



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ENERGIAN JA SÄHKÖNLAADUN MITTAUKSIEN TOTEUTUS DIN- KISKOLIITÄNTÄISILLÄ MITTA- LAITTEILLA

TEKIJÄ: Tero Räsänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Tero Räsänen	
Työn nimi Energian ja sähkönlaadun mittauksien toteutus DIN-kiskoliitännäisillä mittalaitteilla	
Päiväys	14.6.2018
Sivumäärä/Liitteet	34/2
Ohjaaja(t) Lehtori Jari Ijäs, Savonia AMK; Yliopettaja Juhani Rouvali, Savonia AMK; Palvelupäällikkö Harri Smolander, Voimatel Oy	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Voimatel Oy/Palvelupäällikkö Harri Smolander	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää DIN-kiskoon asennettavien mittalaitteiden soveltuvuus energian ja sähkönlaadun mittaukseen sekä toteuttaa etäluettava ja tallentava pilotointiympäristö laitteistokartoituksen perusteella. Työn tilaajana toimi Voimatel Oy. Mittalaitteiden ominaisuuksista tarkastelun kohteena oli sähkönlaadullisten suureiden ja energiamittauksen lisäksi mittalaitteiden soveltuvuus kysyntäjoustopuolella ja kuormanrajoituksen toteutuksessa, sekä IoT- ja hälytysmahdollisuudet.</p> <p>Pilotointilaitteistolle asetettiin vaatimuksiksi etäluentaa sekä mittaustulosten tallennus ja lähetys FTP-palvelimelle langattomia tietoverkkoja käyttäen. Saadusta mittaustulosteesta oli oltava mahdollisuus selvittää tuotettu ja kuluttettu päto- ja loisenenergia sekä mittausjakson huipputeho. THD-arvoa mittalaitteistolta ei vaadittu. Laitteistolta vaadittiin lisäksi kykyä toimittaa hälytys ennalta määritettyjen hälytysehtojen mukaisesti FTP-palvelimelle.</p> <p>Laitteistokartoituksen perusteella pilotointiympäristöksi valikoitui vaatimukset täyttävä laitteisto. Laitteistoa testattiin mittaamalla paineilmakompressorin kolmivaiheista moottoria. Laitteistosta testattiin vaadittujen mittaustietojen välitys. Laitteiston hälytysominaisuuksia testattiin virran ja jännitteen osalta. Virtahälytystä testattiin käynnistämällä kompressorin moottori ja jännitehälytystä testattiin katkomalla laitteiston syöttöjännitettä. Pilottiympäristön virtamittaustuloksia verrattiin oskilloskooppimittauksiin.</p> <p>Pilotointilaitteisto täytti vaatimukset mittaustulosten toimittamisen osalta, mutta ei toiminut odotetusti hälytysten suhteen. Mittalaitteisto reagoi moottorin nimellisvirtaa suurempaan käynnistysvirtaan, mutta hälytys jäi päälle koko käyntisyklin ajaksi. Syy tähän voi kuitenkin olla väärin asetelluissa hälytysehdoissa. Mittalaitteiston jännitehälytykset toimivat täysin epäjohdonmukaisesti, eikä syytä tähän voitu selittää. Laitteistoa ei myöskään saatu toimittamaan hälytyksiä FTP-palvelimelle. Verrattaessa pilotointiympäristöllä ja oskilloskooppilla tehtyjä virtamittauksia huomattiin, että pitkäkestoiset ja muuttumattomat virtamittaukset vastasivat toisiaan, mutta nopeissa virtamuutoksissa tulokset poikkesivat toisistaan huomattavasti.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selville laitteistokokoonpanojen rajoitukset ja mahdollisuudet.</p>	
Avainsanat DIN-kisko, mittaus, kysyntäjousto, etäluentaa	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Tero Räsänen			
Title of Thesis Implementation of Energy and Power Quality Measurements with DIN Rail Mounted Measuring Devices			
Date	14 June 2018	Pages/Appendices	34/2
Supervisors Mr Jari Ijäs, Senior Lecturer, Savonia UAS; Mr Juhani Rouvali, Principal Lecturer, Savonia UAS; Mr Harri Smolander, Service Manager, Voimatel Oy			
Client Organisation/Partners Voimatel Oy/Mr Harri Smolander, Service Manager			
<p>The purpose of this thesis was to examine the suitability of a DIN rail mounted measuring equipment for the measuring of energy and electric power quality, and to build a recording and remotely read pilot environment based on the equipment survey. The project was commissioned by Voimatel Oy. In addition to the measuring of power quality and energy, the examined properties were the suitability of the measuring equipment for elastic demand and load limiting, and its possibilities for alarm output and IoT.</p> <p>The requirements set to the pilot environment were the possibility of remote reading, recording, and sending of the measuring results to an FTP server using mobile phone networks. The obtained output had to provide the measurements for the produced and consumed active and reactive energy, and for the peak power of the measuring period. The equipment was not required to measure the THD value. In addition, the equipment was required to send alarm output to the FTP server in accordance with preconfigured rules.</p> <p>Based on an equipment survey, a set of devices that met the requirements was selected for the pilot environment. The equipment was tested by measuring the three-phase motor of an air compressor. The tested feature was the data transfer function. The alarm output of the equipment regarding current and voltage was also tested. The current alarm output was tested by starting up the air compressor motor, and the voltage alarm output was tested by cutting off the input voltage of the equipment. The current measuring results of the pilot environment were compared to measuring results obtained with an oscilloscope.</p> <p>Regarding the delivery of the measuring results, the pilot environment fulfilled the requirements. However, as regards the alarm output of the equipment, it did not function as had been expected. The measuring equipment reacted to a start-up current greater than the nominal current of the test motor, but the alarm output stayed on for the duration of the entire duty cycle. Still, incorrectly set rules may have been the cause for the occurrence of this phenomenon. The function of the voltage alarm output was entirely inconsistent, and the cause for this could not be explained. It was also impossible to get the equipment to deliver any of the induced alarms to the FTP server. When comparing the current measurements produced by the pilot environment and the oscilloscope, it was noted that long-term and unchanged current measurements corresponded to each other, but as regards fast current changes, the results differed significantly from each other.</p> <p>The thesis resulted in finding out the limitations and possibilities of various equipment combinations.</p>			
Keywords DIN rail, metering, price elasticity of demand, remote reading			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	VAATIMUSMÄÄRITTELY	7
3	LAITTEISTON VALINTA.....	8
3.1	Monimittarit.....	8
3.2	Energiamittarit.....	10
3.3	Sähkönlaatu-analysaattorit	12
3.4	Etäluentaan tarvittavat komponentit ja tiedonsiirto	13
3.5	Kysyntäjoustop ja tehonrajoituksen ohjausmahdollisuudet.....	15
3.6	Internet of Things, IoT, Esineiden Internet, Teollinen Internet.....	16
3.7	Yhteenveto laitteistokartoituksesta	17
4	PILOTOINTIYMPÄRISTÖN TOTEUTUS	19
4.1	Mittauksesta saatavat tiedot	20
5	PILOTTIYMPÄRISTÖN TESTAUS	22
5.1	Kuormitustestauksen tulokset	23
5.1.1	Tulosten tulkinta	24
5.2	Hälytystestauksen tulokset	25
5.2.1	Tulosten tulkinta	25
6	LOPPUPÄÄTELMÄT	28
	LÄHTEET	29
	LIITE 1 MITTAUSTULOSTE.....	31
	LIITE 2 HÄLYTYSTULOSTE	34

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on selvittää energian ja sähkönlaadun mittausten toteutusmahdollisuuksia DIN-kiskoliitännäisillä mittalaitteilla ja toteuttaa pilotointiympäristö, jossa todennetaan valittujen mittalaitteiden suoriutumista energian ja sähkönlaadun mittauksessa. Pilotointiympäristöön pyritään toteuttamaan etäluenta ja mittaustietojen tallennus. Pilotointiympäristön toteutus tapahtuu yhteistyössä Voimatel Oy:n mittausasiantuntijoiden kanssa. Työn tilaajana toimii Voimatel Oy ja työn tilaajan puolesta vastuuhenkilönä toimii palvelu- ja tuotantopäällikkö Harri Smolander. Työnohjauksessa Voimatel Oy:llä toimivat myös asiantuntijat Markku Thure ja Toni Haatainen. Savonia AMK:n puolesta 1. ohjaajana toimii lehtori Jari Ijäs ja 2. ohjaajana yliopettaja Juhani Rouvali.

Tällä hetkellä pienjänniteliittymien kWh-energiamittarit ovat etäluettavia ja mittaustieto voidaan yhdistää tietojärjestelmiin, mutta saatavat tiedot rajoittuvat usein energiamäärään ja joidenkin vikatilanteiden esille tuomiseen. Toisaalta DIN-kiskoliitännäisiä sähkönlaatu- ja energiamittareita on jo tarjolla usealta toimittajalta, mutta käyttökokemuksia ei ole tarjolla ja varsinainen soveltuvuus Voimatel Oy:n tarpeisiin vaatii selvittämistä.

Lienee turvallista otaksua, että sähköverkkoon tullaan liittämään yhä enemmän kuormia, joilla on vaikutusta sähkönlaatuun. Toisaalta kuormat voivat vaatia riittävän hyvän sähkönlaadun toimiakseen moitteetta. Mikäli sähkönlaadunvalvonta voidaan toteuttaa huokeilla ja sähkökeskuksiin sopivilla komponenteilla, on saadusta mittaustiedosta hyötyä sekä sähköverkon omistajalle että liittymän omistajalle sähkönlaadun parantuessa mittaustietoihin nojaten.

Jotta energian mittaamiseen tarkoitetun mittarin näyttämää lukemaa voidaan käyttää laskutuksessa, täytyy mittarin täyttää mittauslaitedirektiivi (MID) 2014/32/EU. MID-direktiivissä määritellään mittalaitteelle vaatimukset ominaisuuksien suhteen ja direktiivin kohdassa 10.5 vaaditaan seuraavaa: *”Kulutusmittauksiin tarkoitetun mittauslaitteen on oltava varustettu kuluttajan helposti ja ilman työkaluja nähtävissä olevalla metrologisesti valvotulla näytöllä riippumatta siitä, voidaanko mittaustietoja lukea kauko-ohjatusti. Näytössä oleva lukema on mittaustulos, jonka perusteella määritetään maksettava hinta.”* Direktiivin tavoitteena on se, että kuluttaja voi tarkistaa kuluttamansa energian määrän ja verrata sitä saamaansa sähkölaskuun. Suomessa kuluttajilla on erityyppisiä energiamittareita, joissa osassa käyttäjän on mahdollista nähdä muutakin kuin kumulatiivinen sähkönkulutus, mutta osassa energiamittareita kuluttajan suoraan mittarista saamat tiedot rajoittuvat ainoastaan tähän. Suomessa ainakin Helen Sähköverkot Oy perii jo asiakkailtaan huipputehoon perustuvaa maksua (Helen Sähköverkot Oy, 2018). Myös Kuopion Energia aloittaa osittain huipputehoon perustuvan laskuttamisen 1. heinäkuuta 2018 (Kuopion Energia Oy, 2018). Nykyisiä energiamittareita käyttävän kuluttajan täytyy luottaa sähköntoimittajan luovuttamaan aineistoon muun muassa huipputehon suhteen. Tilanne on sama myös sähkön pientuottajilla. Ellei sähkömittarissa ole näyttöä tuotetulle energialle, joutuu pientuottaja luottamaan sähköntoimittajan aineistoon. Sähkön pientuottajat ovat alueittain eriarvoisessa asemassa netottamisen suhteen johtuen erilaisista sähkömittareista. (Smart Energy Transition, 2018) Netottamisella tarkoitetaan kulutetun ja tuotetun energian summaamista

