

Roope Suortti

Vaihteenlämmityksen lämmönsäätöjärjestelmän kehitysprojekti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

19.4.2017

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Roope Suortti Vaihteenlämmityksen lämmönsäätöjärjestelmän kehitysprojekti 44 sivua + 2 liitettä 19.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Työpäällikkö Jarkko Jouhilahti Lehtori Matti Sundgren
<p>Insinööriyön tarkoitus oli suunnitella ja toteuttaa erotusmuuntajakohtaiseen säätöön perustuvan vaihteenlämmitysjärjestelmän säätöjärjestelmän muutostyö sekä tutkia muutostyön vaikutuksia energiankulutukseen. Uusi järjestelmä on toteutettu langattomasti säätöaseman ominaisuuksia ja ohjelmoitavaa logiikkaa (PLC) yhdistämällä. Työ tehtiin Liikennevirastolle ja Eltel Networks Oy:lle, joka on eurooppalainen infraverkkoalalla toimiva yritys.</p> <p>Työssä suunniteltiin, toteutettiin ja otettiin käyttöön uusi säätöjärjestelmä Leppävaarassa sijaitsevaan LM1 lämmitysmuuntajaan. Järjestelmää testattiin talven 2015–2016 ajan ja testijakson energiankulutuksen pohjalta suoritettiin energiankulutusvertailua ja -tutkimusta.</p> <p>Työssä suoritettujen energiankulutustutkimuksien perusteella uudella säätöjärjestelmällä ja asetusarvojen laskemisella voidaan saavuttaa suhteellisen suuriakin energian- ja kustannuksiansäästöjä verrattuna erotusmuuntajakeskuksissa olevilla lämpötilansäätimillä ja liikenneviraston ohjeistuksien mukaisilla asetusarvoilla toteutettuihin säätöjärjestelmiin. Hyvistä tuloksista huolimatta järjestelmää olisi tutkittava ja kehitettävä vielä lisää, ennen kuin se olisi mahdollista ottaa laajempaan käyttöön.</p>	
Avainsanat	vaihteenlämmitys, lämmönsäätöjärjestelmä, energiatehokkuus

Author(s) Title	Roope Suortti Switch Heating System Temperature Control Development Project
Number of Pages Date	44 pages + 2 appendices 19 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Jarkko, Jouhilahti, Site Manager Matti Sundgren, Senior Lecturer
<p>The aim of this study was to design and produce a modification for railroad switch heating system to add automation to control it and examine the impact of the modifications on the system's energy consumption. The new control system is wireless and it combines features from a weather station and a programmable logic (PLC). The study was done for Finnish Transport Agency and Eltel Networks Oy, which is a European provider of technical services for infrastructure networks.</p> <p>The new control system was designed and installed to heating transformer LM1 which is located in Leppävaara. The system was tested during the winter 2015-2016. Energy consumption comparison and study were based on the values from the energy consumption measurements.</p> <p>In the energy consumption measurement it was found that by using the new temperature control system and lowering the temperature adjustment attributes, a noticeable energy- and expense savings can be achieved compared to the old temperature control system and temperature control attributes. Despite the good result the system should be tested and developed more, before it can be used more widely.</p>	
Keywords	Switch heating, heating adjustment system, energy efficiency

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	4
2	Vaihteenlämmitysjärjestelmä	5
2.1	Vaihteenlämmitysmuuntamo	6
2.2	Vaihteenlämmitys- ja erotusmuuntajakeskus	8
2.3	Vaihteenlämmitysvastukset	9
3	Vaihteenlämmityksen lämmönsäätöjärjestelmät	10
3.1	Jännitevalintaan perustuva säätö	10
3.2	Erotusmuuntajakohtainen säätö	12
3.3	Sääasemaan perustuva säätö	15
3.4	Säätöjärjestelmien asetteluarvot	17
4	Työn määrittely	19
5	Järjestelmän toimintaperiaate	21
5.1	Automaattitila	23
5.2	Käsiohjaus	28
6	Suunnittelu, toteutus ja testikäyttö	29
6.1	Suunnitteluprosessi	29
6.2	Toteutus	29
6.3	Testikäyttö	32
6.4	Kunnossapito	35
7	Energiankulutuksen vertailu	36
7.1	Energiankulutuksen vertailu vertailukohteisiin	36
7.2	Energiankulutuksen vertailu vanhan- ja uuden järjestelmän välillä	41
8	Yhteenveto	43
	Lähteet	45

Liitteet

Liite 1. Vanhan järjestelmän sähköpiirustuksia

Liite 2. Uuden järjestelmän sähköpiirustuksia

Lyhenteet

EM	Erotusmuuntajakeskus
GPRS	General Packet Radio Service. GSM-verkossa toimiva tiedonsiirtopalvelu, jota käytetään Internet-yhteyden muodostamiseen
GSM	Global System For Mobile Communications. Maailmanlaajuisesti käytetty matkapuhelinjärjestelmä
HKI	Helsinki
ILR	Ilmalan ratapiha
LM	Vaihteenlämmityskeskus
LPV	Leppävaara
PLC	Programmable Logic Controller. Ohjelmoitava logiikka, mikroprosessori pohjainen laite jossa on tulo- ja lähtöportteja.

1 Johdanto

Vaihteiden lämmitys on junaliikenteen toimivuuden kannalta elintärkeää, mutta samalla todella paljon energiaa ja rahaa kuluttava järjestelmä. Energiankulutuksen kannalta vaihteenlämmityksen suurin ongelma on vaihteiden turha ja liika lämmitys eli vaihteiden lämmitys silloin, kun vaihteessa ei ole ollutkaan lunta tai siinä oleva lumi on jo sulanut. Ratkaisemalla kyseessä oleva ongelma, laskematta vaihteenlämmityksen luotettavuutta ja toimivuutta, on mahdollista saavuttaa suuriakin energiasäästöjä.

Eltel Networks Oy on eurooppalainen infraverkkoalalla toimiva yritys. Eltel toimii muun muassa seuraavilla infraverkon osa-alueilla: siirto- ja jakeluverkot, mobiiliverkot, kiinteät televerkot, viranomaisverkot, tieverkot ja rataverkot. Toimialueina ovat Pohjoismaat, Baltia, Puola, Saksa, Iso-Britannia ja Afrikka. Työntekijöitä on tällä hetkellä yhteensä noin 9300, ja liikevaihto vuonna 2015 oli 1,255 miljardia euroa. Eltel on ollut listautuneena Tukholman pörssiin helmikuusta 2015 lähtien [1.]

Insinööriytyö on tehty Liikennevirastolle ja Eltel Networks Rail & Road-liiketoiminnalle. Insinööriytyön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa erotusmuuntajakohtaiseen säätöön perustuvan vaihteenlämmitysjärjestelmän muutostyö järjestelmään, jossa ohjaus on toteutettu langattomasti sääaseman ominaisuuksia ja ohjelmoitavaa logiikkaa (PLC) yhdistämällä. Tämän lisäksi tutkitaan ja verrataan muutostyössä toteutetun järjestelmän energiankulutusta muihin saman tehosiin lämmitysmuuntajiin ja vanhaan järjestelmään.

Muutostyö toteutettiin Leppävaarassa sijaitsevaan LM1-lämmitysmuuntajaan. Suunnittelu toteutettiin insinööriytyön tekijän sekä Ff-automaation edustajien yhteistyönä, asennustyöt insinööriytyön tekijän ja Eltel Networks Oy:n asentajien toimesta.

Työssä esitellään Suomessa yleisesti käytössä olevien vaihteenlämmitysjärjestelmien rakennetta, komponentteja ja säätöjärjestelmien toimintaperiaatteita. Käydään läpi toteutettavan järjestelmän toimintaperiaate sekä suunnittelu, toteutus ja käyttöönotto prosessit. Lopussa tutkitaan energiankulutusta ja tehdään yhteenveto työstä.

2 Vaihteenlämmitysjärjestelmä

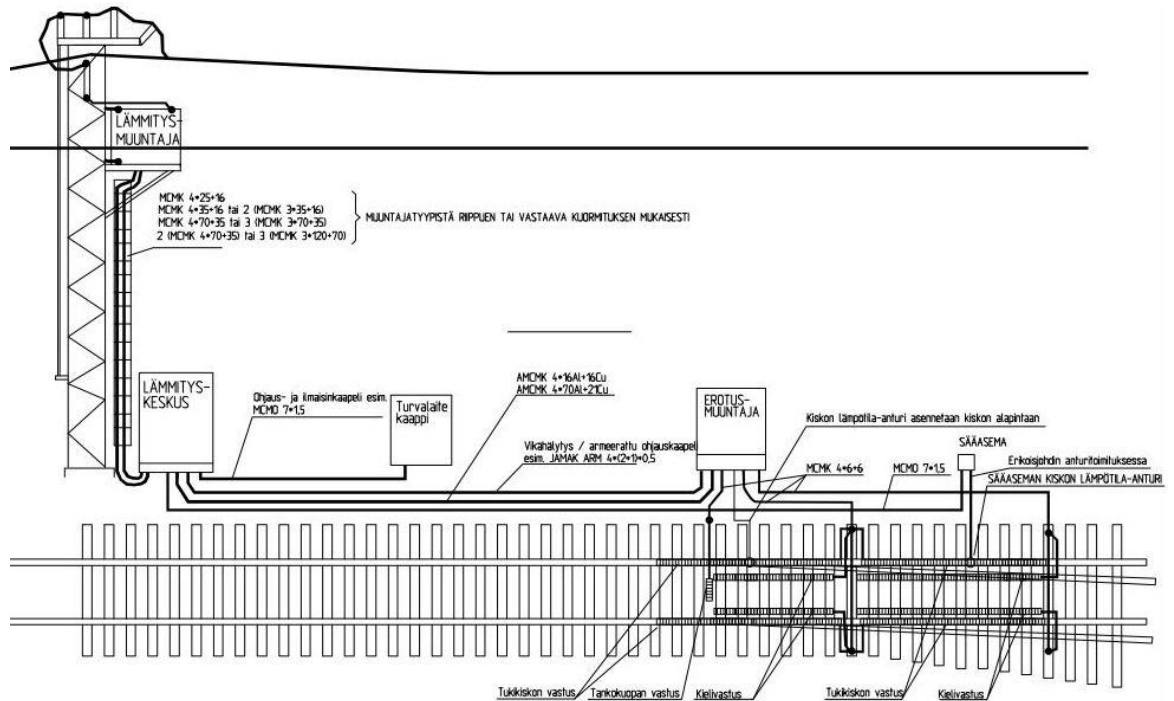
Ensimmäiset sähköiset vaihteenlämmitysjärjestelmät asennettiin Pasilan henkilöasemalle vuonna 1953. Vaihteenlämmitys- ja lumenpoistojärjestelmien historiasta löytyy myös paljon erilaisia kokeiluja kuten, induktio/pyörrevirtalämmitys, paineilmapuhallus, nestekaasulämmitys ja maalämpölämmitys. Näiden kokeilujen perusteella on kuitenkin todettu sähkölämmitys parhaimmaksi vaihtoehdoksi, sekä käyttövarmuutensa että kokonaiskustannuksien kannalta. Nykyään kaikki vaihteet, joissa on sähkökääntölaitteet, on varustettu myös vaihteenlämmityksellä [2, s. 19.]

Vaihteenlämmitysjärjestelmän päätehtävänä on varmistaa vaihteen mekaanisten osien liikkuvuus silloin, kun lumi ja jää vaikeuttavat sitä. Käytännössä tämä on toteutettu vaihteen tukikiskoon ja kieleen on asennettuilla vaihteenlämmitysvastuksilla, jotka sulattavat tukikiskon ja kielen väliin kertyvän lumen ja jään. Vaihteen kääntölaitteen tankokuopassa käytetään lumensulatuslementtejä, joilla varmistetaan sähkökääntölaitteen tangon liikkuvuus. Kuvassa 1 on esitetty lämmitysvastusten sijoituspaikat vaihteessa [3; 4.]



Kuva 1. Vaihteenlämmitysvastuksien sijoituspaikat vaihteessa [5]

Kuvassa 2 on esitetty vaihteenlämmitysjärjestelmän rakenne ja komponentit. Seuraavissa alaluvuissa kerrotaan lisää järjestelmästä ja sen komponenteista.



Kuva 2. Vaihteenlämmitysjärjestelmän sähköistuksen rakenne ja komponentit [4]

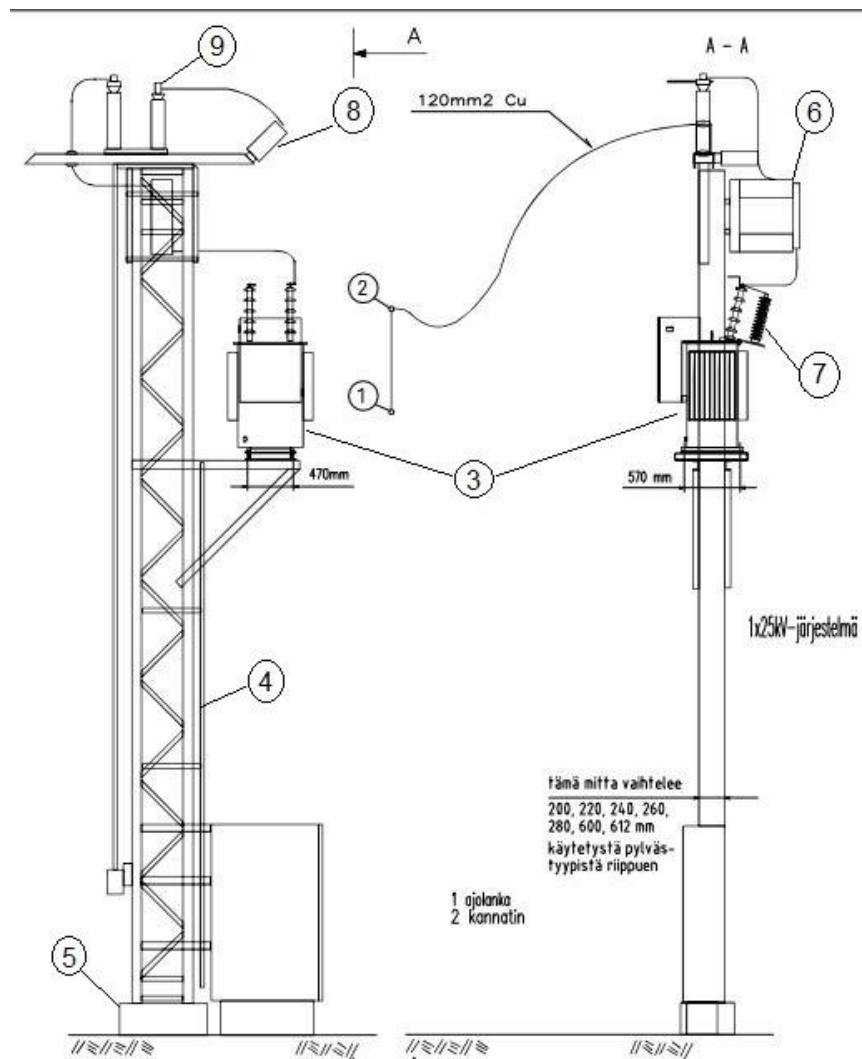
2.1 Vaihteenlämmitysmuuntamo

Vaihteenlämmitysmuuntamoita käytetään junaradan sähköistetyillä osilla muuntamaan ratajohdossa kulkeva 27,5 kV:n jännite vaihteenlämmityksessä käytettäväksi jännitteeksi. Sähköistämättömillä rataosuuksilla vaihteenlämmityksen tarvitsema sähköenergia saadaan paikallisesta sähköverkosta [4].

Vaihteenlämmitysmuuntamoissa käytettävät vaihteenlämmitysmuuntajat ovat tyypiltään yksivaiheisia, ilmajäähdytettyjä, öljyeristettyjä, ulkokäyttöön tarkoitettuja teho-
muuntajia. Ension nimellisjännite on 25 kV ja toision 400 V, 400 V-230 V tai 400–347-

283 V, riippen käytävästä lämmönsäätöjärjestelmästä. Yleisesti käytetyt muuntajan nimellistehot ovat 20, 50, 100 ja 200 kVA [4, s.10–11.]

Kuvassa 3 on esitetty vaihteenlämmitysmuuntamon rakenne ja komponentit.



Kuva 3. Vaihteenlämmitysmuuntamon rakenne ja komponentit, ajolanka 1, kannatin 2, vaihteenlämmitysmuuntaja 3, sähköratapylväs 4, sähköratapylvään perustus 5, varoke ja -alusta 6, ylijännitesuoja 7, 25kV tukieristin 8 ja 1-napainen erotin 9 [4.]

