



VAUNUNLÄMMITYKSEN ENERGIAKULUTUKSEN KOHDENTAMINEN KULUTTAJAKOHTAISESTI

Alexi Mutru

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024

Sähkö -ja automaatio
Automaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

MUTRU, ALEKSI:
Vaununlämmityksen energiakulutuksen kohdentaminen kuluttajakohtaisesti

Opinnäytetyö 42 sivua, josta liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2024

Tämä opinnäytetyö tehtiin osana Tampereen ammattikorkeakoulun sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelmaa. Työn teettäjänä toimi GRK Suomi Oy ja tilaajana Väylävirasto.

Energiahallinnan merkitys kasvaa ratajohtoverkon monitoimijaympäristössä, jossa on useita sähkökuluttajia. Opinnäytetyössä tutkittiin, miten ja mitä kohdennettua sähköenergian mittaussuunnitelmaa voidaan soveltaa nykyisiin vaununlämmitysjärjestelmiin. Opinnäytetyössä perehdyttiin myös erilaisiin tunnistautumistapoihin sekä niiden yhdistämiseen energiamittauksessa.

Lähdeaineistona opinnäytetyöhön toimi Väyläviraston ratapiirustusarkistosta saadut sähkökuvat lämmitysasemista ja vaununlämmitysposteista. Tutkittavissa laitteissa sekä komponenteissa lähdeaineistona käytettiin valmistajien dokumentteja.

Tuloksena tuotettiin erilaisia vaihtoehtoja energiakulutuksen kohdentamiseen käyttäjäkohtaisesti. Työssä otettiin huomioon erilaisia tunnistautumistapoja ja niiden yhdistämistä energiamittaukseen. Vaihtoehtojen pohjalta tehtiin alustava suunnitelma tilavarauksista ja kaapeloinneista. Tietoja tilavarauksista ja kaapeloinneista voidaan hyödyntää lisätutkimuksissa. Työssä ei otettu kantaa järjestelmäpuoleen, jolla tunnistautuminen ja sähköenergianmittaustiedot voidaan yhdistää.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että kuluttajakohtaisen tunnistautumisen tekninen ratkaisu on mahdollista integroida osaksi nykyistä vaununlämmitysjärjestelmää. Vaununlämmitysasemia on monenlaisia, joten teknisiltä ominaisuuksiltaan niissä on eroja. Energiamittauksen kohdentaminen vaatii näin jatkotutkimuksia ja kattavaa suunnittelua.

Avainsanat: vaununlämmitys, pistorasiakeskus, kohdentaminen, tunnistautuminen, energianhallinta

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Automation Engineering

MUTRU, ALEKSI:
Allocating train heating energy consumption on a consumer-specific basis

Bachelor's thesis, 42 pages, appendices 2
May 2024

This thesis was conducted as part of the Electrical and Automation Engineering program at Tampere University of Applied Sciences. The work was commissioned by GRK Finland Oy and ordered by the Finnish Transport Infrastructure Agency (FTIA).

In a multi-actor environment with multiple electricity consumers, the importance of rail network energy management increases, and efforts are continuously made to develop it. The thesis investigated how and what targeted electric energy measurement systems can be applied to existing train heating systems. The thesis also explored various authentication methods and their integration in energy measurement.

The source material for the thesis included electrical diagrams from the FTIA: s railway drawing archive of heating stations and heating points. Manufacturer documents were used as source material for the devices and components under study.

As a result, various options for targeting energy consumption on a user-specific basis were produced. This considered A number of authentication methods and their integration into energy measurement were considered in this context. Preliminary plans for space reservations and cabling were made based on these options, which can be utilized in further research. The thesis did not address the system side by which authentication and energy measurement results are combined.

In conclusion, it can be stated that a consumer-specific authentication technical solution can be integrated into the existing train heating system. There are various types of train heating stations, and they differ in technical features. Targeting energy measurement requires further research and comprehensive planning.

Key words: carriage heating, socket center, targeting, authentication, energy management

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
	1.1.1 GRK-konserni.....	10
	1.1.2 Väylävirasto	10
2	SÄHKÖNSYÖTÖN RAKENNE	11
	2.1 Sähkönsyöttö	11
	2.2 Syöttöasema	11
	2.3 Ratajohto.....	12
	2.4 Erotin ja suurjännitekatkaisija.....	13
	2.5 Vaununlämmitysasema (LA)	14
	2.5.1 Yksivaihemuuntaja	16
	2.5.2 Kennokeskus.....	17
	2.6 1500 V vaununlämmitysposti	18
3	RATAJOHTOVERKON ENERGIATASEENHALLINTA.....	21
4	TEHO, SÄHKÖMITTAUS JA -LAITTEISTO	23
	4.1 Teho.....	23
	4.1.1 Pätöteho	24
	4.1.2 Loisteho.....	24
	4.1.3 Näennäisteho	25
	4.2 Sähköenergianmittaus.....	25
	4.3 Mittausdirektiivi 2014/32/EU.....	26
	4.4 Sähköenergiamittarit (MI-003).....	26
	4.5 Mittalaitteet nykytilanteessa	26
5	KÄYTTÄJÄKOHTAINEN TUNNISTAUTUMINEN	28
	5.1 RFID (Radio Frequency Identification)	28
	5.1.1 NFC (Near Field Communication)	29
	5.2 Näppäiltävä koodi.....	29
	5.3 Älykortti (SmartCard).....	30
6	TUNNISTAUTUMISEN JA ENERGIANMITTAUKSEN VAIHTOEHDOT 31	
	6.1 Tunnistautuminen.....	31
	6.1.1 RFID- ja NFC- lukija	32
	6.1.2 PIN- koodi.....	34
	6.1.3 Älykortti.....	35
	6.2 Energianmittausjärjestelmä	35
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	39
	Liitteet	41

Lähteet..... 43

LYHENTEET JA TERMIT

25 kV järjestelmä	Yleisesti Suomen rataverkossa käytetty sähköistysjärjestelmä, jossa ajojohtimen ja paluukiskon välissä käyttöjännite on 25 kV
2x25 kV järjestelmä	Sähköistysjärjestelmässä käytetään 25 kV käyttöjännitettä, joka syötetään ajojohtimen ja paluukiskon väliin, sekä samansuuruista mutta vastakkaismerkkistä -25 kV jännitettä, joka syötetään vastajohtimen ja paluukiskon väliin
AC	Alternative current, suomeksi vaihtovirta
Ajojohdin	Ajolangan ja kannattimen tai vain ajolangan muodostama johdin
Ajolanka	Ajojohtimen alempi osa, josta virroitin ottaa tehoa
DC	Direct current, suomeksi tasavirta
I/O	Laitteen sisään ja ulostulo
Impedanssi	Kuvaa vaihtovirran vastustusta johtimessa tai piirissä.
Induktio	Sähkömagneettinen induktio (EMI) syntyy, kun johtimet liikkuvat magneettikentässä tai päinvastoin
IoT	Internet of things
Kannatin	Ajojohtimen ylempi johdin, johon ajolanka on ripustimilla kiinnitetty
Kenno	Sähkökeskuksen pystysuuntainen rakenneyksikkö

Kennokeskus	Kennoista koostuva sähkökeskus
Keskinäisinduktanssi	Kahden virtapiirin magneettinen vaikutus toisiinsa
Liikennepaikka	Rautatieliikennepaikka on määritelty paikka, jossa suoritetaan junaliikenteen ohjausta tai tarjotaan asiakaspalveluita. Se voi olla liikennepaikka, linjavaihde tai seisake.
MID	Measuring Instrument Directive, mittalaitedirektiivi
Pysäköintiraide	Raidekaluston pysäköintiin tarkoitettu raide. Sijoitus valvotulle alueelle tai alue varustettava valvontajärjestelmällä
Ratajohto	Koostuu ajojohtimesta, mahdollisesta paluu- tai vasta-johtimesta sekä näitä tukevista kannatusrakenteista ja varusteista
Ratakilometri	Rataverkossa oleva määrämittäinen osuus
Rautatiealue	Alue, joka on välttämätön rautateiden, rata-alueiden, rakennusten ja laitteiden, liikenteenhoidon sekä kaiken siihen liittyvän toiminnan käyttöön. Rautatiealue sisältää myös kaikki tarvittavat palvelualueet rautatieliikenteelle
RATO	Ratatekniset ohjeet
RFID	Radio Frequency identification teknologia, joka käyttää radioaaltoja tiedon siirtämiseen
Ryhmäerotin	Erottaa eri sähköryhmiä joko kauko- tai käsikäytöllä

Suurjännitesulake	Sulakemalli, jota käytetään suojaamaan nimellisjännite-alueella 3 kV- 36 kV
VAC	Vaihtojännite, Voltage Alternative Current
Valtti-kortti	Digitaalinen henkilötunniste. Toimii myös pääsynä työmaalle ja sisältää henkilön kuvan, nimen, veronumeron sekä työnantajan tiedot
VR	VR Group on Suomen valtion omistama logistiikan ja kunnossapidon palveluyritys
Väylävirasto	Väylävirasto on vastuussa valtion omistamien teiden, rautateiden ja vesiväylien kehittämisestä ja ylläpidosta. Lisäksi virasto varmistaa liikenteen palvelutason ylläpidon ja on mukana liikenteen sekä maankäytön suunnittelun integroinnissa.

1 JOHDANTO

Ratajohtoverkosta syötettyjä vaununlämmitysasemia on Suomen valtion rataverkolla yhteensä 25 kappaletta. Rautatieyritykset käyttävät liikkuvan kaluston ja vaunujen lämmitykseen vaununlämmitysasemilta ja niiden vaununlämmitysposteilta (1500 VAC) saatavaa sähköenergiaa sekä ratajohtoverkosta saatavaa sähköenergiaa. Opinnäytetyössä tutkittiin Ilmalassa sijaitsevia vaununlämmitysasemia sekä vaununlämmitysposteja.

Opinnäytetyötä tehdessä vaununlämmitysasemat jakavat sähköenergian usealle vaununlämmityspostille. Vaununlämmityspostien energianmittaus on toteutettu yhdellä sähköenergiamittarilla, joka mittaa kulutusta syöttävän vaiheen virtakiskosta. Haasteen tilanteessa tekee mittaustulosten kohdentaminen ja yksittäisen lämmityspostin sähköenergianmittaus.