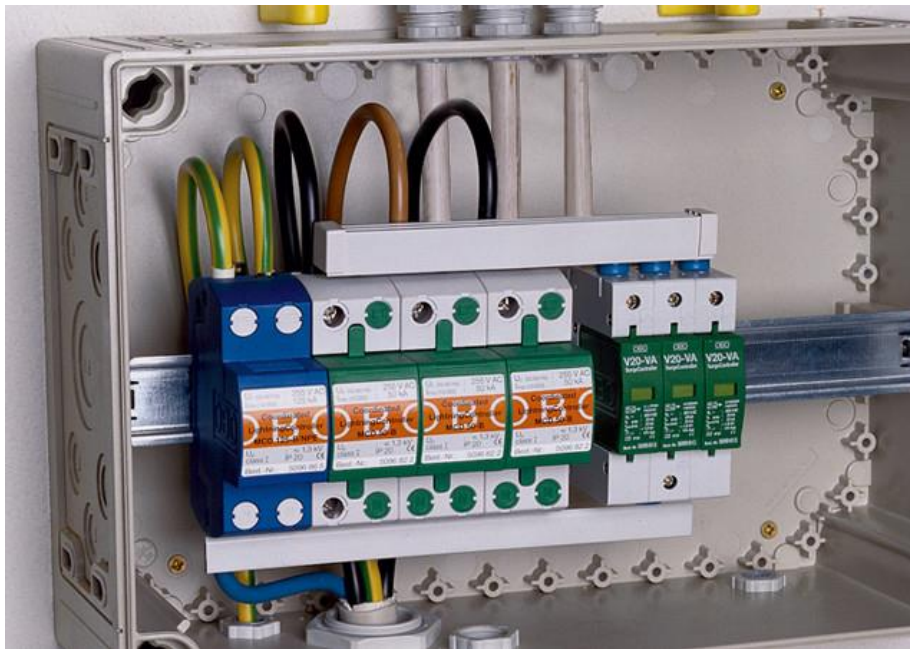
yhteen huomioiden kaikki vaiheet. Tällä hetkellä osa aurinkosähköjärjestelmistä on yksivaiheisia, eli tuotettu energia syötetään ainoastaan yhteen vaiheeseen. Järjestely toki vähentää ostosähkönkulutusta, mutta ylituotantotilanteessa voi sähköntuottaja joutua tilanteeseen, jossa hän myy tuottaansa energiaa ostosähköä halvemmalla hinnalla yhteen vaiheeseen sähköyhtiölle, samalla kuluttaen kahdella muulla vaiheella korkeammalla hinnalla ostosähköä. Myös kolmivaiheisilla aurinkosähköjärjestelmillä tilanne on mahdollinen. Mikäli energiamittari netottaisi, vähentäisi tuotettu energia suoraan ostoenergian osuutta. Netottamisen yleistymisellä on vaikutusta sähkön pientuotannon yleistymiseen. Muun muassa näihin epäkohtiin on pureuduttu Smart Energy Transition –hankkeen toimittamassa keskustelupaperissa: *Sähköenergian mittaus kuluttajien energiapalvelujen ja puhtaan energian mahdollistajana* (Smart Energy Transition, 2018). Keskustelupaperissa ehdotetaan seuraavan sukupolven sähkömittarien ominaisuuksiksi muun muassa seuraavia toimintoja:

- kulutetun ja tuotetun energian mittaus vähintään sekuntitasolla
- tuotannolle ja kulutukselle yhtenäinen ja yksiselitteinen mittaustapa
- mittaustietojen tallennus ja kuluttajalle mahdollisuus tarkastella tietoja paikallisesti.

Sähkömittari on tulevaisuudessa tärkeässä asemassa. Talotekniset järjestelmät yleistyvät energiansäästöön tähdäten, jolloin myös sähkömittarin tuottama mittausaineisto otetaan osaksi järjestelmän säätöä.

2 VAATIMUSMÄÄRITTELY

Voimatel Oy etsii asiakkailleen sopivaa sähkönlaadun ja -määrän mittaukseen sopivaa laiteratkaisua. Laitteisto olisi suunnattu lähinnä pientaloihin, joiden sähkönlaatua tai -määrää jostakin syystä halutaan tarkkailla. Mittaustuloksista tulisi pystyä lukemaan laskutukseen vaikuttavat suureet. Laitteiston tarkkuudelle ei asetettu vaatimuksia, vaikka mahdollisuutta laskutukseen tulisikin tarkastella. Laitteistossa tulisi olla etäluentamahdollisuus ja mittaustietojen tallennus, hälytysmahdollisuudet, ja ennen kaikkea laitteiston täytyy olla DIN-kiskoon asennettava. DIN-kiskolla tarkoitetaan kiinnityskiskoa, johon nykyisissä sähkökeskuksissa muun muassa johdonsuojakatkaisimet on asennettu.



Kuva 1. Esimerkki DIN-kiskoasenteisista komponenteista (STK 2018)

Mittalaitteita on saatavilla useilta valmistajilta jonkin verran eriävin ominaisuuksin. Tässä työssä mittalaitteista haluttiin selvittää ainakin seuraavat asiat:

- yleiset ominaisuudet
 - mitattavat suureet
 - näytteenottotaajuus
 - mahdollisuus käyttää laskutuksessa
 - netotus
 - itsediagnostiikka
 - mittaustietojen puskurointi häiriötilanteessa
- mittaustiedon hyödyntäminen kulutuksen optimoinnissa
- hälytysominaisuudet
- tiedonsiirron tietoturva
- IoT

3 LAITTEISTON VALINTA

Tulevan testiympäristön suunnittelu lähti liikkeelle laitevalikoiman kartoituksella. Laitteisto tulisi olla mahdollista sijoittaa olemassa olevaan sähkökeskukseen ilman että tarvitaan erillistä kojekaappia. Laitteiston tulisi pystyä mittaamaan sähkönlaatua joiltakin osin, mutta pystyä myös energianmittaukseen. Laitteistolta vaadittiin myös etäluenta sekä mittaustietojen tallennus. Toisaalta laitteiston hinnan täytyisi olla maltillinen. Kartoituksen perusteella DIN-kisko mittareita oli mahdollista jakaa karkeasti kolmeen luokkaan.

Laitteen kykyä mitata nopeita, sähkönlaatuun vaikuttavia suureita voi arvioida tarkastelemalla laitteen näytteenottotaajuutta. Näytteistysteoreeman mukaan näytteenottotaajuuden pitäisi olla vähintään kaksinkertainen verrattaessa mitattavan signaalin taajuuteen (Aumala 2006, 130). 50 Hz:n verkkosähkön tapauksessa näytteenottotaajuus pitäisi olla siis vähintään 100 näytettä/sekunti. Näin ollen tällä taajuudella jokaiselta jaksolta otetaan kaksi näytettä, joiden perusteella muodostetaan mittaustulos. Mikäli mittarilla mitataan korkeampia taajuuksia, on näytteenottotaajuuden noustava samassa suhteessa. Tämäkään ei vielä takaa luotettavaa mittaustulosta. Pahimmassa tapauksessa näytteenotot voivat ajoittua mitattavan aallon nollakohtiin, jolloin myös mittaustulos on nolla. Korkeampi näytteenottotaajuus vaatii enemmän laskenta-aikaa ja prosessointia, jolloin myös mittalaitteen prosessointikyky asetetaan suurempien haasteiden eteen. Poikkeuksetta tällöin vaaditaan kehittyneempää ja myös arvokkaampaa mittalaitetta.

Koska mittalaitteistolta vaadittiin myös etäluenta ja mittaustietojen tallennus, jo laitekartoituksen alkuvaiheessa kävi ilmi, että varsinainen mittari tarvitsee rinnalleen dataloggerin mittaustietojen tallennukseen, yhdyskäytävän mittaustiedon välittämiseen etäluentaan, ja väylämuuntimen muuntaamaan mittalaitteen käyttämän protokollan etäluennan käyttämään protokollaan. Tästä syystä tarkasteluun on otettu mittalaitteiden ohella myös etäluentaan ja tallennukseen tarvittavia laitteistokomponentteja. Tarkasteluun on otettu myös laitteiden välinen tietoliikenne. Esittelyissä mainitut hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa.

Hintatasoa tarkastellessa on otettu mukaan myös ulkomaisia verkkokauppoja, sillä pelkästään kotimaisten verkkokauppojen tarjontaan nojautuen olisi tarkastelu jäänyt kovin suppeaksi. Verkkokauppojen suhteen on kuitenkin pitäydytty eurooppalaisissa toimijoissa. Hintatasoa voinee pitää vertailukelpoisena ainoastaan samassa maassa myytävien laitteiden kesken.

3.1 Monimittarit

Ensimmäiseen luokkaan voi laskea monimittarit. Monimittarit keskittyvät sähkön perussuureiden mitaamiseen, eikä mittari mittaa energiaa tai harmonista kokonaissäröä THD. Mitattavia suureita ovat vaihevirratt, pää- ja vaihejännitteet, taajuus ja tehokerroin $\cos \varphi$. Joissakin malleissa mitataan päto-, lois- ja näennäisteho. Eräät mallit tarvitsevat vielä erilliset virtamuuntajat, ellei mitattava virta ole muutamaa ampeeria suurempi. Mallisarjojen edullisimmissa malleissa on mittaustiedoille usein ainoastaan paikallinäyttö, kun taas monipuolisimmissa malleissa on yleensä tiedonsiirron fyysisenä to-

teutuksena RS485- tiedonsiirtoyhteys yhdyskäytävälle (engl. gateway), jonka kautta mittaustiedot voidaan viedä etäluentaan. Joihinkin tämän luokan laitteisiin on mahdollista ohjelmoida hälytystoimintoja jonkin mitattavan suureen suhteen. Laitteissa ei ole omaa puskurimuistia tiedonsiirtokatkoksen varalle. Näytteenottotaajuus vaihtelee valmistajakohtaisesti eikä arvoa useinkaan ilmoiteta teknisissä tiedoissa. Eräällä valmistajalla näytteenottotaajuus on 128 näytettä/sekunti ja toisen valmistajan laitteessa näytteenottotaajuus on 1400 näytettä/sekunti. Hajonta on siis melko suurta näytteenottotaajuuden suhteen.

Esimerkkinä tämän luokan laitteistosta on Entesin valmistama EPM-06-DIN-monimittari. SLO:n verkkokaupassa laitetta myydään hintaan 157 €. (SLO 2018, (1).) Ilman erillisiä virtamuuntajia EPM-06-DIN voi mitata virtoja suuruudeltaan 0,05-5,5 A ja erikseen hankittavien CT-25 virtamuuntajien avulla 2-120 A. Virtamuuntajia tarvitaan kolme kappaletta ja niiden yksikköhinta on 15,10 €. (SLO 2018, (2).) EPM-06-DIN ei pysty energianmittaukseen, etäluentaan, hälytyksiin eikä harmonisen kokonaisuuden (THD) mittaukseen. Mittarissa on jännitemittaukset, virtamittaukset, taajuusmittaus sekä mitaus tehokerroimelle $\cos \varphi$. (Entes 2018, (1).) Mittarista on olemassa myös tiedonsiirtoon ja etäluentaan (RS485/ModBus RTU) pystyvä malli EPM-06CS-DIN (Entes 2018, (2)). Juuri muuta eroa mallien kesken ei ole. Kyseistä mallia ei ole tarjolla kotimaisissa verkkokaupoissa, mutta espanjalaisessa Automatización Eléctrica –verkkokaupassa myydään EPM-06-DIN –mallia hintaan 96,88 € (Automatización Eléctrica, 2018 (1)) ja EPM-06CS-DIN –mallia hintaan 147,73 € (Automatización Eléctrica, 2018 (2)). Alla on esitettyä mittarin tärkeimmät mitattavat suureet.

Taulukko 1. EPM-06-DIN

Suure / ominaisuus	EPM-06-DIN
I	x
U, L-L ja L-N	x
P, Q ja S	-
tehokerroin	$\cos \varphi$
taajuus	x
liitettävyyden mittaustietojen tallennukseen	-
THD	-
Hälytykset	x



Kuva 2. Entes EPM-06-DIN (Hedtec 2018)

3.2 Energiamittarit

Toiseen luokkaan voidaan laskea energian mittaamiseen pystyvät mittarit. Verrattuna monimittareihin ovat energian mittaamiseen kykenevät mittarit huomattavasti kehittyneempiä. Mittareita on tarjolla joko MID-hyväksynnällä tai ilman. MID-hyväksyntä oikeuttaa käyttämään mittaria laskutuksessa. Mittaustietoihin sisältyy yleensä pätö-, lois- ja näennäisteho, kulutettu pätö- ja loisenergia, taajuus, jännite, virta ja tehokerroin. Joissakin mittareissa mitattavat energiat on eritelty neljään osaan: kulutettu ja tuotettu pätöenergia sekä kulutettu ja tuotettu loisenergia. Tehokertoimen osalta ei voi sanoa varmaksi onko kysymyksessä yliaaltotehon huomioiva tehokerroin vai pelkästään perusaaltoon liittyvä tehokerroin $\cos \varphi$. Joidenkin mittalaitteiden yhteydessä on maininta tehokertoimesta PF (Power Factor), vaikka laite ei pysty mittaamaan harmonista kokonaissäröä THD eikä muutenkaan ota kantaa yliaaltotehoon.

