, rivi- ja omakotitaloille. Suosituksessa on esitetty laskentamalli myös lämmitetyille autopaikoille. Nämä laskentamallit ovat esitetty myös ST 13.31 -kortissa ja ovat yleisesti käytössä nykyäänkin. ST 13.31 -kortissa on myös esitetty laskentamallit päiväkohteille ja kouluille sekä sähköajoneuvojen latauksille.

Lineaaristen laskentamallien kaava esitetään yleisesti kaavan 4 muodossa,

$$P = a + b \cdot A \quad (4)$$

jossa P on huipputeho, a ja b ovat laskentamalleissa annettuja vakioita ja A on kerrosala. (SA 1:87 1987, 6; ST 13.31 2021, 5.)

Lineaariset laskentamallit ovat tarkoitettu lähinnä käsin suoritettavaan laskentaan, jonka vuoksi ne on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaisiksi. Tämän yksinkertaistamisen takia mallien käyttäminen luotettavasti on haastavaa ja vaatii suunnittelijalta runsaasti ammattitaitoa arvioidessaan tuloksien oikeellisuutta. (SA 1:87 1987, 6.)

3.4 Laitetietoihin perustuva laskentamalli

Edellä esiteltyt huipputehon arviointiin tarkoitetut laskentamallit eivät sovellu kaikkiin kohteisiin. Esimerkiksi toimitila- ja tuotantorakennuksiin täytyy käyttää tarkempaa arviointimallia, sillä rakennuksiin asennettava laitekanta ja käyttötarkoitukset voivat poiketa toisistaan suurestikin. Sähkölaitteiden erilaiset ohjausperiaatteet voivat aiheuttaa suuria tehovaihteluita käyttötarkoitukseltaan samanlaisenkin kohteiden kanssa verratessa neliötehoja. (ST 13.31 2021, 8.)

Laitetietoihin perustuvan laskentamallin lähtötietoina ovat rakennuksen koje-, laite- ja valaisinluettelot, joista saadaan tietoa sähköä kuluttavista laitteista ja niiden liitântätehoista. Laitteiden ja laiteryhmien huipputehojen eriaikaisuus huomioidaan tässä tavassa samanaikaisuuskertoimin. (Eckert 2019, 6.) Eräs yleisesti Suomessa käytössä oleva mitoittavan sähkötehon laskentamalli on esitelty ST 13.31 – Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen -ohjekortissa. Malli perustuu luetteloissa esitettyjen laitteiden kytkentätehoihin ja tasauskertoimiin. Suunnitelmaan valittujen laitteiden perusteella voidaan rakennuksen huipputeho laskea kaavalla,

$$P_M = P_x \cdot (P_{LVIA} + P_{valaistus} + P_{laitteet} + P_{SLK} + P_{muut}) \quad (5)$$

jossa P_M on mitoittava sähköteho, P_x on kerroin, jolla varaudutaan tulevaisuuden sähkötehon kasvuun, P_{LVIA} on LVIA-laitteiden yhteenlaskettu mitoittava sähköteho, $P_{valaistus}$ on valaistuksen yhteenlaskettu mitoittava sähköteho, $P_{laitteet}$ on laitteiden yhteenlaskettu mitoittava sähköteho, P_{SLK} on sähkölämmityskuormien mitoittava sähköteho ja P_{muut} on kaikki muut sähkötehot, jotka on otettava huomioon huipputehoa laskettaessa. (ST 13.31 2021, 9.)

Laitetehoihin perustuvassa laskentamallissa on haasteena eri laitteiden kuormitusten eriaikaisuuden huomioivien tasauskertoimien määrittely. (Eckert 2019, 6.) Eli huipputehoa määriteltäessä on otettava huomioon laiteryhmän sisäiset ja eri laiteryhmien väliset tehojen risteilyt eli tehojen samanaikaisuudet. Näitä tehojen risteilyjä voidaan kuvata erilaisilla kertoimilla. ST 13.31 -kortissa on esitelty kertoimet k_{11} ja k_{12} . Laiteryhmän nimellistehon tasauskerroin k_{11} kuvaa, kuinka

paljon laiteryhmän laitteista on enimmillään käytössä samanaikaisesti. Laiteryhmän huipputehon tasauskertoimen k_{12} avulla esitetään eri laiteryhmiä väliset vuorovaikutussuhteet eli tehojen risteilyt huipputehon mitoitushetkellä. (ST 13.31 2021, 15.) Erilaisia tyypillisiä laitekohtaisia tehoja ja samanaikaisuuskertoimia on esitetty muun muassa ST 13.31 -kortissa ja Siemensin "Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles" -kirjassa.

Taulukossa 3 ja 4 on esimerkki laitetietoihin perustuvan laskentamallin käytöstä huipputehon mitoituksessa.

TAULUKKO 3. Esimerkki eräästä ilmanvaihtokonehuoneen mitoistustehon laskennasta.

Laiteryhmä	Laiteryhmän nimellis- teho, kW	Laiteryhmän nimellistehon tasauskerroin (K11)	Nousujohtoon mitoitettava teho, P (kW)	Laiteryhmien keskinäinen tasauskerroin huipputehon mitoitushet- kellä (K12)	Liittymän mitoitettava teho, PM (kW)
1. Kone (Future S500)	1,9	1,0	1,9	0,5	1,0
2. Kone (Future S500)	3,0	1,0	3,0	0,5	1,5
3. Kone (Future S500)	1,9	1,0	1,9	0,5	1,0
4. Kone (Future S500)	1,9	1,0	1,9	0,5	1,0
Huippumurit	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2
Kojekuorma	3,0	0,5	1,5	0,5	0,8
Valaistus	0,4	1,0	0,4	0,0	0,0
Yhteensä:	12,4		10,9		5,4

TAULUKKO 4. Esimerkki erään kohteen huipputehon laskennasta.

Liittymistehon laskenta:	P/kW	cosφ	I/A	HTA	K	I/AM
Asuintilat:	220,75	0,96	331,90	Ilta	0,35	116,16
Sähköautojen lataus:	22,00	0,96	33,08	Yö	0	0,00
Kahvilan liittymisteho	3,53	0,96	5,31	Aamu/Päivä	1	5,31
Kampaamon liittymisteho	3,41	0,96	5,12	Päivä	1	5,12
Kokoustilan liittymisteho	33,31	0,96	50,09	Ilta	1	50,09
Yleiset tilat	22,43	0,96	33,73	Ilta	1	33,73
IV-Koneet	5,35	0,96	8,04		1	8,04
Yhteensä:						151,35 kW
						218,46 A

Tähän menetelmään perustuvia tehonlaskentatyökaluja löytyy myös monista suunnitteluohjelmista, joissa jokaiselle suunnitelmaan lisättävälle laitteelle voidaan määrittää teho ja tasauskertoimet huipputehojen mitoitushetkellä.

Laitetietoihin perustuvaa laskentamenetelmää on mahdollista soveltaa muunto-
piirittason, yksittäisen liittymän tai pelkästään yhden yksittäisen jakokeskuksen
mitoitukseen. (Eckert 2019, 6.) Tässä laskentamallissa on kuitenkin haasteena
tasauskertoimien lisäksi laitetietojen hankinta. Tämä tarkoittaa, että rakennuksen
laitelistojen on oltava hyvin pitkälti täydellisiä, jotta rakennuksen huipputeho voi-
daan määrittää tällä menetelmällä. Usein huipputehon määrittäminen on ensim-
mäisiä askelia rakennuksen sähkösuunnittelussa, joten tarkkoja laitelistoja on
harvoin saatavilla vielä huipputehon määrittämisvaiheessa. Tämä tekee tästä mene-
telmästä haasteellisen käyttää huipputehon määrittämisessä. Tällä menetelmällä
saadaan kuitenkin verrattain tarkat todellista huipputehoa vastaavat arvot verrat-
tuna muihin menetelmiin.

3.5 Tilojen käyttöön ja ominaisuuksiin perustuva laskentamalli

Rakennuksen huipputehoa voidaan arvioida laskentamallilla, joka hyödyntää tar-
kempia rakennuksen tilojen käyttöön liittyviä tietoja. Siemensin ”Planning of
Electric Power Distribution – Technical Principles” -kirjassa on esitetty malli, joka
määrittelee erityyppisille tiloille tyypilliset neliötehot ja samanaikaisuuskertoimet.
Siemensin kirjassa esitetyt arvot perustuvat niin kokemuseräiseen tietoon kuin
mittauksiinkin. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles
2016, 16–26.)

Huipputehoa voidaan arvioida, kun tunnetaan rakennuksen käyttötarkoitus. Eri-
tyyppisille rakennuksille on annettu eri laskentamalleissa tyypilliset neliötehot, joi-
den avulla voidaan tehdä karkea arvio rakennuksen huipputehosta. Esimerkiksi
Siemensin kirjassa esitellyt arvot on esitetty taulukossa 5. Annetut arvot ovat oh-
jeellisia arvoja huipputehon arvioinnissa eivätkä ne korvaa tarkkaa huipputehon
määrittelyä. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016,
18–19.)

Tarkempaa huipputehon arviointia voidaan tehdä, kun tunnetaan rakennuksen rakenne ja sen tilojen käyttötarkoitus. Taulukossa 6 on annettu erilaisille tyyppitiloille tyypilliset neliötehot ja huipputehon tasauskertoimet. Taulukossa on myös annettu sähköiselle lattialämmitykselle tyypilliset neliötehot ja muutamille laitteille tasauskertoimet laskentaa varten.

TAULUKKO 5. Erilaisten rakennuksien tyypillisiä neliötehoja ja tasauskerroimia.
(Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 18.)