Vaihteenlämmitysmuuntamon käyttö on monella tavalla hyvä ratkaisu, energia on lähellä, kaapelien pituudet pysyvät lyhyenä, eikä synny suuria siirtohäviöitä. Haittapuoleksi voidaan laskea se, että kunnossapito- tai rakennustöiden vaatimien jännitekatkojen aikana vaihteet ovat kylminä. Jännitekatkon aikana satava lumi tukkii vaihteen, ja jos katkon loputtua liikenne olisi aloitettava välittömästi, vaihteet eivät välttämättä käänny heti.

2.2 Vaihteenlämmitys- ja erotusmuuntajakeskus

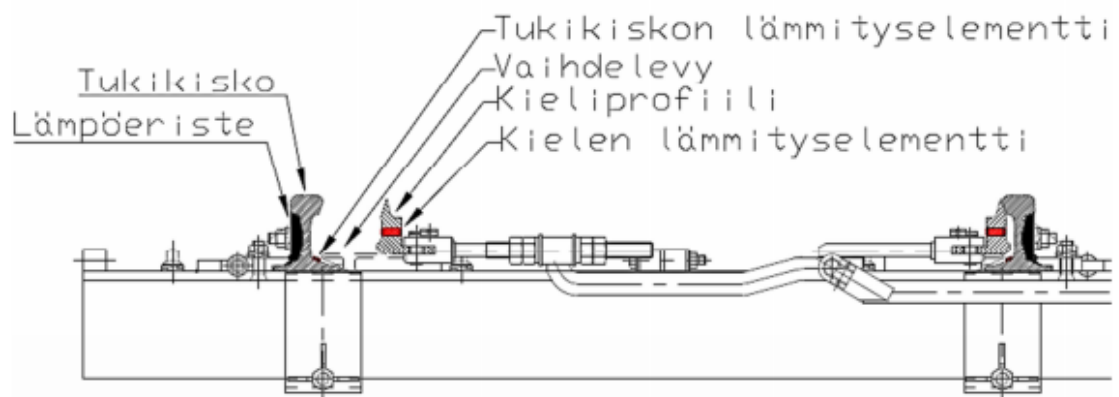
Vaihteenlämmitysmuuntajapylvään välittömään läheisyyteen kaapelijakokaappiin asennettava vaihteenlämmityskeskus toimii erotusmuuntajakeskusten syöttöjen jakopisteenä sekä ohjauskeskuksena. Vaihteenlämmityksen kaukokäytön ohjauskaapeloinnit tulevat joko turvalaitekaapilta tai suoraan asetinlaitteelta vaihteenlämmityskeskukselle. Asetinlaitteelta tai turvalaitekaapilta on yhteydet liikenteenohjaukseen, josta vaihteenlämmityksen kaukokäyttö tapahtuu. Vaihteenlämmityskeskuksia on yksi kappaletta lämmitysmuuntajaa kohden [4.]

Vaihteenlämmitysvastukset saavat syöttönsä erotusmuuntajilta, jotka sijaitsevat erotusmuuntajakeskuksissa. Erotusmuuntajakeskuksia on 1-4 kappaletta vaihdetta kohden, riippuen vaihteen tyypistä. Erotusmuuntajia käytetään muuntamaan vaihteenlämmityskeskuksen syöttämä jännite vaihteenlämmitysvastuksille sopivaksi sekä erotetaan muuntajan toisiossa olevat komponentit galvaanisesti ensiöstä ja maapontetiaalista. Näin varmistetaan, ettei radan turvalaitejärjestelmään kuuluvaan raidevirtapiiriin aiheuteta häiriöitä, sekä erotetaan sähköradan paluuvirtakisko vaihteenlämmitysjärjestelmästä. Osassa säätöjärjestelmiä vaihteenlämmitystä säättävät komponentit sijaitsevat erotusmuuntajakeskuksissa [4.]

Vaihteenlämmitys- ja erotusmuuntajakeskukset eroavat tyypeiltään ja komponenteiltaan paljonkin eri lämmönsäätöjärjestelmien välillä. Lämmönsäätöjärjestelmän esittelyn yhteydessä on kerrottu tarkemmin, mitä vaihteenlämmitys- ja erotusmuuntajakeskukset sisältävät kyseissä säätöjärjestelmässä.

2.3 Vaihteenlämmitysvastukset

Sähköisessä vaihteenlämmityksessä käytetään tukikiskoon ja vaihteen kielen uraan kuvan 4 mukaisesti asennettavia vaihteenlämmitysvastuksia, joista johtuva ja säteilevä lämpö sulattaa vaihteessa olevan lumen. Tukikiskon ulkoreunaan asennettavat lämpöeristeet vähentävät lämmön haihtumista, ja täten parantavat lämmityksen tehokkuutta. Vaihteenlämmitysvastukset toimivat vaihtojännitteellä ja niitä löytyy neljää eritehoista 700 W, 1000 W, 1700 W ja 2300 W. Saman tehoisia vastuselementtejä valmistetaan eripituisina, metritehot vaihtelevat 233 watista 594 wattiin metrillä, pituuksien ollessa 3 ja 6 metrin välillä [4;5.]



Kuva 4. Tukikiskon ja kielen vaihteenlämmitysvastusten sijoitus [6, s. 18]

Vaihteen lämmitysteho on jaettu niin, että kielen kärjen alueella on käytössä suurimmat tehot. Kielen kärjessä välimatka tukikiskoon on suurin, joten sinne kertyy enemmän lunta kuin kielenkantaan. Näin ollen siellä tarvitaan myös enemmän tehoa, jotta alue saadaan pidettyä lumettomana [5.]

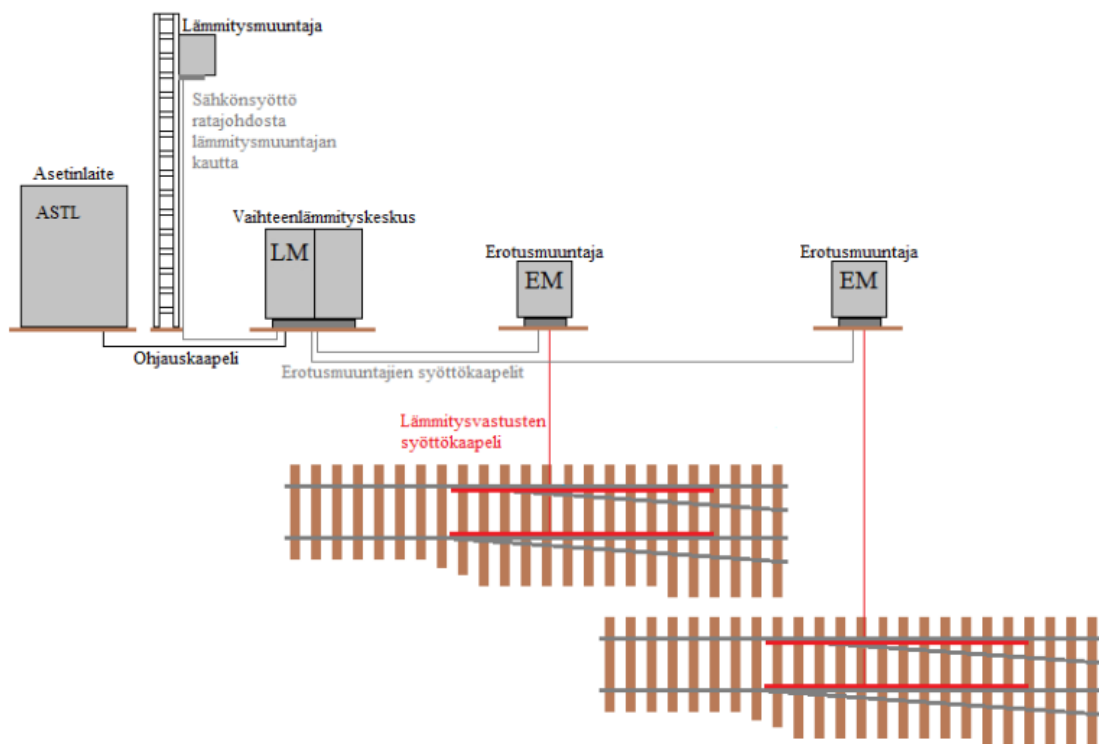
Vaihteet, joissa on kiellilämmitykset, on varustettava aina myös tankokuoppalämmityksillä, johtuen siitä, että lämmitettäessä pelkkää kieltä kääntölaitteen mekanismin kiinnityskohdat alkavat keräämään kosteutta ja jäätyvät [4, s.13.] Tankokuoppalämmitys toteutetaan tankokuoppaan asennettavilla 600 watin lämmityselementeillä [4, s.30.]

3 Vaihteenlämmityksen lämmönsäätöjärjestelmät

Lämmönsäätöjärjestelmää voidaan pitää vaihteenlämmityksen tärkeimpänä osana, koska sillä on suurin vaikutus vaihteenlämmityksen toimivuuteen ja energiatehokkuuteen. Seuraavissa alaluvuissa esitellään Suomessa yleisesti käytössä olevat vaihteenlämmityksen lämmönsäätöjärjestelmät [5, s.15.]

3.1 Jännitevalintaan perustuva säätö

Jännitevalintaan perustuva lämmönsäätö on järjestelmistä vanhin, siinä vaihteenlämmityksen lämmönsäätö perustuu tehon säätöön kolmen tehotason: täysi teho, $\frac{3}{4}$ teho ja $\frac{1}{2}$ teho, -välillä. Lämmitystehoa saadaan säädettyä muuttamalla erotusmuuntajakeskukselle tulevaa eli myös lämmitysvastusten, jännitettä kolmen jänniteportaan välillä. Jänniteportaksi saadaan vaihteenlämmitysmuuntajan väliulosottoja käyttämällä 400 V, 347 V ja 283 V.

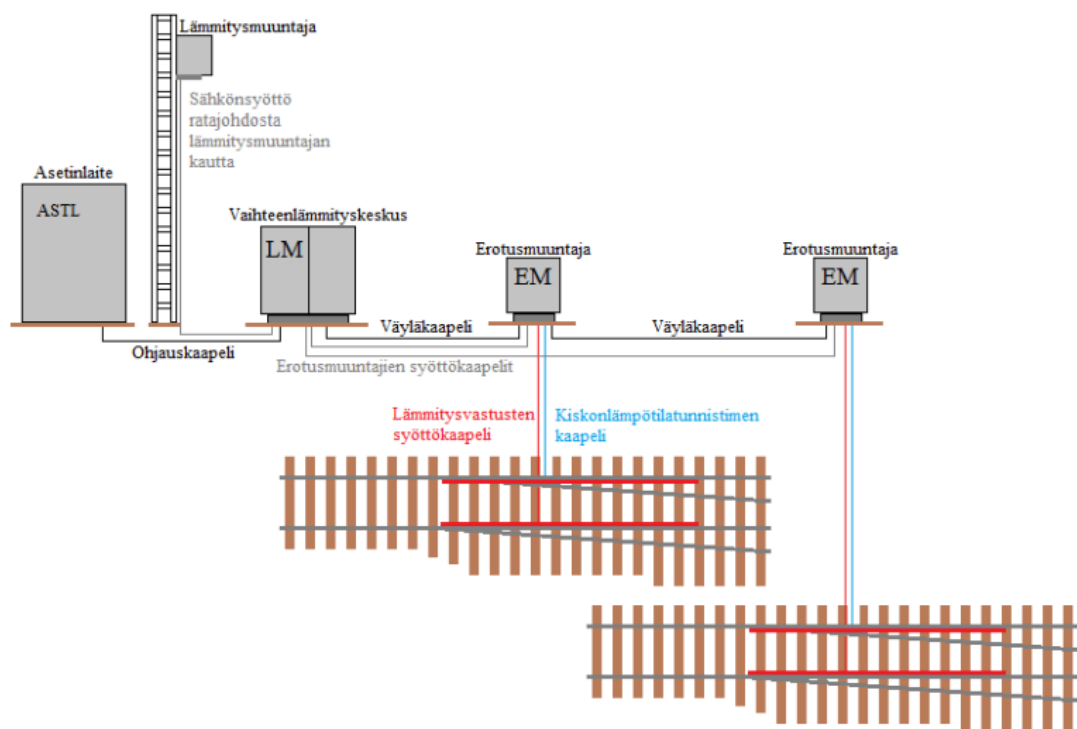


Kuva 5. Jännitevalintaan perustuvan lämmönsäätöjärjestelmän rakenne [5.]

Kuvassa 5 on esitetty järjestelmän rakenne. Jännitteenvaihtoa tehdään vaihteenlämmityskeskuksesta, joten tässä säätötavassa yksittäisen vaihteen lämmitystä ei voida säätää erikseen. Jänniteporras voidaan asettaa vaihteenlämmityskeskuksesta joko paikalla (käsiohjaus), tai liikenteenohjaus voi muuttaa sitä etänä (kauko-ohjaus). Kauko-ohjaus tapahtuu joko asetinlaitteelta tai turvalaittekaapilta kaapeloidun ohjauskaapelin välityksellä. Järjestelmän säätö ei ole siis automatisoitu, joten lämmityksensäätö on käyttäjän eli yleensä liikenteenohjauksen vastuulla. Vaihteenlämmityskeskuksessa on tosin ulkolämpötilatermostaatti, joka estää vaihteiden lämmittämisen kauko-ohjaus-asennossa säätöarvoa suuremmilla lämpötiloilla, esimerkiksi +5 °C. [4; 5.]

3.2 Erotusmuuntajakohtainen säätö

Erotusmuuntajakohtaisessa säätöjärjestelmässä lämmityksen säätö on siirretty vaihteenlämmityskeskuksesta erotusmuuntajille, joten jokaisen vaihteen lämpötilaa saadaan säädettyä erikseen. Lämpötilan säätö tapahtuu erotusmuuntajakeskuksilla sijaitsevilla lämpötilansäätimillä, jotka säätelevät lämmitystä kiskon lämpötila-antureiden välittämien lämpötilatietojen perusteella. Kuvassa 6 on esitetty järjestelmän rakenne. [4; 5.]



Kuva 6. Erotusmuuntajakohtaisen lämmönsäätöjärjestelmän rakenne [5]

Kyseisessä säätötavassa käytetään vaihteenlämmitysmuuntajan 400 V:n toisiojännitettä syöttämään erotusmuuntajia. Erotusmuuntajat eivät ole aina jännitteisiä johtuen niiden tyhjäkäyntihäviöiden aiheuttamasta turhasta energiankulutuksesta. Erotusmuuntajien syöttöjä ohjataan vaihteenlämmityskeskukseen sijoitetulla ulkolämpötilaa mittaavalla termostaatilla. Ratahallintokeskuksen julkaisun B17: Vaihteenlämmityksen tekniset määreet ohjeistuksen mukaisesti erotusmuuntajakeskuksille kytketään jännitteet, kun ulkolämpötila on alhaisempi kuin +5 °C [4; 5.]

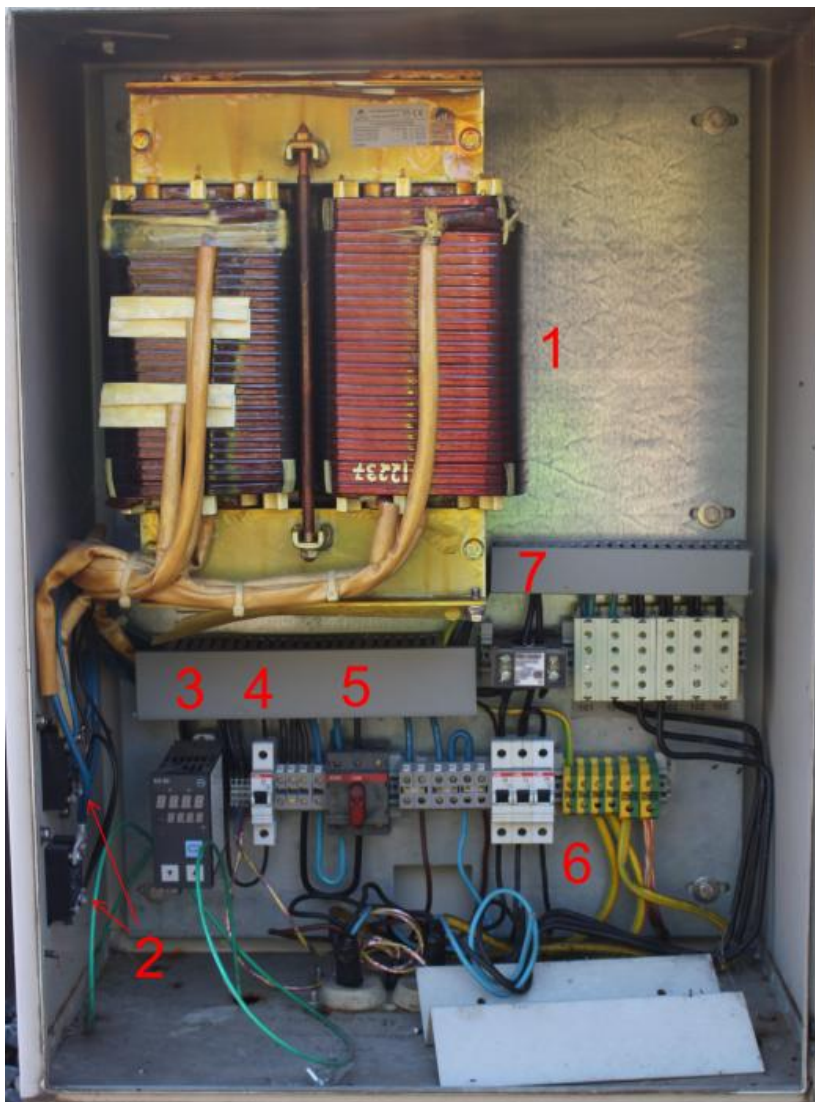
Kuvassa 7 erotusmuuntajakohtaisen lämmönsäätöjärjestelmän vaihteenlämmityskeskus.