Toimijoiden lisääntyessä rataverkolla Väylävirasto kehittää jatkuvasti ratajohtoverkon energiahallintaa ja sen sähköenergianmittausta ratajohtoverkon eri osaluilla. Vaununlämmitys on osa tätä kokonaisuutta ja kuuluu näin ratajohtoverkon energiahallinnan piiriin. Tähän liittyen tehtiin opinnäytetyö, joka kattaa vaununlämmitysaseman ja vaununlämmityspostien teknisten tietojen tutkimisen ja yhdistämisen ja pyrkii vertailemaan jo olemassa olevia ratkaisuja. Tähän yhdistetään myös toimijoiden tunnistautuminen, jolla mittaustiedot saadaan yhdistettyä, kuluttajakohtaisesti.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on etsiä ja kehittää teknisiä vaihtoehtoja kohdenettuun energian mittaukseen kuluttajakohtaisesti, joka on soveltuva vaununlämmitysposteille. Työssä ei ole tarkoitus tuottaa uutta ratkaisua, vaan keskitytään tutkimaan ja ymmärtämään jo markkinoilla olevia. Tämä sisältää sekä olemassa olevien teknologioiden ja ratkaisuiden soveltuvuuden arvioinnin vaununlämmitysjärjestelmiin.

Vaihtoehtoisissa otettiin huomioon niiden käytännöllisyys, tehokkuus ja luotettavuus, jotta se voi palvella eri toimijoita ja edistää energiatehokkuutta. Lähdeaineistona käytetään Ilmalan liikennepaikalla sijaitsevia vaununlämmityskeskuksia ja niiden sähköpiirustuksia.

1.1.1 GRK-konserni

GRK-konserniin kuuluu kolme eri maayhtiötä GRK Suomi Oy, GRK Eesti AS ja GRK Sverige AB ja nämä omistavaa emoyhtiö GRK Infra Oyj. GRK:n toimintakirjo on laaja sen toimialoihin kuuluu infrarakentaminen ja rataliiketoiminta. Rataliiketoiminta on yhtiön suurimpia aloja ja rataliiketoimintaan kuuluu suunnittelu, rakentaminen ja kunnossapito. Tämän opinnäytetyön teettäjänä toimii GRK Suomi Oy. GRK Infra Oyj:n kasvu on ollut tasaista ja vuoden 2023 liikevaihto ylitti 500 miljoonan euron sen ollessa 546,2 miljoonaa euroa. Työntekijöitä vuoden 2023 lopussa on ollut yli 1000.

1.1.2 Väylävirasto

Väylävirasto toimii tämän opinnäytetyön tilaajana. Väylävirastosta heidän verkkosivuillaan kerrotaan näin ”Väylävirasto on noin 490 hengen asiantuntijavirasto, joka keskittyy tie-, rata- ja meriliikenteen väyläverkon suunnitteluun, kehittämiseen ja kunnossapitoon sekä liikenteen ja maankäytön yhteensovittamiseen (Väylävirasto, 2024).

Ratajohtoverkon energianhallinnassa päävastuu on Väylävirastolla, mutta kokonaisuuteen liittyy useita eri toimijoita. Väyläviraston hallinnoiman ratajohtoverkon energiahallinnan piiriin kuuluu muun muassa suurin osa Suomen ratajohdosta, vaihteenlämmitys sekä vaununlämmitys. (Saari 2024.)

2 SÄHKÖNSYÖTÖN RAKENNE

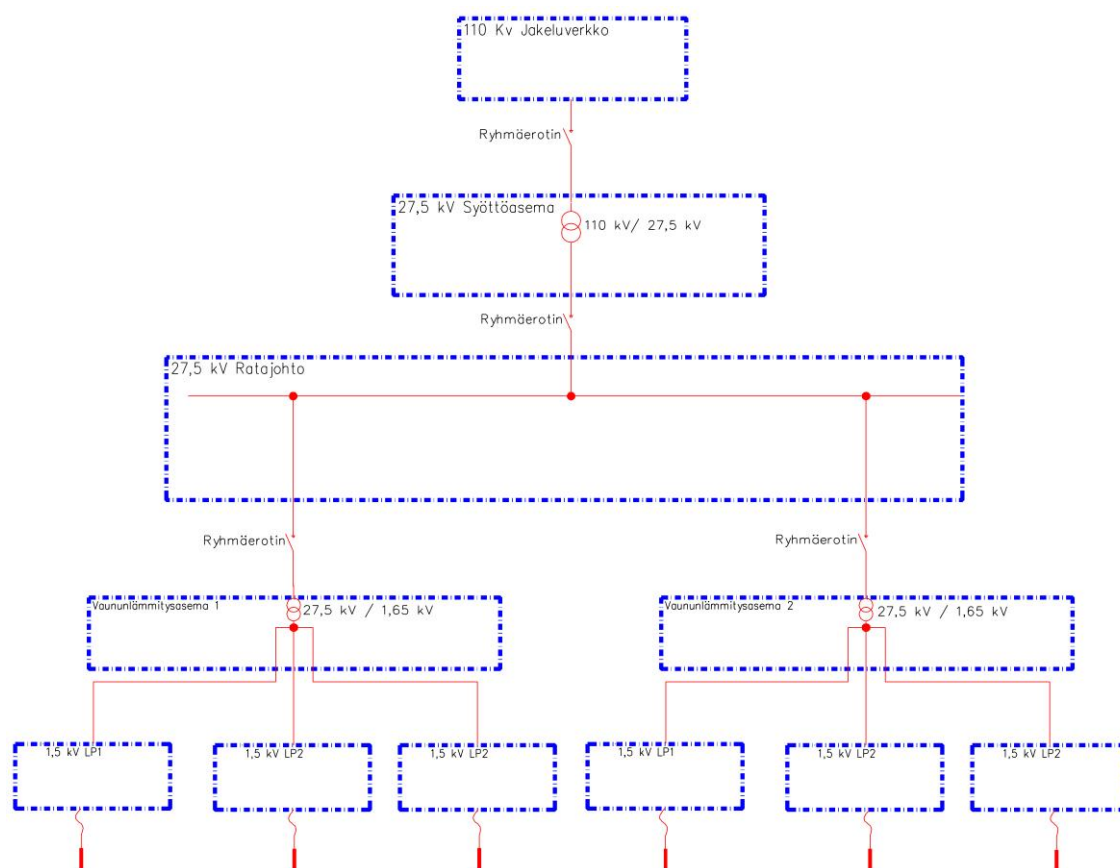
Ratajohdon rakenne koostuu monesta eri sähkölaitteesta, jotka vaikuttavat kokonaisuuteen. Kokonaisuus muodostuu 110 kV sähkösyötöstä aina syötettävälle 1500 VAC vaununlämmitysposteille. Väyläviraston ohjeluetelossa on esitetty rautateitä koskevat ohjeet, joiden osana on ”Ratatekniset ohjeet”- kokoelma. Ratateknisissä ohjeissa on esitetty rautateiden teknisten määreiden kannalta keskeisimmät asiat. Suomessa rataverkko toimii vaihtovirralla (AC).

2.1 Sähkönsyöttö

Sähkönsyöttö ratajohtoon tulee syöttöasemilta, jotka saavat sähköä Väyläviraston hallinnoimista 110 kV sähköliittymistä. Nämä liittymät ovat yhdistetty joko alueelliseen jakeluverkkoon tai suoraan Fingridin kautta kulkevaan kansalliseen sähkönsyöttöverkkoon. Tämänlainen järjestely mahdollistaa jatkuvan ja luotettavan sähkönsyötön ratainfrastruktuuriin. (RATO 5 2018, 4.)

2.2 Syöttöasema

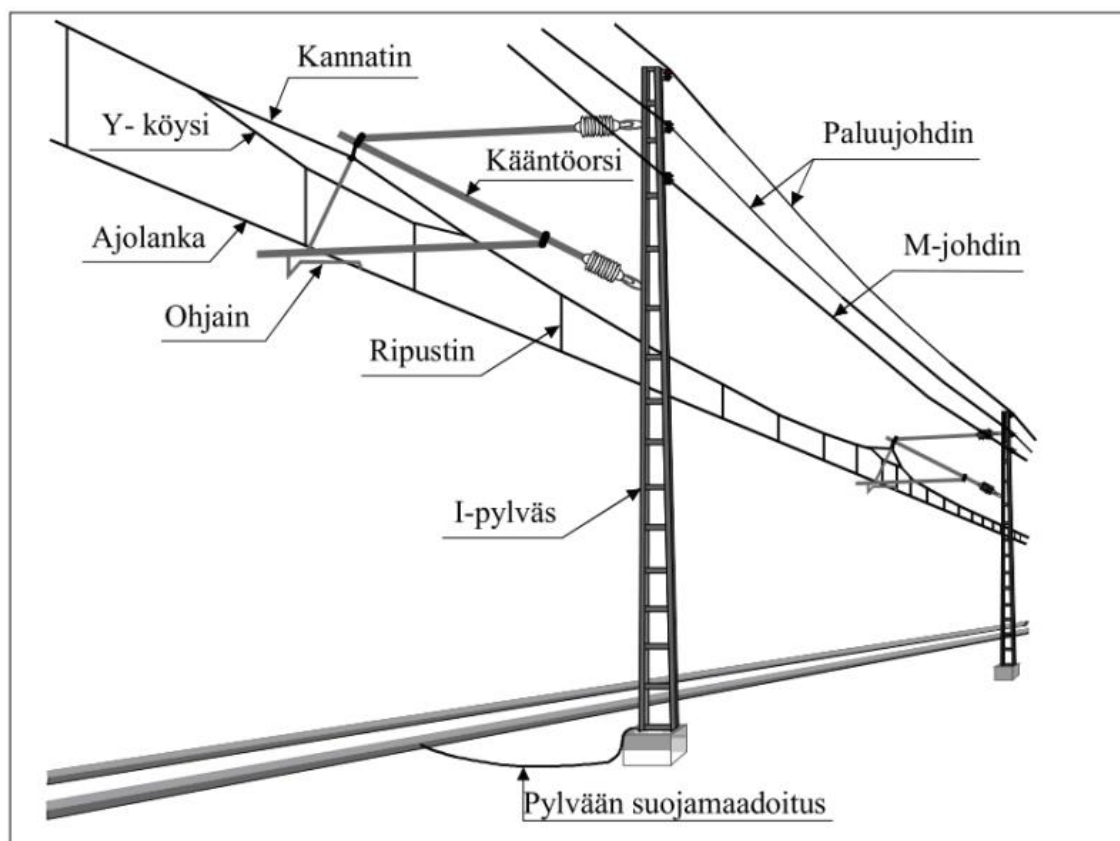
Syöttöasemilla on joko yksi tai kaksi päämuuntajaa (PM), jotka muuntavat syötävän verkon 110 kV jännitteen sopivaksi. Syöttöasemat syöttävät ratajohtoon 25 kV nimellisjännitettä. Syöttöaseman ja ratajohdon erottaa ratajohtoerotin, josta lähtee alumiinikaapelit ratajohdon kannattimeen.



KUVA 1. Sähkijakelu syöttöasemalta vaununlämmitysposteille.

