

Heikki Hietanen

## Energianmittarointijärjestelmä

Metropolian automaatiolaboratorio

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Automaatio YAMK  
Automaatioteknologia  
Opinnäytetyö  
11.10.2015

Tekijä(t) Otsikko	Heikki Hietanen Energiamittarointijärjestelmä Metropoliaan
Sivumäärä Aika	78 sivua + 7 liitettä 11.10.2015
Tutkinto	Insinööri YAMK
Koulutusohjelma	Automaatioteknologia (YAMK)
Suuntautumisvaihtoehto	Automaatioteknologia
Ohjaaja(t)	Metropolia, Antti Liljaniemi (lehtori)
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa energiamittausjärjestelmän opetusympäristö Metropolian Vantaan yksikköön. Opetusympäristön tarkoituksena oli mahdollistaa ja havainnollistaa erilaisten energiamuotojen mittausta sekä analysointia osana energiatehokkuutta. Järjestelmän tarkoitus oli lisäksi mahdollistaa sähkölaadun analysointia ja raportointia, joita voidaan hyödyntää sähkötekniikan opinnoissa. Lisäksi järjestelmään toteutettiin mahdollisuus muutamien eri sähkömoottorityyppien energiatehokkuuden tarkasteluun.</p> <p>Tutkimusmenetelmänä opinnäytetyössä käytettiin konstruktivistista tutkimusmenetelmää. Konstruktivisessa tutkimuksessa pyritään ratkaisemaan käytännön ongelma ja tuottamaan kontribuutiota sille tieteenalalle, jolla sitä käytetään. Tässä opinnäytetyössä oli käytännön haasteena toteuttaa opetusympäristö monipuolisella mittaroinnilla, joka myös vastaa viimeisimpiä tarpeita käytännön sovelluksissa yritysmaailmassa. Opinnäytetyöhön on taustaksi kerätty aineistoa mittaroinnin merkityksestä energiatehokkuudessa. Teoriaosuudessa on kuvattu kuinka ilmaston muutokseen ja energiankäyttöön liittyvistä toimenpiteistä päädytään energiatehokkuusvaatimuksiin, joissa mittaroinnilla, raporteilla ja analysoinnilla on merkittävä osuus.</p> <p>Mittareiden liittäminen kiinteistöön ei kaikilta osin onnistunut parhaalla mahdollisella tavalla, jotta saataisiin todellista kiinteistön energiankulutustietoa. Kiinteistön järjestelmiin ei järjestynyt lupaa liittyä mikäli se aiheuttaisi muutoksia LVIS-piirustuksiin tai asennuksiin. Järjestelmä onnistuttiin kuitenkin toteuttamaan opetuskäyttöön riittävällä kattavuudella ja käytännön sovellettavuudella</p> <p>Työn tuloksena syntyi opetusympäristö, jota voi käyttää osana energiatehokkuuden opetusta havainnollistamaan ja käytännössä opettamaan mittareiden liittämistä energianhallintajärjestelmään. Lisäksi järjestelmässä voi tutustua kulutusraportteihin ja sähkölaadun analysointiin. Opinnäytetyössä suunniteltiin muutama harjoitustyö, jotka toimivat järjestelmän opetuksessa. Opinnäytetyö toimii myös järjestelmän dokumentaationa ja käsikirjana.</p>	
Avainsanat	Energiamittarointi, energiatehokkuus, energiakatselmointi

Author(s) Title	Heikki Hietanen Energy metering system for Metropolia UAS Vantaa
Number of Pages Date	78 pages + 7 appendices 11 October 2015
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	Automation Technology
Instructor(s)	Antti Liljaniemi, Principal Lecturer

The goal of the thesis was to implement an energy measurement system for teaching purposes at Metropolia UAS Vantaa campus. The teaching environment enables the measurement of different forms of energies and demonstrates how to analyze the measurements related to energy efficiency. Furthermore, the purpose of the system was also to be able to measure and analyze the quality of the electricity and generate reports that can be applied in electrical engineering teaching. Implementation also included the possibility to study a different kinds of electric motors and how they are related to energy efficiency.