Kuva 7. Vaihteenlämmityskeskuksen rakenne ja komponentit, energianmittaus 1, ohjaussakkeet ja -releitä 2, pääkontaktorit 3, heikkovirtaohjaukset 4, hälytyskeskus 5, kaapelilähdöt erotusmuuntajakeskuksille 6, kaukokäytön ohjauskaapeli ja riviliittimet 7.

Erotusmuuntajakohtaisessa lämmönsäätöjärjestelmässä jokaisella vaihteella on 1-4 erotusmuuntajakeskusta, riippuen vaihteen vaatimasta lämmitystehosta. Erotusmuuntajalla muunnetaan vaihteenlämmityskeskusten syöttämä 400 V:n jännite lämmitysvastusten käyttämäksi 230 V:n jännitteeksi sekä erotetaan vaihteenlämmitysvastukset ja muut toisioin komponentit galvaanisesti ensiöstä ja maapontetiaalista. Jokaisessa erotusmuuntajakeskuksessa on lämpötilansäädin, kiskon lämmitysvirran mittaus ja kiskon lämpötila-anturi, joiden avulla vaihteenlämmitystä säädetään.

Kuvassa 8 erotusmuuntajakohtaisen säätöjärjestelmän erotusmuuntajakeskus.



Kuva 8. Erotusmuuntajakeskuksen rakenne ja komponentit, erotusmuuntaja 1, puolijohdereleet 2, KS-50 lämpötilansäädin 3, ohjauksulake 4, pääkytkin 5, vaihteenlämmitysvastusten sulakkeet 6 ja virtamuuntaja 7.

Lämpötilansäätimeen on ennalta aseteltu kaksi lämpötila-arvoa, normaalilämmitys +10 °C ja teholämmitys +40 °C. Nämä asetellut ovat julkaisun B17: Vaihteenlämmityksen tekniset määreet mukaisia asetusarvoja, mutta muitakin arvoja voidaan käyttää [4; 5.]

Vaihteenlämmityksen päälle- ja poiskytkentälämpötilat riippuvat käytettävästä säätimestä ja sen asetteluarvoista. Suomessa yleisesti käytössä oleva KS-50-lämpötilansäädin toimii seuraavasti. Ulkolämpötilan ollessa alle +5 celsiusastetta ja kiskonlämpötilan laskettua noin +8 celsiusasteeseen, säädin ohjaa puolijohdereleiden avulla vaihteenlämmityssauvalle sähköä kunnes normaalilämmityksen asetteluarvo +10 °C saavutetaan. Kun se on saavutettu, säädin katkaisee sähkön syötön vaihteenlämmityssauvalle. Kisko alkaa jäähtyä ja toimintasilmukka alkaa alusta kiskonlämpötilan laskettua noin +8 celsiusasteeseen.

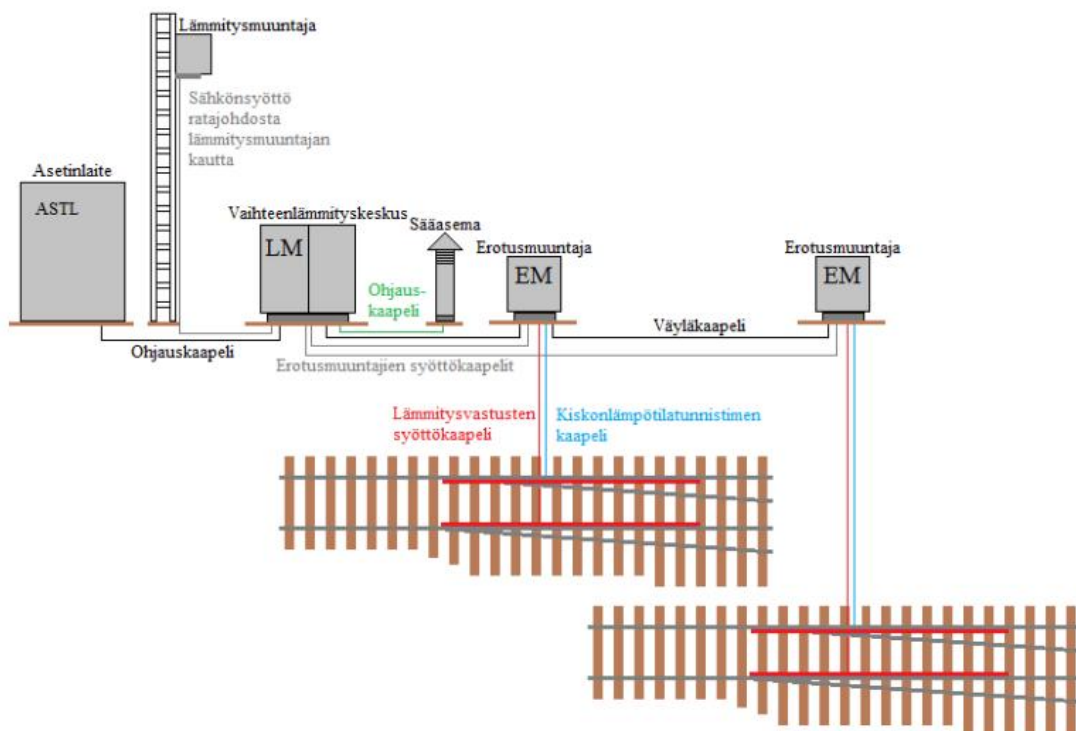
Normaalitilanteessa lämmönsäätö toimii täysin automaattisesti, mutta poikkeustilanteissa esimerkiksi kovan lumipyryn, tai tukikiskon ja kielen väliin junasta pudonneen jääpalan estäessä vaihteen kääntymisen liikenteenohjaajaa pystyy ohjaamaan vaihteenlämmityksen teholämmitykselle manuaalisesti. Teholämmityksellä kiskonlämpötila nostetaan +40 celsiusasteeseen 0-10 tunnin ajaksi. Teholämmityksen kesto on yleisesti aseteltu 2 tunniksi [4, s. 32.]

3.3 Sääasemaan perustuva säätö

Sääasemaan perustuva säätö on uusinta tekniikkaa vaihteenlämmityksen säätöjärjestelmissä. Sääasemaan perustuvassa säädössä säätöparametreja saadaan lisättyä käyttämällä sääaseman ominaisuuksia, joihin kuuluu optinen sadeanturi, ilman lämpötila-anturi ja ilman kosteusmittari. Sadeanturin ansiosta järjestelmä ottaa huomioon myös lumisateen, joka on suuri etu verrattuna vanhempiin järjestelmiin, joissa lämmitetään pelkästään lämpötilan perusteella. Lumisade-tiedon avulla vaihteen lämmitystehoa saadaan optimoitua, ja sitä kautta saavutetaan energiasäästöjä [5.] Järjestelmän huomioidessa itsenäisesti lumisateen, liikenteenohjaajaan ei tarvitse kytkeä teholämmitystä päälle manuaalisesti, joten manuaalisen ohjauksen ja käytön tarve vähenee huomattavasti.

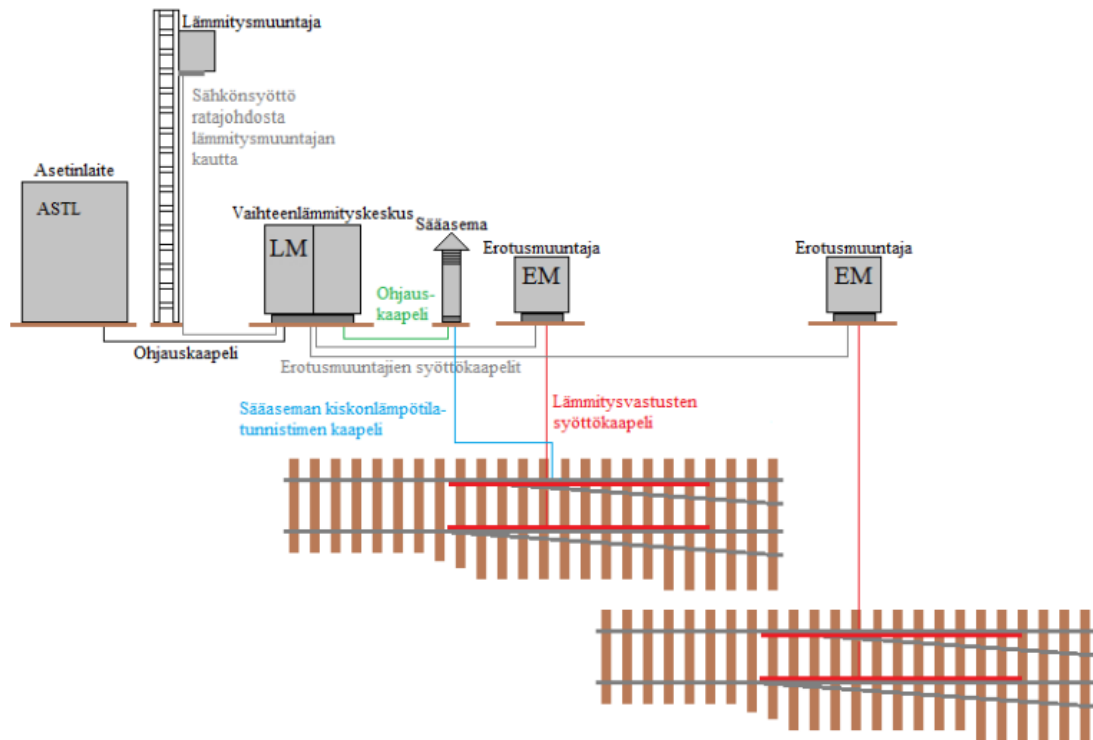
Pääasiassa sääasemaan perustuvia säätöjärjestelmiä lisätään jo olemassa oleviin lämmityksensäätöjärjestelmiin, mutta myös uudisrakennuskohteita on. Säätöjärjestelmä voidaan lisätä sekä erotusmuuntajakohtaisesti säädettyyn järjestelmään, että jännitevalintaan perustuvaan järjestelmään. Tilastojen ja mittausten perusteella Tampereelle lisättyjen sääasematyyppisten säätöjärjestelmien energiansäästöillä katettaisiin investointikustannukset jopa kahdessa vuodessa [5, s. 20.]

Lisättäessä sääasema erotusmuuntajakohtaiseen säätöjärjestelmään, se liitetään osaksi vaihteenlämmityskeskuksen ohjausjärjestelmää kuvan 9 mukaisesti. Sääaseman avulla saadaan automatisoitua vaihteenlämmityskeskusta. Se ohjaa vaihteenlämmityskeskuksen pääkontaktoreita kiinni ja auki edellä mainittujen säätöparametrien perusteella toisin kuin pelkkä lämpötila-anturi, joka huomio vain ulkolämpötilan. Erotusmuuntajakeskuksilla sijaitsevat säätimet pitävät kiskonlämpötilan ohjausjärjestelmän asettamissa arvoissa [4,5.]



Kuva 9. Sääasema erotusmuuntajakohtaisessa lämmönsäätöjärjestelmässä [5.]

Myös jännitevalintaan perustuvassa säätöjärjestelmässä sääasema asennetaan vaihteenlämmityskeskuksen yhteyteen. Sääaseman lisäksi yhteen vaihteeseen asennetaan kiskonlämpötila-anturi, kuvan 10 mukaisesti. Sääasema ohjaa tämän yhden anturin ja aseteltujen rajojen perusteella kaikkia kyseessä olevan vaihteenlämmityskeskuksen takana olevia vaihteidenlämmityksiä.



Kuva 10. Sääasema jännitevalintaan perustuvassa lämmönsäätöjärjestelmässä [5]

3.4 Säätöjärjestelmien asetteluarvot

Ulkolämpötilatermostaatti kytkee lämmityksen pois päältä, jos lämpötila $> +5$ °C. Erotusmuuntajakeskuksen lämpötilansäätimen alemmalla asetteluarvolla eli normaali lämmityksellä kiskoa lämmitetään kunnes sen lämpötila on saavuttanut +10 astetta celsiusta.

Erotusmuuntajakeskuksen lämpötilansäätimen ylemmällä asetteluarvolla eli teho lämmityksellä kiskoa lämmitetään kunnes sen lämpötila on saavuttanut +40 astetta celsiusta [4.]

Sääasema säätää lämmitystä sateen, ulkolämpötilan ja mahdollisesti kiskonlämpötilan perusteella. Sääasema voidaan asettaa säätämään lämmitystä esimerkiksi taulukon 1 mukaisesti [5.]

Taulukko 1. Esimerkki sääaseman säätöperiaatteista [5]

	sataa	ei sada	
ulkolämpötila > 5C	0	0	0 = ei lämmitystä
ulkolämpötila < 5C	1	0	1 = lämmityksen alempi säätöarvo (+10C)
ulkolämpötila > 0C	1	1	2 = lämmityksen ylempi säätöarvo (+40C)
ulkolämpötila < 0C	2	1	

4 Työn määrittely

Liikennevirastossa yritetään etsiä luotettavia ja kustannustehokkaita ratkaisuja vaihteenlämmityksien energiankulutusongelmaan. Tästä syystä haluttiin lähteä kokeilemaan säätöjärjestelmää, jossa ohjaus on toteutettu langattomasti sääaseman ominaisuuksia ja ohjelmoitavaa logiikkaa (PLC) yhdistämällä sekä verrata sen energiankulutusta muihin säätöjärjestelmiin.

Säätöjärjestelmää ei lähdetty asentamaan uudiskohteeseen, vaan se toteutettiin muutostyönä vaihteenlämmitysmuuntajaan, jonka lämmityksen säätö oli toteutettu erotusmuuntajakohtaisella säätöjärjestelmällä. Muutostyössä vaihteenlämmitysjärjestelmään lisätään säätöparametreja, joiden avulla yritetään minimoida vaihteiden turha- ja liikalämmitystä. Yritetään siis välttää tilanteita, joissa vaihdetta lämmitetään silloin, kun se on puhtaana lumesta ja jäädästä. Tätä kautta on saavutettavissa energiansäästöjä verrattuna nykyisiin järjestelmiin, koska käytössä olevat säätöjärjestelmät saattavat lämmitellä myös silloin kun vaihde on puhtaana.

Työn perustana toimii FF-automaation valmistama automaatiokeskus, joka sisältää vaihteenlämmitystä ohjaavan logiikan ja sen apujärjestelmät eli sadeanturin, ulkolämpötila-anturin, viestintäyhteydet (gsm/gprs- ja radioantennin), johdonsuoja-automaatit sekä ohjausreleet. Käytännössä työn tehtävänä on siis suunnitella ja toteuttaa tämän automaatiokeskuksen ja nykyisen erotusmuuntajakohtaiseen säätöön perustuvan järjestelmän yhteensovitus, jonka lopputuloksena saadaan toimiva, luotettava ja energiatehokas vaihteenlämmityksen säätöjärjestelmä.

Muutostyön kohteeksi valittiin Leppävaaran aseman itäpäässä sijaitseva lämmitysmuuntaja LM 1. Työ päätettiin toteuttaa kyseiseen lämmitysmuuntajaan, koska siinä ei ollut ennestään kauko-ohjausta ja järjestelmä oli toteutettu erotusmuuntajakohtaisella lämmityksensäädöllä. Lisäksi oletettiin lämmitysmuuntajan takana olevien vaihteiden sijaitsevan tarpeeksi lähellä vaihteenlämmityskeskusta, jotta langattomat yhteydet toimisivat luotettavasti. Kauimmaisen erotusmuuntajakeskuksen ja vaihteenlämmityskeskusten välinen matka on noin 160 metriä. Kuvassa 11 on esitetty lämmitysmuuntajan (vaihteenlämmityskeskusten) ja vaihteiden (erotusmuuntajakeskusten) sijainnit.