Rakennus	Teho (W/m ²)	Tasauskerroin
Pankki	40–70	0,6
Kirjasto	20–40	0,6
Toimisto	30–50	0,6
Kauppakeskus	30–60	0,6
Hotelli	30–60	0,6
Tavaratalo	30–60	0,8
Pieni sairaala (40–120 potilaspaikkaa)	50–250	0,6
Sairaala (200–1000 potilaspaikkaa)	20–120	0,6
Varasto (ei kylmävarastoa)	2–20	0,6
Kylmävarasto	500–1500	0,6
Asuinkerrostalo	10–30	0,4
Omakotitalo	10–30	0,4
Museo	60–80	0,6
Pysäköintitalo	3–10	0,6
Tuotantolaitos	30–80	0,6
Konesali (riippuvainen mm. redundanttisuudesta, jäähdytysjärjestelmistä jne.)	125–2500	0,4–0,9
Koulu	10–30	0,6
Kuntosali	15–30	0,6
Stadion	70–140	0,6
Vanhainkoti	15–30	0,6
Kasvihuone (keinovalaistus)	250–500	0,6
Laboratorio/tutkimuslaitos	100–200	0,6
Konepajateollisuus	100–200	0,6
Kumiteollisuus	300–500	0,6
Kemianteollisuus (hyvin riippuvainen prosessista)		0,6
Elintarviketeollisuus	600–1000	0,8

TAULUKKO 6. Erilaisten tilojen ja laitteiden tyypillisiä neliötehoja ja tasauskertoimia. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 19.)

Tila	Teho (W/m²)	Tasauskerroin
Käytävä / aula	5–15	0,3
Porrashuone	5–15	0,3
Kiinteistön tilat (valvomot, sähkökeskustilat ym.)	5–15	0,3
Lämpö	10–30	1
Kulkukäytävät / tunnelit	10–20	1
Oleskeluhuone / keittokomero	20–50	0,3
WC	5–15	1
Huoltoasema	60–80	0,8
Toimisto	20–40	0,8
Kirjakauppa	80–120	0,8
Kukkakauppa	80–120	0,8
Leipomo / lihakauppa	250–350	0,8
Vihannes- / hedelmäkauppa	80–120	0,8
Bistro / jäätelöbaari	150–250	0,8
Kahvila	180–220	0,8
Ravintola	180–400	0,8
Tupakkakauppa	80–120	0,8
Kampaamo	220–280	0,8
Pesula	700–950	0,7
Varasto	5–15	0,3
Keittiö	200–400	0,7
Rullaportaat		0,5
Hissi		0,3
Pumppaamot		0,5
Sprinkleri		0,1
Lämmitys		0,8
Ilmanvaihto		0,8
Jäähdytys		0,7
Sähköinen lattialämmitys, oleskelutila	65–100	
Sähköinen lattialämmitys, kylpyhuone	130–150	
Varaava lattialämmitys, matalaenergiatalo	60–70	
Varaava lattialämmitys, normaali talo	100–110	
Pieni ilmalämpöpumppu	60	

Taulukoissa 5 ja 6 annetut erilaisten rakennuksien ja tyyppitilojen neliötehojen vaihteluväli kattaa laajan skaalan erilaisia rakennuksia. Huipputehoa arvioidessa suunnittelijan on kuitenkin otettava huomioon rakennuksen ja tilojen yksilölliset ominaisuudet ja varustelut. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 18–19.)

Siemensin laskentamallin idea perustuu suunniteltavan rakennuksen neliötehojen projektikohtaiseen arviointiin. Taulukoissa 5 ja 6 on annettu erilaisten rakennuksien ja tilojen neliötehojen vaihteluväli, josta lasketaan mitoittavalle kohteelle oikea mitoittava neliöteho erilaisilla rakennuksen ominaisuuksiin perustuvilla kertoimilla. Tyyppirakennuksen tai -tilan mitoittava neliöteho lasketaan kaavalla 6,

$$P_{spec} = P_{min} + (P_{max} - P_{min}) \cdot k_{tot} \quad (6)$$

jossa P_{spec} on mitoittava neliöteho, P_{min} on vaihteluvälin minimi neliöteho, P_{max} on vaihteluvälin maksimi neliöteho ja k_{tot} on rakennuksen ominaisuuksiin perustuva kerroin. Kerroin k_{tot} muodostetaan kaavalla 7,

$$k_{tot} = \frac{(k_{plc} + k_{struct} + k_{comf} + k_{clim} + k_{tech} + k_{BA/TBM})}{6} \quad (7)$$

jossa k_{plc} on kerroin rakennuksen sijainnille, k_{struct} on kerroin rakennuksen huonerakenteelle, k_{comf} on kerroin rakennuksen mukavuudelle ja turvallisuudelle, k_{clim} on kerroin rakennuksen ilmastoinnille, k_{tech} on kerroin rakennuksen sähkölaitteiden ominaisuuksille ja $k_{BA/TBM}$ on kerroin rakennuksen hallinnalle, käytölle ja rakennusautomaatiolle. Kerroin k_{tot} on siis rakennuksen eri ominaisuuksia kuvaavien kertoimien keskiarvo. Kaavassa voidaan myös jokin kerroin jättää huomioimatta tai lisätä mahdollisia huomioitavia kertoimia. Tällöin kaavan nimittäjä täytyy muuttaa vastaamaan käytettävien kertoimien lukumäärää. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 22.)

Rakennuksen sijainnilla on perustavanlaatuinen vaikutus rakennuksen liittymän suunnittelussa. Sijainti vaikuttaa myös huipputehon määrittelyyn. Kerroin k_{plc} ottaa huomioon tämän. Kertoimen suuruutta voidaan arvioida esimerkiksi seuraavien kysymyksien avulla:

Onko naapurirakennusten ominaisuuksissa jotakin, joka pitäisi ottaa huomioon?

Mitä liikennereittejä ja yhteyksiä voidaan käyttää?

Millainen sähköliittymä on saatavilla ja millä rajoituksilla?

Asettavatko lait, standardit tai muut paikalliset ohjeet ehtoja, jotka tulisi huomioida?

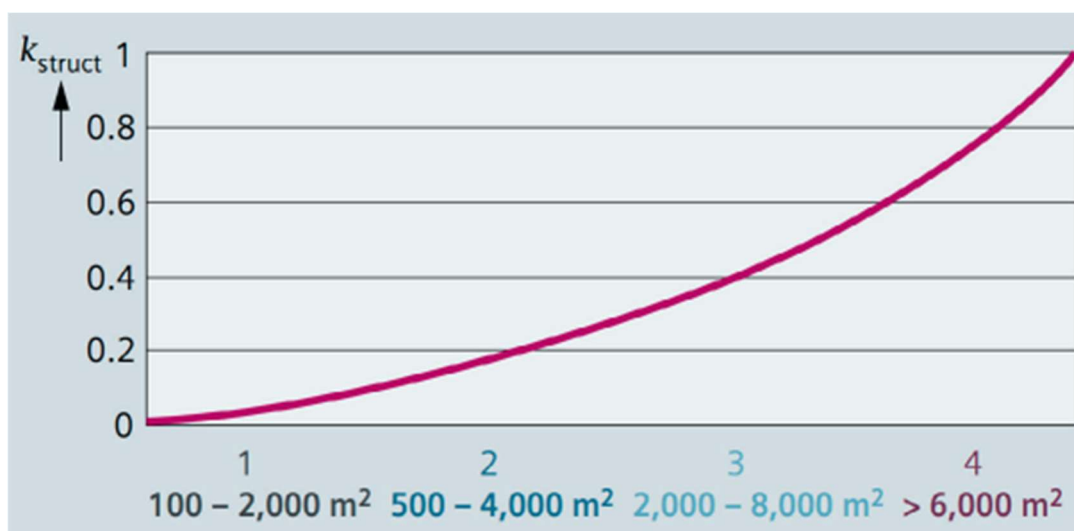
Mikäli mitään erityistä ei ilmene voidaan kertoimena käyttää $k_{plc} = 0,5$. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 22.)

Rakennuksen huonerakenteella on merkitystä huipputehoa määrittellessä. Kooltaan pienempiin ja matalampiin huoneisiin on helpompi ja energiatehokkaampaa toteuttaa ilmanvaihto sekä valaistus. Kerroin k_{struct} ottaa huomioon rakennuksen huonerakenteen. Kertoimella voidaan myös arvioida huonekorkeuden vaikutusta. Sopiva kerroin valitaan kuvan 3 käyrältä huoneiden kokoon ja ominaisuuksiin perustuen. Suurilla huoneilla ja tiloilla on tyypillisesti suurempi kerroin. Sopivan kertoimen määrittely vaatii suunnittelijalta ammattitaitoa ja kokemusta. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 22.)

Kuvan 3 kuvaajan vaaka-akselilla olevien luokkien selitykset ja esimerkkitilat:

1. Pienet yksittäiset huoneet, hotellihuoneet, painovoimainen ilmanvaihto
2. Suuremmat tilat, toimistot, painovoimainen ilmanvaihto
3. Vähittäiskaupat, lääkärin vastaanotot, toimistot, ilmastointi
4. Avotoimistot, tavaratalot, sairaalat, ilmastointi

Suomessa kertoimiksi soveltuvat parhaiten luokat 3 ja 4, koska Suomessa käytetään lähes poikkeuksetta koneellista ilmanvaihtoa. (ST 13.31 2021, 21.)

