



Kuormanohjauksen toteutuksen sisällyttäminen ammatilliseen opetukseen

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikka diplomityö

2024

Ilari Pikkupirtti

Tarkastajat: Professori Samuli Honkapuro

Tutkijatohtori Jouni Haapaniemi

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmien tiedekunta

Sähkötekniikka

Ilari Pikkupirtti

Kuormanohjauksen toteutuksen sisällyttäminen ammatilliseen opetukseen

Sähkötekniikka diplomityö

2023

50 sivua, 12 kuvaa, 1 taulukkoa ja 1 liitettä

Tarkastaja(t): Professori Samuli Honkapuro ja Tutkijatohtori Jouni Haapaniemi

Avainsanat: Kuormanohjaus, ammatillinen koulutus, sähköasentajan perustutkinto

Tämä diplomityö keskittyy sähköverkon kuormanohjauksien tarkasteluun. Kuormanohjauksia on Suomessa perinteisesti toteutettu sähkölaitosyhdistyksen kytkentäsuosituksen mukaisesti. Vaikka tämä perinne on ajan saatossa tullut harvinaiseksi erityisesti uusissa pientaloissa, sähkölaitosyhdistyksen lämmitysten kytkentäsuositus tarjoaa edelleen käytännöllisen ja tehokkaan keinon vastata nykyisen sähköverkon tarpeisiin.

Suomalainen sähköverkko on kokenut merkittäviä muutoksia viime vuosina, erityisesti sähkömarkkinoiden muuttuessa. Nämä muutokset ovat lisänneet tarvetta kulutuksen ja tuotannon säätelylle sähköverkossa. Nämä muutokset tarjoavat mahdollisuuden kuluttajille osallistua sähkökulutuksen hallintaan, mikä voi tuoda taloudellista hyötyä pientalossa asuvalle kuluttajalle. Samalla sähköverkko hyötyy kulutuksen ja tuotannon tasapainottuessa.

Työssä tarkastellaan nykyisiä ja aikaisempia käytäntöjä kuormanohjauksien toteutuksessa. Lisäksi selvitetään, miten kuormanohjauksen opetus saadaan integroitua ammatilliseen koulutukseen, jotta tulevat sähköalan ammattilaiset saavat tarvittavat tiedot ja taidot kuormanohjauksen hyödyntämiseen.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

Your school: School of Energy Systems

Your degree programme: Electrical Engineering

Ilari Pikkupirtti

The implementation of the load control installation practices in vocational education

Master's thesis

2024

50 pages, 12 figures, 1 tables and 1 appendices

Examiners: Professor Samuli Honkapuro and Postdoctoral researcher Jouni Haapaniemi

Keywords: Vocational education, Demand response, Basic electrician education

This thesis focuses on studying the demand response in electrical grid. In Finland there has been a history with load control installations, which have been in use a long time. But in time this connection method has become old and rare. Especially in new houses, you do not see the connection as often as with the older ones. However, the old SLY-connection recommendation still offers a practical and efficient way to meet the needs of the current electrical grid.

The Finnish electrical grid has undergone significant changes in recent years, particularly as the electricity markets have evolved. These changes have increased the need for regulation of consumption and production in the electrical grid. This provides an opportunity for consumers to participate more in the electricity markets. This can be beneficial for consumers living in detached houses. At the same time the electrical grid benefits because the balance of consumption and production becomes easier to manage.

The thesis examines the current and former load control situation in the electrical grid and the implementation of demand response. Thesis aims to find ways to integrate the teaching of demand response into vocational education. So that the future electrician will still know the good old habits and can operate in old house connections safely.

KIITOKSET/ ACKNOWLEDGEMENTS

Haluan kiittää omaa diplomityö ohjaaja Samuli Honkapuroa, tämän työnohjaamisesta. Työ on edennyt todella joustavasti ja mutkattomasti. Samuli on omalla ammattitaidollaan saanut puristettua tästä työstä niin hyvän kokonaisuuden, kuin mahdollista. Antamalla rakentavaa ja työtä edistävää palautetta. Lisäksi haluan kiittää omaa lähipiiriä, joka on yrittänyt tukea ja auttaa minua tämän työn edistämisessä.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

aFRR	Automaattinen taajuudenhallintareservi
AMR	Automaattinen mittarin luenta
FCR	Taajusohjattu häiriöreservi
KNX	Konnex
NC	Normaali tilassa kiinni oleva kosketin
NO	Normaali tilassa auki oleva kosketin
OSP	Osaamispiste
SLY	Sähkölaitosyhdistys

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

Symboli- ja lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	14
2	Suomen sähköenergiajärjestelmän nykytila	15
2.1	Energian tuotanto ja kulutus, sekä niiden vaihtelu.....	17
3	Sähkömarkkinat.....	19
3.1.1	Vuorokausimarkkina.....	19
3.1.2	Reservimarkkinat	21
4	Kysynnänjousto	23
4.1	Osallistumisen vaatimukset.....	24
4.2	Kysynnänjousto asiakkaan näkökulmasta.....	25
5	Kuormanohjauksen nykytila.....	27
5.1	Miten kuormanohjaus on toteutettavissa nykykuormille	28
5.2	Miten kuormanohjaus on toteutettu ennen.....	29
6	Ammatillinen opetus	30
6.1	Tutkinnon osa johon kuormanohjauksen opettaminen soveltuu.....	34
6.2	Merkitys koulutukselle.....	34
6.3	Nykytilanne kuormanohjauksen opetuksessa.	35
7	Kuormanohjauksen integroiminen opetukseen	37
7.1	Kuormanohjauksen erilaiset kytkennät.....	38
7.2	Mitä kytkentöjä opetetaan	39
7.3	Millä tavalla kytkennät opetetaan	41
8	Johtopäätökset	44
	Lähteet	45

Liitteet

Liite 1. Esimerkki opetukseen käytettävästä harjoitustyöstä.

1 Johdanto

Suomalaisen sähköverkon käytön kannalta on tärkeää, että sähköenergian tuotanto ja kulutus pysyvät mahdollisimman hyvin tasapainossa. Sähköverkkoa hallinnoi kantaverkkoyhtiö Fingrid. Fingrid huolehtii siitä, että sähköverkossa säilyy kulutuksen ja tuotannon tasapaino koko ajan, sekä varmistaa sähkön siirron luotettavuuden. Sähköverkon taajuus saa vaihdella 49,9 Hz:n – 50,1 Hz:n välillä. Tähän vaikuttaa merkittävästi sähköverkossa oleva sähkön-tuotanto ja kulutus. Ylituotantotilanteessa taajuus alkaa nousta liian korkeaksi, taas kulutuksen alkaessa ylittäessä tuotannon kapasiteetin taajuus laskee.

Tuotannon ja kulutuksen tasapaino on järjestelmän keskeisin reunaehto. Yöaika on energi-antuotannolle haastavaa, koska ihmiset eivät luonnollisesti nukkuessaan kuluta sähköä, tästä huolimatta huippukuormitus tilanne on järjestelmän kannalta haastavampi. Sähköverkko on kuitenkin mitoitettu niin, että se kestää päivän suurimmat tehon kulutushuiput. Nykyisin te-hon tuotannossa isona haasteena on kulutuksen säätely, koska isoja voimalaitoksia on han-kala sammuttaa yöksi pois päältä ja käynnistää aamulla, sillä tehoa tuotetaan yleensä isoilla generaattoreilla tai voimalaitoksilla, joiden ylös- ja alasajo voi kestää jopa vuorokauden. Jatkossa uusiutuvan energian tuotanto aiheuttaa omia haasteitaan vaihtuvien sääolosuhteiden vuoksi tuulivoiman ja aurinkovoiman osalta.

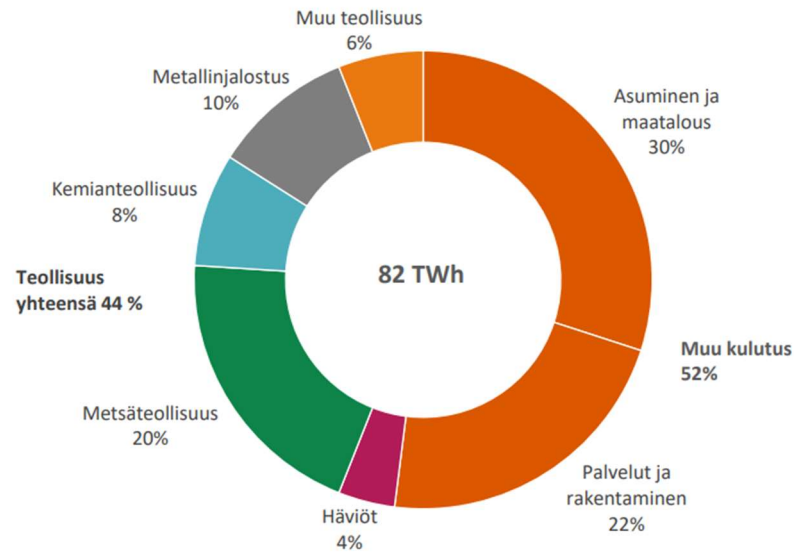
Kuormanohjauksella pyritään saamaan sähköverkon kuormia tuotannon kanssa samaan ta-sapainoon. Pitkällä tähtäimellä kuormanohjauksella on kuluttajalle taloudellista hyötyä suo-raan sekä kansantaloudellisesti. Kuormanohjauksien avulla sähköverkkoa voidaan käyttää tehokkaammin, koska verkkoon saadaan lisää säätöä kulutuksen ja tuotannon välille.

Työn tarkoituksena on toimia jokaiselle sähköalan ammatilliselle opettajalle käsikirjana kuormanohjauksen opettamisessa, tarjota kuormanohjauksen opetukselle riittävä teoreetti-nen perusta, sekä antaa avaimia käytännön toteutukseen.

2 Suomen sähköenergiajärjestelmän nykytila

Tilastokeskuksen (2023) tietojen mukaan Suomessa käytettiin vuonna 2022 yhteensä 81 TWh sähköä. Oma tuotanto tästä oli 69 TWh, loput 12 TWh oli tuontisähköä, josta suurin osa tuodaan Ruotsista, sekä muista pohjoismaista. (Tilastokeskus, 2023.) Suomi on siis hyvin lähellä sähköenergian tuotannon omavaraisuutta vuosienergian tasolla. Oman ja tuontisähkön suhdanne kuitenkin vaihtelee tunneittain. Eurooppalaisten yhteisten sähkömarkkinoiden toiminta perustuu siihen, että energiaa kulutetaan aina sieltä mistä sitä on halvinta tuottaa. Käytännössä, jos Suomessa on kalliimpaa tuotantoa tarjolla kuin muualla yhteisverkon alueella, tuodaan Suomeen halvemmin tuotettua sähköä siirtoverkkojen kapasiteettien rajoissa.

Tilastokeskuksen mukaan vuonna 2022 sähköntuotanto Suomessa jakautui vesivoiman 18 TWh, tuulivoiman 11 TWh, aurinkovoiman 0,38 TWh ja ydinvoiman 24 TWh kesken. (Tilastokeskus, 2023) Suomessa siis tuotetaan eniten ydinvoimaa ja vesivoimaa, ja kolmanneksi eniten sähköä tuotetaan tuulivoimalla. Ydinvoimaa käytetään yleensä perusvoimana tasaisella teholla. Vesivoimalaitoksia voidaan helposti säätää sekä pysäyttää. Tästä syystä vesivoimasta tuotantolähteenä puhutaan usein ns. säätövoimana, jolla voidaan tasata kulutus-huippuja. Säätövoimalla on sähköverkon kannalta merkittävä rooli, sillä kulutuksen lähtiessä ennakoimattomasti nousuun voidaan säätövoimalla sen kapasiteetin rajoissa nostaa tuotantoa. Mitä paremmin kuormanohjaus on toteutettu ja kulutusta tasattu, sen pienempi on säätövoiman tarve.

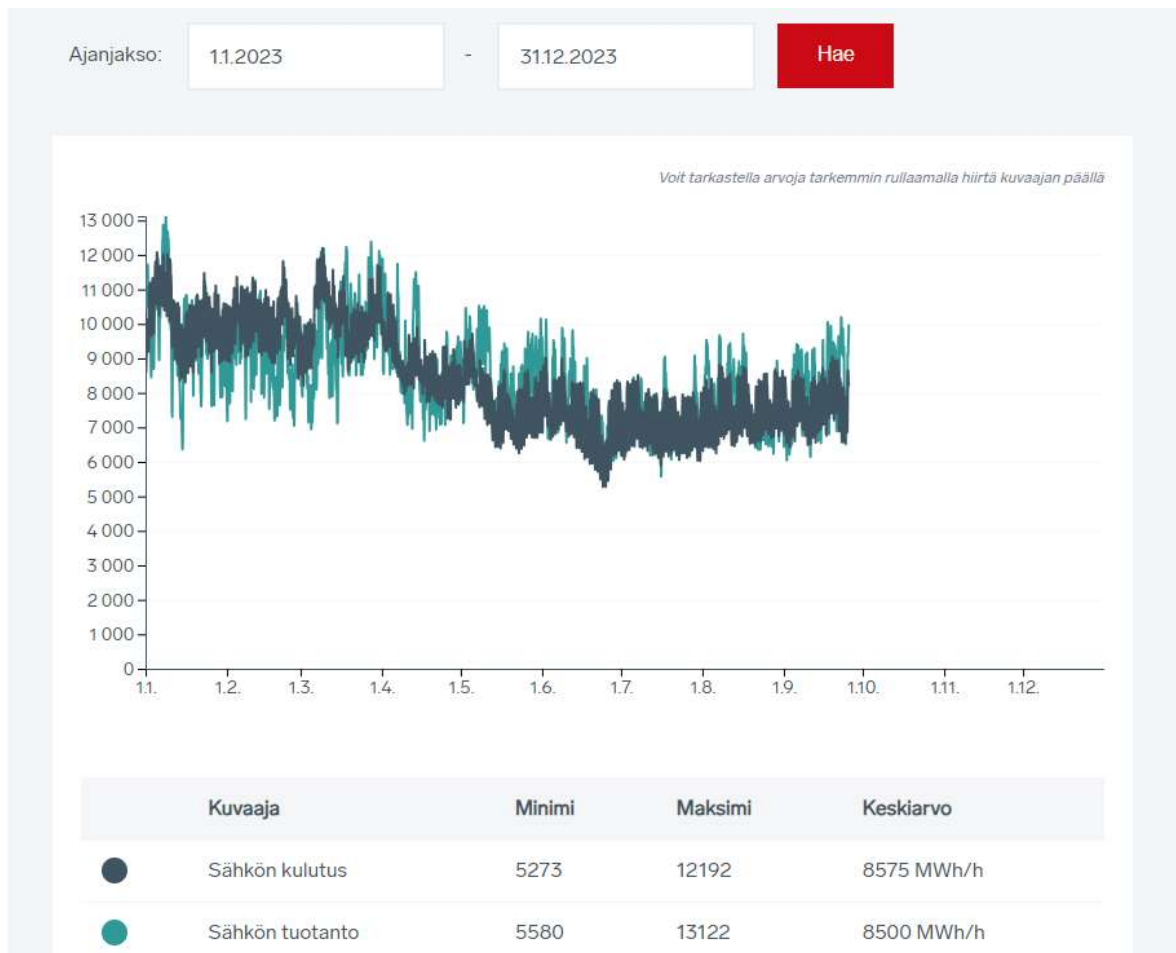


Kuva 1 Sähkön kokonaiskäyttö (Energiateollisuus 2023)

Tilastokeskuksen mukaan vuoden 2022 kokonaiskulutus. Tilastosta nähdään, että kiinteistöjen lämmitys on toiseksi eniten sähköenergiaa Suomessa vievä kulutuskohte. Tämän vuoksi kuormanohjauksen toteuttamiselle on nähtävissä paljon potentiaalia energiajärjestelmässä. Rakennusten sähkölämmitys on näistä kulutusaloista ainoa, johon kuormanohjausta voidaan toteuttaa tehokkaasti tällä hetkellä. Teollisuudessa kuormanohjauksen tekeminen riippuu hyvin paljon teollisuuslaitoksen tuotannosta. Jos tuotannossa on mahdollista ottaa kuormanohjaus huomioon, on kannattavaa valmistaa tuotetta edullisemmän sähkön aikana.