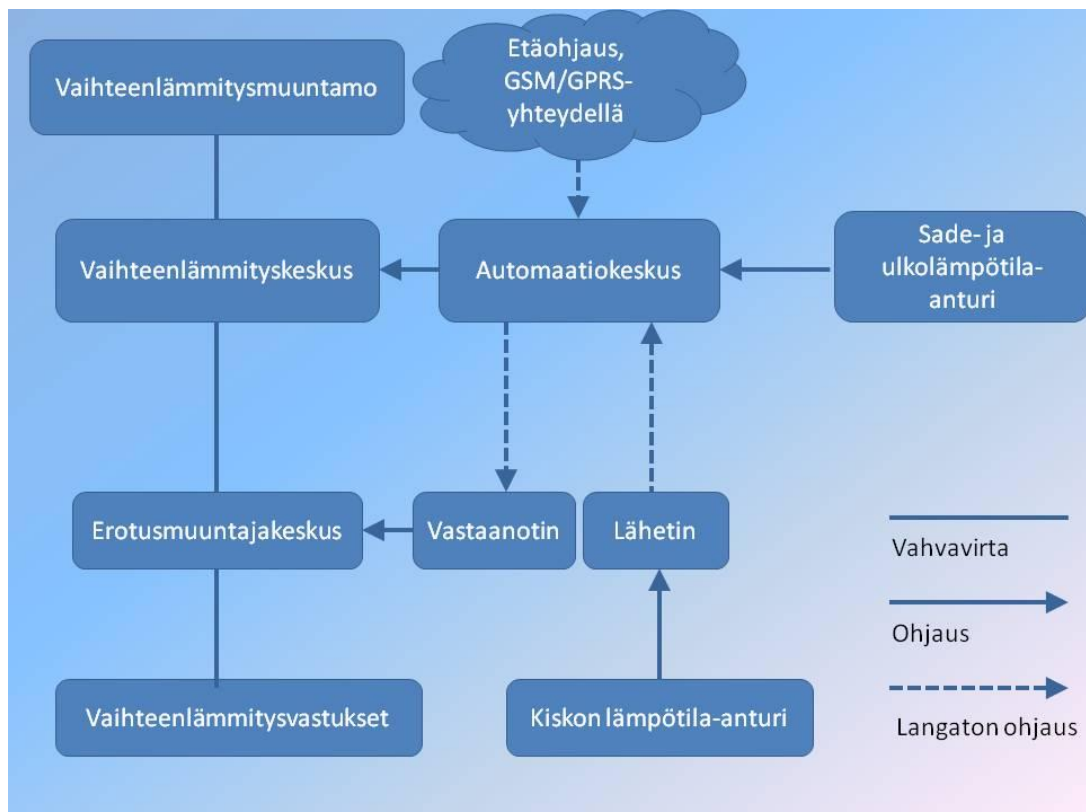
Kuva 11. Leppävaaran aseman itäpuolella sijaitsevat lämmitysmuuntaja LM1 ja vaihteet 303, 304, 313 ja 314.

Kaukokäytön puuttuminen aiheutti sen, että vaihteenlämmitys oli käytännössä käsikäyttöinen. Erotusmuuntajakeskuksissa olevat säätimet toki hoitivat tehtävänsä ja pitivät vaihteet niille asetelluissa lämpötila-arvoissa, mutta liikenteenohjaus ei saanut minikäänlaista informaatiota tai pystynyt ohjaamaan vaihteiden lämmitystä manuaalisesti asetteluarvojen ylärajalle esimerkiksi kovan lumipyryn aikana. Informaation ja ohjauksen puutteen seurauksena vaihteenlämmitysjärjestelmä saattaa jäädä myös kevään, kesän ja alkusyksyn ajaksi paikallisohjaukselle, jos sitä ei käydä kytkemässä manuaalisesti pois. Päivisin ulkolämpötilantermostaatti estää lämmityksen, mutta kylminä öinä lämpötila voi laskea helposti alle +5 astetta celsiusta. Tällöin järjestelmä saattaa alkaa lämmittämään kiskoa, vaikka lunta ei olisi ollenkaan.

5 Järjestelmän toimintaperiaate

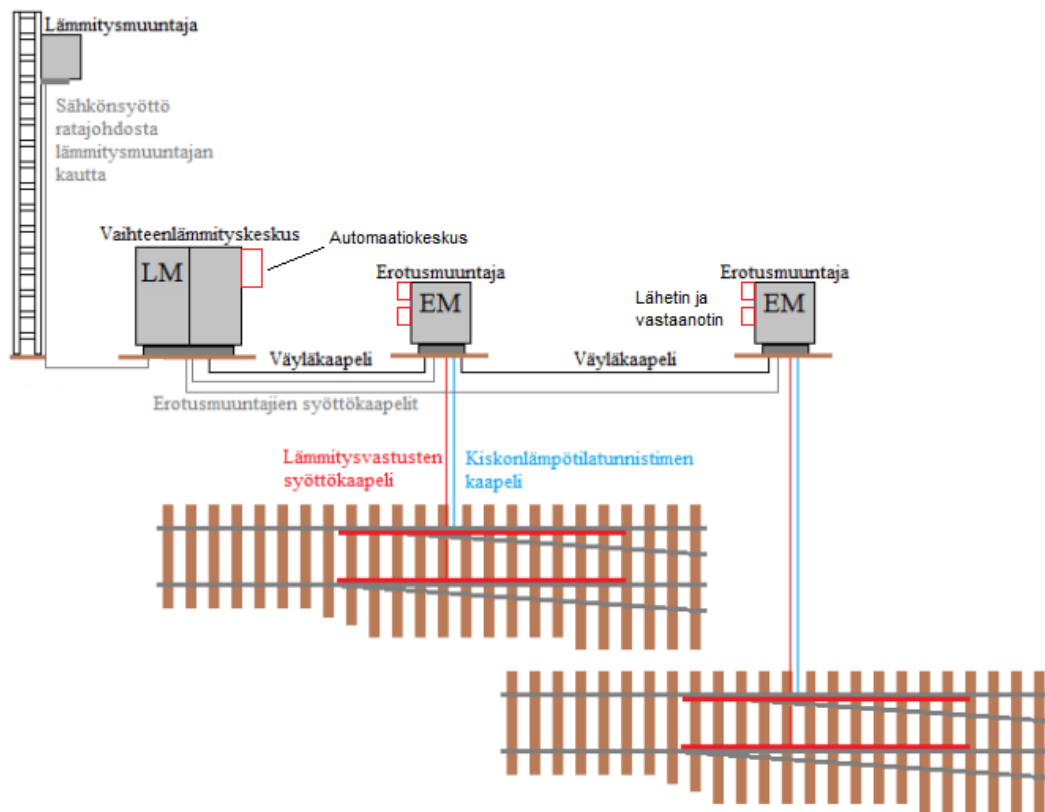
Järjestelmän toimintaperiaatteen suunnittelun kulmakivinä ovat jo edellä mainitut vaihteenlämmitysajan ja -tehon vähentäminen niin, että vaihteenlämmityksen tehtävä eli vaihteen mekaanisten osien liikkuvuuden varmistaminen silloin, kun lumi ja jää vaikeuttavat sitä, ei kärsi.

Yksinkertaistettuna automaatiokeskuksessa sijaitseva ohjelmoitava logiikka analysoi sade-, kiskonlämpötila- ja ulkolämpötila-antureiden toimittamia mittaustietoja ja tekee näiden sekä ohjelman asetusarvojen perusteella päätöksiä milloin, mihin lämpötilaan ja mitä vaihdetta on lämmitettävä. Kuvassa 12 on esitetty järjestelmän toimintaperiaatekaavion muodossa.



Kuva 12. Uuden järjestelmän toimintaperiaatekaavio.

Uuden järjestelmän päävirtapiiriin rakenne vastaa pääpiirteilään erotusmuuntajakohtaisen säätöjärjestelmän rakennetta. Energia vaihteenlämmitykseen saadaan ratajohdosta lämmitysmuuntajaa käyttämällä, vaihteenlämmityskeskus toimii erotusmuuntajakeskusten syöttöjen jakopisteenä ja vaihteenlämmitysvastusten syötöt tulevat erotusmuuntajakeskuksilta. Ohjausjärjestelmän muutokset toteutettiin vaihteenlämmityskeskuksella ja erotusmuuntajakeskuksilla. Vaihteenlämmityskeskukselle lisättiin automaatiokeskus ja sen sisäisiä kytkentöjä muutettiin. Erotusmuuntajakeskuksille asennettiin lähettimet ja vastaanottimet, niiden ohjausvirtapiirit purettiin kokonaan pois ja toteutettiin uudestaan sekä päävirtapiiriä muokattiin. Kuvassa 13 on esitetty järjestelmän rakenne sekä komponenttien sijoituspaikat.



Kuva 13. Uuden järjestelmän rakenne ja lisättyjen komponenttien sijoituspaikat.

5.1 Automaattitila

Automaattitilassa järjestelmä toimii seuraavasti. Ulkolämpötilatietojen perusteella automaatiokeskuksessa sijaitseva logiikka ohjaa vaihteenlämmityskeskukselta erotusmuuntajakeskusten syöttöjä päälle ja pois päältä. Ulkolämpötilan ollessa yli +10 °C erotusmuuntajakeskukset kytketään jännitteettömiksi, johtuen erotusmuuntajien tyhjäkäyntihäviöistä. Kuvassa 14 on automaatiokeskus, joka sisältää ohjelmoitavan logiikan, viestintäyhteydet (gsm/gprs- ja radioantennin), kotelon lämmittimen, johdonsuoja-automatit sekä ohjausreleet.



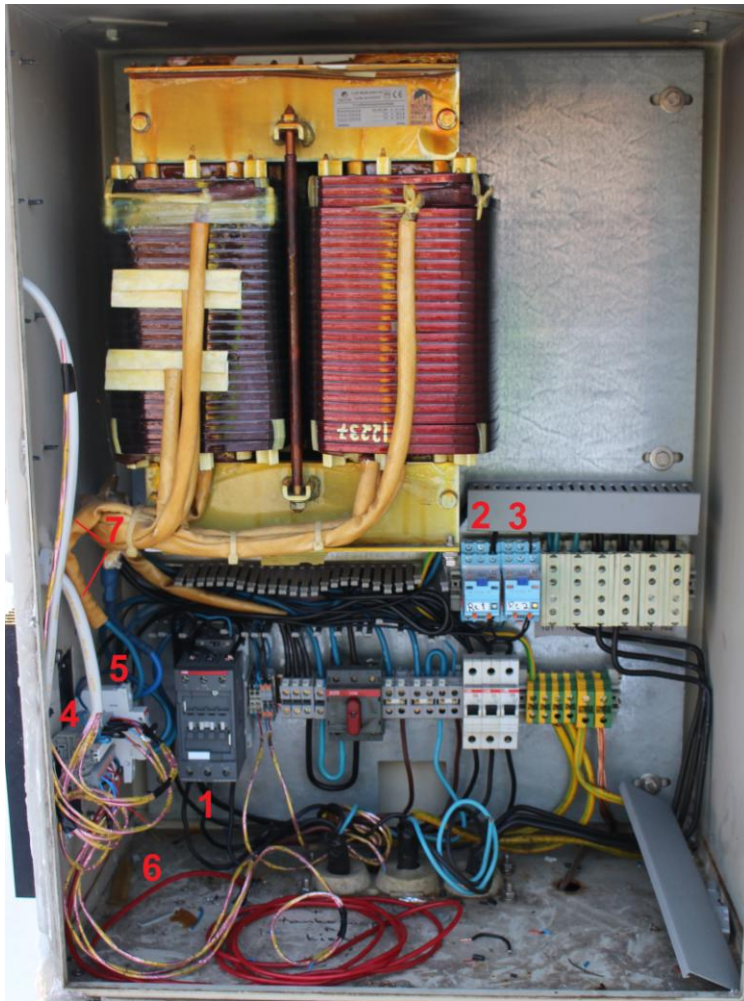
Kuva 14. Automaatiokeskus asennettuna vaihteenlämmityskeskuksen kylkeen.

Automaatiokeskus ja erotusmuuntajakeskuksiin asennettavat lähettimet ja vastaanottimet mahdollistavat vaihteenlämmityksen ohjaamisen langattomasti. Lähettimellä välitetään kiskonlämpötila tiedot logiikalle, ja logiikka antaa vastaanottimen avulla ohjauskäskyjä erotusmuuntajakeskukselle. Lähetin ja vastaanotin toimivat 868 MHz:n taajuudella. Kuvassa 15 on esimerkki lähettimen ja vastaanottimen asennuspaikasta.



Kuva 15. Lähetin ja vastaanotin asennettuna erotusmuuntajakeskukseen.

Vastaanottimen saama ohjauskäsky välitetään apureleen kautta pääkontaktorille, jonka kautta vaihteenlämmityssauvojen syötöt kulkevat. Kuvassa 16 erotusmuuntajakeskus, johon on toteutettu muutostyöt. Kuvassa 8 on esitetty erotusmuuntajakeskus ennen muutostöitä.



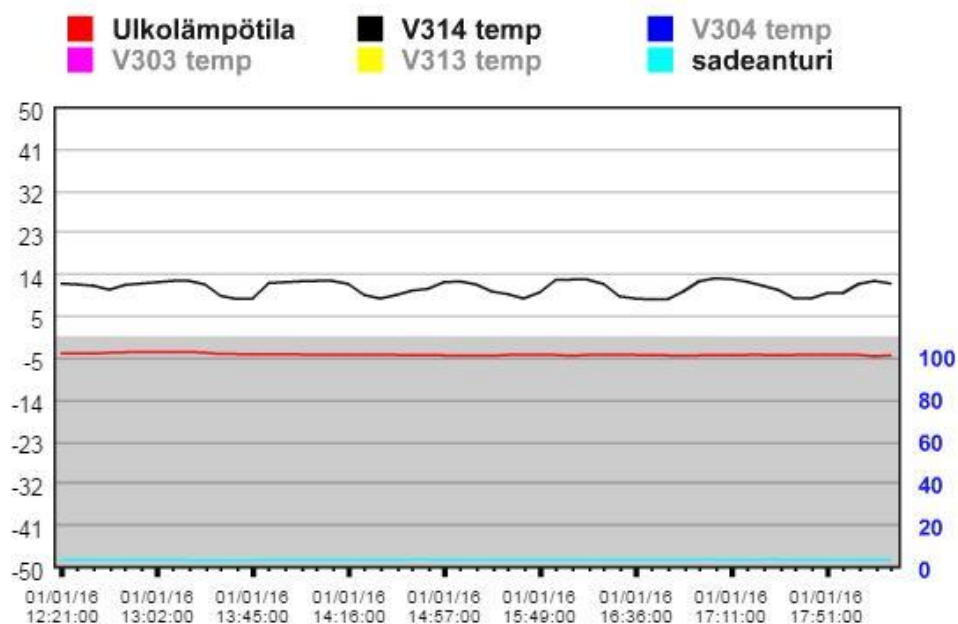
Kuva 16. Erotusmuuntajakeskus muutostyön jälkeen, pääkontaktori 1, käsikäytön apurele 2, automaatiotilan apurele 3, ohjauksiviliittimet 4, ohjaussulake 5, PT-100-lämpötila-anturin kaapeli 6, lähettimen ja vastaanottimen kaapeloinnit 7.

Vaihteenlämmitystä ohjattaessa logiikka vertaa antureiden lähettämiä mittaustietoja ohjelman asetusarvoihin ja päättää mitä lämmitystasoa käytetään. Järjestelmästä löytyy kaksi lämmitystasoa, ylläpitolämmitys ja tehollämmitys. Taulukossa 2 on esitetty uuden järjestelmän ohjaustaulukko. Ohjaustaulukosta nähdään, mitä lämmitystasoa käytetään missäkin ulkolämpötila- ja sadetilanteessa sekä mitkä ovat lämmitystasojen kiskon lämpötilatavoitteet.

Taulukko 2. Uuden järjestelmän ohjaustaulukko.