The research method was chosen to be a constructive method where the goal is to solve a practical problem and provide contribution for the specific discipline where it is applied. In this thesis the practical problem was to implement teaching environment with a versatile metering that at the same time fulfills the latest needs in real world applications. As background information the thesis contains a theory of the importance of metering in energy efficiency. The theory part also describes how the climate change and the energy usage finally turns into reality and influences energy efficiency requirements where the metering, reports and analyzation play an important role.

Integration of the metering in the existing system did not succeed very well in order to get the real measurement data from the energy consumption of the building. The reason was that the system had to be implemented in a way that does not require the update of the existing electrical drawings nor the new installations. In the end the system was implemented in a way that was adequate and covered the essentials for the teaching purposes at a practical level.

As a result of this thesis, a teaching environment that can be used to study and demonstrate the energy efficiency and teach in a practical way how to integrate the energy metering into energy management system was implemented. Furthermore, the implemented system can be used for studying the reporting and electricity quality analysis. One part of the thesis was to plan a few basic laboratory works that will create a basis for system learning. The purpose of this thesis was also to be a documentation and serve as a handbook for the system.

Keywords	Energy measurement, Energy efficiency, Energy review
----------	--

## Sisällys

1.	Johdanto	1
2.	Energian vaikutus talouteen ja ympäristöön	3
3.	Energiatehokkuus Suomessa	13
4.	Metropolian energianmittausjärjestelmä	34
5.	Energiamittausjärjestelmä ja ohjelmistot	36
5.1	Pääsähkönmittaus	36
5.2	Labran valaistusryhmänmittaus	38
5.3	Moottorimittaus	42
5.4	Sähkömoottorien energiatehokkuus	49
5.5	Prosessimittaus	61
5.6	Ohjelmointiympäristö	65
5.7	Metropolian PME energianmittausjärjestelmä	66
6.	Muita energiamittarointijärjestelmiä	74
7.	Järjestelmän hyödyntäminen opetuskäytössä	76
	Loppupäätelmät	77
	Lähteet	79

## **Liitteet**

Liite 1. Skriptikieli AC\_PM\_State\_Machine

Liite 2. Tilanvaihto PM ja Oikosulkumoottorin ohjauksessa

Liite 3. Moottorimittaus sähkökuvat

Liite 4. Prosessimittaus sähkökuvat

Liite 5. Päämittaus sähkökuvat

Liite 6. IP-osoitteet

Liite 7. Labra 1. tutustuminen järjestelmän eri osuuksiin.

## Lyhenteet

PME	Power Monitoring Expert, Energian mittarointi, analysointi, raportointi ja hallinta järjestelmä. Schneider Electric ohjelmisto
Mtoe	Million tons of oil equivalent. Energiämäärä, joka saadaan miljoonasta tonnista öljyä.
ESCO	Energy Service Company: Yritys, joka tekee energiasäästösopimuksen
PM	Permanent Magnet, Kestomagneetti
KNL	Käytettävyys, Nopeus, Laatu: Mittaa kokonaistehokkuutta
PLC	Programmable Logic Device, Ohjelmitava Logiikka
Modbus RTU	Modbus sarjaliikenne protokolla
Modbus TCP/IP	Modbus ethernet protokolla
WAGES	Water, Air, Gas, Electricity, Steam: (liittyy eri muodoissa mitattuun energiaan)

## 1. Johdanto

Opinnäytetyö tehdään Schneider Electricille Suomessa. Liiketoiminta-alue on teollisuus. Schneider Electric on monikansallinen yhtiö, jolla on toimintaa kaikkialla maailmassa. Schneider Electric toimii globaalisti energianhallinnassa. Työntekijöitä on noin 150 000. Liikevaihto vuonna 2013 oli noin 24 miljardia euroa. Schneider Electric liiketoiminta-alueita ovat: Teollisuus, kiinteistöt, datakeskukset, sähkönjakelu ja energia. Näille liiketoiminta-alueille Schneider Electric toimittaa komponentteja, ratkaisuita sekä palveluita.