Tällä hetkellä sähköenergianmittaus on siirtymässä tuntipohjaisesta mittausjaksosta viidentoista minuutin mittausjaksoon. Osalla tarkastelluista mittareista mittausjakson pituus voidaan lyhentää jopa minuuttitasolle. On erityisesti huomattava, että useissa mittareissa MID-hyväksyntä koskee ainoastaan kuluttajan kuluttamaa energiaa, eli energiaa josta sähköyhtiö veloittaa. Tämän luokan energiamittareille on yleistä se, että sähköön kulutusta ja tuottoa ei netoteta. Yleensä tämän luokan laitteissa on RS485-tiedonsiirtoyhteys yhdyskäytävälle etäluenta varten. Osasta laitteista löytyy myös Ethernet-yhteys. Enimmäkseen laitteissa ei ole omaa puskurimuistia tietoliikennekatkoksen varalle, mutta harvoja poikkeuksia on olemassa.

Osalla laitteista joko varasyöttö tai käyttösähkö on otettu suoraan akkuvarmennuksen kautta, joten sähkökatkotilanteessa hälytys on mahdollista suorittaa. Eräiden valmistajien tämän luokan laitteissa esiintyy ainakin näytteenottotaajuuksia 1600 näytettä/sekunti ja 4096 näytettä/sekunti, joten laitteet pystyvät reagoimaan hyvinkin nopeisiin muutoksiin. Joihinkin tämän luokan laitteisiin voidaan ohjelmoida hälytyksiä jonkin mitattavan suureen suhteen.

Kohdassa 3.1 tarkasteltiin Entesin valmistamaa monimittaria EPM-06-DIN. Saman mallisarjan energian mittaamiseen kykenevä mittari on EPM-07S-DIN (Entes 2018, (3)). Toisena vertailtavana on Carlo Gavazzin valmistama energiamittari EM27172DMV53XOSX (Elfa Distrelec, 2018 (1)). Mittareissa on aiemmin käsiteltyjen suureiden lisäksi energioiden ja tehojen mittausta, mutta yliaaltojen ja THD-arvon mittausta mittareissa ei ole. Kummallakaan mittareista ei ole MID-hyväksyntää ja energian jakamisessa kulutettuun ja tuotettuun on eroa. EM27172DMV53XOSX ei pysty mittaamaan tuotettua energiaa, kun taas EPM-07S-DIN erottelee tuotetun ja kulutetun pätö- ja loisen energian. SLO:n verkkokaupassa EPM-07S-DIN-mittarin hinta on 249 € (SLO 2018, (3)) ja Elfa Distrelecin verkkokaupassa EM27172DMV53XOSX-mittarin hinta on 247,90 € (Elfa Distrelec 2018, (3)). Ilman virtamuuntajia EPM-07S-DIN kykenee mittaamaan korkeintaan 5,5 ampeerin virran. EM27172DMV53XOSX ei pysty virtamittaukseen lainkaan ilman erillisiä virtamuuntajia. EM27172DMV53XOSX-mittarin tapauksessa kolmikanavainen ja maksimissaan 60 A virtamittaukseen kykenevä virtamuuntaja on Elfa Distrelecin verkkokaupassa hinnaltaan 121,10 € (Elfa Distrelec 2018, (2)). EPM-07S-DIN:lle myydään SLO:n verkkokaupassa CT-25 virtamuuntajia, joiden avulla voidaan mitata virtaa alueella 1-120 A. Virtamuuntajia tarvitaan kolme kappaletta ja niiden yksikköhinta on 15,10 € (SLO 2018, (2)).

Taulukko 2. Vertailu energiamittareiden kesken

Suure / ominaisuus	EPM-07-DIN	EM271
I	x	x
U, L-L ja L-N	x	x
P, Q ja S	x	x
tehokerroin	cos φ	-
taajuus	x	x
Liitettävyyden mittaustietojen tallennukseen	RS-485/ModBus RTU	RS-485/ModBus RTU
THD, I ja U	-	-
Kulutettu pätöenergia	x	x
Tuotettu pätöenergia	x	-
Kulutettu loisen energia	x	x
Tuotettu loisen energia	x	-
MID-luokitus	-	-
Hälytykset	-	-

Kummallakaan yllä esitetystä energiamittareista ei ole MID-luokitusta. Kotimaisista verkkokaupoista ei löydy vertailukohtaa siitä, kuinka paljon kyseinen luokitus korottaa laitteen hintaa. Yhdistyneissä Kuningaskunnissa toimivan verkkokaupan myyntiartikkeleista löytyy saman valmistajan ja saman mallisarjan mittareita, joiden suurin ero on MID-luokituksessa. Mittarit ovat Carlo Gavazzin valmistamia EM21-sarjan energiamittareita, joiden muut ominaisuudet ovat hyvin samanlaiset lukuun ot-

tamatta MID-hyväksyntää. Ilman MID-hyväksyntää oleva energiamittari EM2172DINAV53XOSX on hinnaltaan 89,99 puntaa ja vastaavasti MID-hyväksytty EM2172DAV53XOSPFBD maksaa 187,16 puntaa (SHM 2018). Molemmat tarvitsevat vielä erilliset virtamuuntajat yli 5 ampeerin virtamittauksia varten. MID-luokitus näyttäisi näin ollen vaikuttavan merkittävästi mittarin hintaan.

3.3 Sähkönlaatu-analysointilaitteet

Kolmanteen luokkaan voidaan sijoittaa varsinaiset sähkönlaadun analysointilaitteet, joilla voi mitata myös energiaa. Malleja on olemassa MID-hyväksynnällä tai ilman. Laitteet pystyvät yleensä määrittämään harmonisen kokonaissäröarvon (THD) jännitteelle ja virralle. Tämän luokan laitteiston näytteenottotaajuus ei välttämättä poikkea lainkaan luokan kaksi laitteistosta. Analysointilaitteiden esitteissä esiintyy näytteenottotaajuuksia 1600 näytettä/sekunti ja jopa 4096 näytettä/sekunti.

Esimerkkinä Entesin valmistama sähkönlaatu-analysointilaitteisto MPR-53CS-DIN (Entes 2018, (4)). SLO:n verkkokaupassa kyseisen laitteen hinta on 403 € (SLO 2018 (4)). Verrattaessa EPM-07-DIN-energiamittariin huomataan, että tärkeimmissä ominaisuuksissa on erona ainoastaan kyky mitata virran ja jännitteen kokonaissäröä, mutta laitteen hinta on huomattavasti korkeampi. Laitteessa ei ole omaa sisäistä muistia mittaustietojen tallennukseen, eikä laitteen näytteenottotaajuutta mainita teknisissä tiedoissa. Tallennusta varten laitteesta täytyy olla yhteys tallentavaan tietokoneeseen. Kuten aiemmin esitellyissäkin Entesin valmistamissa mittareissa, jää tämänkin laitteen suurimmaksi virranmittausarvoksi 5,5 ampeeria, ellei siihen liitetä erillisiä virtamuuntajia. SLO:n verkkokaupan myymillä CT-25 virtamuuntajilla mitta-alue laajenee alueelle 1-120 A. Virtamuuntajien yksittäishinta samaisessa verkkokaupassa on 15,10 € (SLO 2018, (2)). Kaikkiaan virtamuuntajia tarvitaan kolme kappaletta.

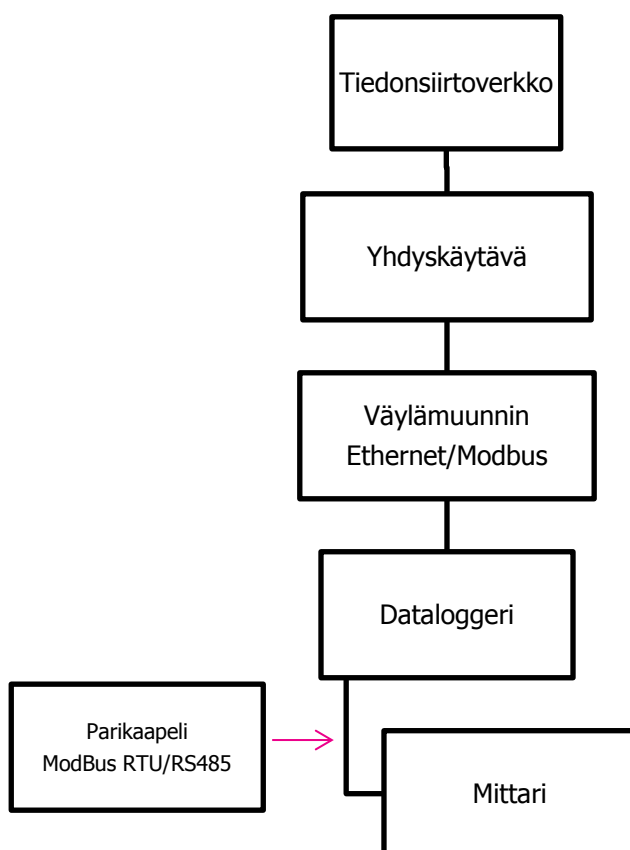
MPR-53CS-DIN-sähkönlaatu-analysointilaitteistossa on mahdollista ohjelmoida hälytystoiminto mitattavien suureiden suhteen. Laite sisältää kaksi NO-kosketinparia, joita voidaan ohjata hälytystoiminnolla.

Taulukko 3. Sähkönlaatu-analysointilaitteiston ominaisuudet

Suure / ominaisuus	MPR-53CS-DIN
I	x
U, L-L ja L-N	x
P ja Q	x
S	x
tehokerroin	cos φ
taajuus	x
liitettävyys mittaustietojen tallennukseen	RS-485/MODBUS RTU
THD, I ja U	x
Kulutettu pätöenergia	x
Tuotettu pätöenergia	x
Kulutettu loisenergia	x
Tuotettu loisenergia	x
MID-luokitus	-
Hälytykset	2

3.4 Etäluentaan tarvittavat komponentit ja tiedonsiirto

Etäluentaan ja mittaustietojen tallennukseen tarvittavan laitteiston kaaviokuva on esitettyä alla. Keskusyksikkö voi pitää sisällään dataloggerin, väylämuuntimen ja yhdyskäytävän. Vaihtoehtoisesti mittauspaikan laitteistossa voi olla ainoastaan mittari, väylämuunnin ja yhdyskäytävä, jolloin yhteys dataloggeriin on olemassa tiedonsiirtoverkon kautta.



Kuva 3. Laitteistokaavio

Yhdyskäytävä on koko verkon liikennöinnistä vastaavista laitteista monimutkaisin. Yhdyskäytävän tehtävä on yhdistää erilaiset verkot, tehdä tarvittavat protokollamuunnokset sekä suorittaa muita verkon toiminnan kannalta tarpeellisia tehtäviä. Monimutkaisuudesta ja laitteen useista tehtävistä johtuen hinta on usein korkea. Yhdyskäytävä määrittää lähes poikkeuksetta verkon maksinopeuden ja on järjestelmän pullonkaula nopeuden suhteen.

Keskusyksikkö voi sisältää myös dataloggerin, joka tallentaa mittarilta saatavat mittausarvot ja syöttää lähetettävään mittaustietopakettiin mitattavat arvot. Tallennettava mittaustieto on esimerkiksi jollekin aikavälille laskettu keskiarvo ja aikavälin huippuarvot. On huomattava, että dataloggerin ominaisuuksista riippuu myös osa saatavan mittaustuloksen ominaisuuksista. Vaikka mittari mittaisikin huomattavalla näytteenottotaajuudella jäävät nopeat muutokset kuitenkin näkymättömiin, mikäli datalogger ei kykene tallentamaan lyhytkestoista tapahtumaa.