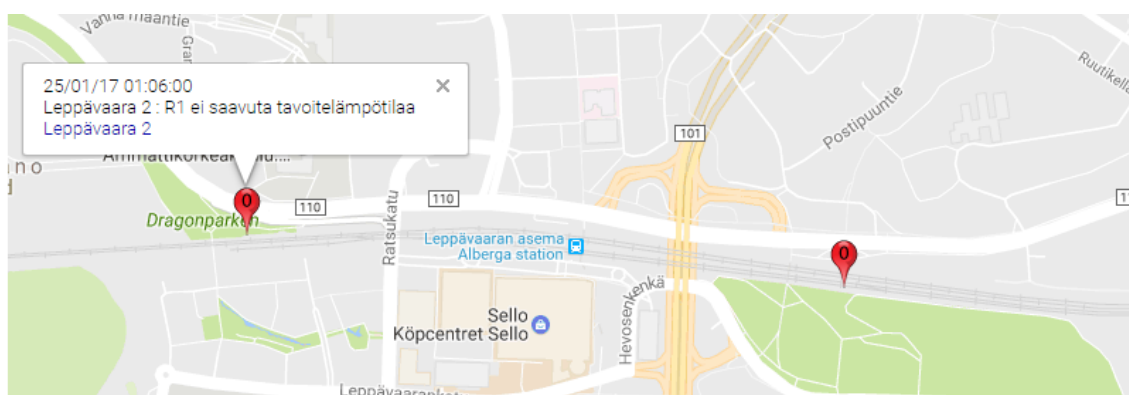
Ulkolämpötila	Sadetta	Ei sadetta	
> +5 °C	0	0	0= Ei lämmitystä
5-0 °C	1	0	1= Ylläpitolämmitys (+5 °C)
< 0 °C	2	1	2= Tehollämmitys (+20 °C)

Järjestelmän lämmityssykli on samantapainen kuin erotusmuuntajakohtaisessa ja sää- asemaan perustuvassa järjestelmässä. Kiskonlämpötila nostetaan lämmitystason vaa- timaan lämpötilaan, lämmitys keskeytetään, kiskon annetaan jäähtyä järjestelmään asetetun hystereesiarvon verran ja lämmityssykli aloitetaan uudestaan. Hystereesiarvo tarkoittaa sitä lämpötilan arvoa, jolla ohjaus lämmitettäessä ylittää asetellun kiskoläm- pötilan ja jolla aseteltu kiskolämpötila alitetaan kiskon jäähtyessä. Käyttämällä järjes- telmässä hystereesiä vähennetään vaihteenlämmityksen tarpeettomia käynnistymisiä ja sammumisia. Kuvassa 17 on esitetty vaihteen 314 lämpötilat viivataulukkona. Musta viiva kuvaa vaihteen lämpötilaa ja punainen viiva ulkolämpötilaa. Taulukon va- semmalla puolella olevat arvot ovat lämpötila celsiusasteina. Taulukon oikealla puolella olevat arvot esittävät sateen määrän prosentteina. Sateen määrä on esitetty prosent- teina johtuen siitä, että se on määritelty logiikan mittausparametreissa prosentteina. Vaaleansininen viiva kuvaa sateen määrää, joka on ollut koko tämän mittausjakson aikana 0 %. Kuvasta nähdään hyvin lämmityssyklin toiminta ja se kuinka suuri hyste- reesi järjestelmään on asetettu.



Kuva 17. Vaihteen 314 lämpötila esitettyä viivataulukkona.

GSM/GPRS-yhteyden ansiosta vaihteenlämmitystä voidaan ohjata myös etänä ja tarkkailla sen tilaa Web-selaimen välitykselle. Web-selaimella nähdään ohjattavan järjestelmän tila (mitkä vaihteet on ohjattu lämpenemään, langattomien yhteyksien vahvuudet), lämmitettävien vaihteiden kiskolämpötilat, ilman lämpötila, ohjausparametrit ja energiankulutustiedot. Sovelluksessa näkymiä voidaan vapaasti jakaa esimerkiksi alueille, huoltoryhmittäin tai vastualueiden mukaan. Vaihteenlämmityskohteet saadaan näkyville karttanäkymään, josta nähdään heti poikkeamat. Poikkeamahälytykset voidaan myös välittää välittömästi kunnossapitohenkilöstön puhelimeen ja sähköpostiin. Kuvassa 18 on web-selaimen karttanäkymä, jossa nähdään myös poikkeama länsipuolen lämmityksessä.



Kuva 18. Web-selaimen karttanäkymä.

Kaikkia järjestelmän parametreja voidaan muuttaa sovelluksen kautta etänä. Kuvassa 19 on kuvakaappaus parametrien muokkauksesta. Myös ohjelmistopäivitykset sekä uudet ominaisuudet voidaan asentaa etänä.

Raja-arvot		Ylläpito	Täysi	
Ulkolämpötilarajat	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="0"/>	°C	
Radan asetuslämpötilat	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="20"/>	°C	
Hystereesi	<input type="text" value="3"/>		°C	
Delay Off	<input type="text" value="0"/>		min	<input type="button" value="Aseta"/>
kWh pulssisuhde	<input type="text" value="0"/>		p/kWh	<input type="button" value="Aseta"/>
Sadetunnistus	<input type="text" value="0"/>		%	

SW versio: 201
Fw 100->

Kuva 19. Web-selaimen parametrien muokkausnäkyvä.

Etäominaisuuksien ansiosta järjestelmää on hyvin helppo muokata, testata parametrien vaikutusta vaihteen toimivuuden ja energiankulutuksen kannalta ja suurenkin järjestelmä kokonaisuuden valvominen helpottuu.

5.2 Käsiöohjaus

Järjestelmään haluttiin myös paikallinen käsiöohjaus, jotta vaihteet saadaan lämpenemään, vaikka automaatiossa olisi häiriötilanne. Käsiöohjaus toteutettiin käyttämällä hyväksi vaihteenlämmityskeskuksessa olevaa käsi-0-auto-nokkakytkintä ja olemassa olevia ohjauskaapelointeja. Käännettäessä nokkakytkin käsi-asentoon erotusmuuntajakeskuksissa olevat apureleet ohjaavat vaihteenlämmityssauvojen syöttöjä ohjaavat pääkontaktorit kiinni. Tällä yhdellä nokkakytkimellä saadaan kaikki vaihteenlämmityskeskuksen takana olevat vaihteet lämpenemään täydellä teholla.

6 Suunnittelu, toteutus ja testikäyttö

6.1 Suunnitteluprosessi

Työn suunnittelu aloitettiin tutustumalla vanhaan järjestelmään, uuteen järjestelmään ja sen vaatimuksiin sekä siihen mitä komponentteja vanhasta järjestelmästä voitaisiin käyttää hyväksi. Tavoitteena oli suunnitella uusi järjestelmä niin, että selvittäisiin mahdollisimman vähillä fyysisillä muutoksilla, ja vanhoja kaapeleita sekä komponentteja saataisiin käytettyä hyväksi niin paljon kuin mahdollista.

Suunnittelun pohjana toimivat FF-automaation toimittamat tiedot automaatiokeskuksesta, sen vaatimuksista ja vanhan järjestelmän sähköpiirustukset. Vaikka määrittelyvaiheessa tehty yhteistyö laitetoimittajan kanssa oli tiivistä, niin työn kokeilullisesta luonteesta johtuen työsuunnitelmia jouduttiin muokkaamaan vielä toteutusvaiheessa sekä varsinaisessa asennuskohteessa.

Sähkösuunnittelu toteutettiin kokonaisuudessaan Cads Planner 16 Electric -ohjelmalla. Suunnittelun tuloksena muodostetuista purku- ja asennuskuvista löytyy esimerkkejä liitteissä 1 ja 2.

6.2 Toteutus

Asennustyöt toteutettiin insinööriyön tekijän ja Eltel Networksin asentajien toimesta. Käyttöönotto toteutettiin yhteistyössä FF-automaation edustajien kanssa. Ilman ongelmia asennustyöt olisivat valmistuneet noin kahdessa viikossa, mutta ongelmat venyttivät työn noin kuukauden mittaiseksi.

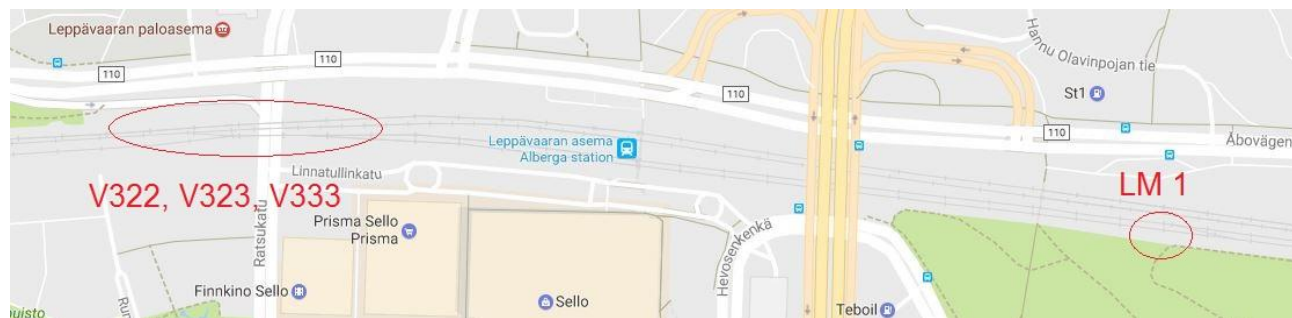
Suurimpina ongelmina voidaan mainita erotusmuuntajakeskusten puolijohdereleiden tilalle asennetut kontaktorit ja järjestelmän langattomuus. Kontaktorit oli suunniteltu toimimaan 24 V:n jännitteellä, mutta käyttöönotossa todettiin, että se ei ole mahdollista jännitteenalenneman ja kelojen virrankulutuksen takia. Kontaktorit vaihdettiin 230 V:n kelalla varustettuihin ja johdotukset muutettiin.

Yhteysongelmat langattomissa yhteyksissä johtuivat pitkistä etäisyyksistä automaatiokeskuksen ja vaihteiden välillä, antennin suhteellisen pienestä lähetystehosta, sähköradan metallirakenteista kuten pylväistä, lähettimien ja vastaanottimien sijoituspaikoista jotka ovat suhteellisen matalalla sekä sähköradan 25 kV:n jännitteen aiheuttamien häiriöiden yhteisvaikutuksesta. Yhteysongelmiin haettiin ratkaisua ensimmäiseksi vaihtamalla suurempi tehoinen antenni. Aluksi antenni vaikutti auttavasti ongelmiin, mutta testijakson aikana todettiin seurantaohjelmasta saadun datan avulla, että yhteysongelmat jatkuivat edelleen. Lopulliseksi ratkaisuksi asennettiin vaihteen 303 erotusmuuntajakeskukselle reititin. Tällä kyseisellä reitittimellä saadaan lähetyksen matkaa lisättyä noin 500 metriä, toinen etu reitittimessä on sen asennuspaikka. Paikasta on suorat ja häiriöttömät yhteydet vaihteille 314 ja 304, toisin kuin automaatiokeskukselta. Kuvassa 20 reititin on asennettuna erotusmuuntajakeskukselle. Ongelmat eivät kuulosta järin suurilta, mutta ne hidastivat työn edistymistä sekä työtä jouduttiin tekemään ja – suunnittelemaan uudestaan.



Kuva 20. Reititin asennettuna erotusmuuntajakeskukselle.

Työn edetessä selvisi, että Leppävaaran aseman länsipuolella (Ruusutorpan puolenvaihtopaikka) olevat vaihteet saavat syöttönsä myös muutostyön alla olevasta lämmitysmuuntajasta. Vaihteiden karkea sijainti suhteessa lämmitysmuuntajaan on esitetty kuvassa 21. Todettiin, että langattomat yhteydet eivät tulisi toimimaan länsipuolen vaihteiden ja itäpuolella sijaitsevan automaatiokeskuksen välillä ollenkaan, johtuen noin kilometrin välimatkasta ja välissä sijaitsevasta juna-asemasta. Ongelmaa pohdittiin FF-automaation kanssa ja ratkaisuksi päädyttiin sijoittamaan länsipuolella toinen automaatiokeskus AK2. Itäpuolen automaatiokeskus AK1 ohjaa länsipuolen erotusmuuntajakeskusten syöttöjä, koska ne on kaapeloitu LM1:seltä. Länsipuolen automaatiokeskus AK2 analysoi länsipuolen lumisadetilannetta, ulkolämpötilaa ja kiskonlämpötilantureiden toimittamia lämpötilatietoja, ja ohjaa näiden perusteella vaihteiden 322, 323 ja 333 lämmitystä. Tämä toteutustapa todettiin toimivaksi ja yksinkertaiseksi ratkaisuksi sekä näin toteutettuna säästyttiin suurilta kaapeloinneilta. Länsipuolen muutostyöt päätettiin jättää kesälle 2016, koska talvi oli ehtinyt edetä jo niin pitkälle ja vaihteiden lämmitys toimi erotusmuuntajakeskuksissa olevien KS50-lämpötilasäätimien avulla.

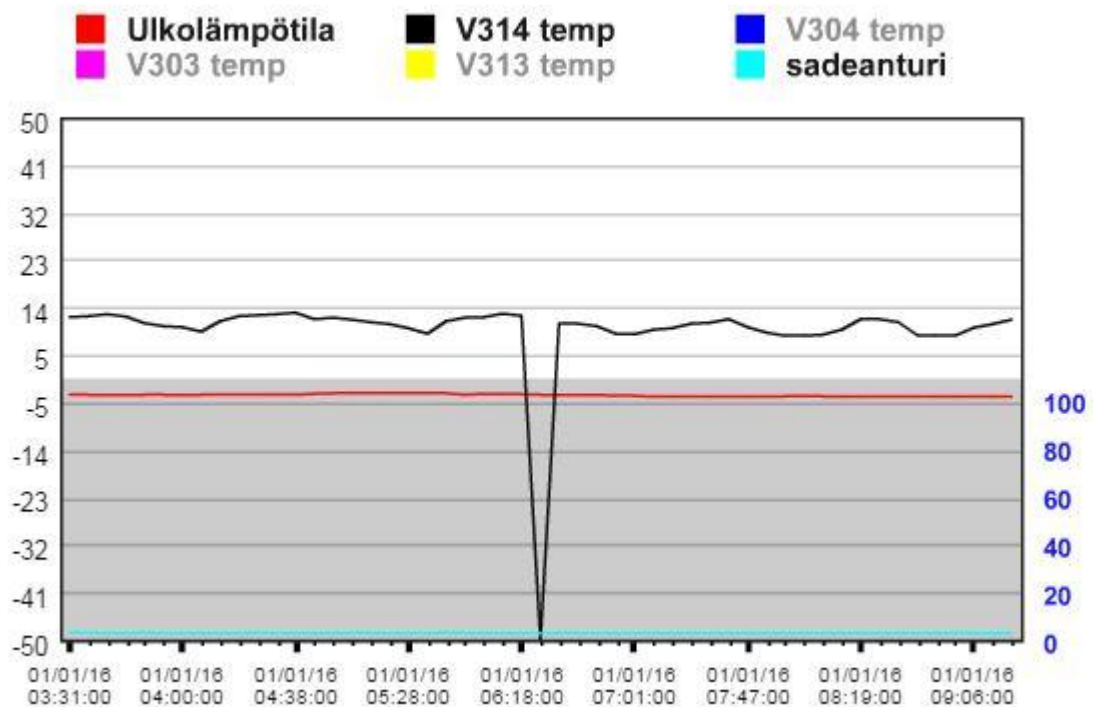


Kuva 21. Leppävaaran aseman länsipuolella sijaitsevat vaihteet 322, 323 ja 333 ja itäpuolella sijaitseva LM1.

6.3 Testikäyttö

Uusi järjestelmä saatiin käyttöön vuoden 2015 loppu syksystä. Järjestelmää päästiin siis testaamaan koko talven 2015–2016 ajan. Mitään suurempia häiriötilanteita ei syntynyt, eikä kunnossapitäjän tietoon tullut yhtään vikailmoitusta koko talven aikana. Osaan vaihteista menetettiin langaton yhteys satunnaisesti, mutta yhteys palautui aina minuuteissa.