2.1 Energian tuotanto ja kulutus, sekä niiden vaihtelu.

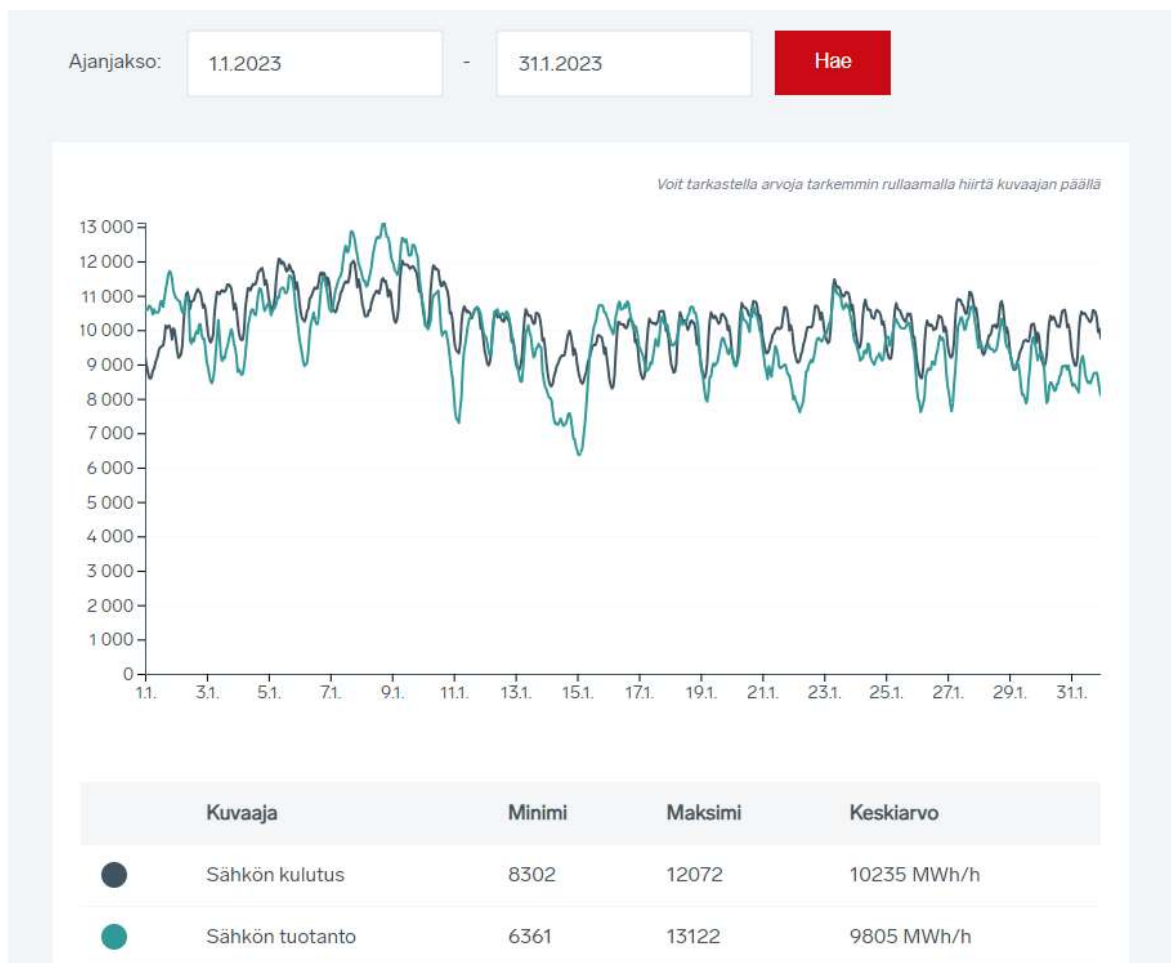
Kuten jo aiemmin on todettu sähköntuotanto ja kulutus pitää saada seuraamaan toisiaan.



Kuva 2 (Sähköntuotanto ja kulutus 2023. Fingrid 2023)

Kuvassa 2 näkyy sähkön tuotanto ja kulutus 1.1.2023 – 1.10.2023. Kuvaajasta näkee, kuinka paljon sähkönkulutus putoaa lämpimien kuukausien aikana.

Kun kuvaajaa tarkennetaan ja tarkastellaan yhden kuukauden aikaväliä, nähdään että sähkönkulutus kasvaa aikavälillä 05:00 – 18:00, pienin poikkeuksin. Tämän tarkasteluvälin huippujen ero on noin 2000 MWh/h. Suurimmat vaihteluvälit tapahtuvat yleensä yöaikaan, noin klo 00:00 – 4:00 olevalla aikavälillä. Noin kello 15:00 – 18:00 on sähkön tuotannon huiput, tuotannon huipun erotus kulutukseen on suurimmillaan noin 2000 MWh/h, pääsääntöisesti noin 1000 MWh/h luokkaa. Kuormanohjauksella pyritäänkin vastaamaan vaihtelevan tuotannon kuten esimerkiksi tuulivoiman vaihteluun. (Fingrid. 2023)



Kuva 3 (Sähköntuotanto ja kulutus 2023. Fingrid 2023)

Haasteita energiantuotannon ja kuormanohjauksen välillä tulee olemaan aina, koska sähköntuotannossa pitää ottaa huomioon kulutusennuste ja säätila. Säätila vaikuttaa merkittävästi tuulivoiman tuotantoon. Tuotannon ja kulutuksen yhteensovittaminen perustuu myös paljon ennusteen toteutumiseen, mutta kuormanohjauksella saadaan korjattua tuotannon ja kulutuksen suhdetta, jos ennuste ei toteudu. Kuvassa 3 on esitetty sähkön tuotanto ja kulutus 1.1.2023 – 31.1.2023 aikavälillä.

Nykyisin käynnissä olevan energiamurroksen vuoksi tehoreservejä on tarjolla niukasti. Tämä reservien puute aiheuttaa sen, että sähköjärjestelmässä voi pahimmillaan vaihdella taajuus niin paljon, että se aiheuttaa epävakautta järjestelmässä. Yksittäistä teknologiaa ei voida nimetä, jolla tämä voitaisiin ratkaista, vaan siihen tarvitaan kaikkien säätökykyisten kohteiden osallistumista. Tämä tarkoittaa myös sitä, että kiinteistöjen kuormahuippujen säädöllä on kasvava merkitys sähköjärjestelmän kannalta (Tiirikka. 2023)

3 Sähkömarkkinat

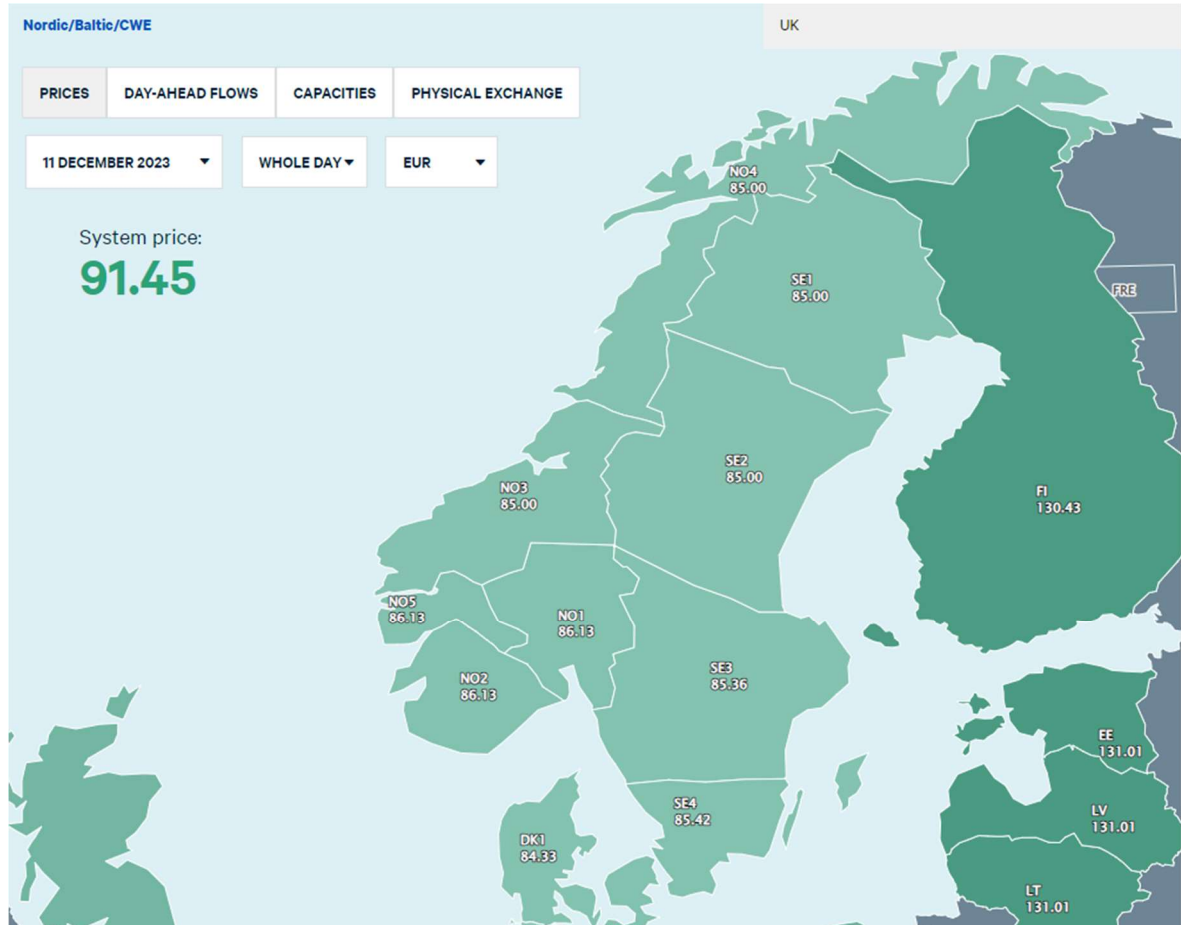
Toimivilla sähkömarkkinoilla toteutetaan kustannustehokkaasti sähkön kysynnän ja tarjonnan tasapainotusta ja varmistetaan yhteiskunnan sähkönsaanti. Markkinoilla muodostuva hinta ohjaa tehokkaasti niin lyhyellä, kuin pitkälläkin aikavälillä sähkön markkinatoimijoiden päätöksiä. Lyhyellä aikavälillä toimivilla sähkömarkkinoilla saadaan ohjattua kulutus- päätöksiä, pitkällä aikavälillä taas investointeja. (Fingrid. 2023c)

Suomessa sähkömarkkinat on avattu kilpailulle asteittain vuonna 1995, samana vuonna voimaan tulleella sähkömarkkinalailla. Vuoden 1998 syksystä lähtien kaikki sähkön käyttäjät ovat voineet kilpailuttaa oman sähkön hankintansa. Suomessa sähkömarkkinoilla on noin 75 vähittäismyymyjä. Sähkömarkkinat antavat mahdollisuuden sähkökäyttäjien omalle pienimuotoiselle tuotannolle ja sen myynnille takaisin sähkömarkkinoille. Suomi on osa pohjoismaisia tukkusähkömarkkinoita, joihin kuuluvat Pohjoismaiden lisäksi Baltian maat. Tukkusähkökaupasta käydään noin 70 % Oslossa sijaitsevan sähköpörssin kautta. Kilpailun lisäämisellä ja pohjoismaisilla markkinoilla on saatu lisättyä tehokkuutta ja ympäristöystävällisyyttä, kun pohjoismainen vesivoimakapasiteetti on saatu tehokkaaseen käyttöön. Euroopan unionilla on tavoitteena luoda eurooppalaiset sähkön sisämarkkinat. (Työ- ja elinkeinoministeriö. 2023)

3.1.1 Vuorokausimarkkina

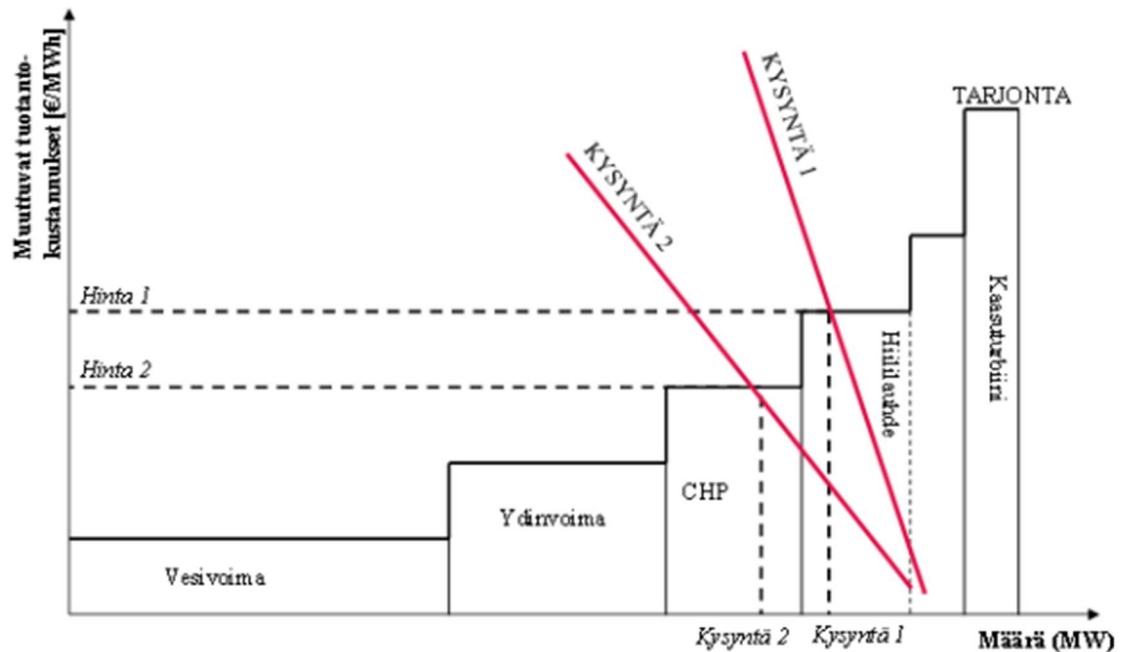
Seuraavan vuorokauden jokaiselle tunnille myydään sähkö edellisenä päivänä. Tämä kaupankäynti tapahtuu vuorokausimarkkinoilla. Markkinatoimijat arvioivat seuraavan päivän tilannetta ja sen jälkeen he asettavat omat tarjouksensa tuotannosta ja kulutuksesta kello yhteen mennessä Suomen aikaa, sen jälkeen sähköpörssit toteuttavat huutokaupan. Annettujen tarjousten ja siirtokapasiteetin perusteella sähköpörssit laskevat sähkön hinnan jokaiselle tunnille. Mikäli tarjousalueiden välillä on riittävästi siirtokapasiteettia, huutokauppa toteutetaan siten, että kaikilla alueilla on sama hinta. Mikäli alueiden välillä ei ole riittävästi siirtokapasiteettia, syntyy pullonkaula, ja tarjousalueiden hinnat eroavat suhteessa syntyneen

pullonkaulan suuruuteen. Nord Pool on yksi sähkön vuorokausimarkkinoita ylläpitävä toimija (Fingrid. 2023c)



Kuva 4 Sähkön vuorokausimarkkinat 11.12.2023 (Nord Pool, 2023)