2.3 Ratajohto

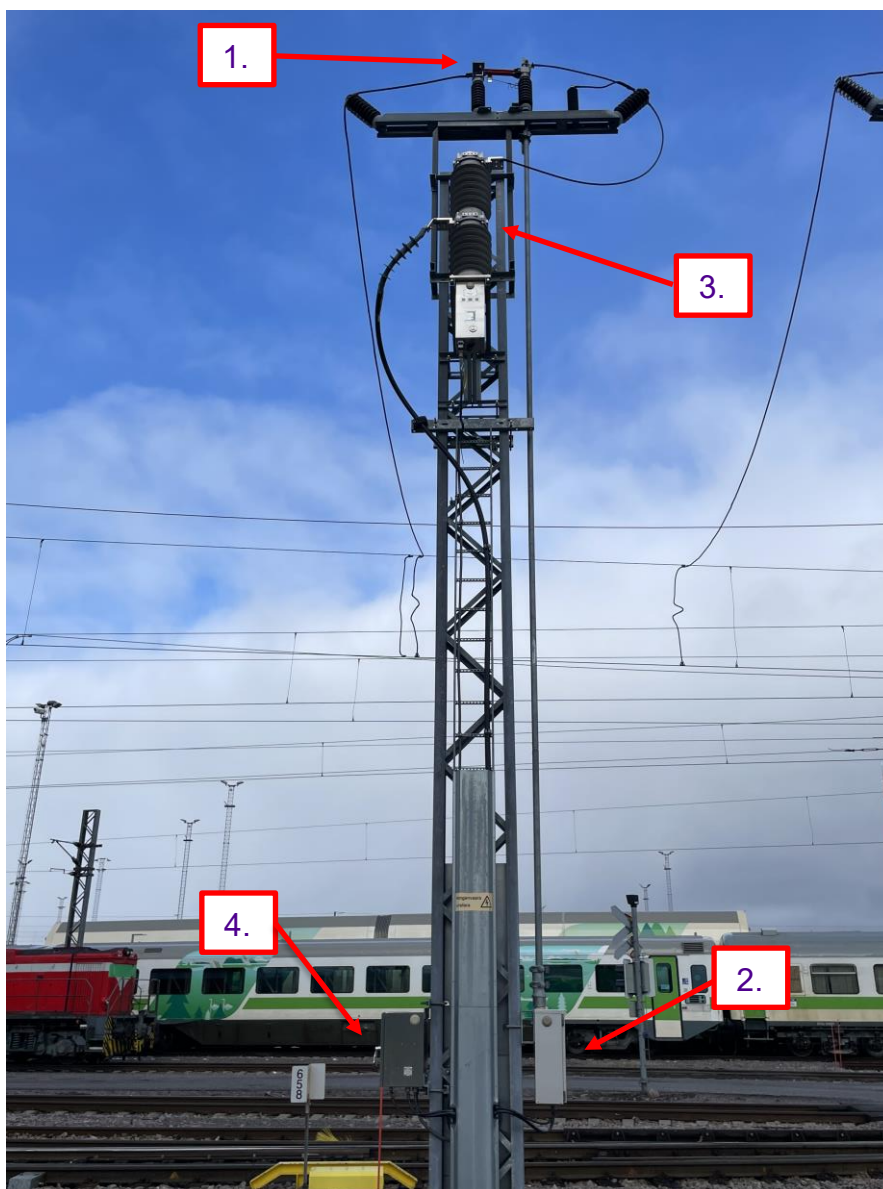
Sähkötaverkossa ratajohdon muodostaa ajojohdin, mahdollinen paluujohdin tai vastajohdin sekä varusteiden ja kannatusrakenteiden muodostama kokonaisuus (RATO 5 2018, 14). Sähköistysjärjestelmäksi valitaan joko 25 kV järjestelmä, joka on varustettu imumuuntajilla, tai 2x 25 kV järjestelmä, jossa on käytössä säästömuuntajat. Tämä päätös perustuu ennen kaikkea taloudellisiin näkökohtiin ja siihen, miten hyvin syöttöasemat voidaan yhdistää 110 kV verkkoon. (RATO 5 2018, 21. Kuvassa 2 on esitettyä 25 kV järjestelmän rakenne avoradalla.



Kuva 2. 25 kV järjestelmän rakenne avoradalla (RATO 5 2018, 34)

2.4 Erotin ja suurjännitekatkaisija

Erotimea käytetään sähköradalla eri sähköisten ryhmien sähköiseen erottamiseen toisistaan. Niiden osat on esitetty kuvassa 3. Pyörähtävä erotin sanan mukaisesti aukeaa ja menee kiinni pyörähtävällä liikkeellä, jolloin erottimen "veitsi" yhdistää tai erottaa virtapiirin. Tukieristin eristää erottimelta tulevan kaapelin niin, ettei se osu pylvääseen ja luo sitä jännitteelliseksi. Suurjännitekatkaisija sanansa mukaisesti katkaisee jännitteen. Katkaisija on järjestelmässä turvallisuus syystä, se pystyy katkaisemaan jännitteen nopeammin, kuin erotin. Katkaisijalle on pylväässä tai portaalissa oma ohjain. Ohjausputki on yhteydessä veitseen ja erottaminen ohjaimen. Erotimeen ohjaimella ohjataan erotinta auki tai kiinni. Erotimea on sekä käsikäyttöisiä, että moottorillisia. Tämän lisäksi osa sähkömoottorikäyttöisistä erottimista ovat kaukokäyttöisiä, joten niitä on mahdollista ohjata käyttökeskuksesta. Jokaisella erottimella on oma tunnus, jotta esimerkiksi ryhmityskaaviossa oleva erotin löytyy helpommin maastosta. Erotimeiden sijoitus on joko sähköratapylväässä tai -portaalissa. (RATO 5 2018, 51.)



KUVA 3. Pääkomponentit vaununlämmitysaseman suojaukseen ja erottamiseen ratajohdosta. 1 pyörähtäväerotin, 2 erottimen ohjain, 3 suurjännitekatkaisija, 4 katkaisijan ohjain.

2.5 Vaununlämmitysasema (LA)

Vaununlämmitysasemat ovat rakennuksia, jotka sijaitsevat rautateiden ratapihoilla ja sisältävät muuntajat sekä sähköjakelun vaununlämmitysposteille. Muuntajien tehtävä on alentaa ratajohdon 25 kV alhaisemmaksi jännitteeksi, joka sopii vaununlämmitysposteille. Jännitteen muuntaminen toteutetaan yksivaihemuuntajien avulla. Muuntajalta tulee syöttö kennoon, josta se jaetaan vaununlämmityspostien kennoille. Samasta virtakiskosta otetaan mittaus kWh mittarille, jota ennen on 6,3 A suurjännitesulake. Sulakkeen tehtävä on suojata mittaria.

Tämänlaista sulaketyyppiä käytetään yleisesti kuormakytkimen kanssa, joka tekee siitä taloudellisen vaihtoehdon. Suurjännitesulake katkaisee korkeat oikosulkuvirrat luotettavasti, sulakkeen lauettua kuormakytkin toimii laitteen erottimena. Jokaisen vaununlämmityspostin lähtö on suojattu omalla suurjännitesulakkeella sekä valokaarisuojauksella, joiden tehtävä on lisätä turvallisuutta sähköjärjestelmässä. Vaununlämmityspostin etusulakkeen koko on 315 A. Tämän suuruinen virta aiheuttaa suuresti vahinkoa ja sen vuoksi yhdistelmä valokaarisuojaus ja suurjännitesulake on asennettu. Liitteessä 1 on esitettyä Ilmalassa sijaitsevan vaununlämmitysaseman pääkaavio.

Valokaarisuojaus suojaa sekä työntekijöitä, että laitteistoja valokaaren aiheuttamilta mahdollisilta sähkövaurioilta tai onnettomuuksilta. Valokaari on voimakas sähköpurkaus, joka voi esiintyä johtimien tai komponenttien välillä ja aiheuttaa merkittävää vahinkoa sekä henkilövahinkoja. Valokaarisuojan toiminta perustuu sen kykyyn tunnistaa valokaaren aiheuttama äkillinen jännitepiikki ja katkaista virta nopeasti, mikä minimoi vahingon laajuuden. Suojaus toteutetaan keskuksen jokaisessa lohossa oleville optisilla tunnistimilla, joka havaitessaan kirkkaan piikin katkaisee jännitteen koko keskukselta.



KUVA 4. Kahden muuntajan (A ja B) vaununlämmitysasema Ilmalassa



KUVA 5. Vaununlämmityspostin kenno

2.5.1 Yksivaihemuuntaja

Muuntajat ovat staattisia sähkökoneita, jotka ovat olennaisia komponentteja energianmuunnosjärjestelmissä. Muuntaja ei tuota energiaa vaan muuntaa jännitteen, joko ylös tai alaspäin. Muuntajien toimintaperiaate liittyy magneettikenttien ja sähköisten virtapiirien väliseen vuorovaikutukseen. Sähkötekniikassa niitä hyödynnetään laajasti, erityisesti sähkömoottoreiden ja suurjännitteen siirtämisen yhteydessä. Muuntajia on kahta päätyyppiä: sydän- ja vaippatyyppi. Sydäntyyppisessä muuntajassa käämit kiedotaan ytimen ympärille, kun taas vaippatyyppisessä muuntajassa käämit sijoitetaan sydänraudan ympärille. (Sen 2013, 40).

Ilmalassa rata-alueella on käytössä eri mallisia yksivaihemuuntajia. Kuvassa 6 on Brown Boverin GBX S1 yksivaihemuuntaja. Brown Boveri on ABB:n ostama sveitsiläinen yritys. Kyseinen muuntaja on ensiöpuolen jännitteeltä 27,5 kV ja toisiopuolen jännite on 1,65 kV. Tyypikilvessä muuntajan impedanssijännitteeksi

on ilmoitettu 7,8 %. Impedanssijännite tarkoittaa sen sisäisen jännitteen jännitehäviötä nimellisjännitteestä, kun se toimittaa täyden nimellisvirran.