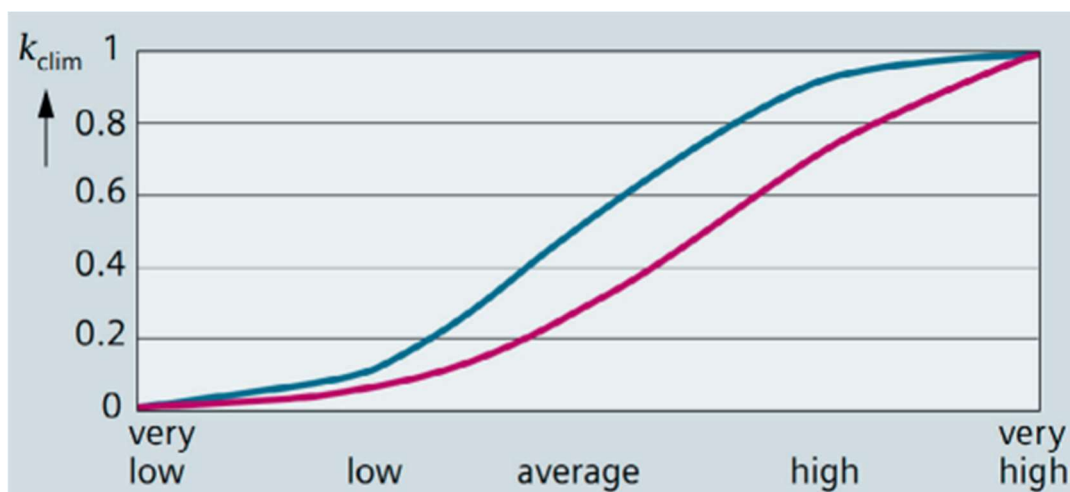


KUVA 3. Rakennuksen ja tilojen huonerakenteeseen perustuvan kertoimen määrittely kuvaajalta. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 22.)

Rakennuksen mukavuuden ja turvallisuuden vaikutusta huipputehoon arvioidaan kertoimella k_{comf} . Näiden arviointi voi olla haastavaa, sillä se riippuu paljolti siitä, millaista rakennuksen käyttö on. Esimerkiksi hyvää valaistusta, audio- ja valvontajärjestelmiä pidetään vakiovarusteina ostoskeskuksissa, mutta toimistotiloissa näitä pidetään mukavuutta ja turvallisuutta parantavina järjestelminä. Toisaalta tuotantotiloissa nämä järjestelmät ovat usein toissijaisia. Myös esimerkiksi nopeat hissit, erikoislavatekniikka, jäähdytysjärjestelmät, sähkösulanapidot ja teknisesti kehittyneet lääketieteelliset diagnostiset laitteet vaativat paljon sähkötehoa. Kertoimelle käytetään suurempia arvoja, jos rakennukseen toteutetaan tavanomaisesta poikkeavia järjestelmiä tai laitteistoja. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 23; ST 13.31 2021, 21.)

Kertoimella k_{clim} kuvataan ilmastoinnin vaikutusta rakennuksen huipputehoon. Eli ilmanvaihdon lisäksi ilman jäähdytystä, kostutusta ja muita sähköllä toimivia järjestelmiä, jotka käsittelevät ilmaa. Kuvassa 4 on esitetty käyrät, joilla sopiva kerroin valitaan. Kuvassa vaaka-akselilla on kuvattu rakennuksen ilmanvaihdon luokitukset. Nämä käyrät ja luokitukset perustuvat saksalaiseen VDI 3807-4 -standardiin. Sininen käyrä kuvaa konesalien ja keittiöiden kerrointa ja violetti käyrä kuvaa muiden tilojen kertoimia. Suomen olosuhteisiin soveltaen luokat "very low" ja "low" voidaan olettaa kuvaavan rakennuksia, joissa on painovoimai-

nen ilmanvaihto tai pelkästään koneellinen poisto. ”Average” luokka kuvaa koneellista tuloa ja poistoa ja ”high” ja ”very high” luokat kuvaavat tilaa, jossa ilmaa myös jäähdytetään ja kostutetaan tai muuten käsitellään sähköä kuluttavilla järjestelmillä. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 21; ST 13.31 2021, 21.)



KUVA 4. Kuvaaja, jolla määritellään rakennuksen ilmastoinnin kerroin huipputehon laskentaa varten. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 21.)

Kertoimella k_{tech} kuvataan eri laitteiden ja järjestelmien käynnistysvirtoja ja energiatehokkuuksia. Taulukossa 7 on annettu eri energiatehokkuutta kuvaavia kertoimia erilaisille tyyppitiloille. Taulukon energiatehokkuusluokitukset perustuvat standardin EN ISO 52120-1 luokituksiin. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 23–24; ST 13.31 2021, 22.)

Kertoimella $k_{BA/TBM}$ kuvataan rakennuksen rakennusautomaation tasoa ja energiatehokkuutta. Kertoimien arvoina käytetään myös taulukon 7 arvoja, mutta rakennusautomaatiojärjestelmien luokitus tapahtuu taulukon 8 mukaan. (Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 24.)

TAULUKKO 7. Rakennuksen sähkölaitteita kuvaavien kertoimien määrittely.
(Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 24.)

Luokka	Energiatehokkuus	Toimistot	Luentosalit	Koulut	Sairaalat	Hotellit	Ravintolat	Kaupat
A	Korkean hyötysuhteen laitteita ja järjestelmiä (taajuusmuuttaja käyttöjä, EC-puhaltimia, ledvalaistus, jne.)	0	0	0	0	0	0	0
	Säännöllinen kunnossapito, ja mahdollisesti myös järjestelmien etävalvonta							
	Laajat valvonta- ja ohjausmahdollisuudet							
B	Hyvän hyötysuhteen laitteita ja laitteistoja	0,26	0,29	0,33	0,22	0,29	0,33	0,24
	Laajat valvonta- ja ohjausmahdollisuudet							
C	Tavanomaisia laitteita	0,57	0,65	0,67	0,44	0,59	0,67	0,53
	Ei valvontamahdollisuutta, vain mekaaninen ohjaus tai säätö							
D	Yksinkertaisia laitteita	1	1	1	1	1	1	1
	Vain on/off-ohjaus							

TAULUKKO 8. Rakennusautomaatiojärjestelmien luokituksen määrytyminen.
(Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles 2016, 24.)

Luokitus	Energiatehokkuus ja rakennusautomaation ominaisuudet
A	<ul style="list-style-type: none"> – Väyläpohjainen huoneohjaus, automaattinen kuormanhallinta – Säännöllinen huolto – Energian seuranta – Uusiutuvan energian käytön optimointi
B	<ul style="list-style-type: none"> – Väyläpohjainen huoneohjaus, ei automaattista kuormanhallintaa – Energian seuranta
C	<ul style="list-style-type: none"> – Väyläpohjainen automaatiojärjestelmä ohjaa pääjärjestelmiä – Ei sähköisiä huoneohjauksia, termostaatit lämpöpattereissa – Ei energian seurantaa
D	<ul style="list-style-type: none"> – Ei laajoja automaatiojärjestelmiä – Ei sähköisiä huoneohjauksia – Ei energian seurantaa

4 REVIT ELECTRICAL ANALYSIS

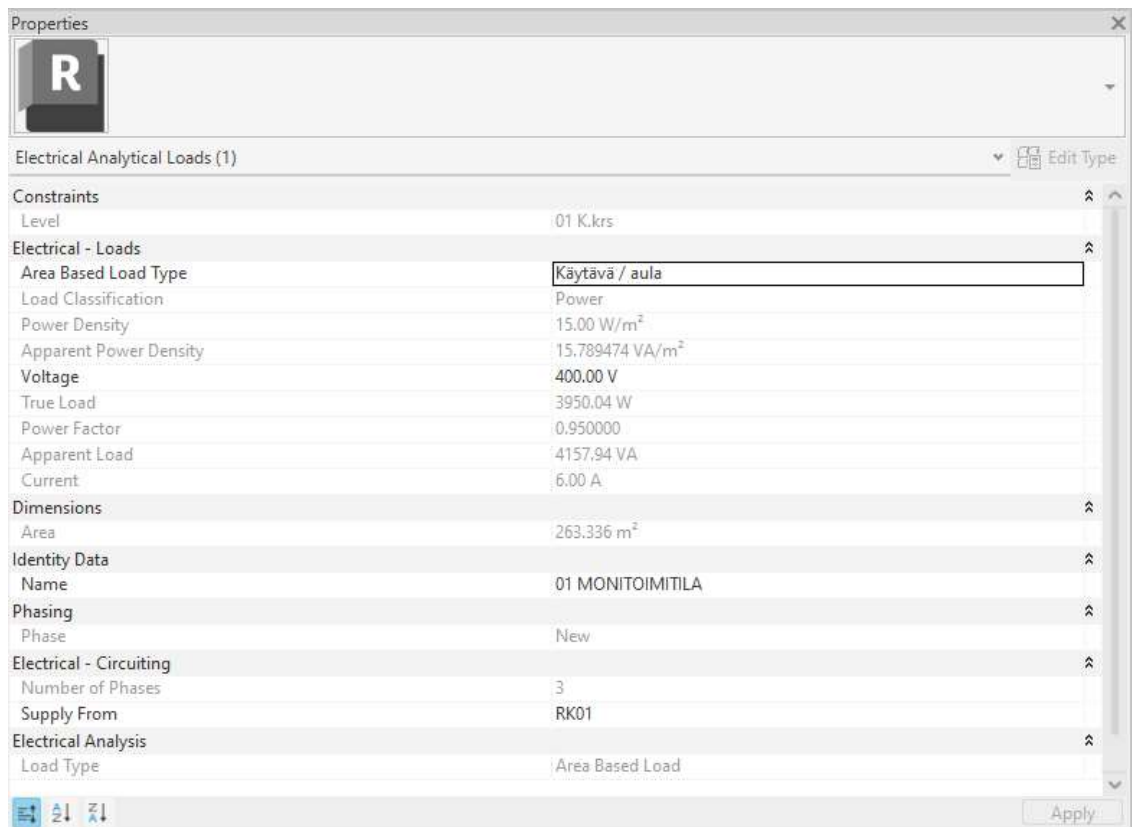
Tässä osassa käsitellään Revit-suunnitteluohjelmiston Electrical Analysis -työkalua, sen ominaisuuksia ja käyttöä sähkösuunnittelun apuna. Revit on yhdysvaltalaisen Autodesk yrityksen kehittämä rakennuksien tietomallinnusta varten luotu BIM-suunnitteluohjelmisto. Autodesk on ohjelmistoalan yritys, joka on erikoistunut erilaisten suunnitteluohjelmistojen kehittämiseen. (Corporate Info n.d.)