Keskusyksikkö saattaa sisältää myös väylämuuntimen, joka muuntaa mittarin käyttämän tiedonsiirron toiseen muotoon. Usein mittari käyttää ModBus-protokollaperheen jotakin jäsentä ja väylämuunnin muuntaa tämän tiedonsiirtoprotokollan internetin käyttämään Ethernet-protokollamuotoon.

ModBus on tiedonsiirtoprotokolla, joka määrittelee väylässä liikkuvan tiedon ominaisuudet. Oikeastaan Modbus on tiedonsiirtoprotokollaperhe, jonka jäsentä Modbus RTU käytetään yleisesti RS-485 –väylän kanssa ja jäsentä Modbus TCP/IP käytetään Ethernetin kanssa. Alla on esitettyä Modbus RTU:n viestin perusrakenne.

Taulukko 4. ModBus RTU:n viestin perusrakenne (ST-käsikirja 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2017, 140)

Aloitus	Osoite	Toiminto	Data	Tarkistus-summa, CRC	Lopetus
vähintään 3,5 tavua pitkä tauko	1 tavu	1 tavu	0–252 tavua	2 tavua	vähintään 3,5 tavua pitkä tauko

RS-485 –väylä koostuu kierretystä parikaapelista, lähettimestä ja vastaanottimesta. Johtimien nimet ovat A ja B, mutta A-johtimesta käytetään myös nimityksiä A-, TxA ja Tx+. Vastaavasti myös B-johtimesta käytetään nimityksiä B+, TxB ja Tx-. Väylä saa binääriarvon 1 kun A-johtimen/ulostulon jännite on välillä -1,5 – -6 V suhteessa B-johtimeen. Vastaavasti väylä saa binääriarvon 0 kun A-johtimen/ulostulon jännite on välillä +1,5 – +6 V suhteessa B-johtimeen. (ST-käsikirja 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2017, 50.)

Alla on esitettyä Carlo Gavazzin valmistama päämoduuli, joka pitää sisällään web-serverin, yhdyskäytävän, väylämuuntimen ja dataloggerin.



Kuva 4. Järjestelmän päämoduuli (Elfa Distrelect 2018, (4))

Kuvassa 4 oleva Carlo Gavazzin valmistama järjestelmän päämoduuli VMUCEMAWSSUX vastaanottaa mittalaitteelta mittaustiedon RS-485 –portin kautta käyttäen ModBus RTU –protokollaa. Laitteessa on muistikorttipaikka, USB-portti ja oma sisäinen 4 GB muisti mittaustietojen tallennukseen. Laitteen luvataan tallentavan tietoja ja tapahtumia jopa 30 vuoden ajan. Laite tallentaa mittausjakson keskiarvon, minimi- ja maksimiarvot, sekä hälytykset ja tapahtumat. Laite pystyy lähettämään mittaus-tiedot useita tapoja käyttäen ja mittaustietoja voi tarkastella selaimella liittämällä laitteen Ethernet-portin kautta suoraan tietokoneeseen, modeemiin tai lähiverkkoon. Vaihtoehtoisesti voi käyttää laitteen mini-USB-porttia tai langatonta yhteyttä liittämällä laitteeseen langattoman tiedonsiirron mahdollistavan lisälaitteen. Tiedonsiirtotapoina mainitaan FTP, HTTP ja ModBus TCP/IP. Keskusyksikön hinta SLO:n verkkokaupassa on 477 € (Elfa Distrelect 2018, (4)).

Alla on esitettyä Entesin valmistama Ethernet/ModBus-väyläsovitin ja yhdyskäytävä EMG-12. Laite on toiminnoiltaan huomattavasti suppeampi verrattuna aiemmin esiteltyyn Carlo Gavazzin keskusyksikköön. Laite ei sisällä dataloggeria eikä web-serveriä. Etäluentaa, asetusten muuttaminen sekä tietojen tallentaminen on mahdollista tietokoneella internetin kautta valmistajan omaa ohjelmistoa käyttäen. (Entes 2018, (5).) Laitteen hinta on SLO:n verkkokaupassa 575 € (SLO 2018, (5)).



Kuva 5. Entes EMG-12 (SLO 2018, (5))

3.5 Kysyntäjoustop ja tehonrajoituksen ohjausmahdollisuudet

Tarkastelluissa laitteissa ei ole mahdollisuutta ulkopuoliseen ohjaukseen, joka mahdollistaisi kuormien ohjaamisen. Joissakin tarkastelluissa laitteissa on mahdollisuus ohjata relelähtöä jonkin suureen mittaus tuloksen perusteella, mikä mahdollistaisi sisäisen kuorman ohjauksen. Lisäämällä järjestelmään logiikkaa tai releitä on laitteistoilla mahdollisuus rajoittaa kiinteistön huipputehoa.

Pientalojen suhteen kysyntäjoustopon osallistuminen ulkopuolisella ohjauksella onnistuu käyttämällä rakennuksen varaavia ominaisuuksia. Käyttövesivaraaja, sähköenergiaa hyödyntävä lattialämmitys ja suora sähkölämmitys voivat olla poissa käytöstä joitakin tunteja vuorokaudesta. Myös sähköautojen akut tarjoavat lisää mahdollisuuksia kotitalouksien kysyntäjoustopon.

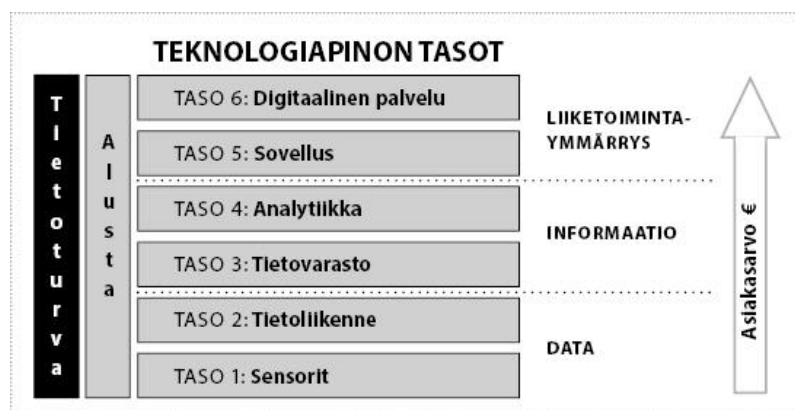
Tätä kirjoitettaessa toukokuussa 2018 muutkin sähköyhtiöt kuin johdannossa mainittu Helen Sähköverkko Oy ovat väläyttelleet mahdollista kulutuskohteen tehoon perustuvaa maksua. Täten kuluttajille olisi edullista rajoittaa omaa huipputehoaan pienemmän sähkölaskun toivossa.

Markkinoilla on jo laitteita, joilla kysyntäjoustopäätöksiä voi toteuttaa. Alkuvuodesta 2018 There Corporationin julkaisema ThereGate 3.0 –laite noutaa pilvipalvelusta sähköhinnat ja ajoittaa rakennuksen sähkökulutusta edullisille tunneille. Laite ei ole DIN-kiskoasenteinen, mutta valmistajan mukaan laite on nyrkin kokoinen ja se voidaan asentaa huomaamattomasti sähkökeskuksen sisälle (There 2018, (1)). There Corporation Oy:n sivuilla kerrotaan laitteesta seuraavasti: *”Uuden asiakaslaitteen ThereGate 3.0 valmistuskustannus on saatu pienennettyä noin kymmenesosaan tämänhetkisestä. Sitä tarjotaan nyt energiayhtiöille ja muille jälleenmyyjille hintaan noin 100 €/kotalous. There on lisäksi ainoa alan toimija, jonka sähkön kysyntäjoustopäätös on jo vuonna 2016 Fingridin kanssa pilotoitu. Kysyntäjoustopäätös tarjoaa Theren energiayhtiöasiakkaille uutta ansaintaa, jonka yhtiö jakaa avoimesti kumppaneidensa kanssa.”* (There 2018, (2).)

Kuluttajan sähkölaskun muodostumisen kannalta tilanne vaatisi optimointia. Kuormien siirto edullisille tunneille voi suurentaa liittymän huipputehoa, jolloin tehomaksukomponentti kasvattaa sähkölaskua.

3.6 Internet of Things, IoT, Esineiden Internet, Teollinen Internet

Otsikon kaikki nimitykset tarkoittavat samaa asiaa. Energian suhteen on olemassa myös käsite Internet of Energy eli IoE. Jatkossa kyseisestä asiasta käytetään kuitenkin lyhennettä IoT. Suppeasti ajatellen IoT:n voi mieltää olevan internetiin kytkettyjen, monin tavoin anturoitujen laitteiden verkosto. Laitteiden sensorit eivät välttämättä liity lainkaan laitteen varsinaiseen käyttötarkoitukseen. Laitteiden sensorit tuottavat tietoa vallitsevista tilatiedoista tai niiden muutoksista ja laite välittää saadut mittaustiedot eteenpäin tallennukseen, etäluentaan tai jatkoprosessointiin. Jokaisella laitteella on oma osoite, jonka perusteella mittaustieto on mahdollista yksilöidä. Saadun mittaustiedon perusteella voidaan tehdä muun muassa johtopäätöksiä ja säätötoimenpiteitä. Eräs suosituimmista malleista IoT:n kuvaamiseen on teknologiapino (Collin ja Saarelainen 2016, luku 8).



Kuva 6. Teknologiapino (Collin ja Saarelainen 2016, luku 8)

Oikeastaan IoT on jo olemassa kuluttajien keskuudessa. Tästä kenties yleisin esimerkki on etäluettava sähkömittari. Erästä tarkastellusta laitteesta (Carlo Gavazzi VMU-C EM) löytyy maininta "Microsoft Azure Certified for IoT". Microsoft Azure on pilvipalvelu, joka tarjoaa alustan IoT-ratkaisuille. Järjestelmiä siis kehitetään jo huomioiden tulevaisuuden tarpeita, vaikka IoT ei ole millään tavalla standardisoitu valmis kokonaisuus, vaan kysymys on pienempien valmiiden osasten yhteensovittamisesta (Collin ja Saarelainen 2016, luku 8). Toisaalta eräs IoT:n peruspiirteistä on erilaisten antureiden liittäminen etäluentaan, mihin nyt käsiteltävät mittarit nimenomaan liittyvät. Lienee turvallista väittää todennäköiseksi skenaarioksi sitä, että IoT yleistyy myös sähkötekniisten suureitten seurannassa, sillä IoT-tekniikka mahdollistaa monipuolisen laitteistohallinnan esimerkiksi tehonkulutuksen optimoinnissa. Sensoritekniikka kehittyy, pienentyy sekä saattaa tulevaisuudessa olla jopa omavoimainen (Nisu, 2016). Eräs sovellus voi olla sähkön pientuottajakohde, jossa kulutuskoje käynnistyy omatuotannon määrän ohjaamana.

Työ- ja elinkeinoministeriö perusti syksyllä 2016 älyverkkotyöryhmän, jonka tavoitteena on luoda yhteinen näkemys älykkästä sähköverkosta. Fingrid Oyj on aloittanut Työ- ja elinkeinoministeriön pyynnöstä keskitetyn tiedonkäsittelyratkaisun, datahubin, toteutuksen. Datahubilla pyritään helpottamaan vähittäismarkkinoiden tiedonvaihtoa ja energiapalveluja. (TEM 2017.)

Todennäköisesti datahubia voidaan hyödyntää IoT:ssa. Sovelluskohteita luodaan tällä hetkellä enenevässä määrin, ja kenties suurin rajoittava tekijä on suunnittelijoiden mielikuvitus. Toisaalta on pidettävä mielessä, että jokainen verkkoon liitettävä laite on potentiaalinen tietoturvariski. Tietoturvan on oltava kattava ja aukoton jokaisella teknologian tasolla.

3.7 Yhteenveto laitteistokartoituksesta

Mittalaitteet voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaan. Alla on esitettyä taulukoituna yhteenveto mittalaitteiden ominaisuuksista ja mahdollisuuksista sekä summittainen hinta-arvio ilman arvonlisäveroa.