Opinnäytetyössä toteutetaan energiamittausjärjestelmä Metropolia ammattikorkeakoulun automaation koulutusohjelmaan. Järjestelmä toimitetaan kokonaisuutena, jossa mukana ovat laitteet, ohjelmistot, asennukset, käyttöönotto sekä koulutus. Energiamittausjärjestelmän tarkoituksena on mahdollistaa oppilaiden koulutus energiamittauksessa käytettäviin laitteistoihin ja ohjelmistoihin sekä energianhallinnan kokonaisuuteen. Merkittävä osuus on mittaroinnin liittäminen monitorointi- ja raportointijärjestelmään PME (Power Monitoring Expert). Mittausjärjestelmä mahdollistaa mittaukset pääsähköstä, ryhmäkeskuksesta, paikallisesta moottorinmittauksesta sekä prosessimittauksesta. Nämä kattavat ison osan energiamittauksessa eteen tulevista tarpeista ja mahdollistavat oppilaiden kattavan koulutuksen sekä erilaisten energianhallintaan liittyvien käsitteiden ymmärtämisen. Tutkimusmenetelmänä opinnäytetyössä tullaan käyttämään konstruktivistista tutkimusmenetelmää. Konstruktivisessa tutkimuksessa pyritään ratkaisemaan käytännön ongelma ja tuottamaan kontribuutiota sille tieteenalalle, jolla sitä käytetään. Tässä opinnäytetyössä on käytännön haasteena toteuttaa opetusympäristö monipuolisella mittaroinnilla, joka kattaa eri energiamuotojen mittaamisen.

Opinnäytetyössä tullaan käsittelemään toteutuksen eri osa-alueet laitteiston ja ohjelmiston osalta. Lisäksi tarkoituksena on suunnitella muutamia harjoitustöitä, joita voitaisiin sisällyttää sopiviin kursseihin. Harjoitustöissä oppilaan olisi tarkoitus perehtyä toimenpiteisiin laitteiston liittämiseksi energiamittarointijärjestelmään sekä muodostaa energiakulutuksen mittareita ja trendejä. Lisäksi oppilas osaisi perustiedoista päätellä ja



ehdottaa soveltuvia energiansäästötoimenpiteitä. Energiamittausjärjestelmän opetuksella oppilaitoksissa on tarkoitus parantaa oppilaiden tietämystä ja osaamistasoa energianhallinnasta. Tämä edistää osaavien työntekijöiden saamista tulevaisuudessa energianhallintaan liittyviin tehtäviin sekä edesauttaa kestävän kehityksen toteutumista. Teoriaosuudessa on tarkoitus tarkastella energiatehokkuutta isommassa mittakaavassa ja ymmärtää kuinka se jalkautuu kansallisiksi käytännön toimenpiteiksi.