Electrical Analysis -työkalu julkaistiin ensimmäisen kerran Revit 2023 versiossa ja sitä päivitettiin vuoden 2024 versiossa. (Electrical Analysis n.d.) Tässä perehdytään tarkemmin Revit 2024 -version työkalun toimintaan, mikä on myös tarkasteluhetkellä, uusin saatavilla oleva versio ohjelmistosta.

Electrical Analysis on analyyttinen työkalu rakennuksen sähköisen huipputehon mitoitusta varten. Työkalun avulla voidaan arvioida rakennuksen liittymistehoa sähköverkkoon ja siten sähköliittymän suuruutta ilman, että tietomalliin lisätään fyysisiä sähköpisteitä kuten pistorasioita, valaisimia tai muita sähkötehoa kuluttavia laitteita. Työkalun avulla voidaan myös arvioida mahdollisten muuntajien ja varavoimakoneiden sähkötehoa. (Massey, M. 2023.)

Työkalulla voidaan analysoida Revittiin linkitetyn arkkitehtimallin huipputehoa, mutta myös Revit-mallin ulkopuolisia suunnitelmia, kuten esimerkiksi DWG- ja PDF-tiedostoja. (Electrical Analysis n.d.)

Electrical Analysis perustuu tilojen neliöpohjaiseen laskentaan eli on hyvin lähellä Siemensin tapaa arvioida huipputehoa. Työkalulla määritellään tilat, niiden neliötehot esimerkiksi käyttötarkoituksen mukaan ja tehokertoimet. Työkalulla on mahdollisuus asettaa samanaikaisuuskertoimia sekä erilaisia tarkempia huipputehon käyttäytymiseen liittyviä asetuksia. (Massey, M. 2023.)



Properties

Electrical Analytical Loads (1) Edit Type

Constraints	
Level	01 K.krs
Electrical - Loads	
Area Based Load Type	Käytävä / aula
Load Classification	Power
Power Density	15.00 W/m ²
Apparent Power Density	15.789474 VA/m ²
Voltage	400.00 V
True Load	3950.04 W
Power Factor	0.950000
Apparent Load	4157.94 VA
Current	6.00 A
Dimensions	
Area	263.336 m ²
Identity Data	
Name	01 MONITOIMITILA
Phasing	
Phase	New
Electrical - Circuiting	
Number of Phases	3
Supply From	RK01
Electrical Analysis	
Load Type	Area Based Load

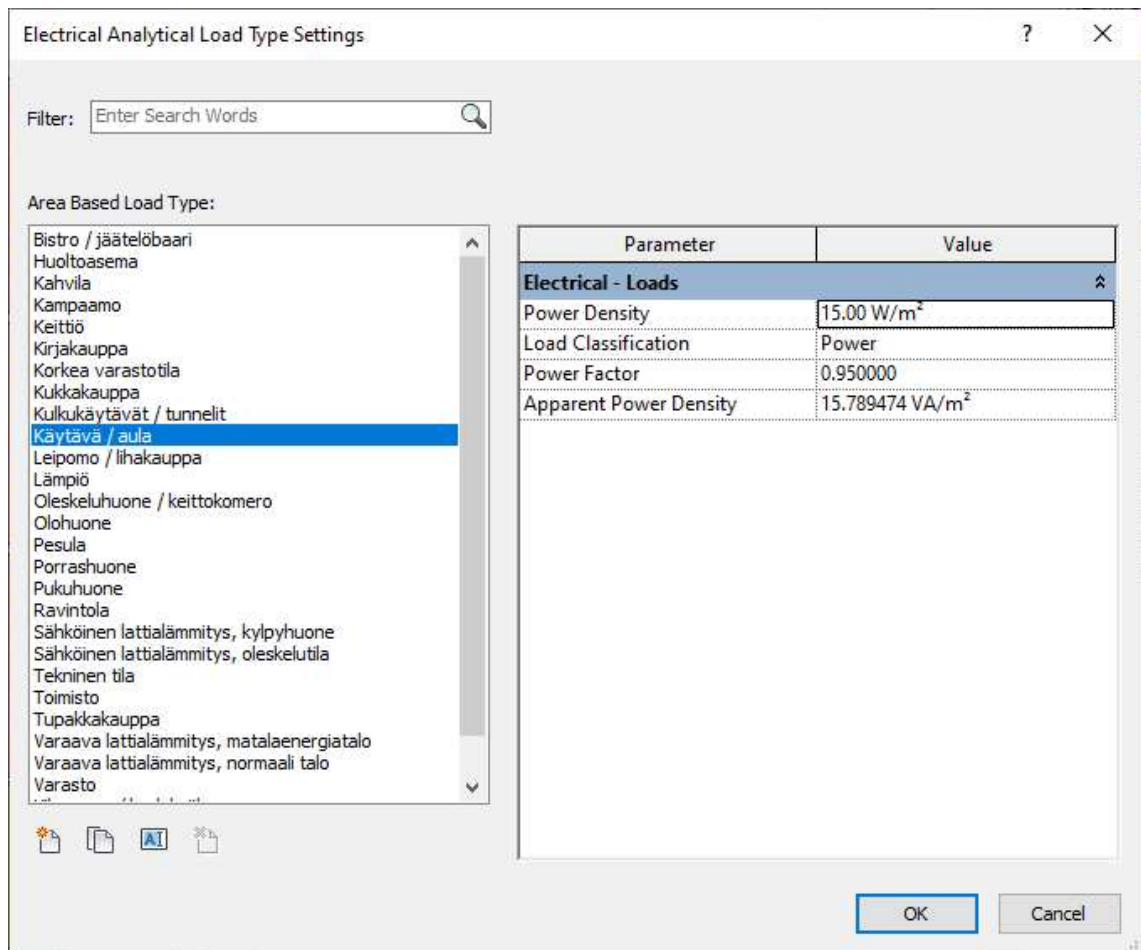
Apply

KUVA 4. Analyttisen kuorman ominaisuuksia voidaan muuttaa

Työkalu tukee toistaiseksi vain kolmivaihejärjestelmiä, joten esimerkiksi yksivaiheasennuksia ei työkalun kanssa pysty laskemaan. Oletuksena ohjelma asettaa analyttisen laskennan pääjännitteeksi 480 voltia, joka on pohjoisamerikkalaisen sähköstandardin mukainen pääjännite. Pääjännitteen saa muokattua käsin tai Revitin asetuksiin suomalaisen standardin mukaiseen 400 volttiin.

4.1 Area Based Load Boundary

Yksi Electrical Analysis -ominaisuuden työkalu on Area Based Load Boundary. Tämän työkalun avulla määritetään sen tilan rajat, jonka teho halutaan huomioida huipputehon laskennassa. Työkalulla piirretään käsin laskennassa huomioitavan tilan ulkoreunat. Tästä ohjelma laskee automaattisesti tämän määritellyn tilan pinta-alan. Työkalulla voidaan piirtää esimerkiksi yksittäinen huone, rakennuksen jokin siipi, yksittäinen kerros tai koko rakennus. Tiloja voi myös jakaa huoneita pienempiin osiin esimerkiksi tilan käyttötarkoituksen perusteella. (Massey, M. 2023.)



KUVA 5. Erilaisille tyyppitiloille voidaan määrittää neliötehot, tehotyypit ja tehokertoimet.