Sähkön hintaan vaikuttaa sen kulloinenkin kulutus ja tuotanto. Kun sähkön kulutus on vähäistä, voidaan lähes kaikki tarvittava sähkö tuottaa käyttökustannuksiltaan edullisissa perusvoimalaitoksissa, jolloin sähkön markkinahintakin pysyy matalana. Sähkön kulutuksen ollessa korkea on tilanne päinvastainen ja tuotantoon tarvitaan käyttökustannuksiltaan kalliimpia tuotantolaitoksia. Korkean kulutuksen aikana voi sähkön hinta nousta, esimerkiksi huoltotöiden tai tyynen sään vuoksi. Tällaisessa tilanteessa sähkön hintaan vaikuttaa kuluttajien toteuttama kysynnänjousto. Marginaalikustannusten mukainen hinnoittelu ohjaa tuotamaan edullisinta saatavilla olevaa sähköä, mikä kannustaa tekniseen kehitykseen. Kuvassa 4 näkyy pörssisähkön hinta aluettain. Kuvasta pystyy havainnoimaan, millä tavalla sähkön hinta vaihtuu aluettain, johtuen siirtoyhteyksistä ja tuotannosta. (Fingrid. 2023d)

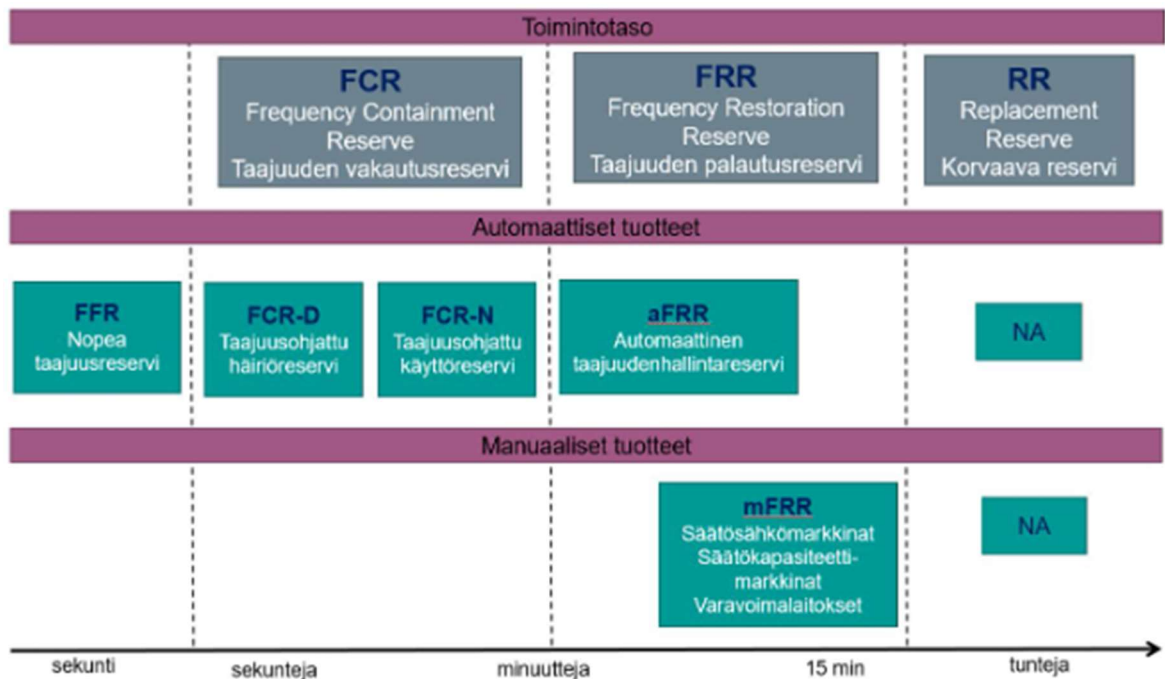


Kuva 5 Sähköenergian tukkumarkkinahinnan muodostuminen. (Järventausta et al. 2015)

Kuva 5 havainnollistaa, miten sähköenergian hinta muuttuu, kun sähköenergiaa kysytään tehollisesti enemmän, samalla kun tuotannon muuttuvat kustannukset kasvavat. Mitä vähemmän energiaa tarvitaan, sitä halvempi kustanteista sähköenergiaa voidaan käyttää.

3.1.2 Reservimarkkinat

Fingrid ylläpitää Suomessa kolmea eri reservilajia käyttötarkoituksen perusteella jaettuna: taajuuden vakautusreservi, taajuuden palautusreservi ja korvaava reservi. Taajuuden vakautusreservin käyttötarkoitus on toimia jatkuvana taajuuden hallintana. Taajuuden palautusreserviä käytetään palauttamaan taajuus normaalialueelle. Korvaavien reservien tarkoitus on pitää yllä valmiutta häiriötilanteiden jälkeisiin mahdollisiin uusiin vikatilanteisiin. Taajuusohjattuihin reservimarkkinoihin osallistuminen vaatii erillistä Fingridin kanssa tehtävää sopimusta. Taajuusohjattuja käyttöreservejä ylläpidetään joka hetki yhteensä 600 MW, taajuusohjattua häiriöreserviä ylläpidetään niin paljon, että yksittäisen vian vuoksi tullut taajuuspoikkeama on korkeintaan 0,5 Hz. (Järventausta et al. 2015, Fingrid. 2023e)



Kuva 6 Fingridin eri reservilajit. (Fingrid, 2023e)

Nopeaa taajuusreserviä hankitaan noin 300 MW verkon pienien inertiatilanteiden hallintaan. Automaattista taajuudenhallintareserviä hankitaan noin 300–400 MW ennaltasovituille aamu-, ilt- ja yötuille (Fingrid, 2023e)

Taajuudenhallinnassa merkittävimpinä reserveinä toimivat taajuuden vakautusreservi (FCR) ja taajuuden palautusreservi (mFRR). Taajuuden vakautusreservi säätyy itsenäisesti taajuuden muuttuessa. Taajuuden laskiessa äkillisesti jostain syystä otetaan taajuuden palautusreservi käyttöön, jos tämäkään ei riitä, otetaan lisäksi käyttöön nopea taajuuden palautusreservi. Näin ollen taajuuden palautusreservi vapautetaan käyttöön myöhempää käyttöä varten. Taajuuden vakautusreservin tulee olla käytettävissä sekunneissa. Taajuuden palautusreservin (mFRR) reservin, johon kuluttajat voivat osallistua aggregoituna, on oltava kytkettävissä tarvittaessa 15 minuutissa. Tätä markkinaa kutsutaan säätösähkömarkkinaksi. Markkinat ovat Fingridin ylläpitämät ja tarjoukset aktivoidaan hintajärjestyksessä, kuitenkin tekniset ehdot huomioiden. Minimitarjouskoko on 1 MW, ylös- ja alaspäin säätötarjoukset on jätettävä erikseen. Tarjouksia voi jättää ja päivittää 45 minuuttia ennen käyttötuntia. Säätösähkömarkkinoilla aktivointi tapahtuu manuaalisesti 15 minuutissa. FCR markkinoilla aktivointi tapahtuu automaattisesti taajuuden muuttuessa yli/alle raja-arvon. Kuvassa 6 on esitelty Fingridin eri reservilajit ja niiden vaaditut kytkentäajat. (Fingrid, 2023f, Fingrid, 2023e)

4 Kysynnänjousto

Sähköjärjestelmän taajuuden on pysyttävä koko ajan sille annettujen rajojen sisällä. Jotta tässä onnistutaan, sähköjärjestelmän tuotannon ja kulutuksen on pysyttävä tasapainossa. Perinteisesti energiajärjestelmässä tehotasapainon hallinta on toteutettu tuotannon säädöllä, kuten esimerkiksi vesivoimalla ja lauhdelaitoksilla, jotka kykenevät tähän. Sääriippuvaisen uusiutuvan tuotannon lisääntyessä, tarvitaan entistä enemmän tehotasapainon hallintaan osallistuvaa säätökapasiteettia. Tästä syystä osan sähkönkulutuksesta tulisi seurata tuotantoa ja olla ohjattavissa tehontuotannon mukaan. Tätä tarkoitetaan kysynnänjoustolla. Lisäämällä kysynnänjoustoa sähköjärjestelmään saataisiin siten lisättyä energiajärjestelmän luotettavuutta, sekä edistettyä päästöttömän ja uusiutuvan tuotannon markkinoille saamista. Joustava ja ohjattavissa oleva kuormitus muodostaa merkittävän potentiaalin myös koko voimajärjestelmän erilaisille reserveille. Kysynnänjouston lisääminen onkin älykkään sähköverkon keskeinen tavoite. (Järventausta et al. 2015)

Ilmastonmuutoksen hillitseminen on tärkeä tavoite, jossa kysynnänjousto voi olla edistävä tekijä. Erilaisten ratkaisujen vaikutuksia sähköverkon kulutushuippuihin on selvitetty hyvin vähän, koska energiakulutuksen laskenta tapahtuu sähkön osalta vuositasolla. Energiatehokkuutta arvioitaessa tulisikin kiinnittää aiempaa enemmän huomiota myös hetkellisiin tehohuippuihin ja käyttöprofiileihin. EU-tasolla on hyväksytty energiatehokkuusdirektiivi 2021/0203(COD), joka lisää sähköyhtiöille uusia velvoitteita. Kysynnänjouston ja huoltovarmuuden edistäminen kytkeytyvät näissä yhteen. Kysynnänjoustoon hyödynnettävää tekniikkaa voidaan hyödyntää myös huoltovarmuuden parantamisessa, esimerkiksi tehopulatlanteissa. (Järventausta et al. 2015)

Loppukuluttajille on nykyisin tarjolla erilaisia sopimusvaihtoehtoja, jotka mahdollistavat kulutusjoustoon osallistumista ja kustannussäästöjä kulutuksen ajoituksesta. Tuntihinnoiteltu pörssisähkö on tästä esimerkki. Osallistuminen kysynnänjoustoon voi edellyttää investointeja sähkösopimuksen muutoksen lisäksi. Pitkällä aikavälillä se voi olla kustannustehokasta niin kuluttajalle kuin yhteiskunnallekin. Kun kulutus saadaan ajoitettua niihin hetkiin, jolloin sähköä on paljon tarjolla, pysyy sähkön hinta kohtuullisempana. (Fingrid. 2023b)

Kysynnänjoustossa uutta on niin sanottu aggregaattori, joka tarkoittaa yritystä, jonka tehtävänä on yhdistää pieniä kulutus- ja tuotantokohteita suuremmaksi kokonaisuudeksi. Tämä muodostunut suurempi kokonaisuus voi osallistua eri sähkömarkkinapaikoille kysynnänjoustoon. Kuluttajan omaa pientuotantoa voidaan rinnastaa kysynnänjoustoon, mikäli sillä on mahdollisuus reagoida markkinatilanteeseen, kuten korkeaan sähkön hintaan ja sen avulla voidaan pienentää kohteen sähkön ottoa verkosta. (Fingrid. 2023b)

4.1 Osallistumisen vaatimukset

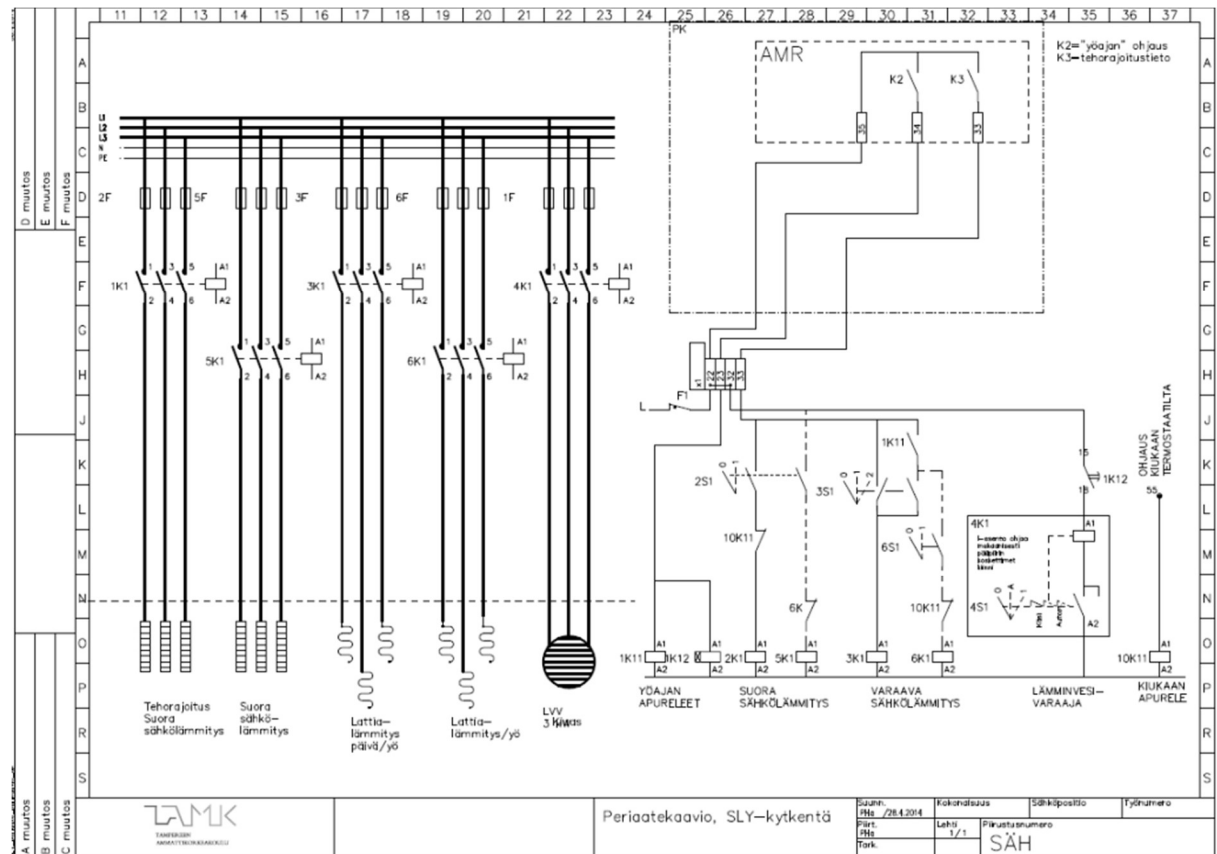
Kysynnänjoustoon osallistuminen vaatii että sähkökeskuksessa on riittävät komponentit ja kytkennät. Yleisimmin kysynnänjoustoon tarvittavana tärkeimpänä infrastruktuurina on AMR-mittarin kautta tapahtuvaa ohjausta, erillisellä järjestelmällä tapahtuvaa ohjausta tai sitten kuluttajan itse tekemillä manuaalisilla kuormanohjauksilla. Ohjaustapa yksistään ei ole niinkään olennainen tieto, vaan se, miten eri laitteet ja laiteryhmittä saadaan ohjattua, samalla säilyttäen käyttäjien turvallisuuden ja maksimoiden käyttäjän samaa hyötyä. Kysynnänjoustoon vaatimukset sähköisten komponenttien, ryhmien ja kytkentöjen osalta on syytä tehdä jo rakennusvaiheessa. Muuten nämä muutokset voivat olla hankalia ja kalliita toteuttaa. (Järventausta et al. 2015)

Suomessa AMR-mittareiden osalta on todella hyvä tilanne, sillä lähes kaikilla asiakkailla on etäluettavat mittarit. Etäluettavat mittarit antavat mahdollisuuden todellisen tuntikulutukseen perustuvaan sähkön hinnoitteluun. Tuntihinnoittelu antaa välillisen tuen kysynnän joustolle. AMR-mittari on siis hyvin keskeisessä roolissa kysynnän joustoon osallistumiselle, koska todelliseen kulutukseen perustuvalla hinnoittelulla ja tuntitason taseselvityksellä mahdollistetaan asiakkaan osallistuminen kysynnän joustoon tuntipohjaisille markkinoille. (Järventausta et al. 2015)

AMR-mittareiden reletiedot kytketään ohjaamaan sähkölämmitteisen kiinteistön lämmityksen kontaktoreita. Yleensä tämän ohjauksen väliin laitetaan jonkinlainen valintakytkin, jolla kuluttaja saa päättää, mitä ohjaustapaa hän käyttää: suoraa, yö vai tariffi. Tämän jälkeen, kun AMR-mittarin reletieto kytkee sähkölämmityksen kuormia päälle, on näiden kuormien välille rakennettu kontaktorien avautuvien koskettimien avulla ehtoja yhtäaikaaisuudelle,

jotta kaikki isot lämmityksen kuormat eivät olisi yhtä aikaa päällä. Tämä suojelee sulakkeita ja antaa mahdollisuuden kiinteistössä pienemmille pääsulakkeille.