## 2. Energian vaikutus talouteen ja ympäristöön

Tarve energian säästölle ja energian kulutuksen vähentämiselle tulee huolesta ilmastonmuutokseen. YK:n ilmastonmuutoskonventti on ensimmäinen kansainvälinen sopimus, jossa ilmastonmuutoksen huoleen on tartuttu ja päämääränä on vähentää kasvihuonekaasuja. Sopimus on kirjoitettu 1992. Sopimus tunnetaan nimellä ilmastopopimus, joka on johtanut konkreettisia toimenpiteitä ja tavoitteita velvoittavaan Kioton ilmastopopimukseen vuonna 1997 (tunnetaan myös Kioton pöytäkirjana). [1]. Pöytäkirjan velvoitteet astuivat voimaan 2005. Sen konkreettinen tavoite teollisuusmaille oli vähentää kasvihuonekaasujen keskimääräisiä päästöjä 5 % vuosina 2008 - 2012 verrattuna vuoteen 1990 [2]. Kioton sopimuksen päättyessä 2012 sen jatkosta sovittiin Doha:n YK:n osapuolikonferenssissa. Doha:ssa sovittiin Kioton pöytäkirjan toisesta velvoittavasta kaudesta vuosille 2013 - 2020 [3]. Velvoite toiselle kaudelle on EU:lla vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 20 % verrattuna vuoden 1990 tasoon. Ensimmäisellä kaudella Suomella ei ollut velvollisuutta vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja toiselle kaudelle Suomen tavoite on vähentää 20 % mutta vertailuvuotta ei ole annettu vaan se määräytyy EU:lle asetetuista tavoitteista [4, s. 2]. EU:lla on oma energiastategia vuoteen 2020 ulottuvalle ajalle. EU:lla on tavoite vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä 20 % ja lisästä uusiutuvan energian osuudeksi vähintään 20 % kulutetusta kokonaisenergiasta ja lisäksi säästää vähintään 20 % kulutettua energiaa. Lisäksi kuljetussektorilla on tavoitteena käyttää 10 % uusiutuvaa energiaa [5]. Näillä tavoitteilla EU pyrkii hillitsemään ilmaston muutosta, ilmansaastumista ja vähentämään riippuvuutta fossiilisista polttoaineista sekä pitämään energian kohtuuhintaisena kuluttajille ja yrityksille. Tavoitteiden saavuttamiseksi EU on asettanut viisi tärkeää kehitettävää osa-aluetta [5].

1. Euroopan energiatehokkuuden parantamiseksi investointeja lisätään energiatehokkaisiin rakennuksiin, laitteisiin ja kuljetukseen.
2. Eurooppaan luodaan yhteiset energiamarkkinat rakentamalla tarvittavia sähkönsiirtolinjoja, öljy- ja kaasuputkia, LNG-terminaaleja sekä muuta infraa.
3. Taataan kuluttajaoikeudet ja korkeat turvavaatimukset energiasektorille. Tämä tarkoittaa kuluttajille, että kuluttajilla on oikeus vaihtaa energiantoimittajaa, saada tietoa energian kulutuksesta ja kuluttajavalituksien käsittelyn nopeutta.
4. Toteutetaan Strateginen Energian teknologiasuunnitelma (Strategic Energy Technology Plan) EU:n strategia nopeuttaa vähäpäästöisten teknologioiden

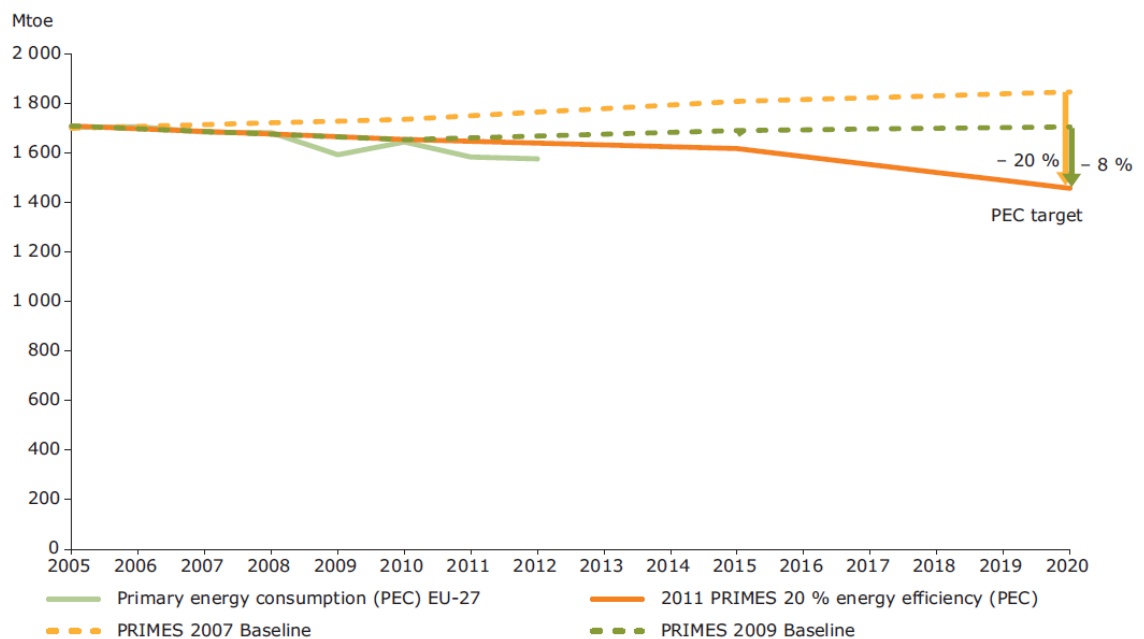
kehittämistä ja käyttämistä kuten aurinkoenergiaa, älykkäitä sähköverkkoja sekä hiilinieluja ja hiilen varastointia.