KUVA 6. Ilmalassa sijaitseva yksivaihemuuntaja. 1 ensiöpuoli, 2 toisiopuoli

2.5.2 Kennokeskus

Lämmitysasemilla käytössä olevat kennokeskukset koostuvat modulaarisista metallielementeistä. Kennokeskukset ovat monipuolisia sähköjärjestelmän elementtejä. Niitä hyödynnetään laajasti teollisuudessa toimien pääkeskuksina, nousukeskuksina tai alakeskuksina. (Poutala 2018, 27.) Kennokeskuksen rakenteen jakaminen tapahtuu käyttäen osastoituja kennoja (Poutala 2018, 28). Kennokeskuksissa sähköjakeluun käytetään kuparista tai alumiinista virtakiskoa. Keskukseen syöttökenno syöttää vaakasuuntaisia kokoojakiskoa, josta se on yhdistettävissä pystykiskoisiin. Pystykiskoista sähkönsyöttö haaroitetaan kiskoilla tai johtimilla lähtöyksiköihin. (Poutala 2018, 29–30.) Vaununlämmitysasemilla on käytössä UTU Groupin N400 kennokeskukset, joka on esitetty kuvassa 7. Vaununlämmitysasemalla olevassa kennokeskuksessa on merkkivalo, joka ilmaisee ken-

non jännitteettömyyden. Jännitteettömyys ilmaistaan valon ollessa päällä. Merkkivalon alle on lisätty tekstikilpi, jossa lukee ”Syöttökeskus jännitteetön merkkilampun palaessa”. Liitteessä 2 on esitetty vaununlämmitysasemilla käytettävän UTU Group N400 kennokeskuksen tekniset ominaisuudet.



KUVA 7. Ilmalan liikennepaikalla oleva vaununlämmitysasema, jossa on kahden muuntajan pääkeskukset mallia UTU Group N400.

2.6 1500 V vaununlämmitysposti

1500 V vaununlämmitysposti kuuluu liikkuvan kaluston ulkoisiin verkkoliitäntöihin, jotka on määritelty RATO 21:ssä. Postit on asennettu pysäköintiraiteen läheisyyteen ja varustettu turvallisuus- ja valvontalaitteilla, jotka estävät tahattoman jännitteellisen kytkennän. Vaununlämmityspostissa vihreä tai sininen 1500 V -merkkivalo ilmaisee jännitteettömyyden ja silloin se ei syötä sähköä irrotettavalle pistokkeelle. Merkkilampun päällä oleva tekstilaatta kertoo lampun toiminnan periaatteen. Tämä on varmistettu käyttämällä siihen vaununlämmityspostiin kohdennettua käyttöavainta. Toimintatapa varmistaa turvallisen ja hallitun sähkönsyötön pysäköintialueella. (RATO 21 2020, 22.) Vaununlämmityspostin syöttö tulee yleisimmin vaununlämmitysasemalta. Mikäli rata-alueella on tarvittu sähköistystä jo

ennen sähkörataa, on tarvittava sähkö saatu paikallisen energialaitoksen toimitamana 20 kV keskijänniteverkosta. (Voutilainen 2019,13.) Tässä opinnäytetyössä käsitellään ainoastaan 25 kV ratajohdosta tulevaa syöttöä.



KUVA 8. 1500 V vaununlämmitysposti Ilmalan liikennepaikalla

Vaununlämmitysposteja on erilaisia riippuen esimerkiksi valmistusvuodesta ja sijainnista. Kaikissa on kuitenkin yhteistä keskeisimmät osat, jotka on kerrottu kapaleen lopussa. Vaununlämmitysposteilla on juokseva tunnus, joka ilmoitetaan LP<juokseva numero - <raidenumero>. Näin postit voidaan yksilöidä ja esimerkiksi paikantaminen on helpompaa. Vaununlämmityspostin käyttöön kuuluu seuraavat rakenne osat:

- Vikamerkkivalo (vain joissain malleissa)
- 1500 V -merkkivalo
- 1500 V varmistuskytkin käyttöavaimelle
- Käyttökytkin syötön päälle ja poiskytkentään
- Häätä-seis painike

- Pidike käyttöavaimelle
- Sokkorasia kaapelille. (1500V koulutus 2024, 57)



Kuva 9. Vaununlämmityspostin käyttäjille tarpeelliset rakenneosat. 1 vikamerkkivalo, 2 1500 V- merkkivalo, 3 1500 V varmistuskytkin käyttöavaimelle, 4 käyttökytkin syötön päälle ja pois kytkentään, 5 hätä-seis painike, 6 pidike käyttöavaimelle, 7 sokkorasia kaapelille.

3 RATAJOHTOVERKON ENERGIATASEENHALLINTA

Energianhallinta on ratajohtoverkon käytön seuraamista, kehittämistä ja kunnossapitoa. Energianhallinta voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan; energianhallintajärjestelmä ja energiahallinnan tekninen osa. Hallintajärjestelmät pitävät sisällään järjestelmäpohjaiset verkkopalvelut, joihin kuuluu Eress (EREX), eSett, LIIKE-järjestelmä ja energiamittauspalvelu. Tekninen osuus energianhallinnassa sisältää sähköjakelusta lähtien ratajohtoverkossa toimivat sähkölaitteet kuten vaununlämmityksen ja vaihteenlämmitys.

Eress on monen kumppani maan yhteisessä omistuksessa oleva voittoa tavoittelematon järjestö. Sen tarkoitus on varmistaa Euroopassa toimiville junayhtiöille oikeelliset ja läpinäkyvät energialaskut. Eress selvittää energiatietoja esimerkiksi Suomessa Väylävirastolle. Ratajohtoverkon hallinnoijana Väylävirasto lähettää asianmukaisesti selvitettyt ja läpinäkyvät laskut verkolla toimiville yhtiöille. (Eress n.d.)

eSett selvittää sähköverkon epätasapainoa, joka liittyy sähköön tuotantoon ja kulutukseen. Se tekee selvitystyötä asiakkaiden puolesta, jotta laskutus ja maksut olisivat oikeudenmukaisia. eSett toimii Tanskassa, Suomessa, Norjassa ja Ruotsissa. (eSett n.d.)

LIIKE- järjestelmän tarkoitus on hallita ratakapasiteettia ja toimii sen pääjärjestelmänä. LIIKE- järjestelmän kautta tulee myös junien aikataulut matkustajainformaatiojärjestelmään. (LIIKE n.d.)

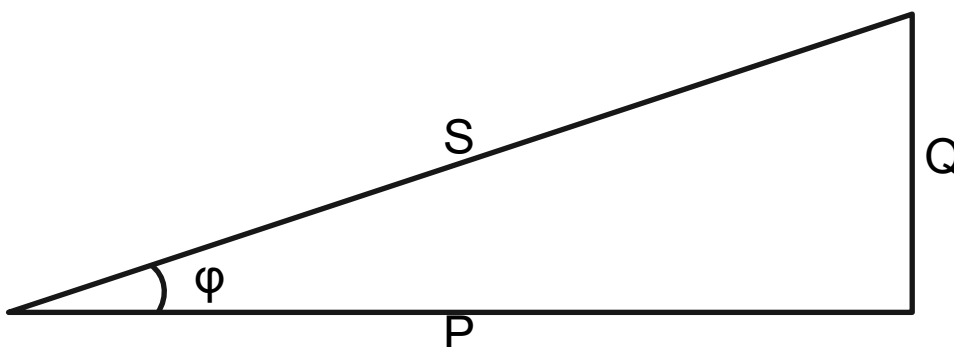
Energiamittauspalvelu on Väyläviraston hallinnoima kokonaisuus, johon sisältyy kaikkien ratajohtoverkolla olevien mittareiden arvojen hallinnointi. Alla olevassa kuvassa 10 on kuvattuna ratajohtoverkon energianhallinnan kuva siitä, miten tiedot siirto- ja energiamaksuista toimivat.

4 TEHO, SÄHKÖMITTAUS JA -LAITTEISTO

Sähköenergianmittaus eli energian kulutuksen seuranta, on välttämätön toiminto tehokkuuden parantamiseksi ja energian säästämiseksi. Sähkölaitteisto kattaa kaiken tarvittavan infrastruktuurin energian siirtämiseksi tuotantopisteistä loppukäyttäjille. Yhdessä nämä tuottavat järjestelmän, jonka pääkeskiössä on sähköteho.

4.1 Teho

Sähkönkulutuksessa mitataan sähkötehoa, joka koostuu pätö-, näennäis- ja loistehosta. Sähköteho saadaan laskemalla virran ja jännitteen tulo. Laskutusperusteisena tehona käytetään pätötehoa sekä loistehoa. Tehot ovat suhteessa toisiinsa, tätä voidaan kuvata tehokolmiolla kuva 11. Vaununlämmityksessä käytettävä teho on talvella pääsääntöisesti lämmitykseen ja kesällä ilmastointiin tarvittavaa tehoa. Talvella lämmitysvastukset kuluttavat sähkötehoa resistanssin eli vastuksen kautta muuttaen sähköenergian lämmöksi. Kesällä ilmastointi toimii muun muassa sähkömoottoritoimisilla tuulettimilla, jotka puhaltavat ilmaa jäähdyttimien läpi. Ilmastoinnissa käytetään sähkömoottoreita, joten kuorma on induktiivista, koska sähkömoottoreiden toiminta perustuu käämien luomiin magneettikenttiin. Magneettikenttä aiheuttaa myös jännitteen ja virran vaihe-eron, joka tuottaa laskutettavaa loistehoa.



KUVA 11. Tehokolmio visualisoi pätötehon (P), näennäistehon (S) ja loistehon (Q) suhdetta toisiinsa. Kulma φ kertoo jännitteen ja virran vaihe-eron.

4.1.1 Pätöteho

Vaihtovirran tehoa kuvataan pätöteholla, joka muodostuu sähköpiirin jännitteestä ja virrasta. Pätöteho kuvaa laitteen todellista kulutusta, jolla työ tehdään. Pätötehon yksikkönä on watti (W). Pätöteho saadaan laskemalla kaava 1 tai 2.

$$P = I^2 \cdot R, \quad (1)$$

$$P = U \cdot I, \quad (2)$$

jossa I on virta, R on resistanssi ja U on jännite. Vaihtojännitettä (AC) laskettaessa tulee ottaa huomioon jännitteen ja virran välinen vaihe-ero (φ). Tällöin kaava on

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (3)$$

(Momentti 2 2006, 211)

Vaununlämmityspostien tehon kulutus on resistiivistä kuormaa. Resistiivisessä kuormassa vaihtojännite ja -virta ovat samassa vaiheessa, tämä voidaan todeta kaavassa 4 (Momentti 2 2006, 201.) Sekä huippuarvot että tehollisarvot noudattavat joka hetki Ohmin lakia. Huippuarvoja ja tehollisarvoja tarkastellessa voidaan todeta molempien noudattavat Ohmin lakia kaavat 5 ja 6.

$$i = \frac{u}{R} = \frac{\hat{u}_R}{R} \sin\omega t \quad (4)$$

$$\hat{u} = \hat{i}R \quad (5)$$

$$U = IR \quad (6)$$

4.1.2 Loisteho

Loisteho (Q) on jännitelähteen ja sähkölaitteen välillä kulkevaa tehoa ja sen yksikkö on vari (var). Loisteho aiheuttaa sen, että vaikka laitteet kuluttavat sähköä, osa tästä kulutuksesta ei johda hyödylliseen työhön (pätöteho), vaan palautuu takaisin sähköverkkoon ilman energian tuottamista. Loisteho syntyy ilman energian kulutusta, mutta se aiheuttaa silti virtaa, joka kulkee sähköverkossa ja voi aiheuttaa häviöitä esimerkiksi johdoissa. Loisteho mitataan kVARh-mittareilla, ja suuremmilla sähkönkäyttäjillä voi olla erillinen tariffi loisteholle. Vaununlämmitysasemilla vaununlämmityspostien kokonaistehon mittari mittaa myös loistehoa.