Kuvassa 8 on esiteltyä SLY-kytkennän piirikaavio, josta näkyy, millä tavalla kontaktorien kanssa on jaoteltu kiinteistön lämmityskuormat. Kuvassa näkyy myös AMR-mittari ja sen rooli releohjauksien toteutukselle.



Kuva 7 Periaatekaavio SLY-kytkennästä, joka mahdollistaa kysynnänjoustoon osallistumisen (Järventausta et al. 2015.)

4.2 Kysynnänjousto asiakkaan näkökulmasta

Kuluttajalle sähkö on välttämättömyyshyödyke ja siitä syystä joustaminen sähkökäytöstä voi olla hankalaa. Joustamalla sähkökäytöstä voi kuluttajalle olla taloudellista hyötyä, jos sähkösojimus ja oma laitteisto on tähän soveltuva. (Logren. 2016, Puolakka. 2023)

Kuluttajalle kysynnänjousto näkyy siten, että oman kodin isoja kuormia siirtää käytettäväksi sähkön hinnan kannalta edullisimpaan aikaan, esimerkiksi siirtämällä astianpesukoneen käyttö aamun tunneille tai saunomisen myöhemmälle illalle. (Logren. 2016, Puolakka. 2023)

Sähkönkuluttaja ja aurinkopaneeleita omistava pientuottaja, joka tuottaa sähköä kiinteistönsään, hyötyy merkittävästi kysynnänjouston osallistumisesta. Kuluttajan näkökulmasta huipputehojen pienentäminen mahdollistaa edullisemman sähkölaskun ja liittymäkoon rajoittamisen pienemmille pääsulakkeille, sekä mahdollisuuden halvempaan sähköliittymään. Pientuottajalle on kannattavinta kuluttaa itse kaikki tuottamansa sähkö omassa kiinteistössään. Kannattavuus heikkenee, kun pientuottaja alkaa myymään tuottamaansa sähköä markkinoille. Tämä johtuu ostetun ja kulutetun sähkön erilaisista kustannuksista. Kuluttajalle ei makseta myydystä sähköstä, kuin sähköenergian hinta, tästä jää siis puuttumaan siirtomaksu ja vero, jotka kuluttaja joutuu verkosta kuluttamastaan sähköstä energian hinnan lisäksi maksamaan. (Järventausta et al. 2015)

Tulevaisuudessa voidaan odottaa, että markkinoille tulee vielä nykyistä enemmän laitteistoja ja ratkaisuja, jotka auttavat kuluttajia osallistumaan kysynnänjoustoon. Automaation rooli kysynnänjoustossa asiakkaan näkökulmasta on merkittävä, koska kysynnänjoustoon osallistuminen pitää saada asiakkaalle mahdollisimman vaivattomaksi. Sähkömarkkinoiden muuttuessa kuluttajien mielenkiinto erilaisiin ratkaisuihin kasvaa varmasti, kun järjestelmistä saadun taloudellisen hyödyn tietoisuus kasvaa.

5 Kuormanohjauksen nykytila

Vanhemmat omakotitalot ovat sähköteknillisiltä kytkennöiltään valmiimpia kuormanohjaukselle, erityisesti niiden osalta, jotka on rakennettu vuodesta 1986 eteenpäin. Omakotitaloissa, joissa on käytetty niin sanottua SLY-kytkentää, joka on sähkölaitosyhdistyksen julkaisema kytkentäsuositus, kuormanohjauksen mahdollisuus on yleisesti suurempi, koska kiinteistössä on jo sähkökeskuksessa riittävät komponentit ja kytkennät. Kytkentäsuositus julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 1986 ja se päivitettiin vuonna 1992. (Harsia. 2019) SLY-kytkennällä varustettuja omakotitaloja on rakennettu noin vuosien 1986–2012 välillä, mutta tarkkaa määrää tai aikaväliä on vaikea arvioida, koska SLY-kytkentä ei ole koskaan ollut pakollinen, vaan suositeltava kytkentätapa. Arvioitu määrä taloja, joissa on SLY-kytkentä, on noin 300 000. Arvio SLY-kytkentäisten talojen määrästä perustuu taloihin, joita on rakennettu aikavälillä, jolloin SLY-kytkentä oli yleisesti laajassa käytössä.

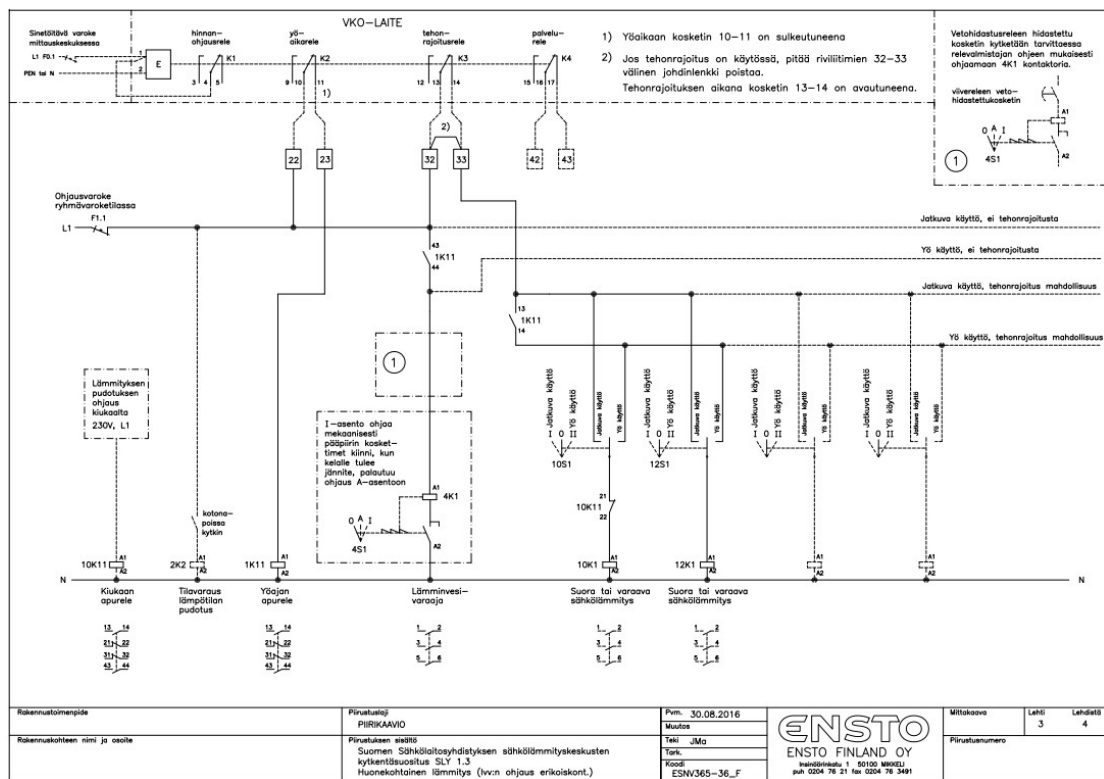
Merkittävässä roolissa kuormanohjauksessa on kiinteistön sähkömittari. Suurimmassa osassa Suomen kiinteistöjä käytetään etäluettavaa AMR-mittaria. AMR-mittarissa on yleensä kaksi ohjattavaa relelähtöä, jotka Suomessa yleisesti kytketään tehonrajoitukseen ja yöajan ohjaukseen. (Järventausta et al. 2015)

Vuonna 2015 tehdyn tutkimuksen, liitteen IX, mukaan Suomessa olevista jakeluverkkoyhtiöistä ainoastaan 10 kpl vaatii kuormanohjausta. Tästä syystä SLY-kytkentä on hieman jäänyt historiaan kytkentätapana. Tutkimuksessa kerrotaan myös, että 2000-luvun alusta eteenpäin erilaisten lämmityspumppujen, kuten poistoilmalämpöpumpun, ilmalämpöpumpun ja ilmavesilämpöpumpun, määrä on kasvanut reilusti ja jatkanut kasvuaan koko ajan. Lämpöpumppu on kuormana vaikeasti ohjattava, koska pumppu ohjautuu itsenäisesti ja ylimääräinen ohjaus voi häiritä pumpun toimintaa. (Järventausta et al. 2015)

Jakeluverkkoyhtiö Carunan syyskuussa 2022 toteuttaman kyselyn tuloksena oli, että suomalaisilla sähkökuluttajilla on tahtoa toteuttaa kuormanohjauksia. Kyselyn perusteella 90 prosenttia suomalaisista suhtautuu positiivisesti kulutuksen tasaamiseen ruuhkahuippujen

ulkopuolelle. Vastaajat toivoivat, että asia hoituisi automaattisesti. Positiivisesta suhtautumisesta kulutushuippujen tasaamiseen huolimatta vain 10 prosenttia kyselyyn vastanneista, sanoo että olisivat valmiita ottamaan käyttöön kuormanohjauksen. (Caruna. 2022)

Kuvassa 9 on esitelty lämminvesivaraajan kytkentä erikoiskiinteistöissä SLY-kytkennällä. Kuvasta käy hyvin ilmi se, että SLY-kytkentä voi olla, joissakin kohteissa hyvinkin monimutkainen ja sen oppiminen kokonaan ja ulkoa muistaminen vaatii käyttäjältä syvällistä perehtymistä asiaan. Carunan teettämän kyselyn mukaan kuluttajat eivät ole siihen valmiita ja se on hyvin ymmärrettävää.



Kuva 8 SLY-kytkentä. (Ensto 2016)

5.1 Miten kuormanohjaus on toteutettavissa nykykuormille

Nykyrakentamisessa sähkötehoja tasaavia tai rajoittavia ratkaisuja ei juurikaan vaadita, joten monille pientaloille rakennetaan suuria liittymiä (3x35A tai 3x50A), mikä vaikuttaa jo merkittävästi kiinteistöön tehtävän sähköliittymän hintaan. Kerros- ja rivitalojen saneerauksien yhteydessä uudistetaan vanhat 1-vaiheiset keskuskeskukset 3-vaiheiseksi, jotta huoneistoihin saadaan enemmän sähkötehoa. mm. 3-vaiheinen liesi ja uuni, sekä lattialämmitys. (Järventausta

et al. 2015) Sähkölaitteiden kehitys on 2010-luvulta lähtien tuonut paljon erilaisia useimpien yhden valmistajan tukemia lämmityksen etäohjaus- ja optimointiratkaisuja (Järventausta et al. 2015) Ratkaisuissa on nykyisin koko ajan yleistyvää mobiiliohjattavuus, sekä valmius luoda kuluttajakohtaisia logiikkaohjelmia kulutusten ohjaukseen, esim. Shelly älyreleet. Ohjainlaitteiden ongelma on nykyisin sama kuin jo vuonna 2015, monet järjestelmät tukevat vain yhtä valmistajaa. Erilaisia kodinautomaatiojärjestelmiä ja niiden erilaisia sovellutuksia on kuitenkin reilusti saatavilla. mm. ABB- free@home, Schneider wiser ja Shelly. Kuormanohjauksesta tekee haastavaa myös se, että monesti ohjattavissa olevilla laitteilla on olemassa jo itsessään jonkinlainen äly. (Järventausta et al. 2015). Nykyasumisessa isoimpia kulutuskohteita ovat kiuas, sähköauton lataus, ja lämmitys. Näille kuormille yhteisellä ohjainlaitteella voisi tehokkaasti hallita koko kiinteistön sähköjärjestelmää.

Viime aikoina markkinoille on saapunut sähköautoja, joita voi käyttää yksittäisen tai yksittäisten sähkölaitteiden energialähteenä. Tällaisella toiminnolla varustettua autoa ei kuitenkaan voida käyttää kokonaisen rakennuksen varavoimalähteenä johtuen siitä, että auto ei pysty tuottamaan riittävästi oikosulkuvirtaa suojalaitteiden toimimista varten. Autosta verkkoon syöttämistä varten tulee latausaseman ja ajoneuvon kyetä keskustelemaan keskenään sähkönsyötön yksityiskohdista. Sähköautosta sähkönsyöttö verkkoon takaisin on siis jo nyt mahdollista ja asiaan tulee tarkentavia standardeja lähitulevaisuudessa. Tällä hetkellä SFS-en 62126 standardi määrittelee vaatimukset tälle. (SESKO. 2023)

5.2 Miten kuormanohjaus on toteutettu ennen

Kuten aiemmin mainittiin, SLY-kytkentää on käytetty laajasti. Kytkennällä on suurin ohjauspotentiaali kuormanohjauksessa. 1970 – 1980 luvuilla sähkölämmitys on tehty pääosin suorina lämmityksinä. Useiden keskusten kiinteistöissä kuten rivitaloissa on ohjaustiedot tuotuna huoneistokeskuksiin jännitetietona, joka ei kytkeydy pois pääkytkimestä. SLY-kytkennällä saatiin yhtenäistettyä sähkölämmitysten ohjauksia. SLY-kytkennästä on olemassa eri vaihtoehtoja riippuen sen toimintakohteesta, kuten pientalon huonekohtainen lämmitys, rivi- ja pienkerrostalon huonekohtainen sähkölämmitys ja pientalon osittain varaava vesikiertoinen keskuslämmitys. SLY-kytkennän ominaisuuksia on Yöaikatieto/ tariffiohjaustieto, huipputehon rajoitus ja sähkölämmitys tehon ohjaaminen. (Järventausta et al. 2015, Harsia. 2019)

6 Ammatillinen opetus

Ammatillinen tutkinto muodostuu pakollisista ja valinnaisista tutkinnon osista. Pakollisten tutkinnon osien tarkoitus on varmistaa, että opiskelija saavuttaa tutkinnon keskeisen osaamisen. Valinnaisille tutkinnon osille tähdätään tutkinnon osaamisen syventämiseen oppilaan oman mielenkiinnon mukaan. Pakolliset ammatilliset tutkinnon osat perustuvat työelämän toiminta- tai tehtäväkokonaisuuteen ja siinä tarvittavaan osaamiseen. Sisältö ammatillisissa tutkinnon osissa vaihtelee tutkinnoittain. Tutkinnon perusteiden kehittämistä vastaa opetushallitus ja sen kehitys tapahtuu yhteistyössä työelämän ja koulutuksen järjestäjien kanssa. Muuttuvat tarpeet työelämässä ohjaavat tutkintojen kehittämistä. Tarvittaessa tutkinnon osien sisältöä muokataan tai voidaan luoda kokonaan uusia tutkinnon osia. (Opetushallitus. 2023b)

Ammatillisessa opetuksessa oppilaat suorittavat tutkinnon osia, joihin sisältyy tutkinnon osaan sisältyviä osakokonaisuuksia. Tutkinnon osat ovat osaamisalueeltaan laajoja, tästä syystä yhden tutkinnon osan suorittaminen voi kestää hyvinkin pitkään. Vaikka osakokonaisuuden saisi suoritettua aikaisemmin täytyy koko tutkinnon osan sisältämä teoreettinen osaaminen saada suoritettua ja sitä tukeva ammatillinen osaaminen hankittua, joko oppilaitoksessa tai harjoittelupaikalla. Tutkinnon osille on määrätty osaamispisteet (osp). Osaamispisteet eivät kuvaa tutkinnon osan opiskeluun tarvittavaa aikaa, eikä opetuksen määrää. Osaamispisteet kuvaavat kuinka kattavaa, vaikeaa ja merkittävää tutkinnon osan osaaminen on suhteessa koko tutkinnon ammattitaitovaatimuksiin. Sähköasentajan tutkinto koostuu pakollisista tutkinnon osista; sähkö- ja automaatioalalla toimiminen 30 osp, pien- ja pienoistönnitesähköasennukset 45 osp, sekä sen jälkeen suoritettavista valinnaisista tutkinnon osista ja yhteisten tutkinnon osien opintojen suorittamisesta. (Opetushallitus. 2023)

Osaamispisteen määritelmän mukaan osaamispiste voidaan ymmärtää tietynlaisena suhdelukun koko tutkintoon verrattuna. Suhdelukuna käytettynä voidaan jokaisen tutkinnon osan prosentuaalinen osuus koko tutkintoon laskea, vertaamalla tutkinnon osan OSP osuutta koko tutkintoon. OSP käyttäminen prosenttiosuutena koko tutkintoon antaa hieman konkreettisemmän kuvan tutkinnosta ja sen osista. Tutkinnon osan prosenttiosuutta tarkastellessa on helpompi havainnoida kuinka kattavaa, vaikeaa ja merkittävää mikäkin tutkinnon osa on, koko tutkintoon suhteutettuna.