5. Tavoitellaan hyviä suhteita EU:n ulkopuolisiin energiantoimittajiin ja energian kauttakulkumaihin. EC:n (Energy Community) kautta pyritään saamaan myös EU:n naapurimaat osaksi EU:n energiamarkkinoita.

Opinnäytetyö käsittelee pääasiassa kohtaa 1, jossa EU:n energiastrategia 2020 käsittelee energiatehokkuutta. Energiastrategia 2020 korostaa energiatehokkuutta ja antaa sille tärkeän aseman kun tavoitellaan strategiaan aseteltuja tavoitteita. [6, s. 8-11]. Energiatehokkuus on myös keskeisessä asemassa kun tavoitellaan pitemmälle kuin 2020 ulottuvia ilmastotavoitteita. Energiatehokkuus katsotaan strategiassa kustannustehokkaimmaksi tavaksi vähentää päästöjä, turvata energian saantia, parantaa kilpailukykyä ja turvata kuluttajille edullista energiaa. Lisäksi energiatehokkuuden kautta on mahdollista luoda työllisyyttä ja vientituotteita. Konkreettisimpana esimerkkinä siinä mainitaan kotitaloutta kohti kertyvä säästö, joka voi olla noin 1000 € Euroopan laajuisesti. Tärkeänä asiana pidetään myös energiatehokkuuden merkityksen ja tietoisuuden lisäämistä yleisesti ja erityisesti liittyen politiikkaan ja koulutukseen.

Energiatehokkuustoimien pitäisi yltää läpi koko energiatuotantoketjun: Tuotanto, siirto ja jakelu sekä kulutus. Lisäksi tarvitaan seurantaa toimenpiteiden noudattamiseksi. On myös tärkeää hyödyntää energiakatselmuksia sekä materiaalien tehokasta käyttöä ja kierrätystä. Isoimmiksi energiatehokkuuskohteiksi mainitaan rakennukset ja liikenne. Teollisuudelle suositellaan energiatehokkuuden ja siihen liittyvän teknologian kehityksen liittämistä liiketoiminnan peruskulmakiveksi. Päästökauppa ohjaa luonnostaan suuria teollisuusyrityksiä tähän suuntaan, mutta pienille yrityksille energiakatselmuksent ja energian hallintajärjestelmät ovat suositeltuja työkaluja osallistuttaessa energiatehokkuustavoitteisiin. Tavoitteena olisi, että yritykset voisivat vertailla omaa energiatehokkuuttaan kilpailijoihin ja hyödyntää tätä yhtenä kilpailutekijänä. Energiatehokkuudesta täytyisi saada kannattavaa liiketoimintaa jo itsellään, joka johtaa vahvaan energiatehokkuuden osaamiseen ja hyödyntämiseen sekä sitä kautta Euroopan teollisuuden kilpailukyvyyn lisäämiseen.