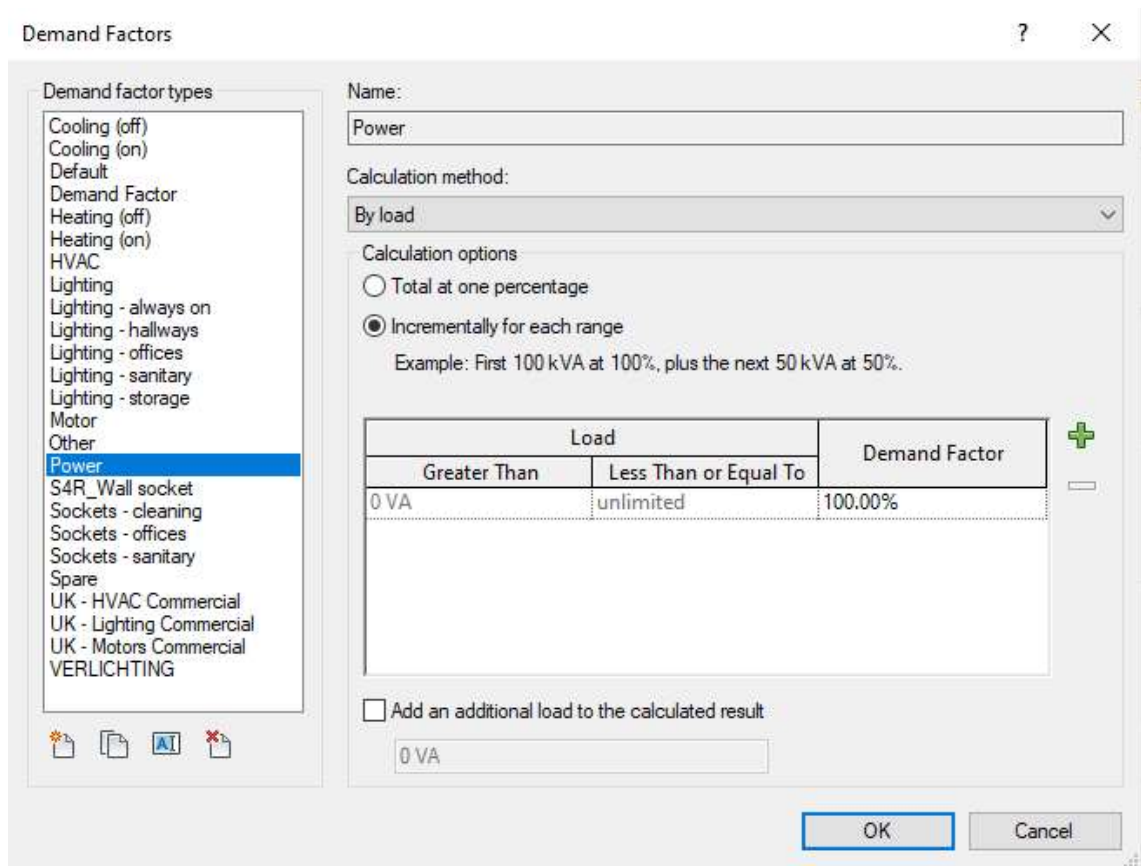
Laskentaan huomioitavia analyttisiä tiloja voidaan myös luoda tilojen sisään niin sanotusti toisen tilan päälle, jolloin voidaan jaotella erityyppisiä kuormia tilan sisälle. Esimerkiksi yhteen tilaan voidaan määrittää erikseen valaistuskuormaa ja kojekuormaa neliötehopohjaisesti. Tila voidaan myös jakaa pienempiin osiin, jos esimerkiksi tilan jossain osassa vaaditaan tehokkaampaa valaistusta. (Electrical Analysis in Revit 2022.)

4.2 Area Based Load

Area Based Load -työkalu kuuluu myös Electrical Analysis ominaisuuden työkaluihin. Tällä työkalulla luodaan ja määritetään Area Based Load Boundary -työkalulla luoduille tiloille tehotyypit. Tiloille määritetään neliötehot ja tilan sisäiset tehokertoimet. Electrical Analytical Load Type Settings -valikkoon voidaan luoda Revitin template -pohjaan erilaisia tyyppitiloja. Kuvassa 5 on esimerkiksi käytetty

Siemensin Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles -kirjan tyyppitiloja ja sen neliötehoja. (Massey, M. 2023.)

Area Based Load -työkalussa voidaan Demand Factor -valikon kautta määrittää tarkemmin, miten teho käyttäytyy huipputehon mitoituksen ajankohtana. Esimerkiksi erityyppisille tehoille voidaan määrittää kiinteä samanaikaisuuskerroin, määrään liittyvät kertoimet tai progressiivinen samanaikaisuuskerroin, joka esimerkiksi pienenee, kun tehon määrä nousee tietyn rajan yli. Nämä kaikki ovat suunnittelijan määriteltävissä erikseen. (About Demand Factors n.d.)



Demand Factors

Demand factor types

- Cooling (off)
- Cooling (on)
- Default
- Demand Factor
- Heating (off)
- Heating (on)
- HVAC
- Lighting
- Lighting - always on
- Lighting - hallways
- Lighting - offices
- Lighting - sanitary
- Lighting - storage
- Motor
- Other
- Power**
- S4R_Wall socket
- Sockets - cleaning
- Sockets - offices
- Sockets - sanitary
- Spare
- UK - HVAC Commercial
- UK - Lighting Commercial
- UK - Motors Commercial
- VERLICHTING

Name:
Power

Calculation method:
By load

Calculation options

☐ Total at one percentage

☒ Incrementally for each range

Example: First 100 kVA at 100%, plus the next 50 kVA at 50%.

Load		Demand Factor
Greater Than	Less Than or Equal To	
0 VA	unlimited	100.00%

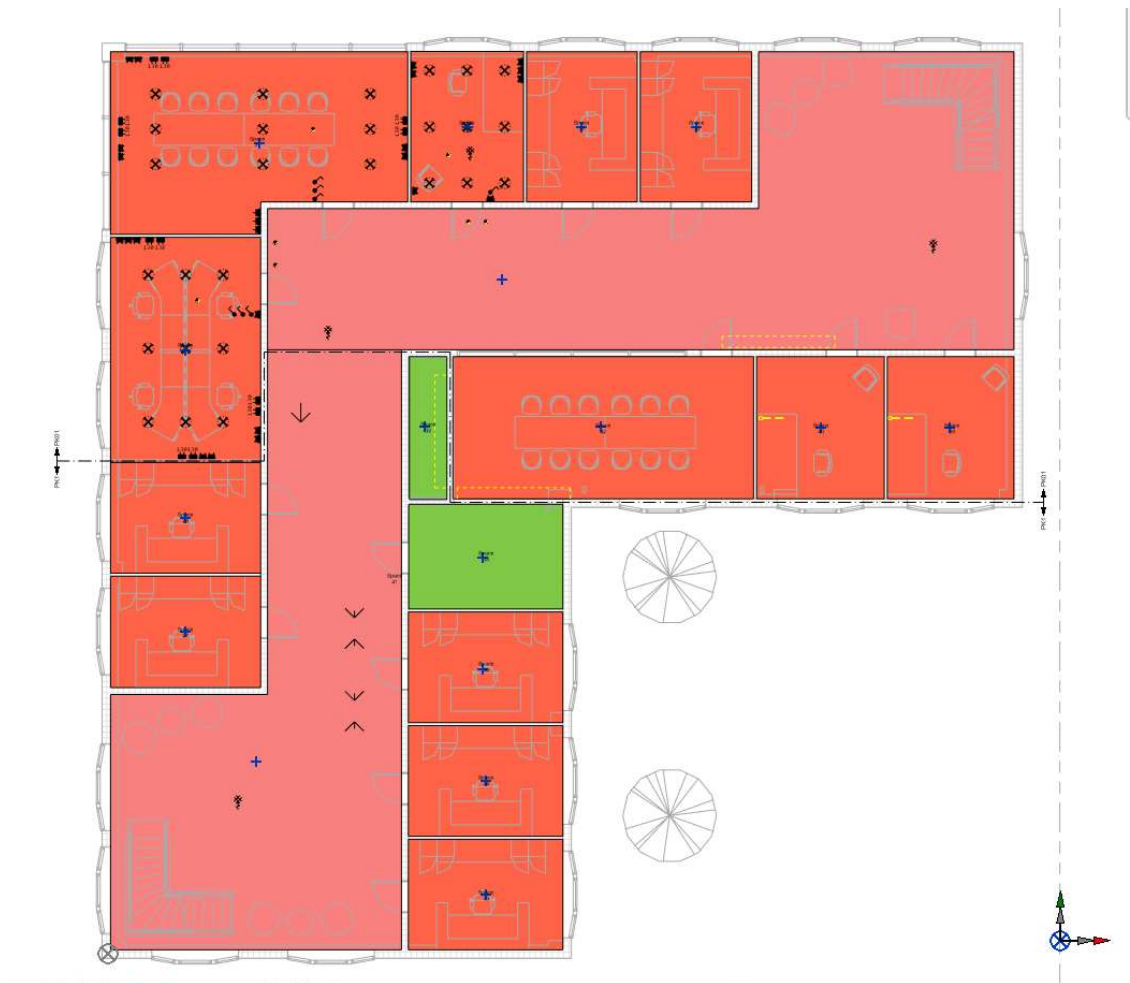
☐ Add an additional load to the calculated result

0 VA

OK Cancel

KUVA 6. Demand Factors -valikossa voidaan määrittää tarkemmin tehon käyttäytymistä erityyppisissä tiloissa.

Keskenään erityyppisille tiloille voidaan määrittää erilaisilla värifilttereillä yksilölliset värit, jolloin näkymässä on helppo nähdä, millaisesta tilasta on kyse. Esimerkiksi kuvassa 7 on oranssilla merkitty toimistot, vaaleanpunaisella aulat ja käytävät, ja vihreällä tekniset tilat.



KUVA 7. Erityyppisille tiloille voidaan määrittää yksilölliset värit erilaisilla värfilttereillä.

4.3 System Browser

Kun tarkasteltavat tilat on määritetty malliin, luodaan analyttinen hierarkia rakennuksen jakelujärjestelmästä. Hierarkiassa esitetään luettelomuodossa, miten eri tilojen sähkötehot sijoittuvat rakennuksen jakelujärjestelmään. Tämä tehdään Revitin System Browser -työkalun avulla. (Massey, M. 2023.)

Analyttiseen hierarkiaan luodaan analyttinen liittymä ja pääkeskus, joiden alle voidaan sijoittaa analyttisiä ryhmäkeskuksia ja muuntajia. Rakennuksen liittymän rinnalle voidaan myös luoda analyttinen varavoimaliittymä. Electrical Analysis -työkalun avulla voidaan näin määrittää myös varavoimakoneiden ja muuntajien sähkötehon suuruus. Varavoimajärjestelmää varten hierarkiaan voidaan luoda analyttinen verkonvaihtokytkin, jonka alle luodaan varavoimajärjestel-

mässä olevat sähkökuormat. Analyttisen verkonvaihtokytkimen ansiosta ohjelma osaa laskea varavoimajärjestelmän sähkökuormat mukaan sähköliittymän mitoittukseen. (Massey, M. 2023.)