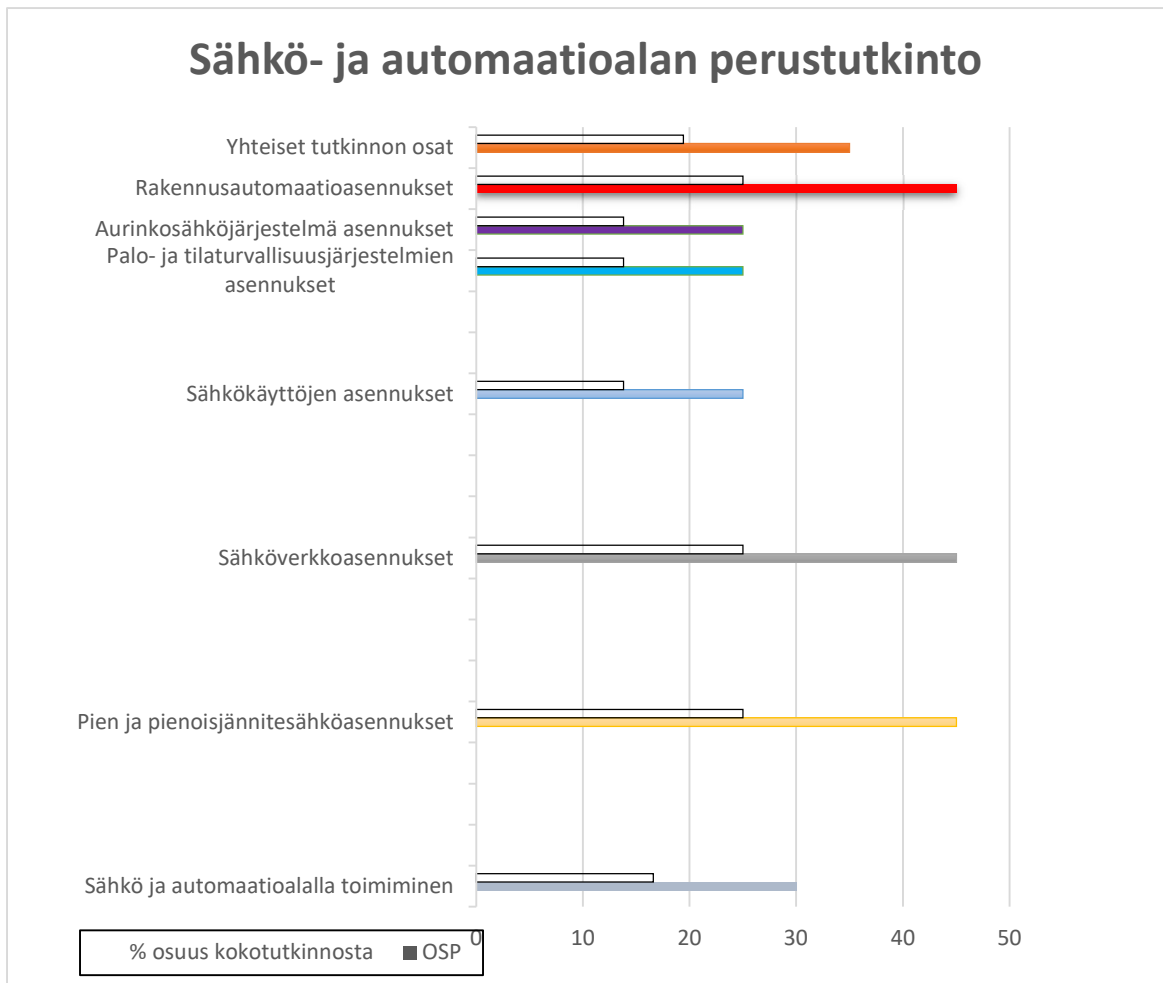
Opetushallituksen antaman osaamispisteen määritelmän mukaan yhden osaamispisteen suorittamiseen vaadittavaa tuntimäärää ei voida laskea. Ammatillista opetusta säätelevään lakiin 531/2017 on lisätty asetus 583/2021 pykälään 10a, jossa määritellään, että yhtä suoritettua opintopistettä kohti tarvitaan opetusta ja ohjausta vähintään 12h, mutta kuitenkin niin, että tuntimäärä voi olla enemmän tai vähemmän kuin 12h, riippuen oppilaan oppimistilanteesta ja osaamisvalmiuksista. Kaikilla opiskelijoilla ei siis mene sama aika suorittaa samaa määrää osaamispisteitä. Opetushallituksen määritelmän mukaan yhtä opintopistettä kohtaan olisi tehokkaampaa määritellä opiskeltava laajuus, joka mitataan esimerkiksi, tehtävillä, joiden haastavuus ja syvällisyys määräytyy kunkin tutkinnon osan ja vielä tarkemmin tutkinnon osan osaamispistemääritelmän mukaisesti. (Valtioneuvosto. 2021)

Taulukkoon 1 on laskettu jokaisen tutkinnon osan prosenttiosuus suhteutettuna koko tutkintoon. Lisäksi taulukkoon on merkitty mitkä tutkinnon osat ovat pakollisia. Jokainen kokonainen tutkinnon osa on kirjoitettu lihavoituna, tutkinnon osaan kuuluvat alaosiot on kirjoitettu tutkinnon osan nimen alle kursivoituna. Ammatillisia valinnaisia opiskelijan tulee suorittaa 70osp verran.

Taulukko 1 Sähkö- ja automaatioalan perustutkinto tutkinnon osineen

	Sähkö- ja automaatioalan perustutkinto	180 OSP	% osuus kokotutkinnosta
Pakollinen	Sähkö ja automaatioalalla toimiminen <i>Sähkötekniikan perusteet</i> <i>Sähköasennustekniikka</i> <i>Elektroniikka</i>	30	16,6
Pakollinen	Pien ja pienoisjännitesähköasennukset <i>Rakennusten sähköasennukset</i> <i>Moottoriasennukset</i> <i>tietoverkkoasennukset</i>	45	25
Valinnainen	Sähköverkkoasennukset <i>Sähkön tuotanto ja siirto</i> <i>Kiinteistöjen sähköverkot</i> <i>Sähköverkon mitoittaminen ja suojaus</i>	45	25
Valinnainen	Sähkökäyttöjen asennukset <i>Moottori ja taajuusmuuttaja käytöt</i> <i>Uusiutuva energiatuotanto</i>	25	13,8
Valinnainen	Palo- ja tilaturvallisuusjärjestelmien asennukset	25	13,8
Valinnainen	Aurinkosähköjärjestelmä asennukset	25	13,8
Valinnainen	Rakennusautomaatioasennukset	45	25
	Yhteiset tutkinnon osat	35	19,4

Taulukon 1 perusteella on tehty tutkintoa paremmin hahmottava kuva 10. Kuvasta käy ilmi, jokaisen tutkinnon osan osuus suhteutettuna koko tutkintoon, ja niiden prosenttiosuudet. Kuvassa on näkyvillä kaikki tutkinnossa valittavissa olevat tutkinnon osat. Näistä osa on valinnaisia, joita opiskelijan ei tarvitse suorittaa.



Kuva 9 Sähkö- ja automaatioalan perustutkinnon rakentuminen.

Kuormanohjauksen ymmärtäminen on sähköasentajan ammatissa erittäin tärkeää. Hyvin usein sähköasennustöitä tehdään vanhoissa kiinteistöissä saneeraus- tai lisäystöissä. Jos kiinteistöön lisätään esimerkiksi lämmitystehoa, täytyy asennuksessa ottaa huomioon, että uusi lisättävä teho tulee myös kiinteistössä olevan kuormanohjauksen perään. Saneerauskoh-teissa, jos asentajan täytyy purkaa sähkölaitteita kiinteistön rakenteisiin kohdistuvien töiden vuoksi, on erittäin tärkeää, että sähköasentaja tietää, että jos jokin sähkölämmitin näyttää 0V-jännitettä mittaushetkellä, on silti mahdollista että lämmitin on kuormanohjauksen ta-kana ja johdin voi tulla jännitteiseksi esimerkiksi yöaikaan. Kiukaiden vuorottelun ohjauk-sen takaisinkytkentä on myös yksi erittäin tärkeä asia sähköasentajan tiedostaa.

Näiden syiden vuoksi kuormanohjauksen tietämättömyys voi pahimmillaan johtaa jopa kuo-lemantapaukseen. Vähimmillään se voi johtaa toimimattomaan sähköasennukseen ja

taloudellisiin tappioihin sähköasennusliikkeelle, koska asennus joudutaan tekemään moneen kertaan takuutyönä.

Jotta kuormanohjausta voidaan opettaa opiskelijalle, täytyy hänellä olla jo peruskäsitys sähköfysiikasta ja käytännön sähkötyöiden tekemisestä. Teoreettisesti on tärkeää, että opiskelijalla on jo hallussa sähkön peruskaavat, ymmärrys siitä miten kontaktorit toimivat, miten sähköasennuksia ryhmitellään, sekä keskusten yleisrakenne.

6.1 Tutkinnon osa johon kuormanohjauksen opettaminen soveltuu

Tutkinnon opiskelu alkaa sähkö- ja automaatioalalla toimimisen suorittamisella. Tässä tutkinnon osassa on tarkoitus suorittaa sähköalalla tarvittava korttikoulutukset ja saada käytännön ja teorian perusta sähköasennustöihin. Seuraavaksi, kun perusteet on hallussa, suoritetaan pien- ja pienoisjännitesähköasennukset, jossa on tarkoitus mennä jo syvemmälle sähköasennustöiden tekemisessä. Opetushallituksen ylläpitämässä E-perusteet sivustolla tähän tutkinnon osaan on sisällytetty seuraavia asioita: *”tekee kiinteistön sähköasennukset (lämmitys, valaistus, pistorasiat, kytkimet)”* *”kytkee ryhmäjohdot keskukseseen”* *”tekee keskus-asennukset, liittymisjohtoasennukset ja kytkee suojalaitteet”* (Opetushallitus. 2023b)

Tästä syystä kuormanohjauksen opettaminen soveltuu parhaiten pien- ja pienoisjännitesähköasennusten tutkinnon osaan, koska oppilas on opinnoissaan saanut jo perustiedot hankittua ja pystyy sisäistämään miten erilaiset koskettimet toimivat, sekä tietää, että sähköverkon kannalta kuormanohjauksella on merkittävä rooli. Lisäksi tutkintojen perusteiden vuoksi tutkinnon osa on laskettu laajemmaksi ja haastavammaksi osaksi tutkintoa.

6.2 Merkitys koulutukselle

Koulutuksellisesti kuormanohjauksen opettaminen on merkityksellistä, sillä kuorman ohjauksen ymmärtäminen on sähköasentajalle tärkeä osata, koska asuinkiinteistöjen isojen kuormien määrä lisääntyy. Kun kuluttajat haluavat esimerkiksi sähköauton kotilaturin, täytyy kuormia alkaa vuorotella. Näiden seikkojen lisäksi turvallinen työskentely vanhoissa ja uusissa kiinteistöissä on todella haastavaa ymmärtämättä kuormanohjauksesta.

Kuormanohjauksessa oleellinen asia on ymmärtää miten erilaiset koskettimet toimivat, kun NC ja NO kärjillä ohjataan erilaista tietoa toimilaitteelta keskukselle tai keskukselta toimilaitteelle. NC ja NO kärjillä tarkoitetaan kontaktoreissa ja releissä yleisesti käytössä olevia lyhenteitä. Koskettimista lyhenteen tulevat englanninkielestä normal close ja normal open, mikä tarkoittaa suomennettuna normaali tilassa kiinni ja auki olevaa kosketinta. Normaali tilalla tarkoitetaan tässä tapauksessa, sellaista tilannetta milloin kontaktori tai rele ei johda sähköä eteenpäin. Näitä samoja kärkitietoja käytetään laajasti myös muualla sähkötekniikassa, joten kuormanohjauksen opetus tukee myös muuta sähköalan osaamista.

AMR-mittari on käytössä suurimmassa osassa suomalaisista pientaloista, tämän mittarin toiminnallisuuksien ja mahdollisuuksien ymmärtäminen ja hyödyntäminen on hyödyllistä opiskelijalle itselleen ammattitaidollisesti, taloudellisesti sekä kansantaloudellisesti. (Järventausta et al. 2015)

Ammatillisten tutkinnon osien sisällöt perustuvat työelämässä tarvittavaan osaamiseen. Kuormanohjauksilla on merkitystä tulevaisuuden sähköasentajan työssä. Kuormanohjauksilla saadaan lisättyä pientalojen energiatehokkuutta. EU-tasolla on hyväksytty energiatehokkuusdirektiivi, joka velvoittaa sähköyhtiöitä kysynnän jouston ja huoltovarmuuden edistämiseksi. Suomessa muuttunut sähköverkon tilanne lisää tarvetta kuormanohjaukselle. Siksi on tärkeää, että kaikki säädettävissä olevat kuormat osallistuvat mukaan tähän sähköverkon muutokseen. (Opetushallitus. 2023b, Järventausta et al. 2015, Tiirikka. 2023)

6.3 Nykytilanne kuormanohjauksen opetuksessa.

Tällä hetkellä kuormanohjaukselle ei ole erikseen annettuja vaatimuksia, sähkö- ja automaatioalan perustutkinnossa, joten kuormanohjauksen opettaminen on opettajan ja oppilaitoksen harkinnanvarassa. Iso merkitys kuormanohjauksen oppimiselle on sillä, miten oppilaan harjoittelupaikka valikoituu. Hyvin harva jakeluverkkoyhtiö vaatii omalla verkkoalueellaan kuormanohjausta, ja koska kuormanohjauksesta ei ole mitään standardissa määrättyä toteutustapaa, on vain yhteisesti hyväksi todettu kytkentämalli. Luultavasti tämä aiheuttaa sen, että kuormanohjaus ei ole ammatillisen peruskoulutuksen vaatimuksissa. (Järventausta et al. 2015, Opetushallitus. 2023b)

Ammatillinen koulutus on kokenut suuren muutoksen vuonna 2017, kun koulutusalan uudistus on aloitettu kokonaisuudessaan. Tätä uudistusta kutsutaan nimellä reformi. Tavoite tällä uudistuksella on ollut, että ammatillinen koulutus pystyy vastaamaan nopeammin työelämän muutoksiin ja tulevaisuuden tarpeisiin. Lisäksi nuorille ja työelämässä oleville aikuisille saadaan rakennettua yksilöllisiä opintopolkuja, samalla lisättiin työpaikoilla tapahtuvaa oppimista. Reformin jälkeen opiskelija voi hankkia osaamista joustavasti itselleen parhaiten soveltuvalla tavalla. (Opetus- ja kulttuuriministeriö. 2017)

Reformi ja vaatimukset koulutukselle mahdollistavat sen, että opiskelijan itsensä hankkimalla harjoittelupaikalla on iso merkitys sille, minkälainen ammattitaito opiskelijalle opintojen aikana syntyy. Koulutuksen jälkeen, jos ammattitaitoon on jäänyt puutteita, täytyy opiskelijan itse täydentää työelämässä nämä puutteet.

7 Kuormanohjauksen integroiminen opetukseen

Kuormanohjauksen integroiminen opetukseen on haastavaa, koska oppilaiden on omattava riittävät perustaidot sähkötekniikasta, jotta asia voidaan opettaa tehokkaasti. Kuormanohjauksen ymmärtäminen kokonaisuutena vaatii opiskelijalta keskittymistä ja perehtymistä.