Energiastrategian 2020 pohjalta on luotu direktiivi 2012/27/EU, jossa on tarkennettu strategian tavoitteita ja keinoja. EU direktiivit ovat säädöksiä, joihin EU maiden tulee pyrkiä, mutta yksittäisille maille jää kuitenkin oma päätävävalta kuinka direktiivin säädökset saavutetaan. 2012/27/EU direktiivi asettaa energiatehokkuuden tavoitteeksi 20 % säästön. Tämä tavoite tukee varsinaista 20 % kulutuksen pienentämistavoitetta, joka on laskettu verrattuna vuoden 2007 tasoon. Vuonna 2007 tehtyjen ennusteiden mukaan ilman, että tehtäisiin mitään, olisi primäärienergian kulutus 1842 Mtoe (Million tons of oil equivalent) vuonna 2020. 20 % säästö tähän verrattuna vastaa 1474 Mtoe vuonna 2020. *"Primäärienergiaksi kutsutaan niiden aineiden ja ilmiöiden sisältämää tai niistä saatavissa olevaa energiaa, jotka ovat ensimmäistä kertaa siinä tilassa, että niitä voidaan hyödyntää energianlähteinä."* [8, s. 23]. Primäärienergian lähteitä ovat esimerkiksi: Raakaöljy, kivihiili, ydinvoima, tuulivoima, vesivoima. Nämä ovat vielä jaettu omiin ryhmiinsä uusiutumattomat- ja uusiutuvat- energianlähteet. Kuvassa (Kuvio 1) on tehty ennuste primäärienergian kulutuksesta vuoden 2007 perusteella, jossa on päädytty 1842 Mtoe kulutukseen sen hetkisten tietojen ja ennusteiden perusteella.



Kuvio 1. [7, s. 44] EU:n -20 % energiatehokkuustavoite: Skenaarioita eri ajoilta. Vähennystarve on 343 Mtoe verrattuna vuoden 2007 projektoituun tasoon. 2009 projektiossa saavutettava vähennys olisi ollut 164 Mtoe.