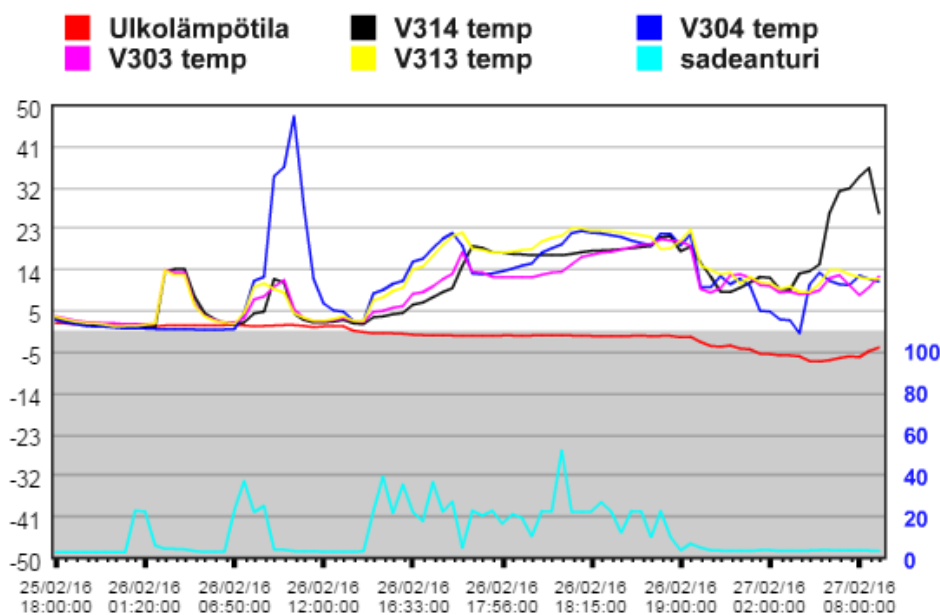
Yhteysongelmat kiskon lämpötila-anturin ja logiikan välillä aiheuttavat kuvassa 22 nähtävän vaihteen 314 kiskolämpötilan putoamisen -50 celsiusasteeseen. Lämpötilatiedon hävitessä lämpötila tiputetaan tarkoituksella alas, eikä käytetä putoamishetkellä ollutta kiskon lämpötilaa, koska vanhan lämpötilatiedon jäädessä voimassaolevaksi, vaihteenlämmitys ei välttämättä kytkeytyisi enää ollenkaan päälle. Näin tapahtuisi siis tilanteessa jossa yhteys häviäisi kiskon ollessa lämpimänä. Tiputtamalla lämpötila alas logiikka huijataan lämmittämään kiskoja.



Kuva 22. Yhteysongelma vaihteen 314 kiskonlämpötila-anturin ja automaatiokeskuksen välillä

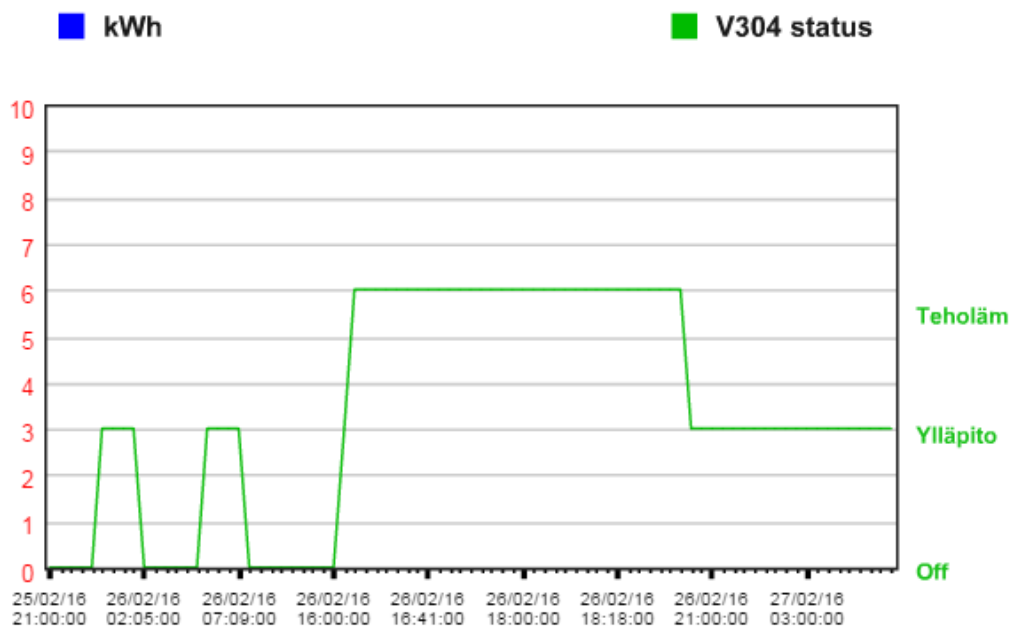
Yhteysongelma näyttää kestäneen noin 20 minuuttia, mutta todellisuudessa se on todennäköisesti kestänyt vain muutamia minutteja. Viivettä muodostavat sensorien yhteyden uudelleenyritys ajastimet, eli aika jonka sensori odottaa yhteyden menettämisestä siihen, että se yrittää muodostaa yhteyden uudelleen. Lisäksi viivettä syntyy ohjelmoitavan logiikan loggaustaaajuudesta, eli aikavälistä millä logiikka tallentaa muuttujat lokitiedostoon. Näin lyhyillä lämmityksen keskeytyksillä ei ole käytännön haittoja vaihteen toimivuuden kannalta. Rautatiehallituksen lumensulatuksen optimointia käsitelleen tutkimuksen tuloksista selviää, että suhteellisen kovassakin pakkasessa (-14 °C) vapaasti jäähtyessään kiskon lämpötila laskee noin 0,5 °C minuutissa [6, s.38.]

Kuvasta 23 nähdään selkeästi, miten järjestelmä reagoi lumisateeseen nostaen kiskonlämpötilaa sateen alkaessa ja lopettaen lämmittämisen sateen loppuessa. Lumisade on esitetty vaaleansinisenä kuvaajana alhaalla ja sateen määrä prosentteina kuvaajan oikealla puolella. Vaihteiden kiskonlämpötilat näkyvät niille määritellyillä väreillä, ulkolämpötila on esitetty punaisella kuvaajalla ja kuvaajan vasemmalla puolella näkyvät lämpötilat celsiusasteina. Vaihteiden 304 ja 314 osalta nähdään häiriöitä lämmityksessä, eli lämpötilat nousevat selvästi korkeammalle kuin olisi tarkoitus. Häiriöt johtuvat todennäköisesti yhteysongelmista, eli ohjaukskäsky, jolla lämmitys kytketään pois päältä ei ole päässyt perille välittömästi. Tästä johtuen vaihteen lämmitys on jatkunut, kunnes ohjaukskäsky on päässyt perille.



Kuva 23. Järjestelmän reagointi lumisateeseen.

Kuvasta 24 nähdään kuvan 23 tilanne ohjauksen kannalta katsottuna. Alkutilanteessa ulkolämpötilan ollessa suurempi kuin +5 °C lämmitykset eivät ole käytössä ollenkaan, sateen alkaessa ja lämpötilan ollessa +0-5 °C järjestelmä kytkee ylläpitolämmityksen päälle, sateen loputtua lämmitys kytkekään pois päältä. Sateen alkaessa uudestaan ulkolämpötila on tippunut alle 0 °C, joten järjestelmä kytkee teholämmityksen päälle, teholämmitys vaihdetaan sateen loppuessa ylläpitolämmitykseen ulkolämpötilan ollessa alle 0 °C.



Kuva 24. Kuvan 23 tilanne ohjaukskäskyjen kannalta katsottuna.

Kyseinen järjestelmä eroaa aikaisemmasta sääasemalla toteutetusta järjestelmästä siten, että siinä sääasema ohjaa vaihteenlämmityskeskuksesta erotusmuuntajien syöttöjä ja erotusmuuntajakeskuksilla olevat lämpötilan säätimet pitävät vaihteenlämpötilan ohjausjärjestelmän asettamassa lämpötilassa, kun taas tässä järjestelmässä sääaseman avulla ohjataan sekä erotusmuuntajien syöttöjä että erotusmuuntajakeskukselta lähteviä vaihteenlämmitysvastusten syöttöjä. Tällä tavalla toteutettuna järjestelmästä saadaan poistettua yksittäiset säätimet kokonaan sekä vikaantumisherkät puolijohdereleet voidaan korvata kestävämmillä kontaktoreilla. Puolijohdereleet rikkoontuvat, koska ne on tarkoitettu toimimaan kuivassa ympäristössä ja jatkuvassa käytössä. Tässä sovelluksessa ne ovat kosteassa ympäristössä ja koko kesän poissa käytöstä. Näiden

syiden lisäksi puolijohdereleet on mitoitettu suunnitteluvaiheessa virran kestoaltaan liian pieniksi ja ylijännitesuojaus on jätetty toteuttamatta. Puolijohdereleet on alun perin suunniteltu lämpötilansäätimellä toteutettuun säätöjärjestelmään siitä syystä, että lämpötilansäädin toteuttaa niin paljon kytkentöjä, että mekaanisen kytkennän tekevä kontaktori ei kestäisi sovelluksessa kovin pitkään. Etelä-Suomen alueella sähköradan kunnossapitäjä on vaihtanut systemaattisesti rikkoutuneita puolijohdereleitä suurempi tehoisiksi ja lisännyt järjestelmään ylijännitesuojauksen. Tämä on vähentänyt puolijohdereleiden aiheuttamia vikailmoituksia dramaattisesti. Tässä järjestelmässä päätettiin kuitenkin käyttää kontaktoreita, koska kytkentätiheys salli niiden käytön. Toinen suuri eroavaisuus löytyy järjestelmien lämmitystasojen, eli ylläpitolämmityksen ja teholämmityksen asetusarvoista ja ohjausparametreista. Aikaisemmassa järjestelmässä käytetään Ratahallintokeskuksen julkaisun B17: Vaihteenlämmityksen tekniset määreet mukaisia asetusarvoja. Lämmityksen alemman arvon (ylläpitolämmitys) asetusarvona käytetään +10 °C, ja lämmityksen ylemmän arvon (teholämmitys) asetusarvona käytetään 40 °C [4, s.34]. Uudessa järjestelmässä lähdettiin kokeilemaan toimisiko vaihteenlämmitys pienemmillä asetusarvoilla, joten ylläpitolämmityksen kiskon lämpötilaksi asetettiin +5 °C, ja teholämmityksen arvoksi asetettiin +20 °C. Aikaisemman järjestelmän ohjaustaulukko asetusarvoineen löytyy taulukosta 1, ja uuden järjestelmän ohjaustaulukko asetusarvoineen taulukosta 2.

Kokeilun pohjana käytettiin Kemin ratapihalla 2012 suoritettua tutkimusta, jossa säätöarvoja tiputettiin +10 ja +40 celsiusasteesta, +8 ja +30 celsiusasteeseen. Tutkimuksessa saavutettiin lyhyelläkin tutkimusjaksolla 30 % energiansäästöt, eikä muutoksen havaittu heikentäneen vaihteenlämmitysjärjestelmän toimintatehoa [5, s.38.] Tämänkään työn testijakson aikana säätöarvojen tiputtamisesta ei ole havaittu olevan minkäänlaista haittaa vaihteenlämmitysjärjestelmän toimintatehon kannalta. Tästä voidaankin päätellä, että lämmityksen asetusarvot on aseteltu onnistuneesti.

6.4 Kunnossapito

Kunnossapidossa haasteiksi saattavat muodostua järjestelmän monimutkaisuus ja teknisyyt. Erityisesti jos ongelmia syntyy logiikan ohjelmassa tai lähettimissä ja vastaanotimissa. Kunnossapitohenkilöstö täytyy perehdyttää järjestelmän toimintaperiaatteen, fyysiseen toteutukseen ja komponentteihin.

7 Energiankulutuksen vertailu

Muutostyön suurimpana tavoitteena oli saada Leppävaaran vaihteenlämmityksen energiankulutus laskemaan muiden lämmitystehoiltaan samantehoisten lämmitysmuuntajien tasolle tai jopa niiden tason alle. Muutostyö saatiin toteutettua ajoissa ja vaihteenlämmitystä päästiinkin testaamaan kattavasti.

Etelä-Suomessa on vaihdettu lämmitysmuuntajien vanhat sähkönkulutusmittarit uusiin etäluettaviin mittareihin, jotka lähettävät mittaustiedot tunnin välein mittauksia ylläpitävälle taholle. Tämän ansiosta muutostyön kohteesta ja muistakin lämmitysmuuntajista on saatavilla paljon informaatiota energiankulutuksista.

Tätä informaatiota käyttämällä saadaan aikaan kattava ja faktaan perustuva vertailu energiankulutuksista Leppävaaran uuden järjestelmän - muiden lämmitysmuuntajien sekä Leppävaaran vanhan järjestelmän – uuden järjestelmän välillä.

7.1 Energiankulutuksen vertailu vertailukohteisiin

Vertailukohteiksi valittiin kaksi lämmitysmuuntajaa, Ilmalan ratapihan LM 22 ja Helsingin LM 6. Nämä kyseiset lämmitysmuuntajat valittiin, koska ne sijaitsevat samalla alueella Leppävaaran kanssa ja ovat lämmitystehoiltaan Leppävaaran lämmitysmuuntajaa vastaavia. Taulukossa 3 on esitetty lämmitysmuuntajien tehot ja säätöjärjestelmät.

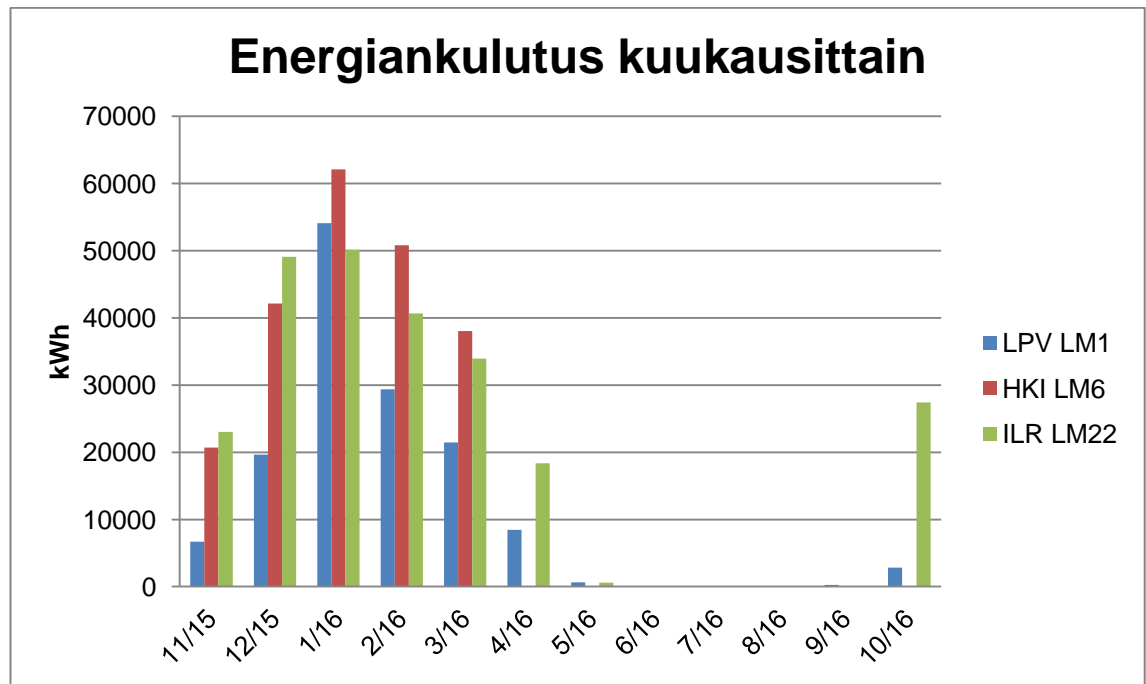
Taulukko 3. Lämmitysmuuntajien tehot ja säätöjärjestelmät.

Vaihteenlämmitysmuuntaja	Muuntajateho [kVA]	Lämmitysteho [kW]	Säätöjärjestelmä
Leppävaara LM1	200	104	Logiikka
Helsinki LM 6	200	106	KS 50
Ilmalan ratapiha LM22	200	107	Unitronics 90

Molempien vertailukohteina olevien lämmitysmuuntajien säätöjärjestelmät ovat erotusmuuntajakohtaiseen säätöön perustuvia järjestelmiä, mutta eroavat toisistaan hieman. Helsingin lämmitysmuuntajassa käytetään perinteistä KS 50 -lämpötilansäädintä, kun taas Ilmalan ratapihan lämmitysmuuntajassa käytetään hieman uudempaa järjestelmää. Ilmalankin säätöjärjestelmä perustuu erotusmuuntajakeskuksessa sijaitsevaan lämpötilansäätimeen, mutta tästä järjestelmästä saadaan vaihteenlämmityksen etä-

käyttäjälle välitettyä enemmän tietoa, kuin KS 50-lämpötilansäätimillä varustetusta järjestelmästä.

Kuvassa 25 on esitetty lämmitysmuuntajien kuukausittainen energiankulutus aikavälillä 11/2015–10/2016. Jo tästä kuvaajasta havaitaan selvästi, kuinka paljon vähemmän energiaa LPV LM1 käyttää verrattuna kahteen muuhun. Ainoastaan tammikuussa 2016 se ei ole ollut kaikista energiatehokkain, mutta silloinkaan se ei ole ollut vertailussa huonoin.