Kuormanohjaus on hyvä opettaa samalla kun opetuksessa käydään läpi eri lämmityslaitteiden kytkentöjä. Ensin täytyy opettaa, miten laitteet kytketään normaalisti ja käydä jokaista laitetta varten hieman teoriaa, jossa voidaan samalla kertoa, että minkälaiset laitteet soveltuvat ohjattavaksi ja mitkä eivät, sekä miten kiinteistönsähkömittari toimii.

Lämmityspiirien peruskytkentöjen osaamisen jälkeen voidaan alkaa opiskelemaan, että mitä erilaisia mahdollisuuksia lämmityspiirien kytkennöissä on.

Kuormanohjausta täytyy lähteä lähestymään monelta eri kannalta ja kohtalaisen kaukaakin, jotta opiskelijalle saadaan mahdollisimman laaja ymmärrys mitä asialla haetaan. Lämmityspiirien kytkentöjen jälkeen opiskelijalle on syytä opettaa, ja näyttää teoriassa, miksi sähköverkkoa ei voida kuormittaa holtittomasti ja mitä hyötyä kuormien huipputehon leikkaamisesta on verkkoyhtiölle ja kuluttajalle. Lisäksi mahdolliset lämmityspiirien vikatilanteet on syytä käydä läpi, koska käyttäjälle normaali kuormanohjauksen toiminta voi osoittautua vika. Tällöin käyttäjälle tulee selittää, miten hänen lämmityslaitteensa toimii, myös kuormanohjauksen virheellinen kytkentä voi aiheuttaa vikatilanteen. Tämän vuoksi on tärkeää tietää kuormanohjauksen teoria.

Oppimistehtävien laadintaan vaikuttavat pedagogiset mallit, suunnitteluperiaatteet ja osaamistavoitteet. Pedagogisessa suunnittelussa kannattaa muistaa, että osaamisen kehittymiseen tarvitaan opiskelijasta itsestä lähtevää osallistumista. Osallistuminen voidaan toteuttaa yhdessä ja yksin asioiden työstämisenä tai kokeilemisena käytännön toiminnassa. Asioiden syvälliseen ymmärtämiseen tarvitaan sekä yksin, että yhdessä tekemistä ja opettajan ohjausta. Oppimisprosessia suunniteltaessa opettajan tulee pohtia työskentelytavat ja opetusmenetelmät, minkä kautta oppimistilanteessa edetään. Suurimpaan osaan ammatillisen opetuksen tilanteisiin sopii ongelmalähtöinen opetusmalli. Ongelmalähtöisessä opetusmallissa

ominaispiirteitä on, että keskiössä on opiskelija itse, ratkotaan yleensä aitoja työelämään linkittyviä ongelmia ja ratkaisu löytyy itseohjautuvasti. Itseopiskelu tapahtuu avoimia kysymyksiä asettamalla, jossa opettajan rooli on toimia opiskelun ohjaajana, eikä tarjota valmiita vastauksia. (Tampereen yliopisto. 2023)

Tämän työn liitteenä 1 on luotu esimerkki harjoitustyöstä, joka soveltaa näitä opetusmenetelmiä. Harjoitustyössä opiskelijan tulee ratkaista ongelmalähtöisesti kiinteistön lämmitykseen liittyviä ongelmia. Harjoitustyön tarkoitus ei ole olla ainoa oikea tapa opettaa tätä aihetta, vaan toimia sovellettavana pohjana, joka antaa opettajalle ideoita ja perustaa harjoitustyön muokkaamiseen mieluisaksi tai kokonaan uuden luomiseen.

7.1 Kuormanohjauksen erilaiset kytkennät

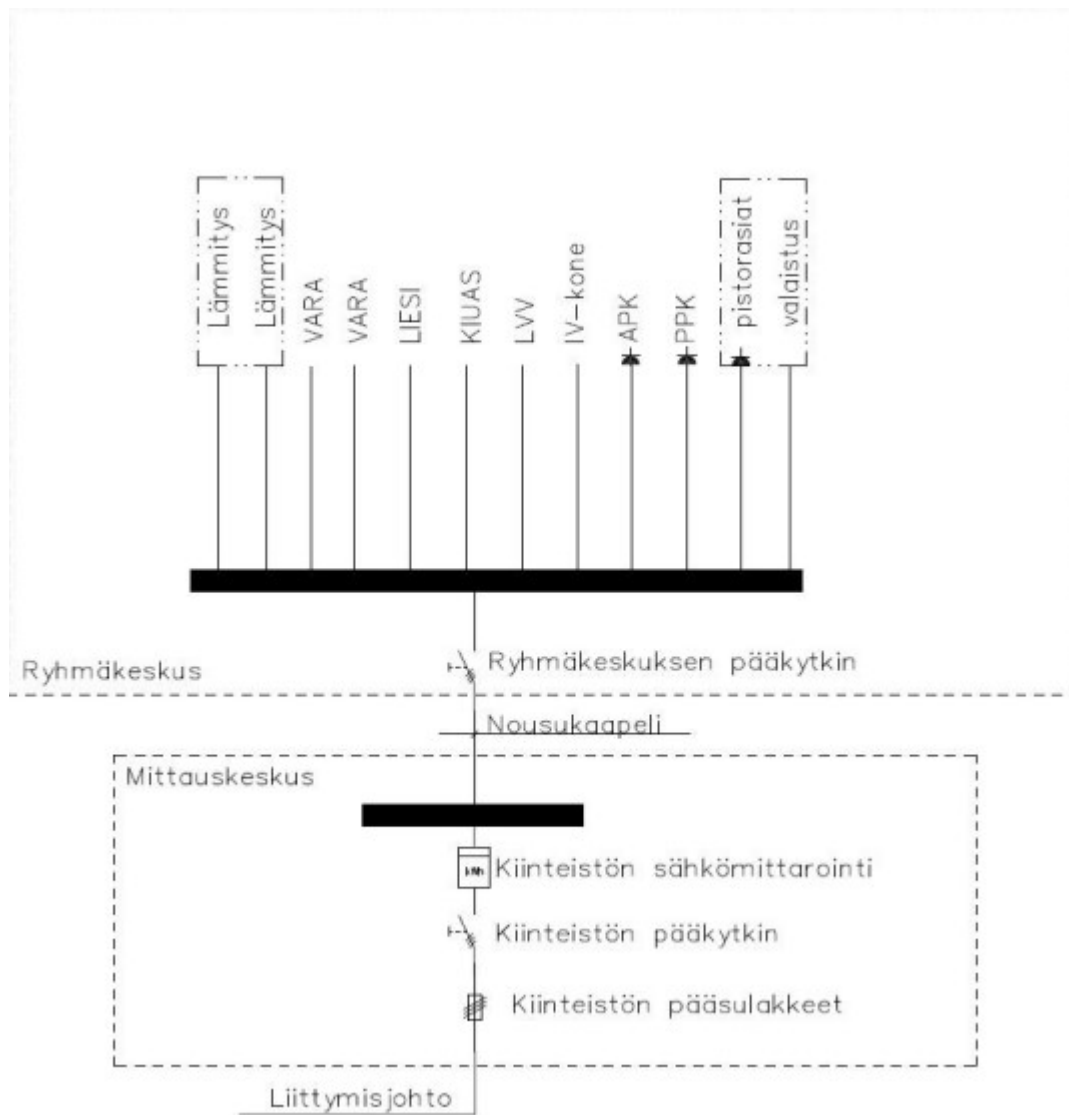
Nykyään kuormanohjaukseen on olemassa erilaisia kytkentäsovellutuksia. Näitä varten on olemassa paljon erilaisia kodin automaatiojärjestelmiä ja niitä tulee markkinoille jatkuvasti. Isot valmistajat kuten Schneider electric on luonut oman Wiser järjestelmänsä, joka tähtää kodin kiinteistöautomaatioon erilaisten älykomponenttien kautta. mm. pistorasiat ja kytkimet. ABB on taas luonut oman free@home järjestelmänsä, joka on hyvin samankaltainen kuin Schneiderin vastaava. ABB:n järjestelmästä on olemassa kaksi eri versiota, langallinen ja langaton. Molemmissa älyä varten asennetaan keskusyksikkö kiinteistön pääkeskukseen, josta ohjataan järjestelmään kuuluvia toimilaitteita, jotka ovat samankaltaisia pistorasioita ja kytkimiä kuin Schneiderin järjestelmässä. ABB:n tuotteessa huomioitavaa on, että keskusyksikössä on erillisiä koskettimia mitä voi ohjelmoida, tämä mahdollistaa kuormanohjauksen. Kahden päätoimijan lisäksi nykyään on yleistymässä Amerikkalaisen Shelly-nimisen valmistajan älyrele-ratkaisut. Ratkaisu on hyvin yksinkertainen; Haluttu älyrele asennetaan yleensä keskukseen, josta sen ohjelmoitavat koskettimet kytketään ohjaamaan haluttuja kuormia. Tärkeää Shellyn käytössä on, että releen koskettimet on tarkoitettu kontaktorien ohjaamiseen. Relettä voidaan ohjata joko älypuhelimella tai paikallisesti suoraan releen paneelista. (ABB Oy. 2016, Schneider Oy. 2021)

Tällä hetkellä valmistajia ja erilaisia ratkaisuja tulee jatkuvasti lisää, riippuen valmistajan kyvystä markkinoida tuotteitaan kuluttajille. Älyratkaisuissa vaikuttaa merkittävästi myös se, että se on kuluttajalle yksinkertainen ymmärtää ja käyttää.

Pientaloissa lisääntynyt automaatio asettaa omat haasteensa kuormanohjauksille. Automaatiolla ohjattujen pientalojen määrä on vielä Suomessa hyvin marginaalinen. Nämä laitteet tarjoavat paljon kehittyneempiä kuormanohjaustapoja kuin AMR-mittari. Haasteina näiden ratkaisuiden suhteen on kuitenkin se, että ratkaisut ovat hyvin valmistajakohtaisia. Pientaloissa on yleistynyt KNX-pohjaiset järjestelmät. Vuosina 2012 – 2013 ohjausta käytti n. 8% pientaloista. Pientaloissa suurin ohjauspotentiaali on lämmityksen ratkaisuihin, sekä sähkökiukaissa. Lämminvesivaraajan päälle kytkeytyminen aiheuttaa tyypillisesti sähkölämmityskohteiden tehopiikin. Lämpöpumpullisissa taloissa tehon rajoitusta tai ohjausta ei ole otettu käyttöön, vaikka siihen teknisesti olisi mahdollisuudet. Laitteissa on lisälämmitystehot valittavissa kojeesta ja vain osassa on tehovahdit käytössä. Suuret tehopiikit johtuvat yleensä saunomisesta ja lämmityksen päällä olon yhtäaikaaisuudesta. Suuret tehovaihtelut pystyttäisiin suurimmilta osin välttämään vuorottelukytkennoilla. (Järventausta et al. 2015)

7.2 Mitä kytkentöjä opetetaan

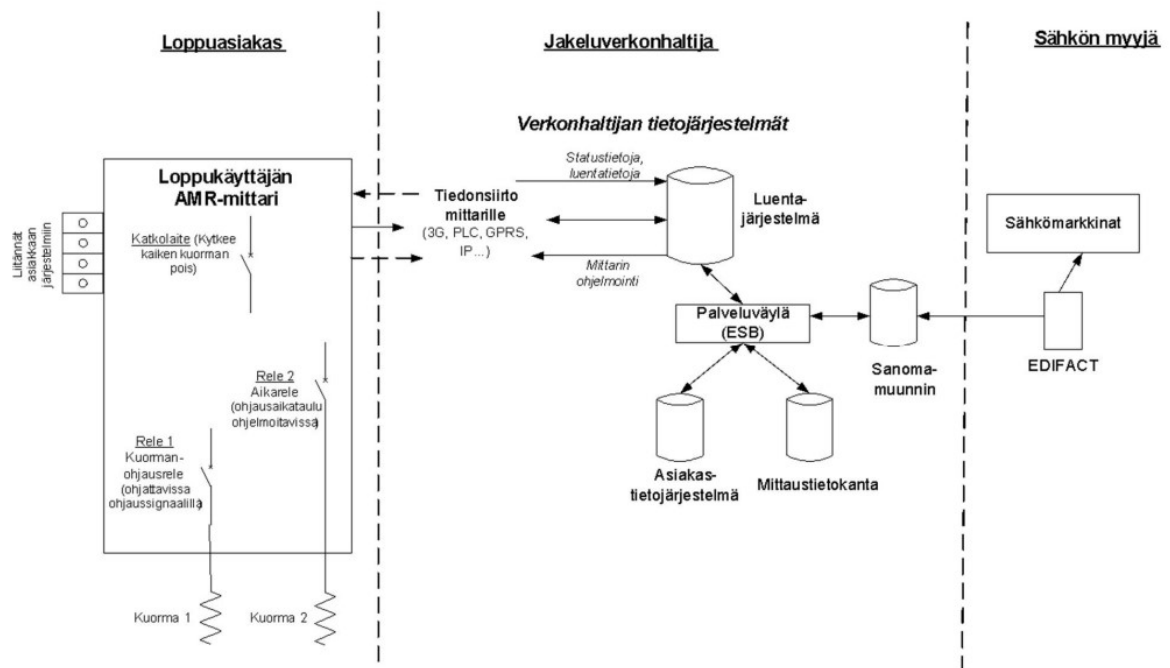
Kuormanohjauksen kytkennöistä on syytä opettaa SLY-kytkentä, koska tämä kytkentä on jo hyvin monessa omakotitalossa olemassa, siihen liittyvät ohjeet ja säännöt on syytä käydä läpi koulutuksessa. SLY-kytkennän erilaiset toiminnallisuudet ja miten siihen voidaan lisätä kuormia uusien kontaktorien ohjaukseen. Lisäksi on syytä käydä läpi miten erilaiset älyratkaisut voi mahdollistaa kuormanohjauksen ja miten erilaisia älyratkaisuja on mahdollista lisätä jo valmiiksi olevan SLY-kytkennän rinnalle tai osoittaa se, että miksi se ei ole mahdollista. Erilaisten älyratkaisujen opettaminen on syytä ottaa opetukseen mukaan heti, kun joku ratkaisu yleistyy riittävästi. Ennen älyratkaisujen yleistymistä on hyvä opettaa, jokin älyratkaisu ja sen kytkentä. Esimerkiksi Shelly älyreleen kytkentä voi olla hyvä ratkaisu tähän, koska se on kohtalaisen helppo asentaa olemassa olevan SLY-kytkennän rinnalle. Kuvassa 11 on esitelty, yleismalli kiinteistön sähköjärjestelmästä. Kuvassa ilmenee myös yleisimmät kuormat mitä kiinteistössä on. Tämä helpottaa kiinteistön kuormitusten hahmottamista, tunnistamalla mitkä kuormat ovat suurimpia. Näille kuormille SLY-kytkentä ja kuormanohjaus on kaikista kannattavinta, kunhan vain käyttökohde ja kuorma soveltuu tähän.



Kuva 10 Periaatekaavio pientalon sähköverkosta. (DR pooli). Järventausta et al. 2015.)

AMR-mittarin osuus kytkennän toiminnan kannalta on myös syytä käydä läpi vähintäänkin teoria tasolla. Kiinteistöissä jo olevaa AMR-infrastruktuuria on kansantaloudellisessa mielessä järkevää käyttää niin paljon kuin sen vain on nykyisin mahdollista. AMR-mittarin toimintoja on mahdollista myös johdottaa uusille kiinteistöautomaatiojärjestelmille, joka lisää AMR-mittarin toiminnallisuuksien käyttöikää hieman. Pelkkä mittari ei kuitenkaan vielä mahdollista kuormanohjauksia, vaan tarvitaan ohjattavat kuormat.

Kuvassa 12 on esitelty AMR-mittarin toimintaperiaatteellisesti. Mittarissa on siis kaksi relettä, joiden kautta ohjataan haluttuja kuormia. Lämmityksiä pääsääntöisesti. Mittari välittää verkon yli tiedon jakeluverkonhaltijalle, josta tieto tulee lopulta, myös sähkönmyyjän tietoon. Mittari on siis hyvin merkittävässä osassa kuormanohjauksissa ja kysynnän jouston toteutumisessa.