Vaununlämmitysposteilta loistehoa tulee vuodenajasta riippumatta vaununkäyttölaitteista esimerkiksi valaistuksesta, kylmälaitteista tai hallintalaitteista. Kesällä loistehon tuotto kasvaa, koska vaununlämmitysostien pistotulpalta syötetään ilmanvaihtoa ja ilmastointia. Loistehon arvo saadaan laskemalla jännitteen ja vaihesiirto kulmassa 90° olevan virran tulo,

$$Q = U \cdot I \quad (7)$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (8)$$

(Momentti 2 2006, 211)

4.1.3 Näennäisteho

Näennäistehon yksikkö on voltiampeeri (VA). Mikäli tiedossa on pätö- ja loisteho, voidaan näennäisteho laskea käyttämällä Pythagoraan lausetta kaava (9) tai laskea käyttämällä virran ja jännitteen arvoja kaava (10). Näennäistehon tärkeys on sen suure, joka liittyy sähkölaitteiden ja järjestelmien kuormitukseen. Se kuvaa kokonaisenergian siirtoa ja kulutusta.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (9)$$

$$S = U \cdot I \quad (10)$$

(Vaihtovirta, kolmivaihejärjestelmä ja kompleksiluvut n.d; Momentti 2 2006, 212)

4.2 Sähköenergianmittaus

Jakeluverkossa olevien asiakkaiden sähkökulutusta sekä tuotantoa mitataan verkonhaltijan toimesta. Mitattava suure on pätöteho ja loisteho, jonka perusteella laskutus tapahtuu. Sähköenergian tunnus on E ja hinnoittelun sähköenergian yksikkönä käytetään kilowattituntia (kWh), joka kertoo tunnissa kulutetun pätötehon määrän (Sähköteho ja sähköenergia n.d.). Pätöteho on työtä tekevää tehoa, joka saadaan hyödynnettyä laitteissa. Pätötehon yksikkö on watti (W). Näitä tehoja mittaamalla saadaan laskutusperusteinen mittaus.

4.3 Mittausdirektiivi 2014/32/EU

Direktiivi 2014/32/EU, joka on tunnettu myös mittausinstrumenttidirektiivinä (MID), on EU-lainsäädäntöä, joka säätelee yhteiset normit erilaisille mittausvälineille, kuten sähkö-, vesi- ja kaasumittareille sekä taksimetreille. Tämän direktiivin keskeinen tarkoitus on taata mittausvälineiden tarkkuus ja luotettavuus koko Euroopan unionissa, mikä tukee kuluttajien suojelua ja kaupankäynnin oikeudenmukaisuutta. Direktiivi ohjaa, miten näitä mittausvälineitä hyväksytään käyttöön, miten ne tuodaan markkinoille, ja sisältää myös vaatimukset säännöllisistä tarkastuksista ja huolloista, varmistamaan, että laitteet säilyttävät vaaditun standardin läpi niiden käyttöiän. (Direktiivi 2014/32/EU 2014.)

4.4 Sähköenergiamittarit (MI-003)

”Sähköenergiamittari on laite, joka mittaa virtapiirissä kulutettua päätösähköenergiaa.” Näin määritellään sähköenergiamittari EU:n direktiivissä 2014/32/EU liitteessä 5.

Mittausdirektiivi 2014/32/EU liite 5 muodostaa perustan sähköenergiamittareiden standardoinnille ja vaatimustenmukaisuudelle Euroopan unionin markkinoilla.

Edellä mainitut vaatimukset kattavat niiden

- suorituskyvyn
- tarkkuuden
- turvallisuuden
- rakenteelliset ominaisuudet
- testausmenettelyt.

Lisäksi liitteessä määritellään sähköenergiamittareille suunnittelua, valmistusta ja testausta koskevat normit ja vaatimukset, jotka valmistajien on täytettävä varmistukseen mittareiden yhdenmukaisuuden ja turvallisuuden EU-säädösten kanssa (Direktiivi 2014/32/EU 2014). Tässä opinnäytetyössä direktiivistä avataan vain energiamittareiden mittauksellisiin ominaisuuksiin liittyviä vaatimuksia siltä osin, kun on tarpeellista.

4.5 Mittalaitteet nykytilanteessa

Suomen sähkömittariteknologian kehityksessä on tapahtumassa merkittävä muutos, kun maassa siirrytään tuntikohtaisesta sähkönkulutuksen mittaamisesta 15 minuutin välein tapahtuvaan mittaukseen. Tämä edustaa laajempaa trendiä

kohti yhä tarkempaa energiankäytön seuranta ja hallintaa. Älykkäät sähkömittarit, jotka ovat yleistyneet Suomessa mahdollistavat kulutuksen reaaliaikaisen seurannan ja etäluennan. Tämä parantaa tietojen luotettavuutta ja tehostaa sähkökulutuksen hallintaa. Työn kirjoitus hetkellä asennettavat mittarit ovat etäluettavia ja ne ovat yhteydessä luentajärjestelmään, jotka välittävät tiedot suoraan sähköverkkoyhtiön mittaustietojärjestelmään. Seuraavana päivänä mittaustiedot ovat saatavilla datahubista, keskitetystä verkkopohjaisesta tietojärjestelmästä. Tämä järjestelmä mahdollistaa, että asiakkaat, sähkönmyyjät, sähköverkkoyhtiöt sekä valtuutetut kolmannet osapuolet voivat saada ajantasaiset tiedot kulutuksesta. Tämä edistää läpinäkyvämpää ja oikeudenmukaisempaa sähkökulutuksen hallintaa. (Energiavirasto n.d; Energiateollisuus n.d.)

Siirtymäaika vuoteen 2031 tarjoaa mahdollisuuden ratkaista teknisiä ja lainsäädännöllisiä haasteita samalla kun tarkempi mittaus mahdollistaa älykkäämpien sähköverkkoyhtiöiden ja energianhallintajärjestelmien kehittämisen. (Energiateollisuus n.d.) Tämä asettaa asennettaville mittareille vaatimuksia, joita kannattaa ennakoitua yhdistää Direktiivin 2014/32/EU vaatimukseen. (Sähköteho ja sähköenergia n.d.).

5 KÄYTTÄJÄKOHTAINEN TUNNISTAUTUMINEN

Käyttäjakohtaisia tunnistautumismenetelmiä on monenlaisia, jotka vaihtelevat perinteisistä näppäinkoodipohjaisista menetelmistä edistyneisiin biometrisiin järjestelmiin. Kaikille tunnistautumistavoille on yhteistä niiden kyky tunnistaa käyttäjä yksilöllisesti ja liittää häneen liitettyä tietoa, kuten yritys, asema tai muita käyttäjakohtaisia tietoja. Opinnäytetyössä tarkoituksena on selvittää, mitkä tunnistautumistavat olisi yhdistettävissä vaununlämmitysasemien energianmittaukseen. Hankittujen tietojen pohjalta luodaan kokonaisuus, jolla kulutus voidaan kohdentaa.

On tärkeää, että valitut tunnistautumistekniikat eivät ainoastaan ole teknisesti toteutettavissa, vaan myös käytännöllisiä ja taloudellisesti järkeviä ottaen huomioon niiden käyttökohteen. Biometriset tunnistautumismenetelmät kuten sormenjälki- tai kasvojentunnistus, tarjoavat korkean tason turvallisuutta ja käyttäjakohtaista tarkkuutta. Niiden implementointi vaatii usein suurempia alkuinvestointeja ja kehittyneempää teknistä osaamista. Tunnistautumistapojen tulisi olla käytön, asennettavuuden ja tarkkuuden kannalta järkeviä vaihtoehtoja.

5.1 RFID (Radio Frequency Identification)

RFID (Radio Frequency Identification) on teknologia, joka mahdollistaa esineiden ja henkilöiden automatisoidun tunnistamisen käyttämällä radioaaltoja. Tämä teknologia hyödyntää mikrosiruja, jotka tallentavat sarjanumeroita tai muita kohdennettavia tietoja, joita voidaan käyttää tavaroiden tai henkilöiden tunnistamiseen.

RFID-järjestelmä koostuu pääasiassa kahdesta osasta: tunnisteesta ja lukulaitteesta. Tunniste sisältää mikrosirun ja antennin, joka luo radioaaltosignaalin. Mikrosiru tallentaa tietoja, kuten sarjanumeron, joka erottaa kohteen. Antenni mahdollistaa tiedon lähettämisen radioaalloilla, kun se aktivoituu lukulaitteen lähettämän signaalin vaikutuksesta.

Lukulaite vastaa tunnisteelta tulevien radioaaltojen vastaanottamisesta ja niiden muuttamisesta digitaaliseen muotoon, jota tietokonejärjestelmät voivat käsitellä. Tämä digitaalinen muotoilu mahdollistaa tunnistetietojen nopean ja tehokkaan

käsittelyn, jonka avulla voidaan toteuttaa haluttu tehtävä esimerkiksi oven avaaminen tai partikkelin kirjaaminen tietokantaan inventaariota varten.

RFID-tekniikan sovellukset ovat monipuolisia ja ulottuvat teollisuuden varastohallinnasta henkilökohtaiseen tunnistamiseen ja jopa kuluttajatuotteiden seurantaan. (Derakhshan, Orłowska, Li 2007, n.d.) RFID- tekniikan hyviä puolia on sen helppo ja mukautuva käyttö, käytöstä poisto sekä käyttäjien hallinta.

5.1.1 NFC (Near Field Communication)

NFC (Near Field Communication) on langaton tekniikka, joka on suunniteltu erityisesti mobiililaitteiden käyttöön, kuten älypuhelimille. NFC mahdollistaa datan nopean siirron lyhyillä etäisyyksillä. Tämä tekniikka mahdollistaa tiedon sekä lukemisen, että kirjoittamisen. Käyttöliittymänä se on erittäin turvallinen, sillä se toimii vain hyvin lähellä olevien laitteiden kanssa.

NFC-tekniikan keskeinen periaate on lähetyslaitteen esimerkiksi älypuhelimien, luoma magneettikenttä. Tämä aktivoi vastaanottavan laitteen radiotaajuudella 13,56 MHz. Vastaanotin, kuten toinen älypuhelin tai maksupääte, saa tarvittavan energian juuri tästä magneettikentästä ja lähettää takaisin tarvittavia tunnisteita sekä muita tietoja. Tämä mahdollistaa erittäin nopean ja vaivattoman kommunikation laitteiden välillä, ilman fyysistä liitännästä. (Sen, Sen & Das 2009. 46–47.)