System Browser - Sähköprojekti 4.9.rvt

Electrical Analytical Systems Power Distribution

Power Distribution	Connected Load	Demand Load	Connected Current	Demand Current	Voltage
Unconnected					
Liittymä	90175 VA	90175 VA	130 A	130 A	400 V
Pääkeskus	90175 VA	90175 VA	130 A	130 A	400 V
Pääkeskus Talo A	90175 VA	90175 VA	130 A	130 A	400 V
RK01	36252 VA	36252 VA	52 A	52 A	400 V
01 MONITOIMITILA	4158 VA		6 A		400 V
02-03 PUKUHUONEET	685 VA		1 A		400 V
04 KUILU	56 VA		0 A		400 V
05-06 PESUHUONEET	561 VA		1 A		400 V
07 TEKNINEN TILA	544 VA		1 A		400 V
08 SAUNA	249 VA		0 A		400 V
IV-KONE 01	10000 VA		14 A		400 V
Kiuas	20000 VA		29 A		400 V
RK11	15184 VA	15184 VA	22 A	22 A	400 V
10 AVOTOIMISTO	14083 VA		20 A		400 V
11 KUILU	59 VA		0 A		400 V
12 PUKUHUONE	504 VA		1 A		400 V
13 WC	538 VA		1 A		400 V
RK21	12070 VA	12070 VA	17 A	17 A	400 V
21 KÄYTÄVÄ	1346 VA		2 A		400 V
22 KÄYTÄVÄ	1625 VA		2 A		400 V
23 TOIMISTO	499 VA		1 A		400 V
24 TOIMISTO	495 VA		1 A		400 V
25 NEUVOTTELUHUONE	1008 VA		1 A		400 V
26 KOKOUSTILA	1475 VA		2 A		400 V
27 TOIMISTO	505 VA		1 A		400 V
28 TOIMISTO	495 VA		1 A		400 V
29 TOIMISTO	499 VA		1 A		400 V
30 KUILU	60 VA		0 A		400 V
31 TOIMISTO	509 VA		1 A		400 V
32 TOIMISTO	510 VA		1 A		400 V
33 TOIMISTO	510 VA		1 A		400 V
34 KOKOUSTILA	1275 VA		2 A		400 V
35 TOIMISTO	541 VA		1 A		400 V
36 TOIMISTO	181 VA		0 A		400 V
37 TOIMISTO	537 VA		1 A		400 V
RK31	5593 VA	5593 VA	8 A	8 A	400 V
41 OLESKELUTILA	4957 VA		7 A		400 V
42 KUILU	58 VA		0 A		400 V
45 WC	303 VA		0 A		400 V
46 WC	276 VA		0 A		400 V
RK IV	21075 VA	21075 VA	30 A	30 A	400 V
43 IV-KONEHUONE	894 VA		1 A		400 V
44 TEKNINEN TILA	181 VA		0 A		400 V
IV-KONE 31	10000 VA		14 A		400 V
IV-KONE 32	10000 VA		14 A		400 V

KUVA 8. System Browser -työkalun avulla luodaan hierarkia liittymien, keskuk-sien ja sähkökuormien välillä.

Hierarkiaan voidaan luoda myös erillisiä analyttisiä tehoja, kuten esimerkiksi iso-jen sähkölaitteiden kuormia, joita neliöpohjaisessa laskennassa ei pystytä otta-maan huomioon. (Massey, M. 2023.)

Hierarkiaan voidaan myös lisätä kaikki rakennukseen tulevat analyyttiset sähkökeskukset, jolla voidaan luettelomuodossa esittää eri liittymien, keskusten, muuntajien, verkonvaihtokytkimien sekä kuormien suhdetta toisiinsa. Näin luettelossa voidaan myös esittää tilojen ja sähkölaitteiden syöttävät keskukset analyyttisessä mallissa. Hierarkiaan täytyy sijoittaa vähintään laskettava liittymä ja pääkeskus, mutta työkalu osaa laskea tarvittavan sähköliittymän suuruuden myös ilman ryhmäkeskuksien sijoittamista hierarkiaan. Tällöin kaikki laskentaan huomioitavat sähkökuormat sijoitetaan suoraan pääkeskuksen alle. On kuitenkin suositeltavaa luoda mahdollisimman totuudenmukainen analyyttinen malli sähköjakelujärjestelmästä. (Massey, M. 2023.)

Täytyy huomata, että tällä tavalla ei pystytä mitoittamaan esimerkiksi keskusten nousujohtoja, suojalaitteita tai muita jakelujärjestelmän komponentteja, sillä Electrical Analysis -työkalu analysoi ja ottaa huomioon vain huipputehon mitoitushetkellä liittymiä kuormittavia tehoja eikä yksittäisiä nousujohtoja kuormittavia tehoja.

Revitin Schedules -työkalun avulla voidaan luoda tuloste automaattisesti taulukkomuodossa Electrical Analysis -työkalun huipputeholaskennasta. Liitteissä 1 ja 2 on esimerkki huipputehonlaskennasta taulukkomuodossa Schedules -työkalun avulla luotuna. (Massey, M. 2023.)

5 VERTAILU

Tässä luvussa vertaillaan tässä työssä esiteltyjen rakennuksen sähköisen huipputehon mitoittamiseen käytettäviä perinteisiä tapoja keskenään. Näitä perinteisiä mitoitus tapoja vertaillaan myös aiemmin tässä työssä esiteltyyn Revitin tietomallipohjaiseen Electrical Analysis -työkalun avulla tehtyyn huipputehonmitoitukseen. Tarkoituksena on myös arvioida Revitin työkalun avulla saatujen sähköisen huipputehonmitoituksen tuloksien oikeellisuutta.

Vertailu toteutettiin kahdella esimerkkirakennuksella. Toinen rakennuksista on suuri logistiikkaterminaali ja toinen nelikerroksinen toimistorakennus. Seuraavissa kohdissa on esitetty tulokset näiden vertailukohteiden huipputehon mitoituksista eri tavoilla tehtynä. Vertailussa ei voitu huomioida kuormitusmallipohjaista verkostolaskentaa, sillä tälle ei käytettävistä olleista lähteistä löytynyt sopivaa kuormitusmallia. Myöskään laitetietoihin perustuvaa laskentatapaa ei voitu vertailussa hyödyntää, sillä kohteista ei ollut olemassa tarkkoja laiteluetteloita.

5.1 Logistiikkakeskus

Toinen vertailussa käytetystä rakennuksesta on suuri, pinta-alaltaan 4532 neliömetrin kokoinen logistiikkakeskus. Rakennuksessa on iso, pinta-alaltaan 4254 neliömetrin kokoinen halli, jonka sisäkorkeus on noin 8 metriä. Tämän lisäksi rakennuksessa on pienempi kaksikerroksinen toimisto- ja taukokuonetila. Rakennuksen lämmitysmuoto on kaukolämpö.

Rakennukselle arvioitiin sähköinen huipputeho tässä työssä esitellyillä tavoilla. Tulokset on esitetty ohessa taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Logistiikkaterminaalin huipputehon laskennan tulokset

Laskentamalli	P (kW)	I (A)	Liittymä (A)
Velanderin kaava	235	340	2X(3X200)
Lineaarinen laskentamalli	178	256	2X(3X160)
Siemensin malli, oletuskertoimet	42	64	3X80
Siemensin malli, max kertoimet	76	105	3X125
Siemensin malli, lasketut kertoimet	55	83	3X100
Revit Electrical Analysis – Ilman LVI	99	143	3X160
Revit Electrical Analysis – LVI	227	328	2X(3X200)

Tässä kohteessa on käytössä LVIA-laiteluettelo. Huipputehon laskentaa varten merkittävää on, että kohteeseen on suunniteltu neljä suurta 27 kilowatin savunpoistopuhallinta. Näiden on savunpoistotilanteessa toimittava täydellä teholla, mikä tarkoittaa, että näiden sähköteho on otettava kokonaisuudessaan huomioon rakennuksen huipputehoa mitoitettaessa.

Tuloksista huomataan, että eri mitoitusavoilla saadaan logistiikkakeskuksen huipputeholle hyvin erilaisia tuloksia. Tästä voidaan päätellä, että rakennuksen sähköliittymän kokoa ei voida luotettavasti mitoittaa suoraan yksinkertaisilla laskentamalleilla, kuten Velanderin kaavalla tai lineaarisella laskentamallilla, vaan on tehtävä tarkempaa sähköisen huipputehon määrittämistä. Siemensin mallissa on tulos laskettu kolmella eri samanaikaisuuskertoimilla. Ensimmäisessä kohdassa on käytetty Siemensin antamia oletuskertoimia, toisessa on laskettu maksimikertoimilla eli on käytetty kerrointa 1, ja kolmannessa on pyritty määrittelemään rakennuksen tyyppin mukaiset samanaikaisuuskertoimet Siemensin ohjeen mukaan.

Revitin Electrical Analysis -työkalulla tehdyssä mitoituksessa on käytetty kokonaisuudessaan Revitin työkalua. Revitissä tehdyssä laskennassa on myös käytetty apuna Siemensin antamia neliötehojen arvoja sekä samanaikaisuuskertoimia. Revit Electrical Analysis – LVI-kohdassa on otettu huomioon myös aiemmin mainitun savunpoiston vaatima sähköteho.

Vertailusta huomataan myös, että Velanderin kaavalla ja Revitin työkalulla saadut huipputehon mitoituksen tulokset ovat hyvin lähellä toisiaan. Oletettavasti tulokset ovat enemmänkin sattumalta lähellä toisiaan kuin, että Velanderin kaavalla saatu tulos olisi todellinen huipputehon mitoitusajankohdan teho. Voidaan myös olettaa, että Revitin tavalla arvioitu huipputeho on vertailuista mitoitusarvoista tarkin ja lähimpänä todellista rakennuksen huipputehoa. Liitteessä 1 on esitetty tarkemmin Revitillä tehdyn huipputehon arvioinnissa käytetyt muuttujat ja niiden tulokset.