Kuva 25. Lämmitysmuuntajien energiankulutukset kuukausittain aikavälillä 11/2015–10/2016.

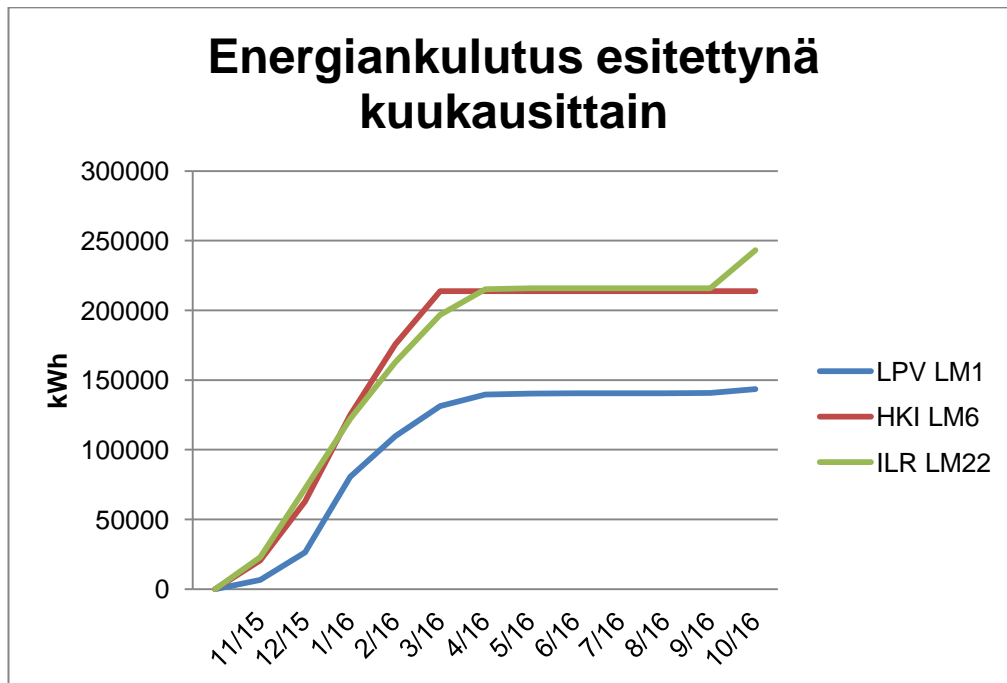
Prosentuaalisesti suurimmat säästöt on saavutettu vuoden 2015 marras- (67,7–70,9 %) ja joulukuussa (53,3–59,9 %), jos ei oteta huomioon vuoden 2016 lokakuuta (89,7 %). Ilmalan lämmitysmuuntaja 22 on silloin jostain syystä käyttänyt todella paljon energiaa, kun kaksi muuta lämmitysmuuntajaa ei ole käyttänyt energiaa juuri ollenkaan. Taulukossa 4 on esitetty lämmitysmuuntajien kuukausittaiset kulutuslukemat kilowattitunneissa ja energiankulutuksen erot prosentteina LPV LM1 – HKI LM6, ja LPV LM1 – ILR LM 22 välillä.

Taulukko 4. Kuukausittaiset energiankulutuslukemat ja prosentuaaliset erot energiankulutuksessa.

	11/15	12/15	1/16	2/16	3/16	4/16	5/16	6/16	7/16	8/16	9/16	10/16
LPV LM1 [kWh]	6697	19657	54112	29346	21456	8444	662	88	0	0	252	2816
HKI LM6 [kWh]	20704	42130	62080	50799	38043	63	0	0	0	0	0	88
ILR LM22 [kWh]	23009	49079	50130	40663	33953	18374	611	0	0	0	0	27412
Säästö vrt. LM6	67,7 %	53,3 %	12,8 %	42,2 %	43,6 %	-	-	-	-	-	-	-
Säästö vrt. LM22	70,9 %	59,9 %	-7,9 %	27,8 %	36,8 %	54,0 %	-8,3 %	-	-	-	-	89,7 %

Kesän ja alkusyksyn ajan lämmitysmuuntajien erottimet ovat olleet avattuina Liikenneviraston ohjeistuksen mukaisesti. Taulukossa 4 kulutussarakkeessa oleva 0 tarkoittaa koko kuukauden avoinna ollutta erotinta. Leppävaaran erotin on avattu vasta kesäkuun loppupuolella ja suljettu jo syyskuun alussa, tämän takia touko-, kesä ja syyskuussa näkyy erotusmuuntajien tyhjäkäyntihäviöiden aiheuttamaa energiankulutusta.

Kuvassa 26 on esitetty lämmitysmuuntajien kokonaisenergiankulutus aikavälillä 11/2015–10/2016. Kuvaajasta nähdään selkeästi, miten energiankulutus on kertynyt 12 kuukauden mittausjakson aikana.



Kuva 26. Lämmitysmuuntajien kokonaisenergiankulutukset aikaväliltä 11/2015–10/2016.

Leppävaarassa marras- ja joulukuussa kulutuksen kasvu on pientä, tammikuussa se kasvoi samaa tahtia kahden muun kanssa ja tammikuun jälkeen kulutus lähtee reiluun laskuun. Helsingin ja Ilmalan ratapihan lämmitysmuuntajien tapauksissa kulutuksen kasvu on jyrkkää ja lähes tulkoon suoraviivaista marraskuusta maaliskuuhun asti.

Suurin tarve vaihteiden lämmitykselle sijoittuu yleensä jouluihelmikuun välille, johtuen pakkasista ja lumisateista. Leppävaarassa suurimmat kulutuksen kasvut sijoittuvat suurin piirtein tälle aikavälille, ja sen ulkopuolella kulutuksen kasvu on selvästi pienempää. Vertailukohteissa kulutuksen kasvu on ollut tasaisen jyrkkää koko tarkasteluajanjakson ajan. Tästä voidaankin päätellä, että Leppävaaran vaihteenlämmityksen säätöjärjestelmä on onnistunut optimoimaan lämmityksen tarpeen vallitsevia sääoloja vastaaviksi paremmin kuin vertailukohteiden säätöjärjestelmät.

Taulukko 5. Lämmitysmuuntajien kokonaisenergiankulutukset aikaväliltä 11/2015–10/2016.

	11/15-11/16
LPV LM1 [kWh]	143530
HKI LM6 [kWh]	213907
ILR LM22 [kWh]	243231
Säästö vrt. LM6	32,90 %
Säästö vrt. LM22	40,99 %

Taulukossa 5 on esitetty kuvan 26 aikavälin lopulliset energiankulutukset kilowattitunneissa sekä energiankulutuksen prosentuaaliset erot LPV LM1 – HKI LM6 ja LPV LM1 – ILR LM 22. Ilmalan ratapihan LM22 näyttää käyttäneen noin 30 000 kWh enemmän energiaa kuin Helsingin LM6, mutta se johtuu lokakuun 2016 kulutuksesta, jolloin se on kuluttanut jostain syystä yli 27 000 kWh, vaikka kaksi muuta lämmitysmuuntajaa eivät ole kuluttaneet juuri mitään. Käytännössä LM6 ja LM22 ovat siis käyttäneet yhtä paljon energiaa mittausvälillä. Näiden mittautulosten perusteella tällä säätöjärjestelmällä ja näillä lämmitystasojen asetusarvoilla voidaan saavuttaa vähintään noin 33 % energiansäästöt vuodessa verrattuna perinteisesti toteutettuun erotusmuuntajakohtaiseen säätöön perustuvaan lämmönsäätöjärjestelmään.

Näillä kyseessä olevilla lämmitysmuuntajilla se tarkoittaa yli 70 000 kilowattitunnin säästöjä vuodessa. Liikenneviraston tällä hetkellä maksamalla keskimääräisellä säh-

könhinnalla laskettuna tämä energiankulutuksen lasku tarkoittaa noin 8400 euron vuosittaisia säästöjä yhtä lämmitysmuuntajaa kohden. Lämmitysmuuntajan lämmitystehon kasvaessa energiansäästöt kasvavat vielä suuremmiksi, järjestelmän investointikustannuksien kuitenkin pysyessä lähes samalla tasolla.

Kaksi suurinta selitystä energiankulutuksen eroihin Leppävaaran ja vertailukohteiden välillä ovat lumisateen lisääminen ohjausparametreihin sekä lämmitystasojen asetusarvojen muuttaminen. Kun lumisade saadaan mukaan ohjausparametreihin, ei vaihteenlämmitystä tarvitse ohjata teholämmitykselle pelkästään lämpötilan perusteella. Pelkästään lämpötilan perusteella ohjattaessa lämmitys ohjataan teholämmitykselle liian usein ja suuressa osassa tapauksia aivan turhaan. Turhalla lämmityksellä tarkoitetaan tilannetta, jossa pakkanen on kova, mutta vaihteet ovat täysin puhtaita lumesta. Tällaisessa tilanteessa vaihteen toimintakuntoisena pitämiseen riittää aivan hyvin ylläpitolämmitys.

Toisena suurena vaikuttajana toimii lämmitystasojen asetusarvojen laskeminen eli ylläpito- ja teholämmityksen kiskonlämpötilojen asetusarvojen tiputtaminen +5 ja +20 celsiusasteeseen. Asetusarvojen tiputtamisella on erityisen suuret vaikutukset energiankulutukseen kovilla pakkasilla, koska kylmemmällä ilmalla kisko jäähtyy nopeammin, joten sen lämpötilan nostamiseen tarvitaan enemmän energiaa kuin lämpimämmällä säällä. Jos teholämmityksen asetteluarvona käytetään Ratahallintokeskuksen julkaisun B17: Vaihteenlämmityksen tekniset määreet mukaista +40 celsiusastetta, niin kovalla pakkasella kiskot harvoin saavuttavat tavoiteltua lämpötilaa. Tästä seuraa se, että vaihdetta lämmitetään pitkään täydellä teholla, mikä tarkoittaa todella suurta energiankulutusta. Vaikka ylläpitolämmityksen asetusarvojen tiputtamisen seurauksena saavutetut hetkelliset energiansäästöt eivät ole niin suuret kuin teholämmityksellä, pitää muistaa, että vaihteenlämmitykset ovat suurimman osan talvesta ylläpitolämmityksellä. Tästä johtuen pienikin hetkellinen säästö näkyy pitkän ajan vertailussa suurena säästönä.

7.2 Energiankulutuksen vertailu vanhan- ja uuden järjestelmän välillä

Vertailukohteisiin tehdyn vertailun lisäksi toinen mielenkiintoinen vertailu on vanhan ja uuden säätöjärjestelmän välillä tehtävä energiankulutusvertailu. Talvethan eivät tietenkään ole aivan samanlaisia sääoloiltaan, joten lämmityksen tarpeet eri talvina eroavat toisistaan. Mutta tästä huolimatta tällä vertailulla saadaan melko luotettavaa tietoa siitä, kuinka paljon energiaa on säästetty tekemällä kyseinen ohjausjärjestelmän muutostyö.

Taulukossa 6 on esitetty Leppävaaran LM1:n energiankulutustiedot kilowattitunteina vuodesta 2013 vuoden 2016 marraskuuhun asti. Leppävaaraan asennettiin marraskuussa 2015 etäluettava energiankulutusmittari, tästä syystä mittausjakso katkeaa silloin. Uusi säätöjärjestelmä otettiin käyttöön ennen marraskuuta 2015, joten mittausjaksoa 11/2015–11/2016 voidaan käyttää uuden järjestelmän vuotuisena kulutuslukemana tehtäessä vertailua vanhaan säätöjärjestelmään. Taulukossa 6 on myös esitetty energiankulutuksen erot kilowattitunteina sekä prosentteina 2013–2016, 2014–2016 ja 2015–2016.

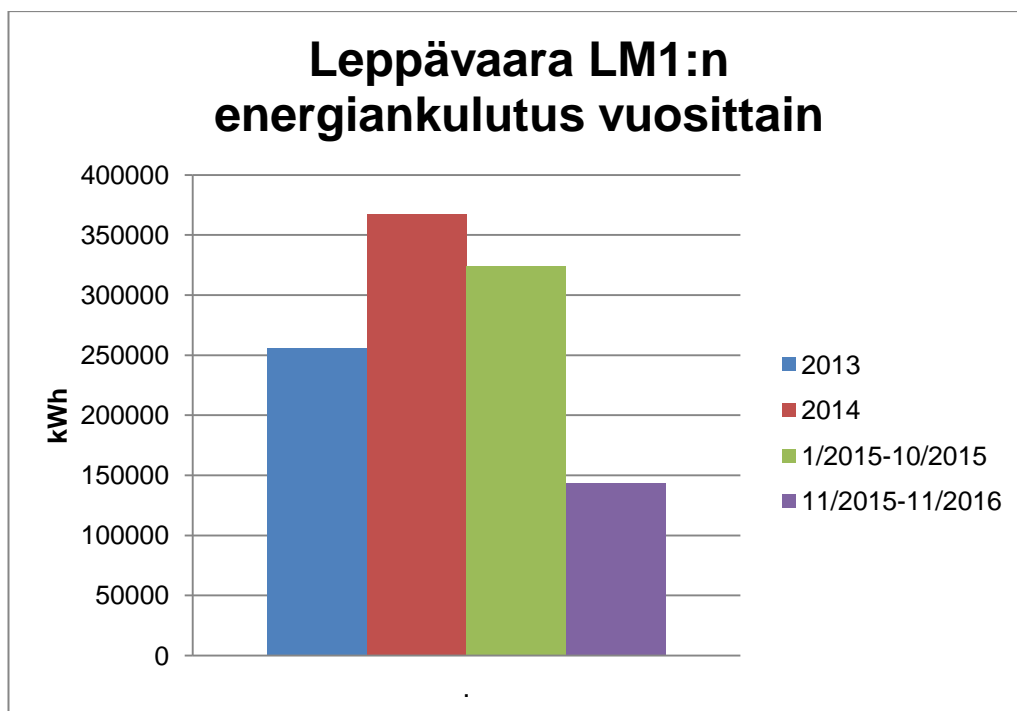
Taulukko 6. Leppävaara LM1:n energiankulutustiedot.

	2013	2014	11/2015 asti	11/15-11/16
LPV LM1 [kWh]	256366	367076	323935	143530
Säästö vrt. 2016 [kWh]	112836	223546	180405	
Säästö % vrt. 2016	44,0 %	60,9 %	55,7 %	

Vuosien 2013–2015 energiankulutuksen keskiarvo on 315792 kWh vuodessa. Tätä keskiarvoa verrattaessa uuden järjestelmän kulutukseen, saadaan kolmen vuoden mittausjakson vuosittaiseksi säästökseksi 54,6 %. Säätöjärjestelmän muutostyöllä saavutetuiksi vuositason säästöiksi 54,6 % säästöjä voidaan pitää todella hyvänä tuloksena.

Laskettaessa vuosien 2013–2015 energiankulutuksen keskiarvolla 315792 kWh ja uuden järjestelmän vuoden 2016 energiankulutuksella 143530 kWh, saadaan vuositasolla säästökseksi 172262 kWh. Liikenneviraston tällä hetkellä maksamalla keskimääräisellä sähkönhinnalla laskettuna, tämä energiankulutuksen lasku tarkoittaa noin 20 000 euron vuosittaisia säästöjä.

Näin suuria energiansäästöjä ei todennäköisesti kuitenkaan ole mahdollista saavuttaa kaikissa lämmitysmuuntajissa, vaikka ne olisikin toteutettu käyttämällä samaa säätöjärjestelmää kuin Leppävaarassa oli. Leppävaarassa suurena ongelmana oli kaukokäytön puuttuminen, jonka takia vaihteenlämmitys oli käytännössä käsikäyttöinen. Käsikäyttöisyyden seurauksena se kulutti enemmän energiaa, kuin muut vastaavan tehoiset lämmitysmuuntajat. Kuvassa 27 on esitetty pylväskaaviona taulukossa 6 olevat vuosien 2013–2016 energiankulutukset.



Kuva 27. Leppävaaran LM1:n vuosittainen energiankulutus aikavälillä 2013–2016.

8 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa erotusmuuntajakohtaiseen säätöön perustuvan vaihteenlämmitysjärjestelmän muutostyö työssä esiteltyyn järjestelmään ja tutkia muutostyön vaikutuksia energiankulutukseen.