Taulukko 5. Mittariluokkien keskinäinen vertailu

Suure/ominaisuus	Monimittarit, n. 200 €	Energiamittarit, n. 300 €	Sähkölaatu-analysaattorit, n. 450 €
I	x	x	x
U, L-L ja L-N	x	x	x
P, Q ja S	-	x	x
tehokerroin	cos φ	cos φ	cos φ/PF
taajuus	x	x	x
Liitettävyyden mittaustietojen tallennukseen	RS-485/ModBus RTU	RS-485/ModBus RTU	RS-485/ModBus RTU
THD, I ja U	-	-	x
Kulutettu pätöenergia	-	x	x
Tuotettu pätöenergia	-	Riippuu laitteesta	x
Kulutettu loisenergia	-	x	x
Tuotettu loisenergia	-	Riippuu laitteesta	x
MID-luokitus	-	Riippuu laitteesta, voi korottaa hintaa merkittävästi	Riippuu laitteesta, voi korottaa hintaa merkittävästi
Häilytykset	-	Riippuu laitteesta	Riippuu laitteesta

Taulukon 5 monimittarit riittävät paikallinäyttöön, mutta etäluenta vaatii yhdyskäytävän ja väylämuuntimen. Tallennusta varten täytyy olla dataloggeri, sillä mittareissa ei yleensä ole omaa tallennusmahdollisuutta. Keskusyksikkö jossa on dataloggeri, väylämuunnin, yhdyskäytävä ja lisäksi web-serveri on hinnaltaan noin 500 €. Varsinaista itsediagnostiikkaa laitteissa ei ole. Jotkut laitteet hälyttävät väärästä vaihejärjestyksestä.

Laitteilla ei ole etäohjausmahdollisuutta, mutta kuormanrajoitus on pienillä lisäinvestoinneilla mahdollinen.

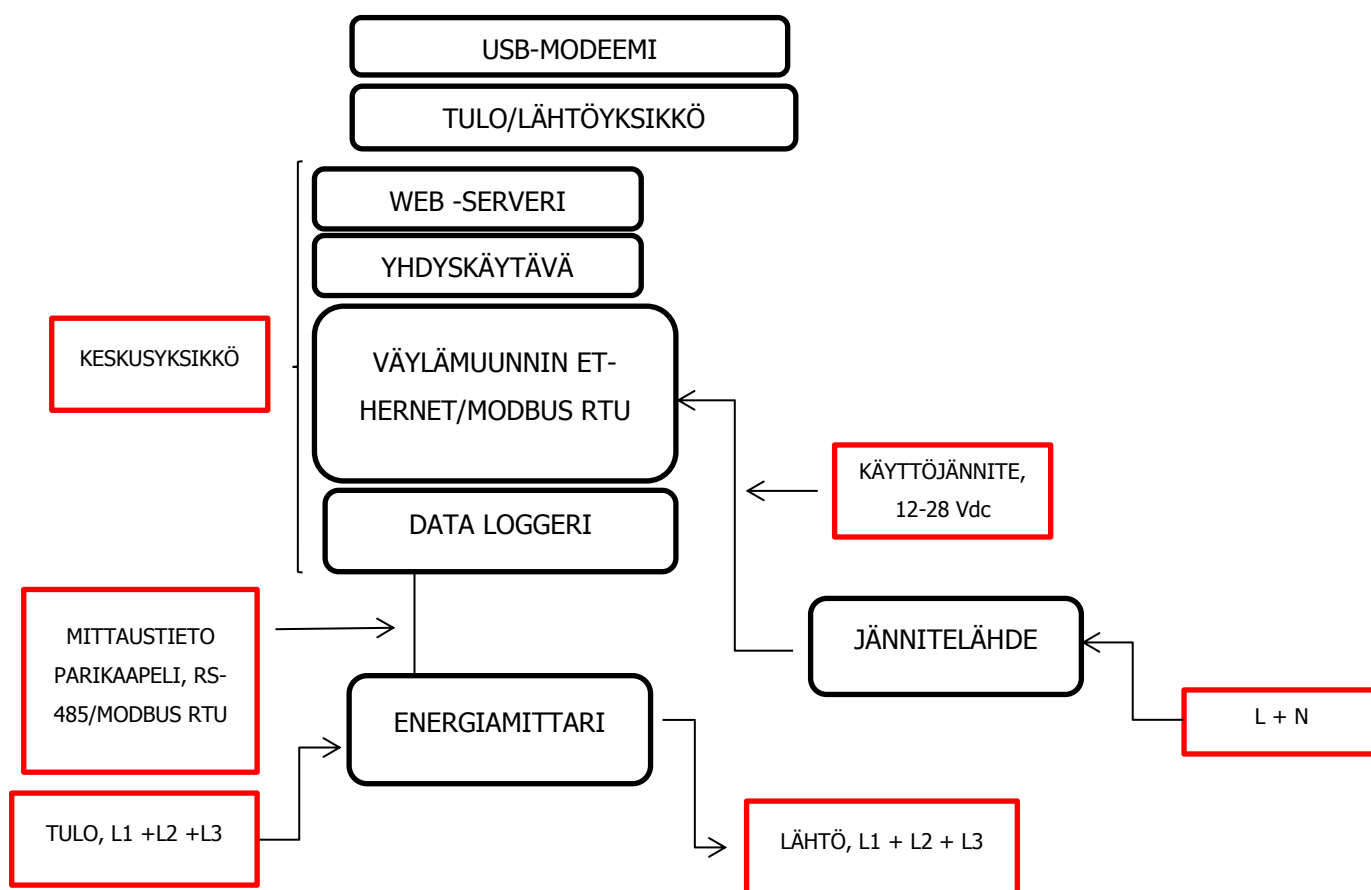
Monimittareihin, energiamittareihin ja sähkönlaatu-analysaattoreihin on mahdollista ohjelmoida etäluentaan välitettäviä hälytyksiä, mikäli laitteistoon kuuluu yhdyskäytävä ja internet-yhteys. Laitteen mallista riippuen mittarissa voi olla sisäisiä releitä, joita voidaan ohjata hälytyksillä. Joillakin valmistajilla Esineiden Internet on jo huomioitu laitteistossa.

Tietoturvasta huolehtiminen jätetään yleisesti ostajan vastuulle. Vaihtoehtoina ainakin on, että käytetään suojattuja verkkoja tai laitteita, jotka mahdollistavat hyvin suojatun VPN-yhteyden.

4 PILOTOINTIYMPÄRISTÖN TOTEUTUS

Pilotointilaitteistolle asetettiin vaatimuksiksi etäluenta sekä mittaustulosten tallennus ja lähetys FTP-palvelimelle langattomia tietoverkkoja käyttäen. Saadusta mittaustulosteesta on oltava mahdollisuus selvittää tuotettu ja kulutettu pätö- ja loisenergia sekä mittaussjakson huipputeho. THD-arvoa laitteelta ei vaadittu, eikä laitteiston tarkkuudelle asetettu erillisiä vaatimuksia. Lisäksi laitteiston täytyy pystyä toimittamaan hälytys ennalta määritettyjen hälytysehtojen mukaisesti FTP-palvelimelle.

Laitteistokartoituksen ja vaatimusmäärittelyjen perusteella pilottiympäristön toteutukseen päätyi erään valmistajan energiamittari etäluennan mahdollistavine laitteistoineen. Laitteisto ei ole varsinainen analysaattori, mutta se kykenee mittaamaan eri energialajit ja suuren joukon sähkön perussuureita, jotka on esitetty luvussa 4.1 taulukossa 6.



Kuva 7. Pilottiympäristön periaatekuva

Yllä on esitettyä periaatekuva laitteistosta. Web-serveri/yhdyskäytävä/väylämuunnin/datalogger – yksiköstä käytetään myöhemmin nimitystä keskusyksikkö.

Keskusyksikkö tarvitsee käyttöjännitteeksi 12–28 voltin tasajännitteen, joka tuotetaan säädettävällä jännitelähteellä. Tulo/lähtöyksikkö saa käyttöjännitteensä keskusyksiköltä. Energiamittari saa käyttöjännitteen suoraan vaiheiden tulosta. Energiamittarin ja keskusyksikön välinen tiedonsiirto on toteutettu parikaapelilla käyttäen RS-485 –väylää ja ModBus RTU –protokollaa.

4.1 Mittauksesta saatavat tiedot

Alla on esitettyinä mittauksesta saatavat tiedot. Tehokertoimen PF osalta ei ole saatu varmuutta onko mukana yliaaltoteho vai vastaako tehokerroin perusaallon $\cos \phi$:tä.

Taulukko 6. Mitattavat suureet

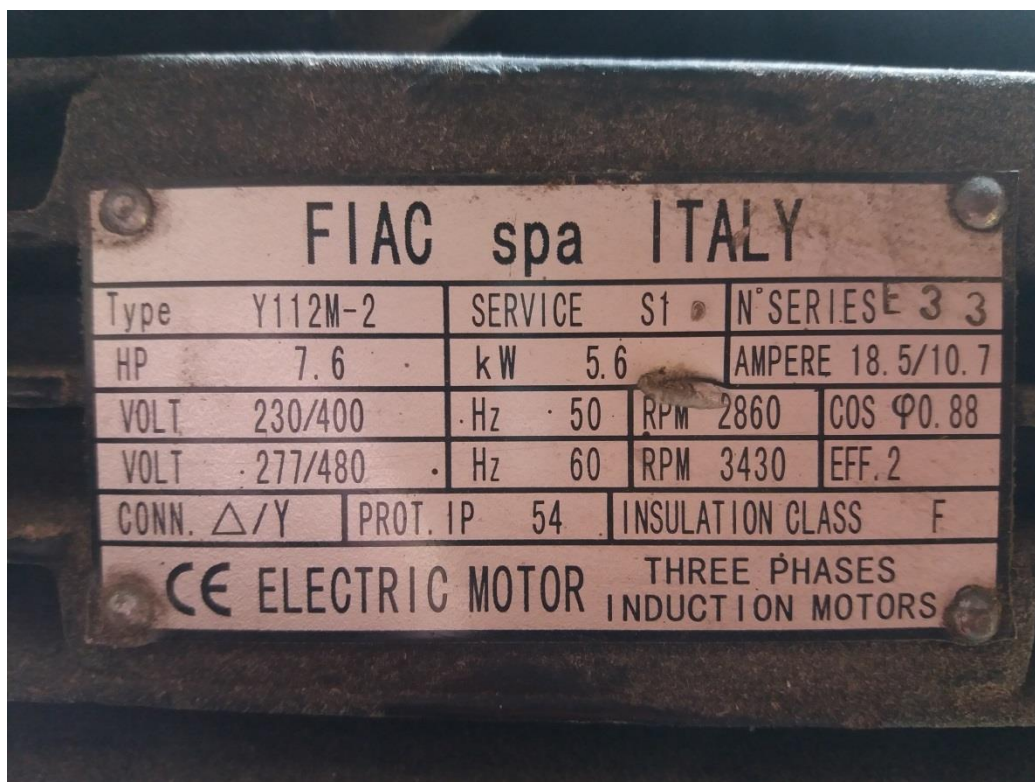
Järj. nro	Suure	Selitys
1	kWh	Kulutettu kilowattituntimäärä
2	kWh(-)	Tuotettu kilowattituntimäärä
3	V L-N sys	Vaihejännitteiden keskiarvo
4	V L1-N	Vaihejännite välillä L1-N
5	V L2-N	Vaihejännite välillä L2-N
6	V L3-N	Vaihejännite välillä L3-N
7	V L-L sys	Pääjännitteiden keskiarvo
8	V L1-L2	Pääjännite välillä L1-L2
9	V L2-L3	Pääjännite välillä L2-L3
10	V L3-L1	Pääjännite välillä L3-L1
11	A L1	L1-vaiheen virta
12	A L2	L2-vaiheen virta
13	A L3	L3-vaiheen virta
14	kW sys	Vaihetehojen summa
15	kW L1	Vaiheen L1 teho
16	kW L2	Vaiheen L2 teho
17	kW L3	Vaiheen L3 teho
18	kvar sys	Loistehojen summa
19	kvar L1	Vaiheen L1 loisteho
20	kvar L2	Vaiheen L2 loisteho
21	kvar L3	Vaiheen L3 loisteho
22	kVA sys	Näennäistehojen summa
23	kVA L1	Vaiheen L1 näennäisteho
24	kVA L2	Vaiheen L2 näennäisteho
25	kVA L3	Vaiheen L3 näennäisteho
26	PF sys	Tehokertoimen keskiarvo
27	PF L1	Vaiheen L1 tehokerroin
28	PF L2	Vaiheen L2 tehokerroin
29	PF L3	Vaiheen L3 tehokerroin
30	Phase sequence	Vaihejärjestys. 0.0 = L1-L2-L3 ja 1.0 =L1-L3-L2
31	Hz	Vaihtojännitteen taajuus