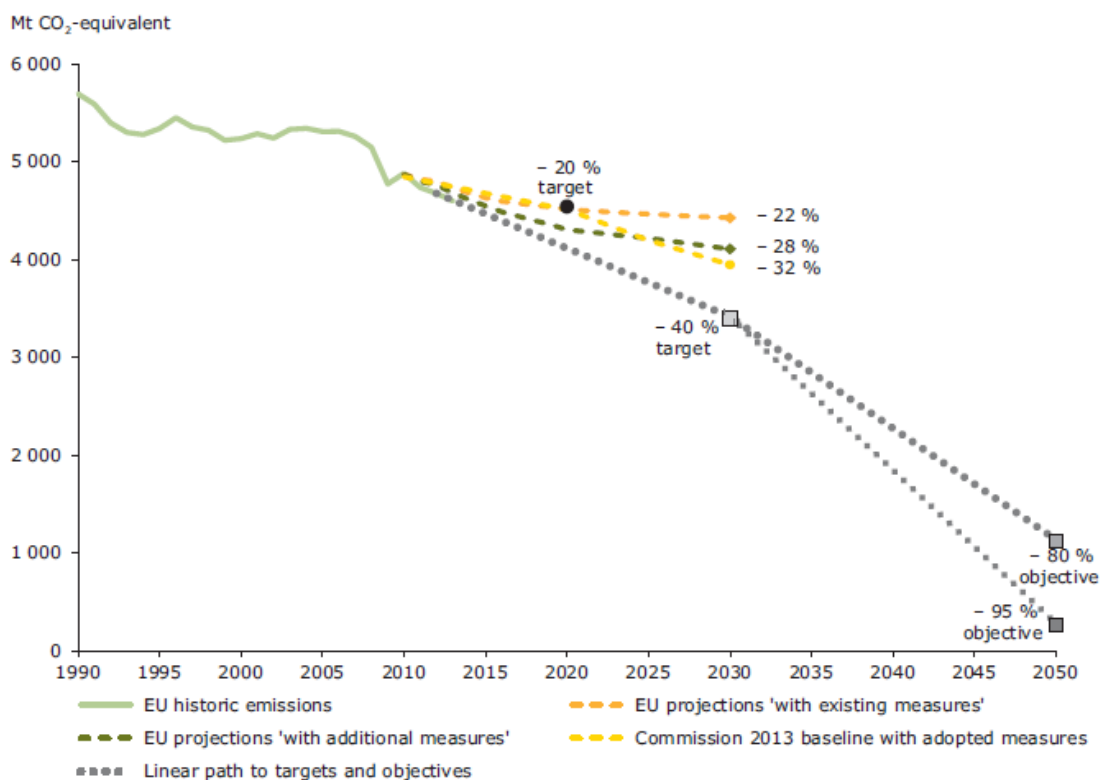
Tämä kulutus on keltaisella katkoviivalla. Vihreä katkoviiva kuvaa vuonna 2009 tehtyä vastaavaa ennustetta ja siinä päädytään primäärienergian kulutuksessa vuonna 2020 tasoon 1678 Mtoe, joka on siis jäljessä Energiastrategian 2020 tavoitteesta. Primäärienergian kulutuksen ennusteessa otetaan huomioon [9, s. 10-13] sen hetkiset trendit energian käytössä sekä energiapolitiikan vaikutus. Trendiin huomioidaan myös väestön määrä ja taloudelliset tekijät talouteen yleensä sekä energian hinnan vaikutus. Lisäksi trendissä on huomioitu nykyiset ja tulevat energiatehokkuuden, uusien teknologioiden ja uusiutuvan energian kautta tulevat energian säästöt.

Energian hinta on merkittävä tekijä, joka vaikuttaa suoraan kulutukseen ja käytettyjen energiamuotojen väliseen suhteeseen. Energian hinta ohjaa investointeja energiatehokkuuteen ja uusiutuviin energiamuotoihin. Myös Poliitiikka on avainasemassa säätelössä suuntaa energian käytölle. Tästä esimerkkinä on päästökauppa, uusiutuvan energian tukeminen sekä tuotantohinnan että investointitukien kautta. Vuodet 2007 ja 2009 olivat talouden osalta hyvin poikkeavat toisistaan. Vuonna 2007 talouden kasvu oli vielä voimakasta ja kaikki näytti jatkuvan hyvin useita vuosia eteenpäin. Vuonna 2009 talous oli jo hidastunut ja Eurooppa oli taantumassa. Talouden taantuma huomioiden 2010 tehtiin uusi vertaileva analyysi primäärienergian kulutuksesta ja siinä päädyttiin hieman parempiin ennusteisiin kuin vuonna 2009 tehdyssä ennusteessa. Merkittävimmät syyt olivat vuoden 2009 aikana tehdyt uudet poliittiset päätökset tehostaa pyrkimyksiä vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä, jossa yhtenä työkaluna toimii energiatehokkuus. Vuoden 2010 vertailevassa ennusteessa laskentaan oli otettu mukaan 2009 aikana tehtyjä uusia säännöksiä koskien energiatehokkuutta. "Eco-design" Ekosuunnittelun täytäntöönpanoon tuli esimerkiksi säännös 2009/640/EC moottorien energiatehokkuudesta, joka myöhemmin johti esimerkiksi vaatimukseen IE2 hyötysuhdeluokan moottorista puhallinkäyttöihin. Primäärienergian ja kasvihuonekaasujen päästöjen arviointiin käytettävää mallia kutsutaan nimellä PRIMES-malli [10]. Malli ottaa huomioon energiankysynnän ja tarjonnan väliset merkkinaehtoiset riippuvuudet. Mallia käytetään pääasiassa ennustamaan päästökaupan ja uusiutuvan energian käytön sekä energiatehokkuuteen liittyvien poliittisten päätösten vaikutusta energiamarkkinoihin. Energiemarkkinoista saadusta tiedosta tehdään ennustuksia ja rakennetaan skenaarioita sekä huomioidaan poliittisten päätösten vaikutuksia aina vuoteen 2030 asti.