NFC:tä voidaan käyttää myös muiden langattomien tekniikoiden, kuten Bluetoothin ja Wi-Fin, asetuksissa ja aktivoinnissa. Tämän ansiosta käyttäjät voivat esimerkiksi helposti yhdistää älypuhelimensa muihin laitteisiin tai verkkoihin pelkästään tuomalla laitteet lähelle toisiaan ilman monimutkaista asetusprosessia. NFC:n sovellukset ovat laajat ja ulottuvat maksujärjestelmistä henkilökohtaiseen laitetunnistukseen ja jopa älykoteihin ja IoT-sovelluksiin. (Sen ym. 2009. 46–47.) Nykypäivänä NFC:n suuriin hyötyihin lukeutuu sen helppo ja monipuolinen käyttö, sillä älypuhelimet ovat lähes jokaisen käytössä.

5.2 Näppäiltävä koodi

PIN- koodin (Personal Identification number) tai muu näppäiltävä koodi on edelleen yleinen tunnistautumistapa. Koodi tunnistautuminen perustuu mikrokontrolleriin ja näppäimistöön (Circuits today. 2021). Lukkolaitteissa, jotka on varustettu

sisäänrakennetuilla koodijärjestelmillä, käytetään ennalta määriteltyjä koodisarjoja releiden aktivoimiseksi. Nämä järjestelmät voidaan yhdistää verkkoon, mikä mahdollistaa käyttäjäkohtaisen tunnistautumisen ja tapahtumien aikaleimaamisen. Koodipohjaisissa lukitusjärjestelmissä on etuna, että käyttäjän ei tarvitse kantaa mukanaan fyysisiä avaimia tai tunnistautumisvälineitä, vaan tunnistautuminen tapahtuu yksinkertaisesti muistissa olevan numerokoodin avulla.

Tämän lähestymistavan haittapuolena on kuitenkin se, että koodin mahdollinen väärinkäyttö voi olla vaikeasti havaittavissa ja siihen reagoiminen voi olla hidasta. Suljetussa rautatieympäristössä tämä ei kuitenkaan ole valtava riskitekijä.

5.3 Älykortti (SmartCard)

Älykortit ovat yksi nykyisin yleisimmistä tunnistautumismenetelmistä monipuolisen käyttöalueensa ansiosta. Niiden käyttökohteet ovat laajat, mutta erityisen tuttuja ovat pankki-, luotto- ja SIM-kortit, jotka ovat lähes kaikkien arjessa mukana. Älykortille voidaan ladata valittavissa olevat tiedot, riippuen käyttötarkoituksesta. (Smith, D. 2019).

Älykortti eroaa magneettijuovan sisältävästä kortista siihen integroidulla mikro-sirulla. Sirussa oleva tieto voi tarvittaessa olla vahvastikin salattu lisäturvan vuoksi. Koska älykortissa sijaitseviin tietoihin vaaditaan PIN- koodi tai muu turvakoodi on tietoihin vaikeampi päästä. (Lutkevich, Rosencrance, Cobb 2021)

Älykortin käyttö edellyttää erityistä, juuri älykortteja varten suunniteltua lukijaa. Mikä tahansa lukija ei sovellu tähän tarkoitukseen. Älykortin toimintaperiaate on selkeä: kortti työnnetään lukijaan, minkä jälkeen käyttäjä näppäilee henkilökohtaisen tunnistautumiskoodin. Tämä varmistaa käyttäjän henkilöllisyyden ja aktivoi kortilla olevat tiedot käyttöön. Nykyaikaisissa älykorteissa on usein käytössä NFC-teknologia, joka mahdollistaa kortin koskettoman käytön. NFC:n ansiosta korttia ei tarvitse laittaa lukijaan, vaan pelkkä kortin lähelle vieminen riittää tietojen lukemiseen. (Smith, D. 2019).

6 TUNNISTAUTUMISEN JA ENERGIANMITTAUKSEN VAIHTOEHDOT

Vertailuvaiheessa tutkitaan olemassa olevia teknisiä vaihtoehtoja tunnistautumiseen sekä energianmittaukseen. Näiden vaihtoehtojen joukosta pyritään löytämään käytön ja asennettavuuden kannalta soveltuvimmat vaihtoehdot, jotka toimivat yhdessä. Työn tiedonhaku on toteutettu käyttäen olemassa olevia laitteita. Lähdeaineistona on käytetty valmistajien nettisivuja sekä kysytty täydentäviä tietoja sähköpostilla ja puhelimitse. Työn tarkoituksena ei kuitenkaan ole sitoa tiettyjen valmistajien laitteita vaihtoehtoihin, vaan esittää yleisellä tasolla niiden toimivuus. Energianhallinta järjestelmään ei tässä työssä ole pureuduttu, vaan keskittyminen on teknisissä vaihtoehdoissa.

6.1 Tunnistautuminen

Tunnistautumiseen liittyvässä vertailussa on otettu selvää erilaisista tunnistautumiseen käytettävistä laitteista sekä lukijoista. Näihin kaikkiin on etsitty tarvittavat komponentit, jotta ne soveltuvat energiamittauksen kohdentamiseen. Teknisiä vaihtoehtoja luodessa on tarkasteltu kriittisesti käytettävyyttä ja asennettavuutta. Käytettävyydestä tarkastellaan käytön selkeyttä ja yksinkertaisuutta. Asennettavuudessa tarkastellaan mitä asennettaessa pitää ottaa huomioon, minkälaisia kaapelointeja tulisi tehdä ja mitä mahdollisia muutoksia vaununlämmitysposteihin tulisi.

Tunnistautumistapoihin ja niiden teknisiin ratkaisuihin liittyvät menetelmät sisältävät yhtäläisyyksiä, jota voidaan käyttää huolimatta tunnistautumisen tavasta. Tunnistautumiseen tarvitaan lukija tai koodi- näppäimet, johon näytetään tunnistetta tai syötetään koodi. Toimittaakseen tunnistautumisen tiedot eteenpäin tarvitaan verkkoyhteys. Verkkoyhteydellä tunnistautumistiedot ovat yhdistettävissä sähköenergianmittaustietoihin. Verkkoyhteys on järjestettävissä lämmitysasemille erillisillä tietoliikennekeskuksilla, jossa sijaitsee reititin sekä verkkoyhteyden jakotukki. Tiedonsiirto lukijalta tai koodi- näppäimeltä tietoliikennekeskukselle suoritettaisi kaapeloinneilla. Kaapelointi tulisi tehdä häiriösuojatulla kaapelilla tai putkituksella. Häiriösuojan tarkoitus on estää kapasitiivinen kytketyminen, jossa sähkökenttä aiheuttaa sähkömagneettisen häiriön (lapp automaatio n.d.). Kaapelilin malli riippuu valmistajasta ja lopullisista tarpeista, mutta yleisesti tunnistautu-

miseen käytetään LiYY-tiedonsiirto kaapelia. Kaapeleiden sijoitus riippuu kaapeloitavasta kohteesta. Joillakin liikennepaikoilla tai kohteilla kaapeliputket tai -kaivot ovat niin täynnä kaapeleita, ettei sinne mahdu. Mikäli lukija antaa mahdollisuuden on myös joissain tapauksissa käytettävissä ohjauskaapeli, joka on vedettynä valmiiksi vaununlämmitysasemalta vaununlämmityspostille.

Lukijan tai koodi- näppäinten tarkoitus on tunnistaa, että käyttäjän laite tai koodi vastaa sen tiedossa olevaa yritystä ja/tai henkilöä. Mikäli lukija vahvistaa käyttäjän tiedot oikeiksi antaa se signaalin ohjata katkaisija päälle. Ohjaus on toteutettu I/O: ta käyttäen. Lukijalta tieto voi ensin mennä esimerkiksi releelle, jolla ohjataan katkaisijaa. Katkaisija avaa sähkönsyötön vaununlämmityspostille. Ohjaukseen on mahdollista käyttää myös PLC:tä, jossa lukijalta tuleva signaali menisi releen sijasta PLC:lle. Näin ohjaus saataisiin toteutettua logiikan avulla ja siihen olisi mahdollisuuksien mukaan yhdistettävissä muita ominaisuuksia.

Tunnistautumiseen tarkoitettulla lukijalla tulee olla tietyt ominaisuudet, jotta sen käyttö yhdessä muun laitteiston sekä järjestelmän kanssa on mahdollista. Lukijan tulee olla säänkestävä, koska sen sijoitus on ulkona. Tämä tarkoittaa myös korkeaa ja matalaa lämpötilan sietokykyä. Siinä tulee olla I/O- portit, jotta syötön katkaisu pois ja päälle kytkentä onnistuu tunnistautumalla.

6.1.1 RFID- ja NFC- lukija

Ominaisuuksiltaan sopivia RFID- ja NFC- lukijoita löytyy useammalta valmistajalta. Molemmat RFID ja NFC ovat toimintatyyppiltään samanlaisia. Lukijoita on kahdenlaisia, luku sekä luku ja kirjoitus. Lukija, jossa on vain luku mahdollisuus tarkoittaa, että se ainoastaan lukee tunnisteen tiedot. Luku ja kirjoitus tarkoittaa, että lukemisen lisäksi voi lukija kirjoittaa tunnisteeseen. Esimerkkinä kirjoituksesta on saldolliset kortit, joihin ladataan jotain käytettävää valuuttaa tai yksikköä.

Lukijaan tunnistaudutaan tunnisteella, joka voi olla esimerkiksi avaimenperä tai NFC:n tapauksessa mobiililaitte, joka tukee NFC:tä. Tunnisteeseen voidaan ladata tarvittavat tiedot sen haltijasta. Tiedot voivat olla esimerkiksi yksilöivä koodi, joka kertoo järjestelmälle kuka tai mikä käyttäjä on kyseessä. NFC:n etu tunnisteesessä on mahdollisuus käyttää mobiililaitteessa olevaa sovellusta. Tämänlaisia

sovelluksia käytetään esimerkiksi sähköisissä lukoissa. Mobiililaitteessa olevan tunnistautumisen hyviä puolia on sen tietoturvallisuus.

RFID:n ja NFC:n suurin ero tulee niiden lukuetaisyydestä. RFID:n lukija pystyy lukemaan tunnisteiden useiden metrien päästä, mutta NFC tunniste tarvitsee viedä lähemmäs lukijaa. Nämä kannattaa ottaa huomioon, kun mietitään valittavaa ratkaisua. Lyhyempi matka on tietoturvallisesti parempi eikä ota niin helposti häiriötä muista laitteista. Mikäli halutaan siirtää suuria määriä tietoa tunnistautumisen yhteydessä, on RFID siihen parempi. Vaununlämmityksen tunnistautumisen tiedonsiirto on pientä, joten RFID ja NFC tunnistautuminen onnistuu.