Kuva 11 AMR-Mittarin periaatteellinen toiminta. (DR pooli). Järventausta et al. 2015.)

Lämmityslaitteista on syytä opettaa lattialämmitys, kiuas, sähköpatteri ja ilmalämpöpumppu. Laitteiden peruskytkennät, sekä niiden erilaiset kytkentävaihtoehdot laitekohtaisesti, sekä miten eri laitteita on mahdollista saada toimimaan yhdessä tai onko se kohtuuttoman monimutkaista. Näiden kuormien vuorottelukytkennät ovat ehkä tärkein yksittäinen opetus. Voidaan osoittaa kuinka vuorottelulla on merkitystä sähkönkulutuksen huipputehon pudottamiselle.

7.3 Millä tavalla kytkennät opetetaan

Konkreettisesti kytkennän opettaminen on hyvä tehdä käyttämällä jonkun tunnetun keskusvalmistajan yleismallia, jossa on SLY-kytkentä on valmiina. Opiskelija pääsee näin suorittamaan kytkennän mahdollisimman todenmukaiseen ympäristöön. Oppilaan tulee tunnistaa kytkennän komponentit keskukselta. Opetuksessa on syytä ottaa huomioon, että opiskelija joutuu konkreettisesti laskemalla toteamaan, että keskuksen kuormitus ylittyy, joten kuormia on pakko ohjata. Tämän jälkeen oppilaan pitää päättää mitä kuormia hän alkaa ohjaamaan, sekä suunnitella kaapelointi ja kytkentä, jotta halutut kuormat tulevat ohjauksen taakse. Opetuksen tueksi on syytä olla laadittuna mahdollisimman selkeät ohjeet, jotta opiskelija itse tietää mitä on tekemässä ja pystyy hahmottamaan opetuksen kokonaisuuden.

Aktivoivilla opetusmenetelmillä on tarkoitus saada korostettua opiskelijan omaa osuutta oppimistapahtumassa. Opiskelija ei ole vain passiivinen tiedon vastaanottaja, vaan hänen täytyy rakentaa itse itselleen oma sisäinen mallinsa. Aktivoivalla opetusmenetelmällä on tavoitteena oppia dynaaminen, laajasti sovellettava tieto. Aktivoivalla opiskelumenetelmällä opettajan tehtävä on toimia oppimisen ohjaajana ja tukijana, itse oppimisesta opiskelija itse kantaa vastuuta. Todellista tai kuvitteellista asennustapausta käytetään oppimisen organisoijana ja elävöittäjänä, puhutaan usein ongelmakeskeisestä opetuksesta. Käsiteltävien asioiden pääosa on yleensä opetettu jo aiemmin teoriaopinnoissa, joten ongelmakeskeisen opetuksen tavoitteeksi jää oppia soveltamaan, arvioimaan ja täydentämään tietoja. Ongelmalähtöinen oppiminen tarjoaa hyvät mahdollisuudet hyvään oppimistulokseen, koska muistitieto on parhaiten palautettavissa mieleen. Ongelmalähtöinen oppiminen opettaa samalla myös ongelmanratkaisukyvyyn oppimista. (Nikkarinen & Hoppu. 1994)

Ennen työn konkreettista aloittamista on siis ensisijaisen tärkeää, että opiskelijalla on tarjolla riittävästi teoriamateriaalia ja sitä on käyty riittävästi teoriaopinnoissa läpi. Teoriaopinnoissa on tärkeää, että opiskelijalle tulee selväksi mitä kaikkia hyötyjä kuormanohjauksista on sähköverkon, kuluttajan, sekä sähköasentajan kannalta ja miksi kuormanohjauksen osaaminen on merkittävä osa asentajan turvallista työskentelyä työkohteessa. Tämä opetustapa mahdollistaa, että opiskelija saa hyvän ja sovellettavan tietopohjan itselleen, mutta tämä vaatii opettajalta asian tuntemusta ja pedagogista osaamista.

Liitteessä 1 on esitelty yksi tapa, jossa pyritään käyttämään pedagogisia menetelmiä kuormanohjauksien opettamiseksi. Liitteessä olevassa harjoitustyössä on tarkoitus hyödyntää ongelmalähtöistä opetusmallia, jossa opiskelijalle annetaan ensin riittävästi teoreettista osaamista. Opiskelija saa myös käyttöönsä riittävästi materiaalia teoriaopetuksen tueksi. Tämän jälkeen opiskelijalle annetaan tehtäväksi tutustua erilaisiin lämmityslaitteisiin ja niiden kytkentöihin. Samalla opiskelijan tulee laskea ja mitoittaa johdotus näille laitteille, mikä varmistaa, että opiskelija perehtyy laitteisiin syvällisesti. Sen jälkeen opiskelijan tulee hahmottaa kiinteistön lämmitysjärjestelmä osana laajempaa kokonaisuutta, ottaen huomioon, että järjestelmään lisätään erilaisia lämmityslaitteita, samankaltaisesti kuin nykyisissä omakotitaloissa usein on. Tavoitteena on luoda opiskelijalle käsitys siitä, että lämmitysjärjestelmät kuormittavat kiinteistön sähköjärjestelmää merkittävästi ja että käyttämällä useampaa lämmitysmuotoa samanaikaisesti, eri järjestelmät on syytä saada keskustelemaan keskenään. Vaikka harjoitustehtävässä ei tässä vaiheessa keskitytä kysynnänjoustoon liittyviin tehtäviin,

on se kuitenkin hyvä olla opiskelijan tiedossa teoriapohjana jo tässä vaiheessa. Tehtävän jatkona voisi olla, miten nämä samat kuormat otetaan huomioon kysynnänjoustossa ja miten kuvitteellinen asiakas voisi hyötyä taloudellisesti, jos isot kuormat olisivat kytkettynä kysynnänjoustoon. Tässä vaiheessa opiskelijan tulisi myös selvittää ja pohtia sähkön hintaa. Sähköauton laturin kytkentä, on myös hyvä tulevaisuuden kohde laajentaa osaksi tätä harjoitustyötä tai opintovaihetta.

Tämä ei ole ainoa tapa, jolla tätä aihetta tulisi opettaa, vaan se on tarkoitettu toimimaan pohjana, jota opettaja voi hyödyntää omassa opetuksessaan ja muokata siitä omaan opetuksensa sopivan.

8 Johtopäätökset

Tämän tutkimustyön lopputuloksena saatiin luotua kysynnän joustoa käsittelevän teorian ja opetuksen käsikirja. Työ antaa riittävän teoreettisen perustan kuormanohjausten opettamiselle ja käsittelee myös kuormanohjausten opettamisen merkitystä nykyisen sähköverkon silmin. Työssä tutkitaan sähkömarkkinoita ja markkinoiden toimintaa, sekä paneudutaan siihen, miten sähkömarkkinat toimivat ja minkälaisia ratkaisuja ne antavat kuormanohjaukseen. Pedagogisesti työssä tutkitaan mitä pedagogisia näkökulmia kysynnän jouston opettamisessa olisi hyvä ottaa huomioon ja mikä pedagoginen menetelmä sopii kysynnän jouston opettamiselle.

Työssä yhdistyy sähkötekniikan ala ja pedagogiikka. Kaksi toisistaan hyvin poikkeavaa alaa, mutta ammatillisesta opetuksesta puhuttaessa hyvinkin toisiaan lähellä olevaa alaa. Lopputuloksena sain luotua mielestäni tehokkaan mallin, jota voi soveltaa opetukseen. Työssä olevaa teoriaosiota voi käyttää suoraan ammatillisessa opetuksessa hyödyksi ja antaa esimerkiksi opiskelijan itse lukea teksti. Pedagoginen osio on tarkoitettu enemmän opettajalle, jotta hän voi pätkäillä onko työssä esitetty tapa hänen mielestensä tehokas tapa saada kuormanohjaukset opetettua vai haluaako hän soveltaa ehdotuksen pohjalta oman mallinsa. Työ tarjoaa valmiin, heti käytettävän, ratkaisun.

Tärkeimpänä huomiona tutkimusta tehdessä tulini huomanneeksi, kuinka haastavaa on saada kaksi eri tieteenalaa sovitettua yhteen, mutta silti pitää tutkimus mahdollisimman tiiviinä ja helppona käyttää. Tämän takia molempien osuus, sekä sähköteknillinen teoriaosuus, että pedagoginen osuus haluttiin pitää tiiviinä, jotta itse asia pysyy mahdollisimman hyvin esillä. Syvemmälle kuormanohjauksiin olisi voinut mennä tutkimalla esimerkiksi minkälaisia turvallisuushkia kuormanohjausten tietämättömyys voi sähköasentajalle ja hänen ympäristölleen luoda. Sekä tutkia kustannussäästöjä mitä kuluttajalle tulee, kun hän osallistuu kysynnänjoustoon käyttämällä vanhaa SLY-kytkentä tapaa pohjana, verrattuna siihen, jos kaikki samantyylinen järjestelmä rakennettaisiin uudestaan. Tutkivana työnä työ ei välttämättä tarjoa kaikista syvällisintä lopputulosta, mutta todellakin riittävän.

Lähteet

- ABB Oy, 2016. [verkkoaineisto]. Järjestelmän käsikirja ABB-free@home [Viitattu 31.10.2023]. Saatavissa: <https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/kiinteistoautomaatio-kotiautomaatio/ratkaisut/freeathome/tuki/tyokalut>
- Caruna, 2022. [Verkkoaineisto]. Caruna: Kotitalouksien tehokkaimmat energiansäästökei-not ovat vielä käyttämättä. [Viitattu 2.11.2022]. Saatavissa: <https://www.kirkkonummensa-nomat.fi/neo/?app=NeoDirect&com=6/159/67371/ceb6823003>
- Energiavirasto, 2023 Toimitusvarmuus.[Verkkoaineisto]. [Viitattu 4.12.2023]. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/toimitusvarmuus>
- Energiateollisuus ry, Energiavuosi 2022, 2023. [verkkoaineisto]. Energiavuosi 2022 [Vii-tattu 4.12.2023]. Saatavissa: <https://energia.fi/tilastot/energiavuosi-2022-sahko/>
- Ensto Oy, 2016. [Verkkoaineisto] Mittauskeskus ESNV365.36 [Viitattu 31.10.2023] Saata-
vissa: [ESNV365.36 Mittauskeskus | Kuivan tilan mittauskeskukset IP20C, Waltteri ja Pikku-
Waltteri | Ensto](https://www.esto.fi/ESNV365.36-Mittauskeskus-Kuivan-tilan-mittauskeskukset-IP20C-Waltteri-ja-Pikku-Waltteri-Ensto)
- Fingrid, 2023. [verkkoaineisto]. Sähkön tuotanto ja kulutus [Viitattu 25.9.2023]. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/kulutus-ja-tuotanto/>
- Fingrid 2023b. [Verkkoaineisto]. Kysyntäjousto [Viitattu 21.11.2023]. Saatavissa: [https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyssahkomarkkinoiden-ke-
hityshankkeet/kysyntajousto/](https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyssahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/kysyntajousto/)
- Fingrid, 2023c. [verkkoaineisto]. Markkinapaikat [Viitattu 4.12.2023]. Saatavissa: [https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyssjohdanto-sahkomarkki-
noihin/#sahkomarkkinoiden-aikajana](https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyssjohdanto-sahkomarkki-noihin/#sahkomarkkinoiden-aikajana)
- Fingrid, 2023d. [verkkoaineisto]. Miten sähkön hinta muodostuu ? [Viitattu 18.12.2023].
Saatavissa: [https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/yleistietoa-sahkomarkkinoista/miten-
sahkon-hinta-muodostuu/](https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/yleistietoa-sahkomarkkinoista/miten-sahkon-hinta-muodostuu/)

Fingrid, 2023e. [verkkoaineisto]. Reservimarkkinat [Viitattu 18.12.2023]. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/#reservivelvoitteet-ja-hankintakanavat>

Fingrid. 2023f. [verkkoaineisto] Reservituotteet ja reservien markkinapaikat. Julkinen esitysmateriaali [viitattu 26.9.2023]. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-reservien-markkinapaikat.pdf>

EPEXSPOT. 2023. [verkkoaineisto]. About EPEXSPOT [Viitattu 12.12.2023]. Saatavissa: <https://www.epexspot.com/en/about>

Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli), 2015. Pertti Järventausta, Sami Repo, Petri Trygg, Antti Rautiainen, Antti Mutanen, Kimmo Lummi, Antti Supponen, Juhani Heljo, Jaakko Sorri, Pirkko Harsia, Martti Honkiniemi, Kari Kallioharju, Veijo Piikkilä, Jaakko Luoma, Jarmo Partanen, Samuli Honkapuro, Petri Valtonen, Jussi Tuunanen, Nadezda Belonogova. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan laitos. Tampere 2015. ISBN 978-952-15-3485-0

Logren, M., 2016. 4 syytä, miksi kysyntäjousto kannattaa. [Verkkoaineisto]. Helen. [29.11.2023]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/blogi/2014/4-syyta-miksi-kysyntajousto-kannattaa>

Marjo Tiirikka, 2023. Miksi sähköjärjestelmän vakaa taajuus on tärkeää? [Verkkoaineisto]. [Viitattu 5.10.2023]. Saatavissa: <https://www.fingridlehti.fi/miksi-sahkojarjestelman-vakaa-taajuus-on-tarkeaa/>

Nord Pool. 2023a. [verkkoaineisto]. Day-ahead overview 2023 [Viitattu 10.12.2023]. Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/en/maps/#/nordic>

Nord Pool. 2023b. [verkkoaineisto]. About us [Viitattu 12.12.2023]. Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/en/About-us/>

Opetus- ja kulttuuriministeriö, 2017. [Verkkoaineisto]. Ammatillisen koulutuksen reformi uudistaa koulutuksen vastaamaan opiskelijoiden ja työelämän tarpeita. 24.4.2017. [Viitattu 7.11.2022]. Saatavissa: [Ammatillisen koulutuksen reformi uudistaa koulutuksen vastaamaan opiskelijoiden ja työelämän tarpeita \(valtioneuvosto.fi\)](https://www.valtioneuvosto.fi/ammattillisen-koulutuksen-reformi-udistaa-koulutuksen-vastaamaan-opiskelijoiden-ja-tyoelaman-tarpeita)

Opetushallitus, 2023. [verkkoaineisto]. Sähkö- ja automaatioalan perustutkinto OPH-4947-2021 [Viitattu 25.9.2023]. Saatavissa: [Sähkö- ja automaatioalan perustutkinto - ePerusteet \(opintopolku.fi\)](https://www.opintopolku.fi)

Opetushallitus, 2023b. [verkkoaineisto]. Tutkintojen perusteet [Viitattu 31.10.2023]. Saatavissa: <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/tutkintojen-perusteet>

Puolakka, M., 2023. Mitä on kulutusjousto? [Verkkoaineisto]. Helen. [29.11.2023]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/artikkelit/2023/mita-on-kulutusjousto>

Sähkölämmityksen ohjauskytkennät, 2019. Pirkko Harsia. Tampereen yliopisto.