5.2 Toimistorakennus

Toinen vertailussa käytetyistä rakennuksista on kerrosalaltaan 1637 neliömetrin kokoinen nelikerroksinen toimistorakennus. Talossa on kellarikerroksessa suuri monitoimitila sekä suuri löylyhuone. Ylimmässä kerroksessa on taas rakennuksen tekniset tilat sekä suuri oleskelutila. Keskimmäiset kerrokset ovat tyypillisiä toimistotiloja melko pienillä työhuoneilla ja muutamilla neuvotteluhuoneilla. Rakennuksen lämmitysmuoto on kaukolämpö. Tässä kohteessa ei ollut käytössä mitään laiteluetteloja, joten on oletettava, että kohteen ei tule mitään suurta sähkötehoa vaativia erikoislaitteita, kuten tehokkaita savunpoistopuhaltimia.

Tämänkin kohteen sähköinen huipputeho arvioitiin tässä työssä esitellyillä tavoilla. Tulokset on esitetty ohessa taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Toimistorakennuksen huipputehon laskennan tulokset.

Laskentamalli	P (kW)	I (A)	Liittymä (A)
Velanderin kaava	226	326	2X(3X200)
Lineaarinen laskentamalli	105	151	3X160
Siemensin malli, oletuskertoimet	42	63	3X80
Siemensin malli, max kertoimet	56	86	3X100
Siemensin malli, lasketut kertoimet	43	65	3X80
Revit Electrical Analysis	90	130	3X160

Jälleen huomataan, että tuloksissa on suuri vaihtelu, kuten myös toisessa esimerkkikohteessa. Eri mallien avulla saatuja tuloksia täytyy jälleen tarkastella tarkemmin, jotta ymmärretään mistä erot johtuvat.

Revitin Electrical Analysis -työkalun avulla tehdyssä mitoituksessa, on jälleen osittain hyödynnetty Siemensin mallin neliötehoja sekä samanaikaisuuskertoimia. Näiden lisäksi laskennassa on otettu huomioon 20 kilowattinen sähkökiuas sekä kolme ilmanvaihtokonetta, joiden yhteisteho on 30 kilowattia. Jos nämä tehot lisätään Siemensin malliin, niin niiden teho nousee lähelle Revitin antamaa huipputehoa. Tuloksista huomataan myös, että lineaarisella laskentamallilla saatu tulos on myös lähellä Revitin sekä Siemensin mallin antamaa tulosta, jos siinä otetaan huomioon kiukaan sekä ilmanvaihtokoneiden tehot.

Voidaan siis melko luotettavasti todeta, että lineaarisella laskentamallilla ja Revitin työkalulla saadut tulokset vastaavat melko hyvin huipputehon mitoitushetken tehoa. Velanderin kaava antaa taas reilusti suuremman huipputehon muihin laskentatapoihin verrattuna ja voidaan siis melko luotettavasti todeta, että tällä tavalla saatu tulos on ylimitoitettu.

6 POHDINTA

Rakennuksen huipputeho on se suurin sähköteho, jonka rakennus kuluttaa tietyllä ajan hetkellä rakennuksen elinkaaren aikana. Tämä ajanhetki voi sijoittua mihin tahansa hetkeen rakennuksen elinkaarelle. Tämä hetki voi esimerkiksi olla hyvin kylmä talvipäivä, jolloin lämmitystehoa tarvitaan paljon, tai esimerkiksi kuuma kesäpäivä, jolloin taas tarvitaan paljon jäähdytystehoa. Ajanhetki voi osua myös rakennuksen rakentamisvaiheeseen tai esimerkiksi poikkeustilanteeseen, jossa tarvitaan paljon sähkötehoa. Esimerkiksi tulipalotilanne voi olla tällainen.

Rakennuksen huipputehon määrittäminen on tärkeä vaihe sähkösuunnitteluprojektissa, sillä sen avulla määritetään rakennuksen liittymäteho, jolla rakennus liitetään sähköverkkoon. Huipputehon määrittäminen aina ollut sähkösuunnittelijoille haastavaa. Tätä määrittämistä varten on kehitetty erilaisia työkaluja, jolla suunnittelija voi tätä rakennuksen huipputehoa arvioida.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin tarkemmin nykyisin yleisesti käytössä olevia huipputehon mitoitus tapoja. Työssä tutkittiin myös Revit-suunnitteluohjelmiston Electrical Analysis -työkalua, jonka avulla huipputehon mitoitus saadaan tehtyä tietomallipohjaisena. Electrical Analysis -työkalu antaa sähkösuunnittelijalle runsaasti erilaisia työkaluja käsitellä ja tutkia suunniteltavan rakennuksen huipputehoa. Työkalun avulla on myös helppo visualisoida rakennuksen huipputehoon vaikuttavat suureet.

Työn yhteenvetona voidaan todeta, että rakennuksen huipputehoa mitoittaessa, on ensiarvoisen tärkeää, että mitoitusta tekevällä sähkösuunnittelijalla on kokonaisvaltainen käsitys rakennuksen huipputehoon ja sen mitoitus hetkeen vaikuttavista asioista. Tärkeää on myös ymmärtää eri mitoitus tapojen takana oleva teoria, jolloin suunnittelija osaa arvioida kriittisesti omia mitoitus tuloksia.

Työn tuloksena saatiin toimeksiantajayritykselle tehtyä selkeä prosessikaavio rakennuksen huipputehon mitoitukselle hyödyntäen Revit-suunnitteluohjelmistoa. Suunnitteluohjelmistoon luotiin myös valmiit pohjat huipputehon laskentaa var-

ten, joita voidaan sähkösuunnittelussa hyödyntää. Näiden avulla yrityksessä voidaan tulevaisuudessa pyrkiä yhtenäistämään rakennuksen huipputehonmitoitus ja tekemään mitoituksesta läpinäkyvämpää muille suunnittelijoille sekä asiakkaille.

Jatkotutkimusta vaatii Electrical Analysis -työkalun avulla mitoitettujen sähköliitymien mitoituksien arviointi. Tähän tarvitaan työkalulla suunniteltuja oikeita kohteita, joiden todellinen kuluttama teho mitattaisiin AMR-mittauksin. Näistä mitaustuloksista voitaisiin päätellä työkalulla tehtyjen mitoituksien oikeellisuus.

Myös itse Electrical Analysis -työkalussa on vielä paljon kehitettävää erityisesti Suomalaiseen sähkösuunnittelun näkökulmasta. Suomessa standardit ja olosuhteet eroavat huomattavasti Pohjois-Amerikan rakennusmarkkinoista, joille tämä Revitin työkalu on ensisijaisesti suunniteltu.

Lopuksi voidaan todeta, että tietomallipohjaisen suunnittelun lisääntyessä myös kysyntä entistä tarkemmille suunnitelmille lisääntyy jatkuvasti. Näihin sisältyy luonnollisesti myös entistä tarkemmat sähkösuunnitelmat, joihin myös huipputehon mitoitus olennaisesti kuuluu.

LÄHTEET

About Demand Factors. n.d. Autodesk. Verkkosivu. Viitattu 4.6.2024. <https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/?guid=GUID-554537D9-842A-46A0-9905-AD41C221EA10>

Corporate Info. n.d. Autodesk. Verkkosivu. Viitattu 2.6.2024. <https://www.autodesk.com/company/newsroom/corporate-info>

Eckert, T. 2019. Rakennusten sähköliittymien mitoitus. Sähkötekniikan koulutus-ohjelma. Lappeenrantaan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. Diplomityö. Viitattu 17.5.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019120545825>

Electrical Analysis. Autodesk. n.d. Verkkosivu. Viitattu 4.6.2024. <https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/?guid=GUID-06578640-D836-4A96-8349-FAE5829F0F68>

Electrical Analysis in Revit: Extend your electrical conceptual design (4 of 4). Luento. YouTube-video. Julkaisija Autodesk 15.7.2022. Viitattu 4.6.2024. <https://www.youtube.com/watch?v=DHVO327bQeg>

Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto Helsinki University Press.

Liittymisehdot LE 2019. 2019. Energiateollisuus ry. Viitattu 4.6.2024.

Massey, M. Creating an Electrical Analytical Model in Revit 2023. Luento. Video. Julkaisija Autodesk 2023. <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Creating-Electrical-Analytical-Model-Revit-2023-2022#video>

Mathworks. n.d. Normal Distribution - MATLAB & Simulink. Verkkosivu. Viitattu 15.4.2024. <https://se.mathworks.com/help/stats/normal-distribution.html>

Planning of Electric Power Distribution – Technical Principles. 2016. Erlangen, Saksa: Siemens.

Rakentamislaki 751/2023. Viitattu 4.6.2024 <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230751>

SA 1:87 Pienjänniteverkon mitoitusohjeet ja -energiat. Verkostosuositus. 1987. Helsinki: Sähköenergialiitto ry SENER, Adato Energia Oy.

SA 10:92 Verkon mitoitusenergiat. Verkostosuositus. 1992. Helsinki: Sähköenergialiitto ry SENER, Adato Energia Oy.