RFID- ja NFC-teknologiat toimivat käyttäjäkohtaisessa tunnistautumisessa samalla periaatteella. Kun tunniste tuodaan lähelle lukijaa, laite tarkistaa tunnisteiden tiedot järjestelmästä. Jos tunniste on hyväksytty, lukijaan syttyy ennalta määritetty valo tai kuuluu merkkiäänäni. Jos tunniste on väärä tai sitä ei ole järjestelmässä, lukija ilmoittaa tästä joko valolla, merkkiäänellä tai molemmilla. Merkkiäänäni on hyödyllinen erityisesti kirkkaassa valossa, jolloin visuaalinen merkki ei välttämättä ole selvästi havaittavissa.

Lukijan sijoittaminen onnistuu olemassa oleville vaununlämmitysposteille ilman suuria fyysisiä muutoksia, koska lukija on kokoluokaltaan pieni. Tämä mahdollistaa sen sijoittamisen vaununlämmityspostin ohjauskaapin kanteen, joka auttaa käyttäjäystävällisyydessä ja tunnistautumisessa. Kuvassa 10 on vaihtoehtoinen asettelu lukijalle siten, että se on selvästi näkyvillä ja helposti käytettävissä. Myös kaapelointi tällä sijoituksella olisi toteutettavissa ilman suuria muutoksia. Ohjauskaapissa on riviliittimet, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi lukijan virtalähteessä. Suurimmassa osassa vaununlämmitysposteja on ylimääräisiä johtimia vapaana, joita hyödyntämällä asennettaessa välttyttäisiin kaapeloinneilta. Asettelussa on mietitty lukijan sääsuojausta vesi- ja lumisateelta. Lämpötila ja sen vaihtelu tulee ottaa huomioon lopullisessa asennuksessa. Lämpötilan hallinta voidaan toteuttaa kylmällä ilmalla pienellä lämpövastuksella ja kesäisin tuulettimella.



KUVA 12. Lukijan sijoitusvaihtoehto vaununlämmityspostille

6.1.2 PIN- koodi

PIN- koodit ovat helppokäyttöinen ja tuttu tunnistautumistapa monelle käyttäjälle. PIN-koodeja on totuttu käyttämään monessa eri tilanteessa ja asiayhteydessä esimerkiksi kerrostalon sisäänpääsyssä. Vaununlämmityspostit sijaitsevat suljetulla rata-alueella, joten PIN-koodi on tarpeeksi turvallinen vaihtoehto tunnistautumisen keinoksi. PIN- koodijärjestelmän fyysinen asentaminen vaununlämmitysposteihin onnistuu käyttämällä olemassa olevia riviliittimiä sekä kaapelointia. PIN- koodi näppäimistöjä on erikokoisia, joten integroiminen nykyiseen järjestelmään on mahdollista. PIN- koodia voidaan käyttää myös kaksivaiheisessa tunnistautumisessa. Ensin tunnistaudutaan esimerkiksi RFID- tunnisteella ja sen jälkeen vahvistetaan tunnistautuminen PIN-koodilla. PIN-koodin tunnistautumisen yhdistäminen energianhallinta järjestelmään onnistuu verkon kautta. Kaikki näppäimistöt eivät ole soveltuvia yhdistettäväksi verkkoon. Käyttäjakohtaisesti PIN-koodin unohtaminen voi heikentää sen käyttäjäkokemusta.

6.1.3 Älykortti

Älykortit tarjoavat merkittäviä turvaetuja energiamittauksessa käyttäjäkohtaisen kohdentamisen yhteydessä. Älykorttien sisäänrakennettu mikrosiru mahdollistaa vahvan tunnistautumisen, joka lisää tietoturvallisuutta. Älykorttien käyttömahdollisuudet ovat laajat. Niitä voitaisiin hyödyntää myös muussa tunnistautumisessa vaununlämmityksen lisäksi. Lukijat ovat yleisesti käytävissä USB 2.0 tai USB-C-liitännällä, joka tulisi olla yhteydessä, joko tietokoneeseen tai PLC:hen. Korista saatu tieto voitaisiin näin muuttaa komennoiksi katkaisijalle. Tämä luo haasteen lukijan sijoitusta ajatellen. Mikäli lukija halutaan sijoittaa vaununlämmityspostiin, tulisi jokaisessa postissa olla USB 2.0 tai USB-C-portti. Tästä olisi oltava yhteys tiedonsiirtokeskukseen vaununlämmitysasemalle. Lukijoiden suora yhdistäminen tietokoneeseen tai PLC:hen on tietoturvallisuuden kannalta riski. Pääsy vaununlämmitysasemalle avaa pääsyn myös tunnistetietojen hallintalaitteelle tarkoittaen tietokonetta tai PLC:tä. Toinen vaihtoehto on sijoittaa lukija vaununlämmitysasemalle. Käyttäjäkokemuksena se ei kuitenkaan olisi millään tavalla järkevä vaihtoehto epäkäytännöllisyyden takia ja sama tietoturvallisuuden riski säilyisi.

6.2 Energiamittausjärjestelmä

Väylävirasto selvittää ratajohtoverkon energiataseen kuluttajakohtaisesti, jonka vuoksi kaikki ratajohtoverkkoon liitetty kulutus on mitattava. Tämän vuoksi kaikki kulutuspisteet tulee varustaa etäluettavilla energiamittareilla. Kulutuspisteitä on esimerkiksi vaihteenlämmitys, vaununlämmitys ja liikkuva kalusto. Kiinteiden kulutuspisteiden energiamittareiden tulee olla Väyläviraston energiamittauspalvelun kanssa yhteensopivia. Väylävirasto on määrittänyt kiinteiden kulutuspisteiden energiamittareiden vaatimukset ohjeessa "Ratajohtoverkon kiinteiden liittymien sähköenergiamittaus". Vaihtoehtoja tarkastellessa tulee ottaa huomioon myös mittareihin vaikuttava lainsäädäntö ja standardit. Lainsäädännön ja standardien lisäksi huomioon tulee ottaa myös energiamittareiden käytettävyys niin asentajalle, kuin yhdistettävyys tunnistautumiseenkin.

Energiamittareiden valinnassa lainsäädännöllinen kriteeri perustuu mittarin käyttötarkoitukseen. EU direktiivi 2014/32/EU on pohjana standardille EN 50463, joka kattaa liikkuvan kaluston energiamittauksen. 2014/32/EU standardi määrittelee

yleiset vaatimukset, mittalaitteiden ominaisuuksille sekä testausympäristön vaatimuksille. Standardi EN 50463 tarkoittaa EU direktiivissä mainittuja direktiivejä liikkuvan kaluston energiamittausten standardin EN 50463 "Energy measurement on board trains" vaatimukseen. Nämä säännökset varmistavat, että mittarit soveltuvat laskutusperusteiseen mittaukseen ja ovat luotettavia energiankulutuksen seurannassa ja laskutuksessa.

Käytettävyys keskittyy mittarin käytännöllisyyteen ja soveltuvuuteen. Vaununlämmityspostien jännite on 1,65 kV, mittarin on oltava soveltuva tähän jännitteeseen sekä mitattava tarkasti päto- ja loistehoa. Käytettävyys tarkoittaa myös mittarin helppokäyttöisyyttä ja luotettavuutta päivittäisessä toiminnassa, jotta se palvelee tarpeita ilman jatkuvaa huoltotarvetta tai teknisiä ongelmia. Asennuksissa tulee ottaa huomioon mittarin koko. Mittari on mahdollista sijoittaa jokaisen vaununlämmityspostin syöttökennon päällä olevaan ohjauskennoon, jossa sijaitsee ohjausreleitä sekä sulakkeita. Kuvassa 13 kokonaiskulutusta mittaava energiamittari on asennettuna ohjauskennon sisään. Vaununlämmityspostien ohjauskennot ovat samankokoisia ja asennuksiltaan samanlaisia, kuin kuvassa 13 oleva.



KUVA 13. Kokonaispätötehoa mittaava energiamittari asennettuna vaununlämmitysasemalla Ilmalassa.

Integroitavuus viittaa mittarin kykyyn toimia muiden laitteiden ja järjestelmien kanssa. Tässä tapauksessa on tärkeää, että mittari voidaan helposti liittää energianhallintajärjestelmään, mittalaitteisiin ja mahdollisuuksien mukaan myös tunnistautumiseen. Sijoitusvaihtoehdossa ohjauskennoon ei tarvitse vaununlämmitysaseman keskuksiin tehdä suuria muutoksia. Energiamittarit voitaisi näin kytkeä pienillä kaapeloinneilla tarpeellisiin pisteisiin mittaustiedon saamiseksi.

Edellä mainittujen lisäksi asennuksiin tullaan tarvitsemaan myös muita sähkökomponentteja, josta keskeisimpänä on katkaisija. Tämän tarkoitus on avata tai sulkea sähkönsyöttö, kun käyttäjä on tunnistaunut. Ilmalassa sijaitsevassa vaununlämmitysasemassa on omat katkaisijat jokaiselle vaununlämmityspostille.

Näitä katkaisijoita pystytään ohjaamaan I/O- ohjauksella. Suurjännitettä mitattaessa on joissain tapauksissa tarpeen käyttää myös virtamuuntajaa. Virtamuuntajan tarkoitus on muuntaa virta sopivaksi mittarille ja suojata sitä suurjännitteeltä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia vaununlämmityksen energiakulutuksen kohdentamista kuluttajakohtaisesti. Tutkimustyön tulokset tarjoavat käsityksen siitä, miten nykyteknologiat voisivat tukea tunnistautumista vaununlämmitysasemiin, jotta kulutus voitaisiin kohdentaa kuluttajakohtaisesti. Tiedonhaussa käytetyt lähteet on valittu tutkimalla eri lähteiden luotettavuutta. Etenkin tunnistautumisesta löytyneet verkkosivut ovat teknologialehden tekemiä. Näiden luotettavuutta on tarkasteltu peilaamalla tietoja muihin aiheen verkkosivuihin.

Opinnäytetyön aikana kehitetyt vaihtoehdot osoittivat, että on teknisesti mahdollista integroida tunnistautumistapa olemassa olevaan vaununlämmitysasemiin. Edellyttäen, että tunnistautuminen huomioidaan osana vaununlämmitysasemien ja -postien turvallista käyttöä ja toimintatapoja. Uudempina teknologioina RFID- ja NFC osoittautuivat lupaaviksi välineiksi energiankäytön kohdentamisessa kuluttajille. PIN-koodi on käyttötavaltaan ja toimivuudeltaan varma ja käyttäjäystävällinen. Käyttäjäkohtainen tunnistautuminen vaatii vaununlämmitysasemille sekä vaununlämmitysposteille muutoksia.