32-37	Varattu laajemmin mittaavan mittarin mittausarvoille	
38	W_{dmd}	Suurin teho
39	Varattu laajemmin mittaavan mittarin mittausarvoille	
40	kVArh	Kulutettu kilovaritunti
41	kVArh (-)	Tuotettu kilovaritunti
42-46	Varattu laajemmin mittaavan mittarin mittausarvoille	
47	kWh L1	Vaiheen L1 kilowattituntimäärä
48	kWh L2	Vaiheen L2 kilowattituntimäärä
49	kWh L3	Vaiheen L3 kilowattituntimäärä
50-68	Varattu laajemmin mittaavan mittarin mittausarvoille	

5 PILOTTIYMPÄRISTÖN TESTAUS

Pilottiympäristöä testattiin käynnistämällä laitteistoon kytketty kompressori, jonka tähteenkytketyn kolmivaiheisen oikosulkumoottorin nimellisteho on 5,6 kW. Moottorin arvokilpi on esitettyä alla kuvassa 8. Kompressori käynnistettiin säiliö tyhjänä ja sen annettiin käydä niin pitkään, että painekyt-kin katkaisi moottorin syötön säiliöpaineen ollessa noin 10 Bar. Mittaus sykliksi asetettiin lyhin mahdollinen aika, joka tässä tapauksessa oli yksi minuutti. Yhden minuutin mittaus sykliä lähetettiin 5 minuutin ajalta Ethernetin kautta etäpalvelimelle. Tiedosto on .csv-tyyppinen tekstitiedosto, jonka arvot eritellään toisistaan pilkuilla ja rivinvaihoilla. Tiedoston koko on tässä tapauksessa noin 4 kilotavua ja tiedosto voidaan avata taulukkolaskentaohjelmalla.

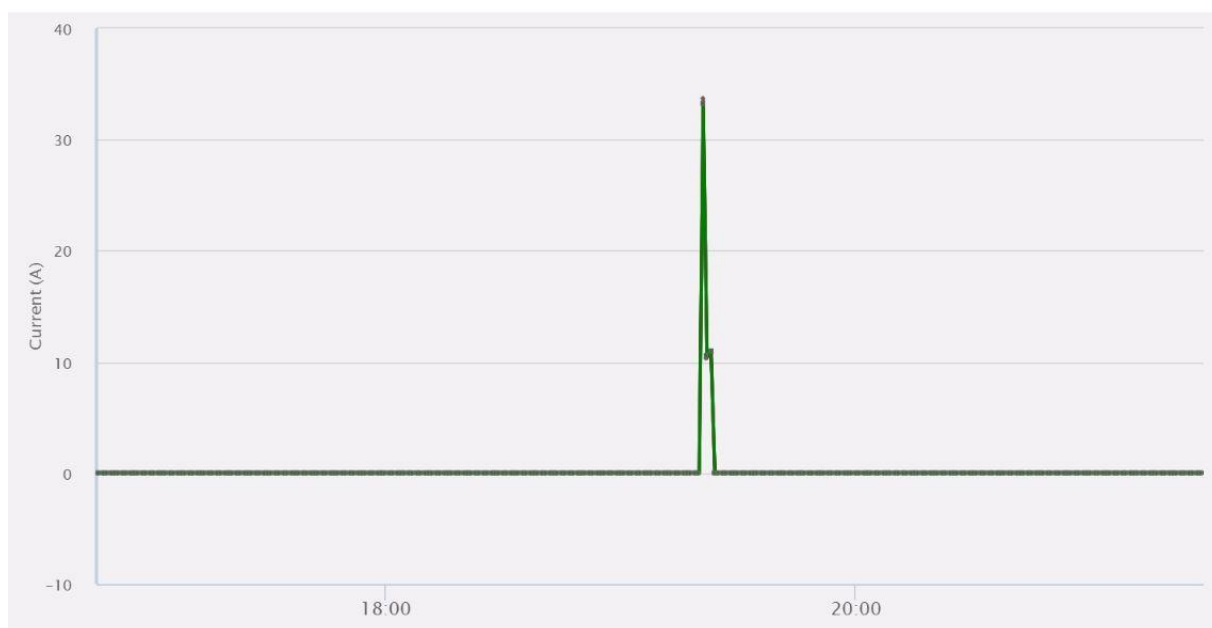
Pilottiympäristöä testattiin myös hälytysten osalta. Järjestelmälle asetettiin hälytysehdot virralle sekä jännitteelle. Hälytyksen syntyessä laitteiston pitäisi lähettää hälytystiedosto FTP-palvelimelle. Virran osalta hälytyslärajana käytettiin arvoa 15 A ja pääjännitteille hälytysalarajana arvoa 300 V. Virran ylärajahälytystä testattiin käynnistämällä samainen kompressori, jonka nimellisvirta jää alle hälytysrajan, mutta jonka lyhytaikainen käynnistysvirta ylittää hälytysrajan reilusti. Näin oli mahdollista todentaa laitteiston reagointi lyhytkestoisiin muutoksiin. Moottorin käynnistysvirta mitattiin myös käyttäen oskilloskooppia. Saatua tulosta verrattiin pilottilaitteiston tuottamaan virtamittaustulokseen. Jännitekatkoa testattiin katkaisemalla jännitesyöttö eri vaiheista avaamalla kyseisen vaiheen johdon-suojakytkin. Testauksessa käytiin läpi jokainen vaihe yksitellen, kaikki kombinaatiot avaten kaksi johdonsuojakatkaisijaa ja lopuksi kaikki yhtä aikaa sekä nopeassa tahdissa peräkkäin. Testausten välissä pidettiin muutaman minuutin tauko.



Kuva 8. Moottorin kilpiarvot

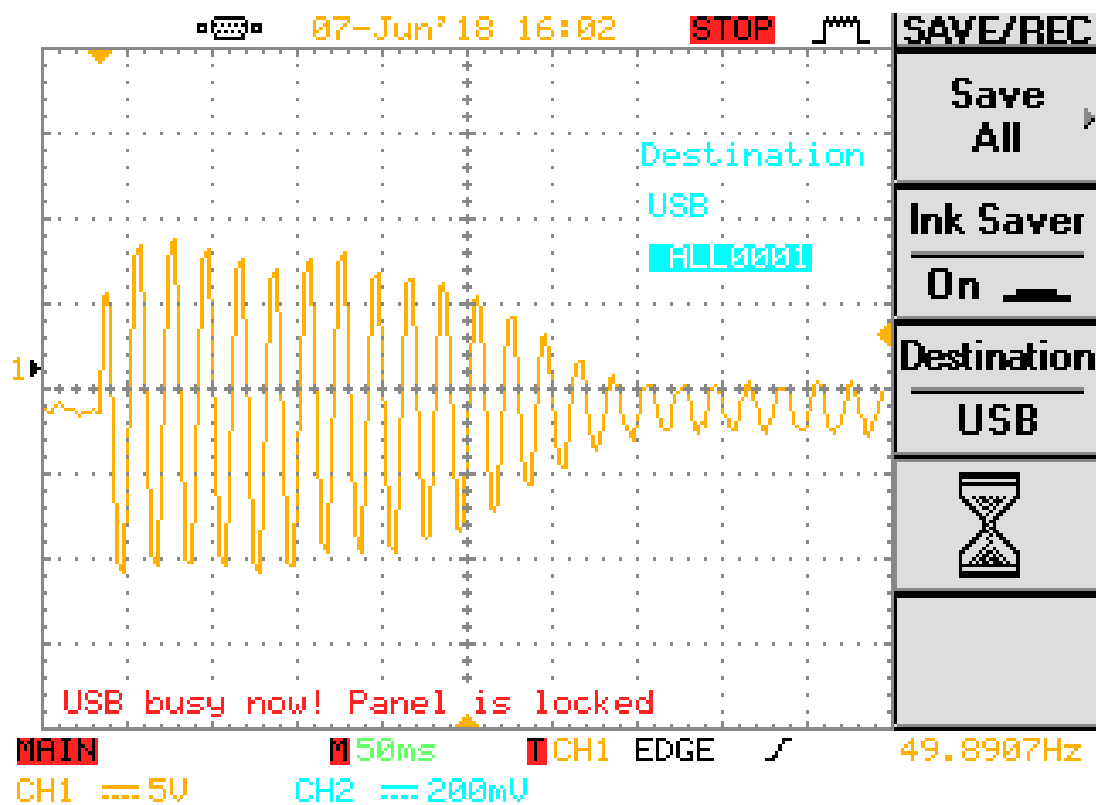
5.1 Kuormitustestauksen tulokset

Koko mittaustuloste on esitetty liitteessä 1. Tärkeimpiä mittaustulosteesta poimittuja arvoja on esitetty alla sekä taulukkomuodossa että kuvaajina.



Kuvaaja 1. Pilottilaitteiston mitaama sähkövirtojen maksimiarvojen käyttäytyminen käynnistyksessä

Alla on esitettynä oskilloskoopilla mitattu käynnistysvirta.



Kuvaaja 2. Oskilloskoopin virtamittaus

Alla on saadusta tulosteesta koostettuna moottorin ottama sähkövirta ja pätöteho viiden minuutin ajalta yhden minuutin loggausajalla.

Taulukko 7. Mittaustulosten tärkeimmistä arvoista koostettu taulukko

		Virta, A			Pätöteho, kW		
		L1	L2	L3	L1	L2	L3
1. minuutti	ka.	4,801	4,809	4,869	0,831	0,824	0,841
	minimi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	maksimi	33,319	33,705	33,261	2,698	2,723	2,688
2. minuutti	ka.	9,590	9,578	9,766	1,883	1,863	1,91
	minimi	8,772	8,627	8,772	1,690	1,654	1,674
	maksimi	10,346	10,425	10,592	2,052	2,051	2,103
3. minuutti	ka.	2,902	2,879	2,936	0,569	0,561	0,573
	minimi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	maksimi	10,889	10,788	10,989	2,170	2,137	2,179
4. minuutti	ka.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	minimi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	maksimi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5. minuutti	ka.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	minimi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	maksimi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

5.1.1 Tulosten tulkinta

Kuvaajasta 1 nähdään virran käyttäytyminen käynnistystilanteessa. Koska kyseessä on oikosulku-moottori, pitäisi käynnistysvirta olla noin 4-8 x nimellisvirta (Hietalahti 2013, 43) joka tähteenkytketylle moottorille oli 10,7 A. Moottorin nimellisvirta on ilmoitettu RMS- eli tehollisarvona ja hetkittäisarvon huippuarvo saadaan kertomalla nimellisvirta kertoimella $\sqrt{2}$. Kuvaajasta 1 nähdään maksimivirran huippuarvon olevan noin 33 A. Arvo ei aivan yllä teorian esittämään vähintään nelinkertaiseen nimellisvirtaan, mutta on kuitenkin selkeästi suurempi verrattuna nimellisvirtaan. Mittausarvosta ei voi sanoa onko kyseessä hetkellisarvo vai RMS-arvo. Koska kompressori käynnistettiin säiliö tyhjänä, pitäisi kompressorin pyörittämisen olla käyntisyklin alussa huomattavasti kevyempää kuin käyntisyklin lopussa, jolloin moottorin täytyy voittaa säiliön vastapaine. Tarkastelemalla mittaustulosteesta koottua taulukkoa 7 nähdään moottorin käynnistyvän ensimmäisen mittausminuutin aikana. Päätelmä voidaan varmistaa sillä, että mittaussajan minimiarvo on nolla. Koska seuraavan mittausminuutin minimiarvo on 8,7 A, maksimiarvo on 10,5 A ja keskiarvo on 9,6 A, voidaan päätellä, että moottorin kuorma muuttuu mittaussyklin aikana. Oletettavasti tämä kertoo moottorin kuorman kasvamisesta mittaussyklin aikana. Kolmannen mittausminuutin maksimiarvojen keskiarvo on 10,9 A, joka on hyvin lähellä moottorin virran nimellisarvoa 10,7 A.