SFS 6000-5-52. 2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5–52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmä. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Viitattu 4.6.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi>

ST 13.31. Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. 2021. Sähköinfo Oy. Viitattu 4.6.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://severi.sahkoinfo.fi>

LIITTEET

Liite 1. Logistiikkakeskuksen huipputehon mitoituksen tulokset

Liite 2. Toimistorakennuksen huipputehon mitoituksen tulokset

<div><div>RAMBOLL</div><div>Itsehallintokuja 3 02601 Espoo Puhelin +358 20 755 611</div></div>	Project name Address 1, 00000 Town	Laat. Author			Suunnitteluala:		Rev
		Tark. Checker					Muutos
		Hyv. Approver					Julkaisu
		Työnumero:			Piirustusnumero		
		Project number			S10-0201		

Kerros	Tila	Syöttävä keskus	Tilan tyyppi	Pinta-ala	Neliöteho	Tehokerroin	Näennäisteh o	Jännite	Vaiheet	Virta
	TULOILMAPU HALLIN 1	RK11				0.95	3 kVA	400 V	3	5 A
	POISTOPUHA LLIN	RK11				0.95	4 kVA	400 V	3	6 A
	HUIPPUIMURI	RK11				0.95	1 kVA	400 V	3	1 A
	TULO-JA POISTOILMAP UHALLIN	RK21				0.95	2 kVA	400 V	3	3 A
	SAVUNPOIST OPUHALLIN 1	SL 1.1				0.95	27 kVA	400 V	3	39 A
	SAVUNPOIST OPUHALLIN 2	SL 1.1				0.95	27 kVA	400 V	3	39 A
	SAVUNPOIST OPUHALLIN 3	SL 1.2				0.95	27 kVA	400 V	3	39 A
	SAVUNPOIST OPUHALLIN 4	SL 1.2				0.95	27 kVA	400 V	3	39 A
	KL-PUMPPU	RK21IV				0.95	2 kVA	400 V	3	2 A
	PÄÄPUMPPU	RK21IV				0.95	2 kVA	400 V	3	2 A
	PUMPPU IV-KONE 1	RK21IV				0.95	0 kVA	400 V	3	0 A
	PUMPPU PATTERIPIIRI	RK21IV				0.95	0 kVA	400 V	3	0 A
	PUMPPU LATTIALÄMMI TYS	RK21IV				0.95	0 kVA	400 V	3	1 A
	KIERTOYESIP UMPPU	RK21IV				0.95	0 kVA	400 V	3	1 A
	SAATTOLÄM MITYS 1	RK21IV				0.95	2 kVA	400 V	3	3 A

<div><div>RAMBOLL</div><div>Itsehallintokuja 3 02601 Espoo Puhelin +358 20 755 611</div></div>		Project name Address 1, 00000 Town		Laat. Author Tark. Checker Hyv. Approver		Suunnitteluala: Piirustusnumero S10-0201		Rev Muutos Julkaisu		
				Työnumero: Project number						
Kerros	Tila	Syöttävä keskus	Tilan tyyppi	Pinta-ala	Neliöteho	Tehokerroin	Näennäisteh o	Jännite	Vaiheet	Virta
	SAATTOLÄM MITYS 2	RK21IV				0.95	2 kVA	400 V	3	3 A
	TYHJIÖKAAS UPOISTAJA	RK21IV				0.95	1 kVA	400 V	3	1 A
	TÄYTTÖASEM A	RK21IV				0.95	1 kVA	400 V	3	1 A
: 18				0.0 m²		128 kVA		185 A		
02 - MODEL - 1.krs	101 PORRASHUO NE	RK12	Porrashuone	19.0 m²	15.00 W/m²	0.95	0 kVA	400 V	3	0 A
02 - MODEL - 1.krs	114 TYÖNJOHTO	RK11VV	Bistro / jäätelöbaari	13.5 m²	250.00 W/m²	0.95	4 kVA	400 V	3	5 A
02 - MODEL - 1.krs	115 KUIVAUSTILA	RK12	Varasto	4.5 m²	15.00 W/m²	0.95	0 kVA	400 V	3	0 A
02 - MODEL - 1.krs	105 SIIVOUS	RK12	Varasto	4.0 m²	15.00 W/m²	0.95	0 kVA	400 V	3	0 A
02 - MODEL - 1.krs	103 PESUHUONE	RK12	WC	12.0 m²	15.00 W/m²	0.95	0 kVA	400 V	3	0 A
02 - MODEL - 1.krs	110, 113 WC	RK12	WC	9.0 m²	15.00 W/m²	0.95	0 kVA	400 V	3	0 A
02 - MODEL - 1.krs	102 PUKuhuone	RK12	Pukuhuone	61.0 m²	8.00 W/m²	0.95	1 kVA	400 V	3	1 A
02 - MODEL - 1.krs	104 SUIHKU	RK21	WC	1.5 m²	15.00 W/m²	0.95	0 kVA	400 V	3	0 A
02 - MODEL - 1.krs	106 SUIHKU	RK21	WC	1.5 m²	15.00 W/m²	0.95	0 kVA	400 V	3	0 A
02 - MODEL - 1.krs	107 WC	RK21	WC	2.0 m²	15.00 W/m²	0.95	0 kVA	400 V	3	0 A
02 - MODEL - 1.krs	108 WC	RK21	WC	2.0 m²	15.00 W/m²	0.95	0 kVA	400 V	3	0 A
02 - MODEL - 1.krs	109 WC	RK21	WC	2.0 m²	15.00 W/m²	0.95	0 kVA	400 V	3	0 A
02 - MODEL - 1.krs	111-112 WC	RK12	WC	3.5 m²	15.00 W/m²	0.95	0 kVA	400 V	3	0 A

Project name			Laat. Author				Suunnitteluala:		Rev	
Address 1, 00000 Town			Tark. Checker		Työnumero: Project number				Muutos	
			Hv. Approver						Julkaisu	
									31.01.2022	
Itsehallintokuja 3 02601 Espoo Puhelin +358 20 755 611							Piirustusnumero S10-0201			
Kerros	Tila	Syöttävä keskus	Tilan tyyppi	Pinta-ala	Neliöteho	Tehokerroin	Näennäisteho	Jännite	Vaiheet	Virta
03 2. krs	22 KÄYTÄVÄ	RK21	Käytävä / aula	103.0 m²	15.00 W/m²	0.95	1625 VA	400 V	3	2 A
03 2. krs	23 TOIMISTO	RK21	Toimisto	12.0 m²	40.00 W/m²	0.95	499 VA	400 V	3	1 A
03 2. krs	24 TOIMISTO	RK21	Toimisto	12.0 m²	40.00 W/m²	0.95	495 VA	400 V	3	1 A
03 2. krs	25 NEUVOTTELU HUONE	RK21	Toimisto	24.0 m²	40.00 W/m²	0.95	1008 VA	400 V	3	1 A
03 2. krs	26 KOKOUSTILA	RK21	Toimisto	35.0 m²	40.00 W/m²	0.95	1475 VA	400 V	3	2 A
03 2. krs	27 TOIMISTO	RK21	Toimisto	12.0 m²	40.00 W/m²	0.95	505 VA	400 V	3	1 A
03 2. krs	28 TOIMISTO	RK21	Toimisto	12.0 m²	40.00 W/m²	0.95	495 VA	400 V	3	1 A
03 2. krs	29 TOIMISTO	RK21	Toimisto	12.0 m²	40.00 W/m²	0.95	499 VA	400 V	3	1 A
03 2. krs	30 KUILU	RK21	Tekninen tila	4.0 m²	15.00 W/m²	0.95	60 VA	400 V	3	0 A
03 2. krs	31 TOIMISTO	RK21	Toimisto	12.0 m²	40.00 W/m²	0.95	509 VA	400 V	3	1 A
03 2. krs	32 TOIMISTO	RK21	Toimisto	12.0 m²	40.00 W/m²	0.95	510 VA	400 V	3	1 A
03 2. krs	33 TOIMISTO	RK21	Toimisto	12.0 m²	40.00 W/m²	0.95	510 VA	400 V	3	1 A
03 2. krs	36 TOIMISTO	RK21	Tekninen tila	11.5 m²	15.00 W/m²	0.95	181 VA	400 V	3	0 A
03 2. krs	34 KOKOUSTILA	RK21	Toimisto	30.5 m²	40.00 W/m²	0.95	1275 VA	400 V	3	2 A
03 2. krs	35 TOIMISTO	RK21	Toimisto	13.0 m²	40.00 W/m²	0.95	541 VA	400 V	3	1 A
03 2. krs	37 TOIMISTO	RK21	Toimisto	12.5 m²	40.00 W/m²	0.95	537 VA	400 V	3	1 A
03 2. krs: 17				414.0 m²			12070 VA			17 A
04 3. krs	41 OLESKELUTIL A	RK31	Olohuone	314.0 m²	15.00 W/m²	0.95	4957 VA	400 V	3	7 A
04 3. krs	42 KUILU	RK31	Tekninen tila	3.5 m²	15.00 W/m²	0.95	58 VA	400 V	3	0 A
04 3. krs	43 IV-KONEHUO NE	RK IV	Tekninen tila	56.5 m²	15.00 W/m²	0.95	894 VA	400 V	3	1 A
04 3. krs	44 TEKINEN TILA	RK IV	Tekninen tila	11.5 m²	15.00 W/m²	0.95	181 VA	400 V	3	0 A
04 3. krs	45 WC	RK31	WC	19.0 m²	15.00 W/m²	0.95	303 VA	400 V	3	0 A
04 3. krs	46 WC	RK31	WC	17.5 m²	15.00 W/m²	0.95	276 VA	400 V	3	0 A

<div><div>RAMBOLL</div><div>Itsehallintokuja 3 02601 Espoo Puhelin +358 20 755 611</div></div>	Project name Address 1, 00000 Town		Laat.		Author		Suunnitteluala: Piirustusnumero S10-0201		Rev	
			Tark.		Checker					
			Hyv.		Approver					
			Työnumero:							
			Project number							
Kerros	Tila	Syöttävä keskus	Tilan tyyppi	Pinta-ala	Neliöteho	Tehokerroin	Näennäisteho	Jännite	Vaiheet	Virta
04 3. krs: 6				422.5 m²			6669 VA			10 A
Grand total: 37				1636.5 m²			90175 VA			130 A