Vaununlämmitysasemalle kattavin muutos on energiamittareiden lisäys vaununlämmityspostien syöttöihin, jotta on mahdollista saada mittaustiedot jokaiselta vaununlämmityspostilta. Energiamittarin valinnan mukaan tarvitaan virtamuuntaja, joka muuntaa virran sopivaksi energiamittarille. Vaunulämmitysasemalle sijoitettaisiin tietoliikennekeskus, jossa sijaitsee verkkoreititin. Verkkoreititintä tarvitaan, jotta sähköenergianmittaus- sekä tunnistautumistiedot voidaan yhdistää laskutusta ja sen seurantaan varten. Mikäli vaununlämmitysasemalla ei jokaisella vaununlämmityspostin syötöllä ole omaa katkaisijaa, tulee sellainen lisätä vaununlämmityspostin kennoon. Katkaisijan mallin tulee olla sellainen, että sitä voidaan ohjata I/O signaalilla. Signaali tulee tunnistautumisen lukijalta, mikäli tunnistautuminen hyväksytään.

Vaununlämmitysposteihin tultaisiin sijoittamaan lukija tunnistautumista varten. Lukija kaapeloidaan vaununlämmityspostilta vaununlämmitysasemalle tietoliikennekaapelilla. Olemassa olevien vapaiden kaapeleiden ja niiden johtimien ole-

massaolo on hyvä tarkistaa, jotta mahdollisilta ylimääräisiltä kaapeloinneilta vältyttäisiin. Vaununlämmitysposteissa on ohjauskeskuksessa riviliitin, jota voidaan käyttää kaapeloinnin yhteydessä. Lukijan jännitteen tarve on yleisesti 12–24 VDC, tähän tarvitaan jännitemuuntaja, joka muuntaa jännitteen sopivaksi lukijalle. Näillä edellä mainituilla komponenteilla on mahdollista toteuttaa vaununlämmityspostin tekninen toteutus.

Jatkotutkimuksissa selvittävä miten energiamittarit välittävät käyttäjäkohtaiset tiedot energiamittaustietojen hallinta- ja luentajärjestelmiin. Vaununlämmityspostien käytettävyyden kannalta olisi tarpeellista selvittää miten käyttäjäkohtainen tunnistautuminen vaikuttaa vaununlämmitysasemien sekä vaununlämmityspostien käyttöön. Myös vaununlämmitysasemien erilaisuuksien vuoksi tulisi selvittää, miten käyttäjäkohtainen tunnistautuminen voitaisiin integroida eri mallisiin vaununlämmitysasemiin. Lisäksi turvallisuus- ja yksityisyyskysymykset ovat keskeisiä asioita, jotka on otettava huomioon järjestelmien suunnittelussa ja toteutuksessa.

LIITE 2. UTU Group N400



N400 (4000A) – tekniset ominaisuudet

Normit	EN 61439
Nimellisjännite Ue (max.)	≤ 690 VAC, 50/60 Hz
Nimellisvirta In (max.)	4000 A
Oikosulkukestoisuus (max.)	Icw 100 kA (1s) Ipk 230 kA
Valokaarikestoisuus	50 kA, 300 ms
Nimelliseristysjännite Ui	Ui ≥ Ue
Jakelujärjestelmä	TN-, IT
Kotelointi	Ulkoinen IP30...44 Sisäinen IP20
Kalustustapa	F (kiinteä)
Osastointimuoto	3b, 4a, 4b
EMC-ympäristö	Ympäristö 1 ja 2
Kalustustavat	F (kiinteä)
Kansien väri	RAL7035 (harmaa) Erikoisvärit tilauksesta
Korkeus	2200 mm
Syvyys	460, 640 mm 1070 mm (kaksipuoleinen kalustus)
Kojekenttäleveydet	400, 500, 600, 800, 1000 mm
Kaapelikenttäleveydet	200, 300, 400 m



Lähteet

Ahoranta J. 2015. Sähkötekniikka. 14. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Inkinen, P., Manninen, R. & Tuohi, J. 2006. Momentti 2. Insinöörifysiikka. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy

Sen, D., Sen. P., Das. A. 2009 RFID for Energy and Utility Industries. Verkko-sivu. Viitattu 18.4.2024.

Sen, P. 2013. Principles of electric machines and power electronics. Third edition. Ontario: John Wiley & Sons, Incorporated

Young, H., Freedman, R. 2015. Sears and Zemansky's University physics with modern physics. 14th edition. Courier Kedallville: Pearson Education Limited

1500V koulutus. 2024. Yrityksen sisäinen dokumentti. VR Group.

Saari, A. Sähkörata asiantuntija. 2024. Ratajohtoverkon energiahallinnan kokonaisuus. Sähköpostiviesti. 21.5.2024

Saari, A. Sähkörata asiantuntija. 2024. Haastattelu. 20.5.2025. Microsoft Teams.

Direktiivi 2014/32/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi mittauslaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta (uudelleenlaadittu). Euroopan unionin virallinen lehti 29.03.2014. Viitattu 2.4.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0032>

Poutala, J. 2018. Keskusten rakenteet sähkösuunnittelijan näkökulmasta. Sähkövoimatekniikan tutkinto-ohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäyte-työ. Viitattu 28.5.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018053011218>

Voutilainen, J. 2019. Ratapihojen palvelut. Tulevaisuuden liikennejärjestelmät. Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 26.3.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019070417632>

Aalto yliopisto. n.d. Vaihtovirta, kolmivaihejärjestelmä ja kompleksiluvut. Verkkosivu. Viitattu 5.4.2024. https://mycourses.aalto.fi/plu-ginfile.php/1471997/mod_resource/content/3/Vaihtovirta%2C%20kolmivaihej%C3%A4rjestelm%C3%A4%20ja%20kompleksiluvut%20%28luenn.%20Anouar%20Belahcen%29.pdf

Circuits today. 2021. Digital Door Lock – Password based Electronic Code Lock using 8051. Verkkosivu. Viitattu 18.4.2024. https://www.circuitstoday.com/digital-door-lock-password-based-security-8051#google_vignette

Derakhshan, R., Orłowska, M., Li, X. 2007. RFID Data Management: Challenges and Opportunities. Verkkosivu. Viitattu 11.4.2024. <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/document/4143527>

Energiäteollisuus. n.d. Sähkön mittaus. Verkkosivu. Viitattu 5.4.2024. <https://energia.fi/energiatietoa/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon-mittaus/#1521-miian-toimenkuva>

Energiavirasto. n.d. Sähkön mittaus. Verkkosivu. Viitattu 26.5.2024. <https://energiavirasto.fi/sahkon-mittaus>

Eress. n.d. Eress organisation. Verkkosivu. Viitattu 21.5.2024. <https://eress.eu/about-eress/eress-organisation/>

Esett. n.d. Esett in brief. Verkkosivu. Viitattu 21.5.2024. <https://www.esett.com/about/esett-in-brief/>

GRK. 7.3.2024. Uutiset ja tiedotteet. Verkkosivu. Viitattu 25.3.2024 <https://www.grk.fi/grk-infra-oyjn-vuoden-2023-tulos-vahva-kasvu-ja-kannattavuus-vaikeassa-markkinatilanteessa/>

GRK. n.d. GRK-lyhyesti. Verkkosivu. Viitattu 25.3.2024. <https://www.grk.fi/grk-lyhyesti/>

Lapp automaatio. n.d. EMC-suojatut kaapelit ja liitinjärjestelmät teollisuuskäytössä. Verkkosivu. Viitattu 20.5.2024. https://lappautomaatio.fi/lapp/_emc-suojatut-kaapelit-ja-liittimet

LIIKE. n.d. Tietojärjestelmät. Verkkosivu. Viitattu 21.5.2024. <https://www.fintrafic.fi/fi/raide/liike>

Liikenne- ja viestintäministeriö. n.d. Hallinnonala. Verkkosivu. Viitattu 24.5.2024. <https://lvm.fi/hallinnonala>

Lutkevich, B., Rosencrance, L., Cobb, M. 2021. Smart card. TechTarget. Verkkosivu. Viitattu 13.5.2024. <https://www.techtarget.com/searchsecurity/definition/smart-card>

Peda.net. n.d. Sähköteho ja sähköenergia. Verkkosivu. Viitattu. 5.4.2024. <https://peda.net/kuopio/p/jynkanlahti/oppiaineet/fysiikka/vokin-fysiikka5/9-lk-fysiikka/s%C3%A4hk%C3%B6teho>

SIBA sulakkeet. n.d. Suurjännitesulakkeet. Verkkosivu. Viitattu 8.5.2024. <https://www.hellermannntyton.fi/binaries/content/assets/downloads/fi/sulakkeet/hellermannntyton-siba-sulakeluettelo.pdf>

SMC. 2018. Wireless System EX600-W Series. Verkkosivu. Viitattu 20.5.2024. <https://www.smcworld.com/newproducts/en-jp/ex600-w/>

Smith, D. 2019. Smart Card Technology: What They Do and How They Work. Plug and play. Verkkosivu. Viitattu 22.4.2024. <https://www.plugandplaytechcenter.com/resources/smart-card-technology/>

UTU Group. n.d. Kennokeskukset. Verkkosivu. Viitattu 8.4.2024.

<https://www.utugroup.com/fi/tuotekategoria/sahkokeskukset/kennokeskukset/n400-4000a/>

Valttikortti n.d. Palvelut. Verkkosivu. Viitattu 11.4.2024. https://www.vastuugroup.fi/fi-fi/palvelut/valttikortti?utm_term=valttikortti&utm_campaign=Valtti+%7C+Leads+%7C+Search&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=1119001615&hsa_cam=12070260640&hsa_grp=119935144447&hsa_ad=491232347958&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-337317553853&hsa_kw=valttikortti&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwIN6wBhCcARIsAK-ZvD5iTpLJLw9Vacn4btbU-nxqWSX93Go9FtXS298aQ8WjDfG0cRKLajjgaAog-bEALw_wcB

Väylävirasto. 06/2021. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 1. Määritelmät. Verkkosivu. Viitattu. 24.5.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/rato1_maaritelmat_web.pdf

Väylävirasto. 19.2.2024. Tapamme toimia. Verkkosivu. Viitattu 25.3.2024. <https://vayla.fi/tietoa-meista/tapamme-toimia>

Väylävirasto. 23/2018. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 5 Sähköistetty rata. Verkkosivu. Viitattu 5.4.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-23_rato5_web.pdf

Väylävirasto. 23/2021. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 7 Rautatieliikennepaikat. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavi-rasto/vo_2021-23_rato7_web.pdf