Oskilloskooppimittauksessa 10 voltin jännite vastasi 100 ampeerin virtaa. Kuvaajasta 2 nähdään käynnistysvirran suurimpien huippujen välin olevan noin 19 voltia, sillä asteikko on 5 V / DIV. Tästä voidaan päätellä jännitteen huippuarvon olevan noin 9,5 voltia, jolloin mitattavan virran huippuarvo on noin 95 A. Mittauksessa on huomattava, että mittaustulokset ovat hetkellisarvoja. RMS-arvona

mittaustulos on $95 \text{ A} / \sqrt{2} = 67 \text{ A}$. Tulos poikkeaa käynnistyksen osalta huomattavasti pilottilaitteiston mittaustuloksesta. Kuvaajasta 2 nähdään käynnistyksen jälkeen virran tasoittuvan arvoon 1,5 voltia, joka vastaa virran hetkellisarvoa 15 ampeeria. Tehollisarvona mittaustulos on 10,6 ampeeria, joka vastaa hyvin lähelle moottorille ilmoitettua nimellisarvoa 10,7 A. Kuvaajan 2 arvojen tulkinta on kuitenkin hivenen summittainen, joten arvoja ei voi pitää tarkkoina.

5.2 Hälytystestauksen tulokset

Hälytystestauksen toisena päätavoitteena oli saada hälytystuloste lähetettyä FTP-palvelimelle. Laitteisto lähetti hälytystulosteita, mutta ne eivät sisältäneet testauksessa luotuja hälytyksiä. Ensimmäisen testijakson jälkeen laitteiston asetuksia muutettiin siinä toivossa, että lähetettävä hälytystuloste sisältäisi luodut hälytykset. Tuntemattomasta syystä tässä ei kuitenkaan onnistuttu. Hälytyslogiin pääsee kuitenkin käsiksi tietokoneella ja tulostetta voidaan tarkastella taulukkolaskentaohjelmalla. Hälytystuloste on kokonaisuudessaan esitetty liitteessä 2. Hälytystulosteesta saadut hälytysten tiedot esitetään koottuna ja tulkittuna kohdassa 5.2.1.

5.2.1 Tulosten tulkinta

Hälytystulosteesta nähdään luotujen hälytyksien tyyppi sarakkeista B, C, D, E ja F. Sarakkeessa B on hälyttävä suure, sarakkeessa C on hälyttävä kohde, sarakkeessa D on hälytyksen ehtomäärittely (suurempi kuin, pienempi kuin), sarakkeessa E on määritelty raja-arvo ja sarakkeessa F on suureen yksikkö. Esimerkiksi kohdista B6, C6, D6, E6 ja F6 saadaan merkintä $A \text{ L3} > 15 \text{ A}$. Hälytys on siis syntynyt, kun virta vaiheessa L3 on ollut suurempi kuin 15 A. Hälytyksen syntyajankohta nähdään sarakkeista N ja O, ja poistumisajankohta sarakkeista P ja Q. Tulosteessa on hälytyksien lisäksi tallennettuna laitteiston muita tapahtumia kuten päälle kytkemisiä ja laitteiston muutoksia. Erotuksena hälytyksiin niiden tapahtuma-ajat ovat sarakkeissa J ja K. Lisäksi sarakkeessa A on hälytyksien tapauksessa merkintä *A*: ja muissa tapahtumissa toimintaa kuvaava tarkenne.

Testauksen päivämäärä: 7.5.2018.

Klo 20.13 Kompressorin käynnistys. Kompressorin aiheuttama virtahälytys on nähtävissä tulosteessa aikavälillä 20:13:05-20:14:59 riveillä 41,42 ja 43. Hälytyksen olisi pitänyt syntyä virran ylittäessä 15 A ja poistua, kun virta laskee alle 15 A. Kuten aiemmassa kuormitustestauksessa jo todettiin, kompressorin virta on vain hyvin lyhyen aikaa yli 15 A, joten hälytyksen olisi pitänyt poistua lähes heti käynnistyksen jälkeen. Nyt hälytys oli kuitenkin voimassa lähes kaksi minuuttia. Käyttäytymisen syy voi olla se, että laite reagoi virran hetkellisarvoon. Hetkellisarvojen huippuarvo saadaan kertomalla tulosteesta näkyvä virran RMS-arvo kertoimella $\sqrt{2}$. Mikäli oletetaan, että moottori toimii virran suhteen nimellisarvolla 10,7 A, saadaan hetkellisarvon huippuarvoksi $10,7 \text{ A} \times \sqrt{2} = 15,13 \text{ A}$. Tällöin hälytysehdot toteutuvat.

Klo 20.29 1. vaiheen katkaisu, kesto aika 10 s. Ei löydy tulosteesta. Hälytys tulisi olla jännitehälytys vaiheiden L1-L2 ja L1-L3 väliltä. Kyseiset hälytykset löytyvät tulosteesta riveiltä 46 ja 48, mutta ne ovat syntyneet jo klo 18.51 laitteiston asetuksia määriteltäessä, jolloin laitteiston mittari oli

kytkettynä ainoastaan yksivaiheisena 2. vaiheen sisäänmenosta. Hälytykset eivät ole jostain syystä poistuneet sen jälkeen. Kaikki seuraavat hälytykset tämän testijakson ajan ovat olleet jo päällä, mikä selittää seuraavien testausvaiheiden merkintöjen puuttumisen.

Klo 20.39 2. vaiheen katkaisu, kesto aika 5 s. Ei löydy tulosteesta.

Klo 20.53 3. vaiheen katkaisu, kesto aika 3 s. Ei löydy tulosteesta.

Klo 21.05 1. ja 2. vaihe katkaisu, kesto aika 3 s. Ei löydy tulosteesta.

Klo 21.18 1. ja 3. vaihe katkaisu, kesto aika 1 s. Ei löydy tulosteesta.

Klo 21.37 2. ja 3. vaihe katkaisu, kesto aika 1 s. Ei löydy tulosteesta.

Klo 21.47 Kaikkien vaiheiden katkaisu, kesto aika 1 s. Ei löydy tulosteesta.

Seuraavaan testaukseen laitteiston asetuksia muutettiin. Laitteisto ei tosin vieläkään toiminut toivotulla tavalla. Testaus toistettiin muutoksien teon jälkeen seuraavasti:

Testauksen päivämäärä: 9.5.2018.

Klo 13.46 Kompressorin käynnistys. Kompressorin aiheuttama virtahälytys on tulosteessa nähtävissä selkeästi aikavälillä 13:46:54-13:48:45 riveillä 13, 14 ja 15. Tämäkin hälytys on ollut päällä lähes kaksi minuuttia.

Klo 13.53 1. vaiheen katkaisu, kesto aika 10 s. Tähän kellonaikaan löytyy merkintä jännitehälytyksen päättymisestä 9.5.2018 klo 13:53:50 tulosteen kohdassa Q47 jännitehälytyksenä välillä L2-L3 kohdassa C47. 1. vaiheen katkaisemisesta olisi pitänyt syntyä jännitehälytys vaiheiden L1-L2 ja L1-L3 väliltä. Kyseiset jännitehälytykset löytyvät tulosteesta, mutta ne ovat syntyneet jo 7.5.2018 klo 18.51 eivätkä ole sen jälkeen poistuneet, vaikka laitteistoon on ollut kytkettynä kaikki vaiheet normaalitilan mukaisesti tämän ajankohdan jälkeen.

Klo 13.57 2. vaiheen katkaisu, kesto aika 5 s. Jännitehälytys on nähtävissä tulosteessa kohdassa O12 jännitehälytyksenä välillä L2-L3 kohdassa C12. 2. vaiheen katkaisusta olisi pitänyt syntyä myös jännitehälytys L1-L2. Hälytyksen syntyajankohta on 13:57:46, mutta poistumisajankohta on vasta 14:32:29, vaikka hälytyksen olisi pitänyt poistua noin 5 sekuntia syntyajankohdan jälkeen. Testaustoimenpiteet, joiden ajankohdat ovat 14.00, 14.06, 14.12, 14.19, 14.23, 14.26 ja 14.28 eivät ole jättäneet merkintöjä hälytyslogiiniin, sillä niistä syntyneet hälytykset ovat olleet jo päällä koko testauksen ajan.

Klo 14.00 3. vaiheen katkaisu, kesto aika 3 s. Ei löydy tulosteesta.

Klo 14.06 1. ja 2. vaihe katkaisu, kesto aika 3 s. Ei löydy tulosteesta.

Klo 14.12 1. ja 3. vaihe katkaisu, kesto aika 1 s. Ei löydy tulosteesta.

Klo 14.19 2. ja 3. vaihe katkaisu, kesto aika 1 s. Ei löydy tulosteesta.

Klo 14.23 Kaikkien vaiheiden katkaisu, kesto aika alle 1 s. Ei löydy tulosteesta.

Klo 14.26 Kaikkien vaiheiden katkaisu, kesto aika alle 1 s. Ei löydy tulosteesta.

Klo 14.28 Kaikkien vaiheiden katkaisu, kesto aika 3 s. Ei löydy tulosteesta.

Klo 14.32 Vaiheet katkaistu ja suljettu peräkkäin järjestyksessä 1,2,3 ja 3,2,1 mahdollisimman nopeasti. Tällöin on syntynyt jännitehälytys L2-L3 rivillä 9 ja poistunut jännitehälytys L2-L3 rivillä 12. Syntynyt jännitehälytys on jäänyt poistumatta, vaikka jännite on palautunut.

Klo 14.33 Kompressorin käynnistys. Kompressorin aiheuttama virtahälytys on tulosteessa nähtävissä selkeästi aikavälillä 14:33:13-14:35:03 riveillä 6, 7 ja 8. Tähän pätee sama kuin edellisiinkin käynnistyskäynnistyksiin.

Kokonaisuutena hälytystestauksesta voi todeta, että jännitehälytykset ovat jostakin syystä hyvin hitaita poistumaan. Kaikki hälytykset eivät myöskään synny häiriön ilmetessä, jos sama hälytys on jo päällä.

6 LOPPUPÄÄTELMÄT

Työssä tarkasteltiin DIN-kiskoon asennettavien mittalaitteiden mahdollisuuksia energian ja sähkönlaadun mittauksessa, huipputehon rajoittamisessa ja kysyntäjoustossa sekä toteutettiin pilottiympäristö laitteistokartoituksen ja vaadittavien ominaisuuksien perusteella. DIN-kiskolaitteet jaettiin karkeasti ominaisuuksien perusteella kolmeen luokkaan. Jokaisesta luokasta esitettiin tyypilliset ominaisuudet ja summittainen hinta suomalaisten verkkokauppojen hintojen perusteella.

Pilottiympäristöön valitun mittauslaitteiston vaadittavat ominaisuudet olivat etäluentaa sekä mittaus tulosten tallennus ja lähetys FTP-palvelimelle. Mittalaitteistolta vaadittiin myös hälytysten toimittaminen FTP-palvelimelle. Mittarin mittauskohteiksi vaadittiin vähintään laskutukseen vaikuttavat suureet. Mittaustulokset osoittautuivat vaatimuksiin verrattaessa riittäviksi ja tiedonvälitys etäluentaan toimi moitteetta. Mittaustulosteesta kuluttajan on mahdollista seurata sähköenergian tuotantoa ja kulutusta, loistehon osuutta ja huipputehoa, eli kaikkia laskutukseen vaikuttavia tekijöitä. Saadusta mittaustulosteesta on mahdollista tarkastella sähkötekniisiä suureita huomattavasti laajemminkin. On kuitenkin erityisesti huomattava, että vaikka laitteella olisikin laskutukseen tarvittava mittauksen MID-hyväksyntä, ei hyväksyntä kuitenkaan välttämättä koske tuotettua energiaa. Laitteet eivät myöskään yleensä netota. Sähkön pientuottajalle molemmilla seikoilla on merkitystä. Yliaaltoanalyysiin pilottiympäristöön valittu laite ei pystynyt, ja reagointi hyvin nopeisiin muutoksiin jätettiin testaamatta. Lähes kuormittamattoman oikosulkumoottorin hetkellisen käynnistysvirran laite kuitenkin rekisteröi.