Schneider Oy, 2021. [Verkkoaineisto] Mukava ja turvallinen koti, energiaa säästään Wiser-älykoti. [Viitattu 31.10.2023] Saatavissa: <https://www.se.com/fi/fi/home/smart-home/local/wiser/homeowner.jsp>

SESKO, 2023. Kaksisuuntainen lataus, sähköauto sähkövarastona [Verkkoaineisto]. Viitattu 29. marraskuuta 2023, Saatavissa: <https://sesko.fi/kaksisuuntainen-lataus-sahkoauto-sahko-varastona/>

Tampereen yliopisto, 2023. [verkkoaineisto]. Pedagoginen suunnittelu [Viitattu 2.22.2023]. Saatavissa: <https://www.tuni.fi/tlc/suunnittelu/pedagoginen-suunnittelu/#suuntauksia>

Tilastokeskus, 2023. [verkkoaineisto]. Sähkön hankinta ja kokonaiskulutus muuttujina Vuosi, Sähkön tuotanto/hankinta ja Tiedot [Viitattu 25.9.2023]. Saatavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehk/stat-fin_ehk_pxt_12sv.px/table/tableViewLayout1/

Tilastokeskus, 2023b. [verkkoaineisto]. Energian loppukulutus sektoreittain muuttujina Vuosi, Energian loppukäytön sektori ja Tiedot [Viitattu 25.9.2023]. Saatavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehk/stat-fin_ehk_pxt_12vk.px/table/tableViewLayout1/

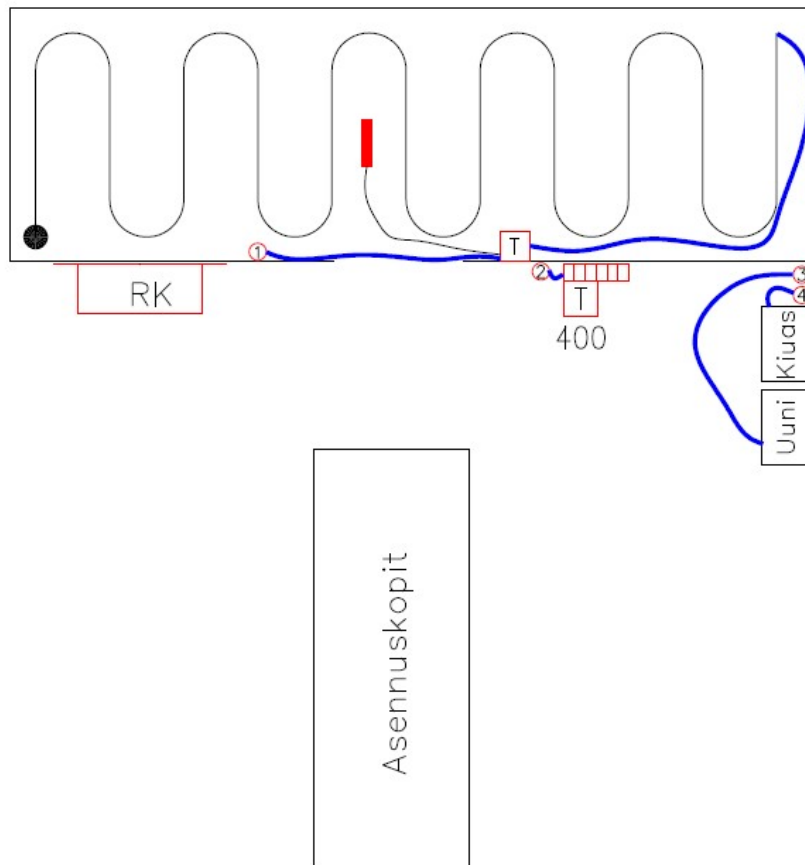
Tuuli Nikkarinen, & Kalle Hoppu, 1994. [verkkoaineisto]. Ongelmakeskeinen opetus, ongelmalähtöinen oppiminen ja aktivoivat opetusmenetelmät. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim. [Viitattu 7.11.2022]. Saatavissa: <https://www.duodecim-lehti.fi/lehti/1994/16/duo40341>

Työ- ja elinkeinoministeriö Sähkömarkkinat, 2023. [verkkoaineisto]. Sähkömarkkinat [Viitattu 4.12.2023]. Saatavissa: <https://tem.fi/sahkomarkkinat>

Valtioneuvosto, 2021. [verkkoaineisto] Valtioneuvoston asetus ammatillisesta koulutuksesta annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta [viitattu 15.1.2024]. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210583>

Liite 1. Esimerkki opetukseen käytettävästä harjoitustyöstä.

Oppilaan nimi: _____



Ylläolevassa, kuvassa on luokassa oleva kiinteistöasennus harjoituskoppi. Kuvaan on merkattu tässä työssä jokaiselle kulutuskojeelle, oma jakorasia 1-4. Tehtävänä on tehdä havainnollistavan kuvan mukaiset asennukset. Eli Vedät ja kytket ryhmäjodot RK:keskukselta jokaisen kulutuskojeen jakorasialle. Sen jälkeen valitset ja kytket kojetta syöttävän kaapelin ja kytket sen keskukselle ja kojeelle. Jokaiselle asennukselle tehdään normaalit käyttöönotto mittaukset ja toimivuus tarkistetaan jännitteisenä. Jännitteistä testaamista varten pyydä valvova opettaja paikalle.

1. Asenna kaapeloi ja kytke lattialämmitys

Paljonko lattialämmitys ottaa tehoa ? _____

Mikä on riittävä sulake ? _____

Minkä kokoisen kaapelin se vaatii ? _____

Suorita käyttöönottomittaukset lattialämmityksen asennukselle.

2. Asenna kaapeloi ja kytke sähköpatteri

Paljonko tehoa sähköpatteri ottaa ? _____

Mikä on riittävä sulake ? _____

Minkä kokoisen kaapelin se vaatii ? _____

Suorita käyttöönottomittaukset sähköpatterin asennukselle.

3. Asenna, kaapeloi ja kytke Uuni/liesitaso.

Kuinka iso tehoinen uuni/liesitaso on ? _____

Mikä on riittävä sulake ? _____

Minkä kokoisen kaapelin se vaatii ? _____

Suorita käyttöönottomittaukset liedon asennukselle.

4. Asenna, kaapeloi ja kytke kiuas

Kuinka iso tehoinen kiuas on ? _____

Mikä on riittävä sulake ? _____

Minkä kokoisen kaapelin se vaati ? _____

Suorita käyttöönottomittaukset kiukaan asennukselle.

5. Laske kuinka paljon tehoa kaikki nämä laitteet tarvitsevat, kun ne ovat yhtä aikaa päällä ?

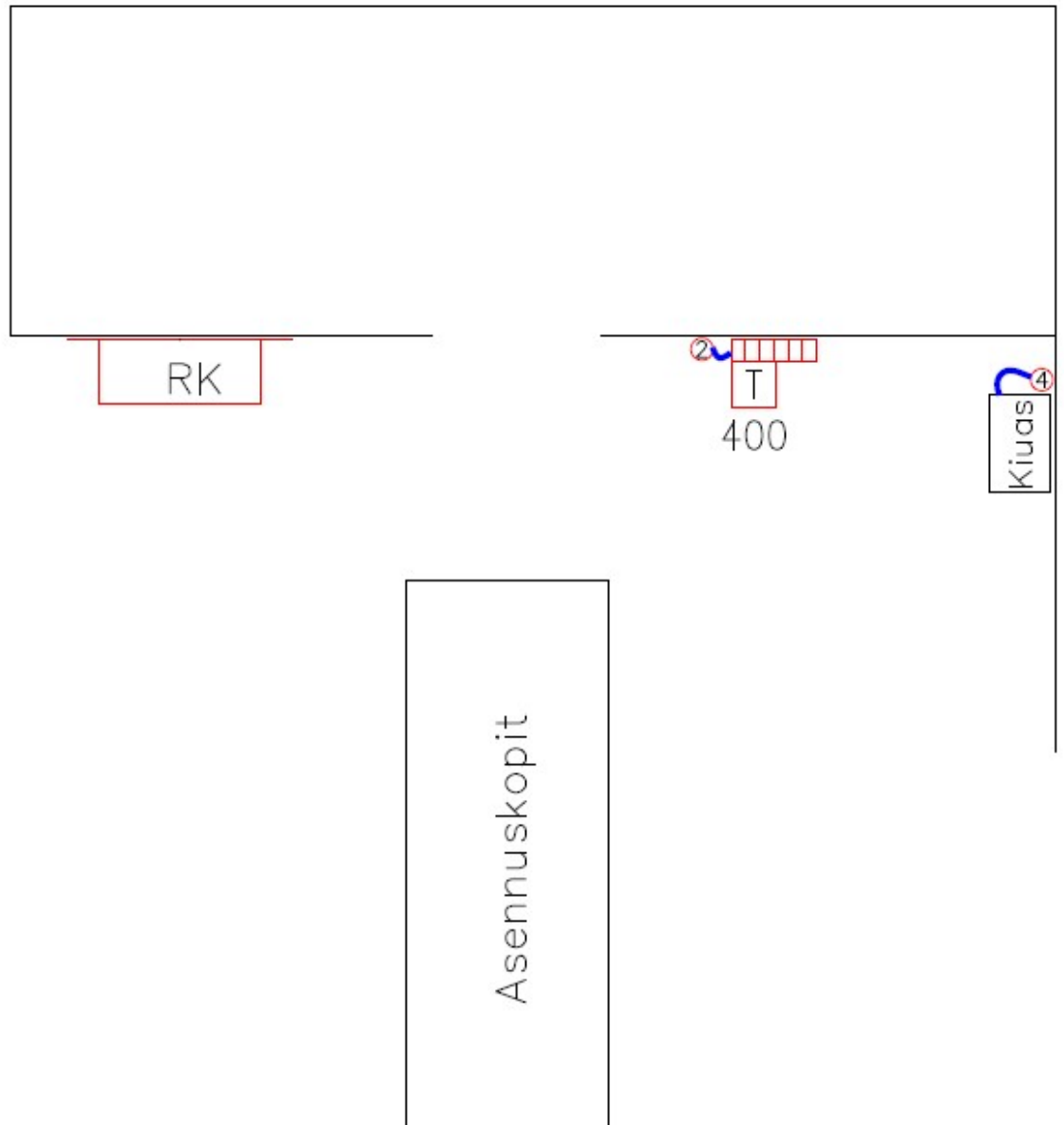
Kuinka paljon kiinteistöllä on sähkötehoa käytettävissä, jos keskuksen sulakkeet on 3x25A ?

Paljonko tehoa jää muiden laitteiden käytettäväksi ?

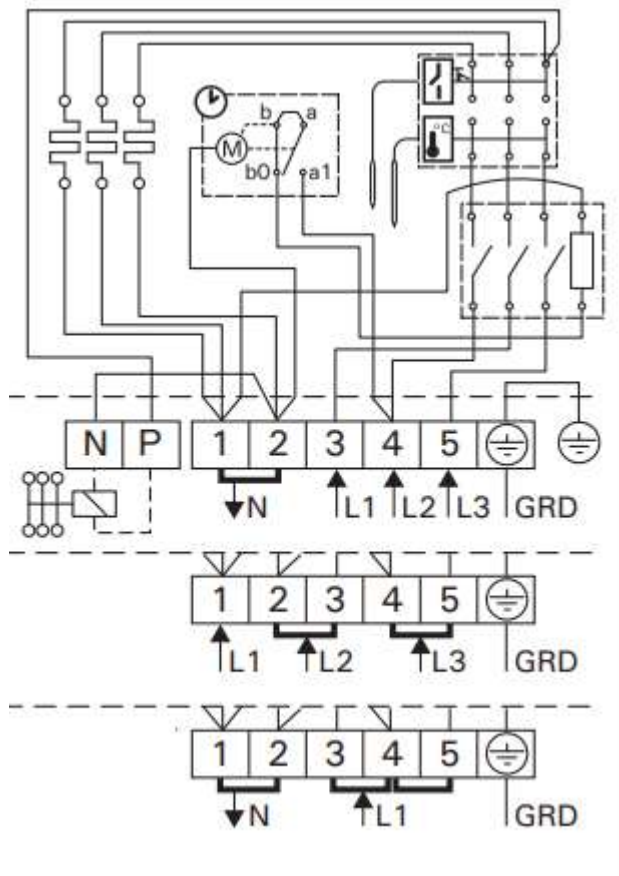
Montako patteria/ lattialämmitystä keskuksen voidaan lisätä kasvattamatta pääsulakkeita ?

Jos kiinteistöön joudutaan isontamaan pääsulakkeita mitä kaikkia toimenpiteitä se vaatii ?

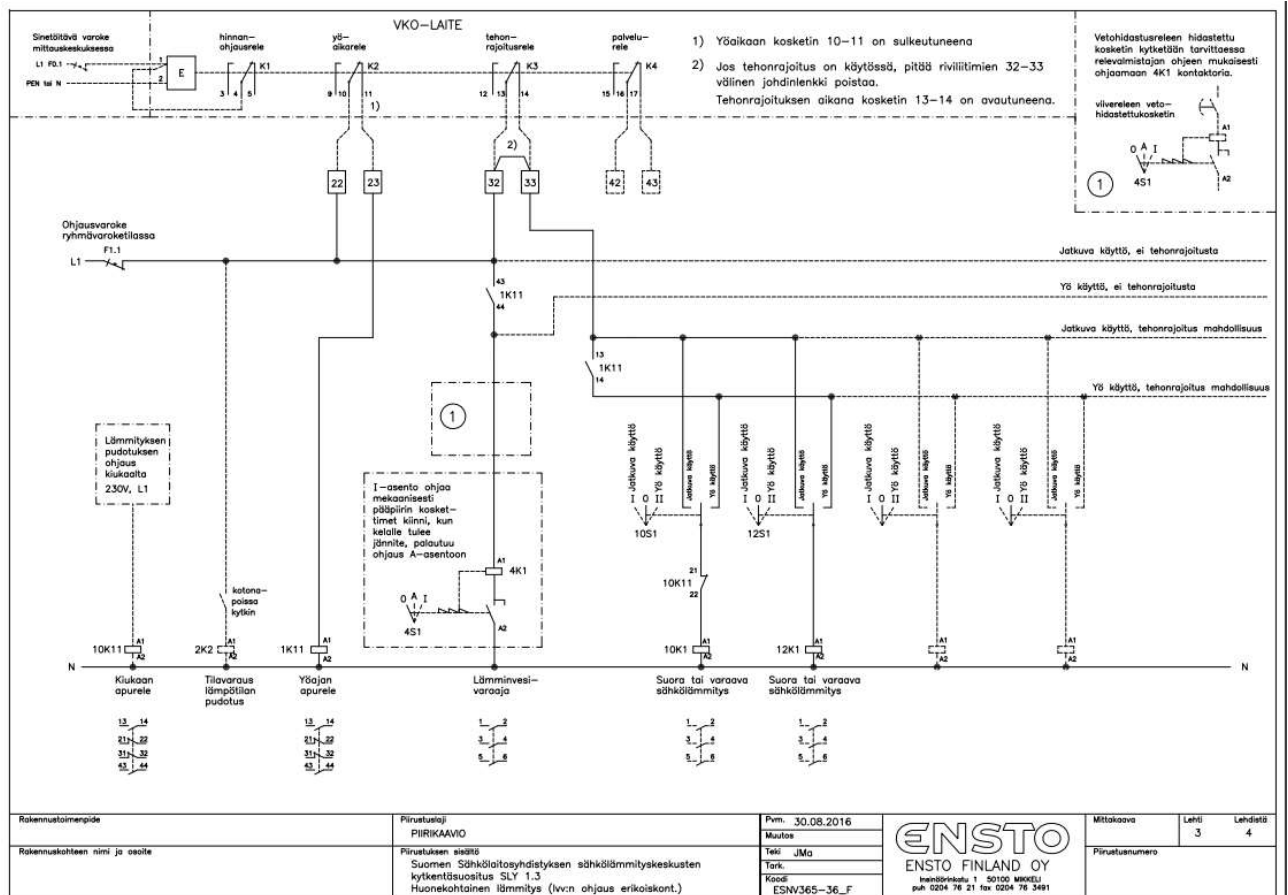
6. Muuta kytkentää, siten että kun kiuas on päällä putoaa patterit pois käytöstä.



Liitteenä käyttö, ohje harvian kiukaan kytkennöistä ja SLY-kytkennän piirikaavio. HUOM. Kytkennän tekeminen vaatii näiden kuvien huolellista lukemista, kiinnitä huomiota ohjauskontaktoreiden ja releiden koskettimien asentoihin.



Kuva 12 Harvian asennusohjeen esimerkki kiukaan liittimistä



Kuva 13 Enston SLY-kytkentä keskusten pääkaavio

Mitä tällä kytkennällä saavutetaan ?

Mitä muita kuormia voisi vuorotella tässä kytkennässä ?

Onko nykykiinteistössä muita kuormia joita voisi vuorotella ?