Uuden järjestelmän suunnittelu aloitettiin toimintaperiaatteen suunnittelusta, jonka jälkeen toteutettiin vanhan- ja uuden säätöjärjestelmän yhteensovittamisen sähkösuunnittelu. Suunnittelun valmistuttua järjestelmä asennettiin, otettiin käyttöön ja sitä päästiin testaamaan. Järjestelmää testattiin talven 2015–2016 ajan. Testijakson aikana järjestelmä toimi suunnitellusti, eikä kunnossapitäjän tietoon tullut yhtään vikailmoitusta. Osaan vaihteista menetettiin langaton yhteys satunnaisesti, mutta yhteys palautui minuuteissa, joten yhteyskatkoilla ei ollut vaikutusta vaihteen toimintaan. Koko suunnittelu-, toteutus- ja testausprosessin aikana järjestelmää kehitettiin uusien ideoiden ja niin sanotusti kantapään kautta, eli ongelmia selvitettiin niiden tullessa eteen. Tämän luonteisessa projektissa, jossa järjestelmä kehitetään käytännössä alusta asti, ongelmia tulee, niin tuli tässäkin tapauksessa, mutta niistä selvittiin hyvin. Testausajanjakson päätyttyä kerättiin energiankulutustiedot ja niitä tutkittiin.

Suoritettujen tutkimusten perusteella uudella säätöjärjestelmällä ja lämmityksen asetusrvojen laskemisella voidaan saavuttaa suhteellisen suuriakin energian- ja kustannuksiensäästöjä verrattuna erotusmuuntajakeskuksissa olevilla lämpötilansäätimillä ja liikenneviraston ohjeistuksien mukaisilla asetusrvoilla toteutettuihin säätöjärjestelmiin. Kuitenkin luotettavampien tuloksien aikaansaamiseksi olisi syytä suorittaa kattavampia ja pidempikestoisia tutkimuksia.

Tämän lisäksi järjestelmää voitaisiin tutkia, testata ja kehittää vielä lisää. Pelkän säätöjärjestelmän vaikutusta energiankulutukseen saataisiin tutkittua nostamalla asetusrvot liikenneviraston ohjeistuksen mukaisiksi ja vertaamalla saatuja energiankulutuslukemia vanhaan - ja nykyiseen järjestelmään. Säätöjärjestelmän toimivuutta ja komponenttien luotettavuutta olisi hyvä testata vielä lisää. Toimivuuden kannalta kannattaa testata erityisesti sitä, kuinka hyvin langattomat yhteydet toimivat, pitääkö järjestelmä kiskonlämpötilat asetelluissa lämpötiloissa ja pysyvätkö lämmitettävät vaihteet toimintakuntoisina. Erityisesti antennien, lähettimien, vastaanottimien ja muun elektroniikan kannalta olisi tärkeää testata kestävyyttä rautatieympäristössä. Seuraavissa kappaleissa on esitelty työn aikana syntyneitä järjestelmän kehitysehdotuksia.

Asentamalla vaihteen kohdalle molempiin kiskoihin lämpötila-anturit ja tuomalla logiikalle tieto vaihteen asennosta, voitaisiin vaihteen kiinni olevaa puolta eli puolta, jossa kieli on kiinni tukikiskossa, lämmittää pienemmällä teholla kuin auki olevaa puolta.

Jokaisella erotusmuuntajakeskuksella voisi olla mahdollisuus ohjata käsin vain sen erotusmuuntajakeskuksen syöttämät vaihteenlämmityssauvat päälle. Tämän ominaisuuden avulla ei tarvitsisi lämmittää kaikkia vaihteita täydellä teholla, jos vain yhdellä vaihteella on esimerkiksi yhteysongelmia. Tämä täytyisi toteuttaa niin, että nyt käytössä oleva käsikäyttö jolla saadaan kaikki vaihteet lämpenemään kerralla, olisi myös käytössä.

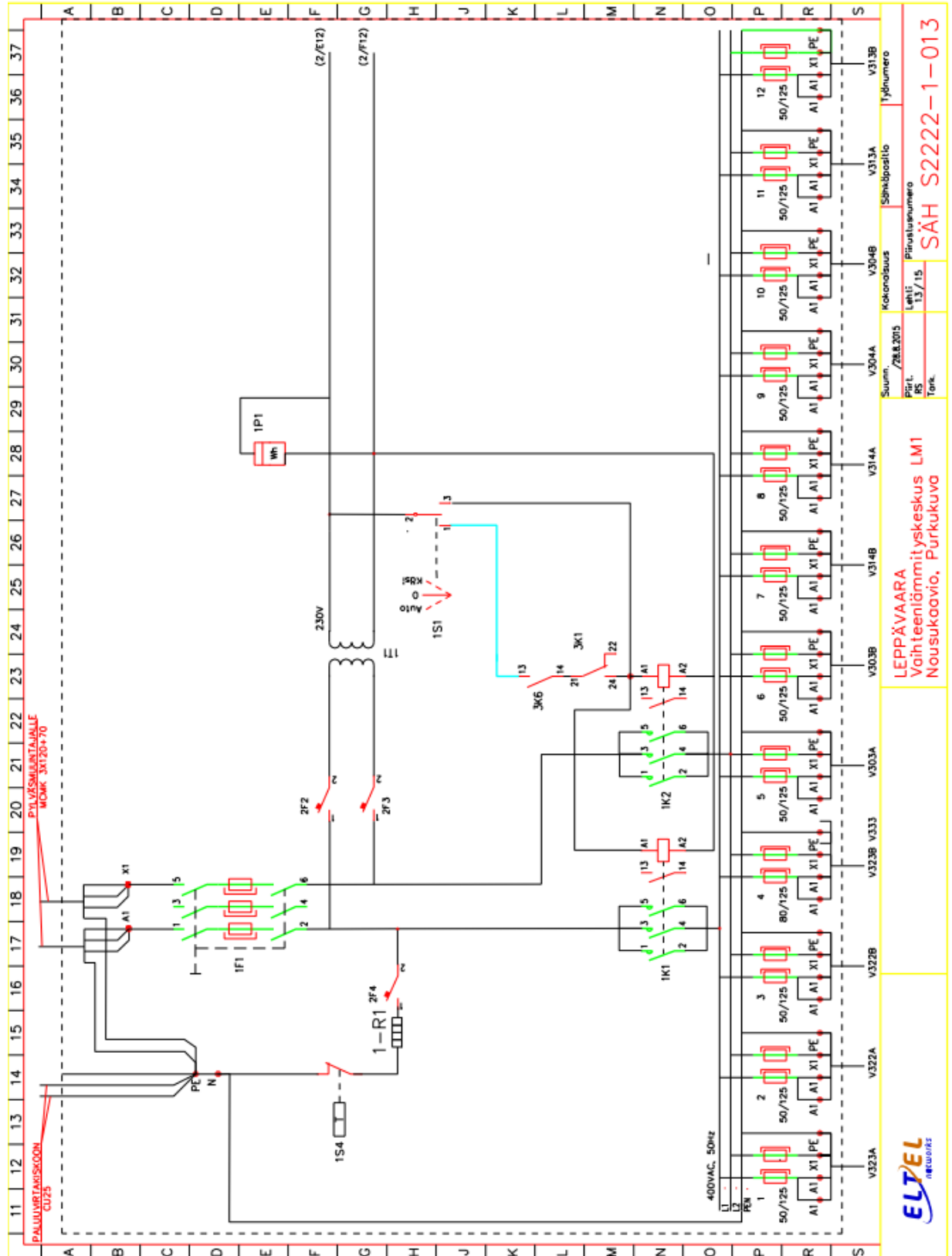
Langattoman ohjauksen sijasta voitaisiin kokeilla kaapeleilla toteutettua ohjausta. Tätä varten langallisen systeemin antureita jouduttaisiin kehittämään. Yhteysongelmista johtuen antureiden kehittäminen voisi olla järkevää.

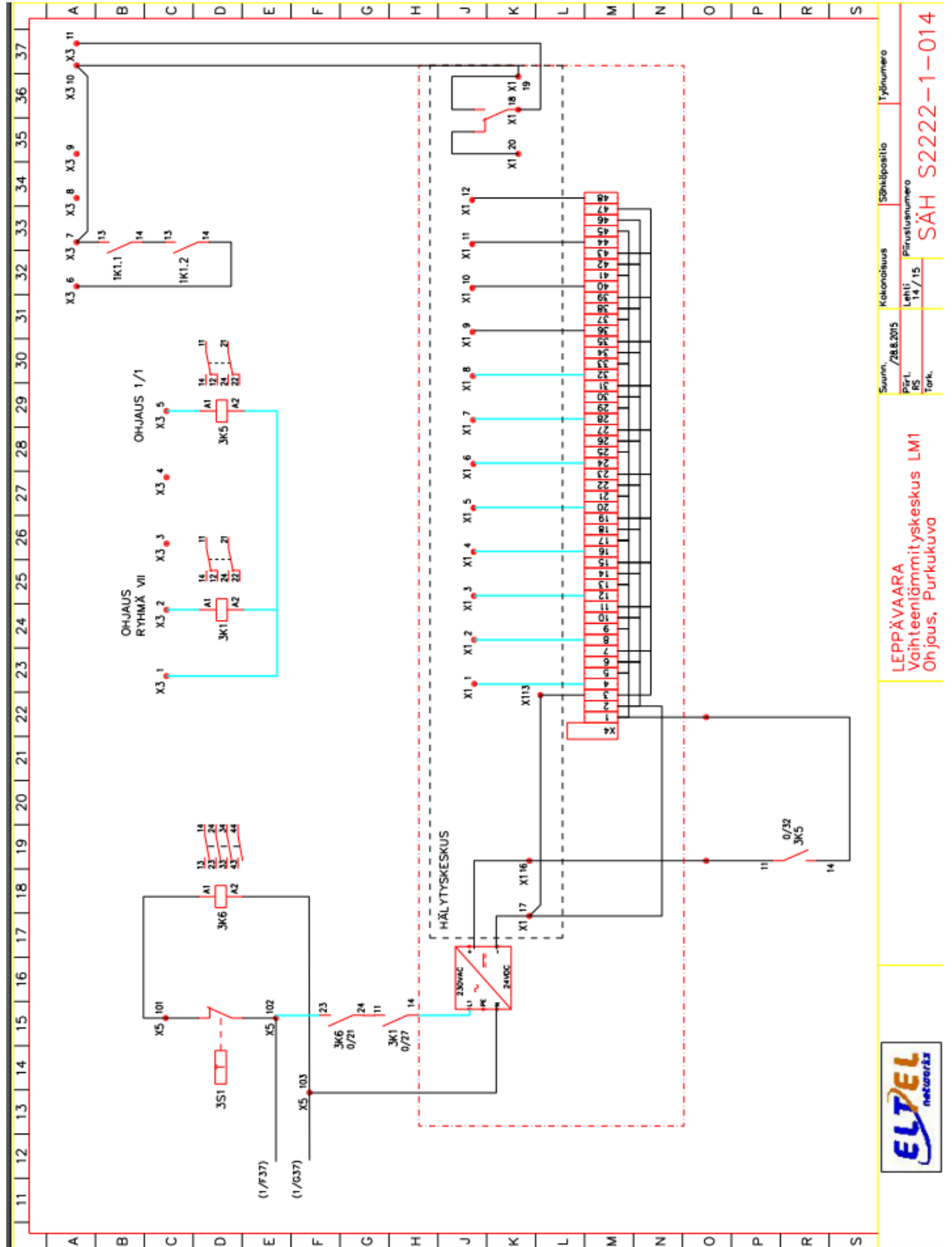
Kiskon tavoitelämpötiloja voitaisiin muuttaa tilanteen mukaan. Kovalla pakkasella ja kuivalla ilmalla tavoitelämpötila olisi muutaman asteen alhaisempi. Kovalla lumisateella ja alhaisemmalla lämpötilalla kiskonlämpötila voitaisiin nostaa korkeammalle, jotta kaikki tai ainakin suurin osa lumesta saataisiin sulatettua. Ohjelmallisesti näiden muutosten toteuttaminen ei pitäisi olla vaikeaa.

Lähteet

- 1 Tietoja Eltelistä. 2015. Verkkodokumentti. Eltel Networks Oy.
<http://www.eltelnetworks.com/fi/suomi/lisatietoja-eltelista>. Luettu 16.3.2016.
- 2 Nummelin, Markku 1994. Rautatievaihteet: Kehitys, rakenne ja kunnossapito. VR-pääkonttori: ratayksikkö.
- 3 Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 14. Vaihteiden tarkastus ja kunnossapito. Helsinki 2013. Liikennevirasto.
- 4 Vaihteenlämmityksen tekniset määreet, B17. Helsinki 2006. Ratahallintokeskus.
- 5 Vaihteenlämmitysten energiatehokkuus. Helsinki 2012. Liikennevirasto
- 6 Korpela, Mikko 2014. Vaihteen sähköiset lumensulatusjärjestelmät. Insinööriyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.

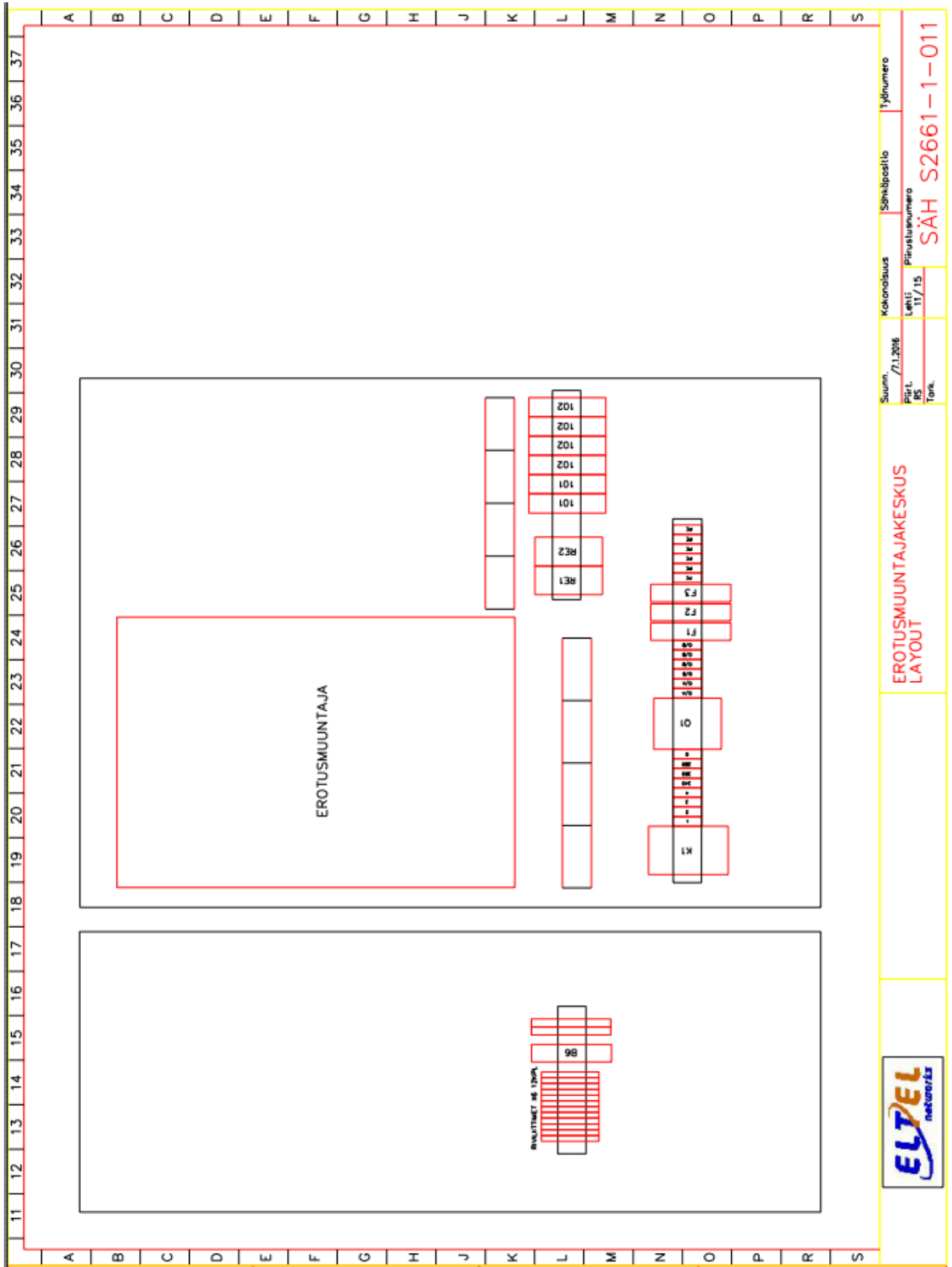
Vanhan järjestelmän sähköpiirustuksia





Suunn. /28.8.2015		Kokoonaisuus	Sähköpiirros	Työnumero
Piir. RS	Lehti 14 / 15	Piirustenumero		
LEPPÄVAARA Vaihteeniämittauskeskus LM1 Ohjus, Purkukuva		SÄH S2222-1-014		





EROTUSMUUNTAJAKESKUS
LAYOUT