On huomioitava, että mittauslaitteisto koostui useammasta osasta. Pelkällä mittarilla voi toki seurata hetkellisarvoja, mutta jos mittausarvoja halutaan tarkastella pidemmältä aikaväliltä, on mittarin oltava yhteydessä erilliseen dataloggeriin. Jos mittaustulokset halutaan lukea etänä tai lähettää tulokset erilliselle palvelimelle, on laitteistoon liitettävä vielä yhdyskäytävä ja erillinen lähetysyksikkö. Laitteiston dataloggeri määrää mittausjakson pituuden. Pilottiympäristön tapauksessa mittaussykli oli lyhyimmillään yksi minuutti, jolta saatiin keskiarvo sekä minimi- ja maksimiarvot.

Hälytysten osalta pilottilaitteistolta vaadittiin jännite- ja virtahälytys toimitettuna FTP-palvelimelle. Jännitehälytystä testattiin katkomalla mittalaitteen syöttöjännitettä ja virtahälytystä testattiin käynnistämällä 5,6 kW:n oikosulkumoottori.

Hälytysten osalta laitteisto jätti toivomisen varaa. Virtahälytykset olivat päällä huomattavasti pitempään kuin mikä oli hälytysehdot täyttävän tapahtuman kesto. Syynä voi kuitenkin olla hälytysehtojen väärinymmärtämisestä johtuva puutteellinen määrittely. Jännitehälytysten osalta hälytyksissä esiintyi epä johdonmukaisuutta. Jännitehälytykset jäivät joko päälle tai poistuivat hälytysehtojen täytyessä. Hälytyksiä ei myöskään saatu välitettyä FTP-palvelimelle.

LÄHTEET

Aumala Olli. 2006. Mittaustekniikan perusteet. 13. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Automatización Eléctrica. 2018.

- (1) Haettu 11.6.2018 osoitteesta https://www.electricalautomationnetwork.com/en/entes/epm-06-din-electric-meter-entes?search_query=epm-06-din&results=4
- (2) Haettu 11.6.2018 osoitteesta https://www.electricalautomationnetwork.com/en/entes/epm-06cs-din-electric-meter-entes?search_query=epm-06-din&results=4

COLLIN Jari ja SAARELAINEN Ari. 2016. Teollinen internet. Alma Talent.

Elfa Distrelec, 2018.

- (1) Haettu 11.6.2018 osoitteesta <https://www.elfadistrelec.fi/fi/energiamittari-carlo-gavazzi-em27172dmv53xosx/p/30066496?queryFromSuggest=true>
- (2) Haettu 11.6.2018 osoitteesta https://www.elfadistrelec.fi/fi/energiamittari-carlo-gavazzi-em27172dmv53xosx/p/30066496?q=carlo+gavassi&filter_categoryCodePathROOT%2Fcat-L1D_379516=cat-L2D_379613&filter_categoryCodePathROOT=cat-L1D_379516&page=4&origPos=4&origPageSize=50&simi=98.35
- (3) Haettu 11.6.2018 osoitteesta <https://www.elfadistrelec.fi/fi/virtamuuntaja-kanavia-60-carlo-gavazzi-tcd0m6080cmx/p/30066511>

Entes. 2018.

- (1) Haettu 11.6.2018 osoitteesta http://www.enerjiverimliligi.com/en/multimetre_ud_en.asp?livecatID=4&livecataltID=19&urunID=10
- (2) Haettu 11.6.2018 osoitteesta http://www.enerjiverimliligi.com/en/multimetre_ud_en.asp?livecatID=4&livecataltID=19&urunID=14
- (3) Haettu 11.6.2018 osoitteesta http://www.enerjiverimliligi.com/en/epm7_sebeke_analizorleri_ud_en.asp?livecatID=2&livecataltID=149&urunID=4
- (4) Haettu 11.6.2018 osoitteesta http://www.enteselectronics.com/dosyalar/MPR_53CS_ing_A4396_R2%20.pdf
- (5) Haettu 11.6.2018 osoitteesta http://entes.com.tr/en/dosyalar/EMG_Series_EN-ver_2_2.pdf

Hedtec. 2018. Haettu 11.6.2018 osoitteesta <http://tuoteluettelo.hedtec.fi/fi/g4970/p1380/epm-06-din-mittari>

Helen Sähköverkko Oy. 2018. Haettu 11.6.2018 osoitteesta <https://www.helensahkoverkko.fi/palvelut/tuotteet/>

Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. 1. painos. Vantaa: AMK-Kustannus Oy.

Kuopion Energia Oy. 2018. Haettu 11.6.2018 osoitteesta <https://www.kuopionenergia.fi/sahkoverkko/tietoa-sahkoverkostamme/sahkonsiirtohinnot/>

NISU Timo. 2016. IoT sensoreiden energian louhinta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikka.

REYNDERS Deon, MACKAY Steve ja WRIGHT Edwin. Practical industrial data communications: best practice techniques. 2005. Amsterdam: Butterworth-Heinemann.

Smart Energy Transition. 2018. Keskustelupaperi: Sähköenergian mittaus kuluttajien energiapalvelujen ja puhtaan energian mahdollistajana. Haettu 11.6.2018 osoitteesta <http://smartenergytransition.fi/fi/keskustelupaperi-sahkoenergian-mittaus-kuluttajien-energiapalvelujen-ja-puhtaan-energian-mahdollistajana/>

SHM 2018. Haettu 11.6.2018 osoitteesta <http://www.productsonline.info/table.php?LANG=UK&PG=110&FAMILY=000>

SLO-verkkokauppa. 2018.

- (1) Haettu 11.6.2018 osoitteesta <https://verkkokauppa.slo.fi/fi/a-v-cos-fii-mittari-epm-06-din-6774035>
- (2) Haettu 11.6.2018 osoitteesta <https://verkkokauppa.slo.fi/fi/virtamuuntaja-ct-25-ct-25-2703012>
- (3) Haettu 11.6.2018 osoitteesta <https://verkkokauppa.slo.fi/fi/kwh-mittari-epm-07-din-epm-07s-din-6774021>
- (4) Haettu 11.6.2018 osoitteesta <https://verkkokauppa.slo.fi/fi/verkkoanalysointilaite-mpr-53cs-din-6774052>
- (5) Haettu 11.6.2018 osoitteesta <https://verkkokauppa.slo.fi/fi/ethernet-modbus-vaylasovitin-emg-12-2804000>

ST-KÄSIKIRJA 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. Sähkötieto ry. 2017. Espoo: Sähköinfo Oy.

STK. 2018 Haettu 13.6.2018 osoitteesta <https://www.sahkonumerot.fi/1462228/>

TEM. 2017. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 38/2017. Matkalla kohti joustavaa ja asiakaskeistä sähköjärjestelmää. Haettu 12.6.2018 osoitteesta <https://tem.fi/julkaisu?pubid=URN:ISBN:978-952-327-243-9>

There 2018.

- (1) Haettu 11.6.2018 osoitteesta <https://www.therecorporation.com/fi/kodin-omistajille/>
- (2) Haettu 11.6.2018 osoitteesta <https://www.therecorporation.com/theren-uusi-laitesukupolvi-ja-sahkon-kysyntajousto-nyt-myyynnissa/>

LIITE 1 MITTAUSTULOSTE

Taulukon vasemmassa reunassa, sarakkeessa A, ylimmillä viidellä rivillä on mittausjakson keskiarvo AC, seuraavilla viidellä rivillä mittausjakson minimi A_{CMIN}, ja alimmilla viidellä rivillä mittausjakson maksimi A_CMAX. Lukemisen helpottamiseksi jokaisen mittausjakson ensimmäinen minuutti esitetään korostettuna. Sarakkeessa B on nähtävissä mittauslaitteen tuoteperhe ja sarakkeessa D on mittauslaitteen mallimerkintä. Sarakkeessa E on käytetty COM-portti ja sarakkeessa F on ModBus-osoite. Sarakkeessa G on aika Epoch-formaatissa ja sarakkeessa H on paikallinen aika. Jäljelle jäävien sarakkeiden 1-51 selitykset on koottu kohdassa 4.1 olevaan taulukkoon 6.

25	26	27	28	29	30	31	32	
1.042	0.427	0.43	0.424	0.427	0.0	49.998		
2.232	0.856	0.862	0.851	0.855	0.0	50.0		
0.677	0.241	0.243	0.24	0.24	0.0	50.005		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.033		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.9		
2.009	0.838	0.842	0.834	0.833	0.0	50.0		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0		
4.074	0.835	0.837	0.837	0.831	0.0	50.0		
2.414	0.869	0.874	0.863	0.871	0.0	50.0		
2.497	0.876	0.88	0.875	0.873	0.0	50.1		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.1		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0		
33	34	35	36	37	38	39	40	
					0.0		1.8	
					2.88		1.8	
					5.82		1.9	
					1.44		1.9	
					0.0		1.9	
					0.0		1.8	
					2.88		1.8	
					5.82		1.8	
					1.44		1.9	
					0.0		1.9	
					0.0		1.8	
					2.88		1.8	
					5.82		1.9	
					1.44		1.9	
					0.0		1.9	
41	42	43	44	45	46	47	48	49
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0
0.0						1.0	5.5	1.0

LIITE 2 HÄLYTYSTULOSTE

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Message	Description	Module	Start	Date	Start	Time	End	Date	End	Time						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-10	14:56:29						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	18:12:59						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	16:55:46						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	14:48:39						
A:	A	L3	>	15.00	A	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-09	14:33:13	2018-05-09	14:35:03
A:	A	L2	>	15.00	A	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-09	14:33:13	2018-05-09	14:35:03
A:	A	L1	>	15.00	A	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-09	14:33:13	2018-05-09	14:35:02
A:	V	L2-L3	<	300.00	V	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-09	14:32:52		
Reserved	alarm	Halytys_testauEM		(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-09	14:28:07	2018-05-09	14:28:11				
Reserved	alarm	Halytys_testauEM		(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-09	14:23:27	2018-05-09	14:23:29				
A:	V	L2-L3	<	300.00	V	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-09	13:57:46	2018-05-09	14:32:29
A:	A	L3	>	15.00	A	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-09	13:46:54	2018-05-09	13:48:46
A:	A	L2	>	15.00	A	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-09	13:46:54	2018-05-09	13:48:45
A:	A	L1	>	15.00	A	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-09	13:46:54	2018-05-09	13:48:45
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	13:40:10						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	13:33:55						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	13:32:54						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	13:32:26						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	13:09:03						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	13:08:33						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	12:52:38						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	12:52:07						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	12:28:06						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	12:27:37						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	11:48:55						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	11:48:25						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	11:17:22						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	11:16:51						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	10:51:55						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	10:51:20						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	10:19:00						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	10:18:12						
Changed	Laitte 1	Setting	Laitte1	(Addr.		0/	Pos.	0)	2018-05-09	10:14:24						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-09	09:59:58						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-08	10:17:28						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-08	09:53:23						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-08	09:52:58						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-08	09:48:28						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-07	21:49:20						
A:	A	L3	>	15.00	A	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-07	20:13:06	2018-05-07	20:14:59
A:	A	L2	>	15.00	A	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-07	20:13:05	2018-05-07	20:14:58
A:	A	L1	>	15.00	A	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-07	20:13:05	2018-05-07	20:14:58
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-07	20:01:06						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-07	18:52:32						
A:	V	L3-L1	<	300.00	V	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-07	18:51:06		
A:	V	L2-L3	<	300.00	V	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-07	18:51:05	2018-05-09	13:53:50
A:	V	L1-L2	<	300.00	V	testi	EM	(Addr.		2/	Pos.	0)	2018-05-07	18:51:05		
Changed	Laitte 1	Setting	Laitte 1	(Addr.		0/	Pos.	0)	2018-05-07	18:50:52						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-07	16:59:12						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-07	15:06:44						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-07	13:41:50						
Power	Off	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-04	19:24:14						
Power	On	Laitte 1	Laitte 2	(Addr.		1/	Pos.	0)	2018-05-04	17:45:35						