Saavutettujen ja laskennallisten tavoitteiden ollessa selkeästi jäljessä strategiassa asetettuja tavoitteita sekä vuonna 2007 että 2009 laadittiin em. direktiivi 2012/27/EU energiatehokkuudesta, joka osaltaan velvoittaa EU jäsenmaita ja edesauttaa tarvittavien toimenpiteiden toimeenpanoa. Direktiivi on kumonnut ja muuttanut aikaisempia direktiivejä, jotka ovat liittyneet energiatehokkuuteen ja energian säästämiseen. 2014 julkaistussa raportissa "Trends and projections in Europe 2014" [7, s. 8] tilanne jo positiivisempi tavoitteiden saavuttamisen suhteen. Esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöjen osalta oltiin 20 %:n vähennystavoitteessa ennustuksen ollessa 21 % alle vuoden 1990 tason. Energiatehokkuuden osalta myös vuoden 2014 raportin mukaan oltiin tavoitteissa. Primääri- ja loppuenergian kulutus oli laskusuunnassa vuosien 2005 ja 2012 välisenä aikana, jota osaltaan auttoi Euroopan talouden taantuma kyseisenä aikavälinä. Talouden lähtiessä liikkeelle koko EU-alueella on kuitenkin jatkossa kiinnitettävä huomiota, että energiatehokkuutta edelleen sovelletaan ja toimeenpannaan käytäntöön jäsenmaissa, jotta tavoitteet pysyvät jatkossakin ennusteissa.

Ilmastomuutoksen torjunta tähtää kasvihuonekaasujen vähentämiseen ja sitä kautta ilmaston lämpenemisen hillitsemiseen. EU tasolla asioita on mietitty pidemmälle kuin vuoteen 2020. EU:lla on jo strategiat ja tavoitteet erikseen aseteltuna vuosiin 2030 ja 2050. Vuoden 2030 Energia Strategiassa halutaan turvata EU:lle kilpailukykyinen, turvallinen ja kestävä kehityksen mukainen energian saanti. Lisäksi tavoitteena on luoda pohjaa 2050 Energiastrategian tavoitteille kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. 2030 strategiassa halutaan lisäksi lähettää voimakasta viestiä markkinoille, jotta yksityinen sektori investoisi energiainfrastruktuuriin ja vähähiilipäästöiseen teknologiaan. 2030 strategiassa todetaan, että joka tapauksessa vanhenevaa energiainfrastruktuuria on uusittava ja taloudellisesti ei välttämättä ole merkittävää eroa verrattuna luonnolliseen uusimistarpeeseen kun siirrytään kohti kestävämpää energian käyttöä. 2030 keskeisiä tavoitteita on leikata kasvihuonekaasupäästöjä 40 %:a vuoden 1990 tasoon verrattuna. Uusiutuvan energian kulutuksen pitäisi olla 27 %:a kokonaiskulutuksesta ja 30 %:n parannus energiatehokkuudessa. Vielä pidemmälle ajallisesti ja tavoitteiden osalta menee EU:n Energiastrategia 2050, jonka keskeinen tavoite on vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä 80 - 95 %:a vuoden 1990 tasosta [11]. Strategian keskeisiä tavoitteita on irrottautua hiilen käytöstä energian tuotantoon. Hiilitaloudesta irrottautuminen vaatii

merkittäviä investointeja hiilipäästöttömään teknologiaan, uusiutuviin energiamuotoihin ja energiatehokkuuteen. Lisäksi on varmistettava, että kaikki nämä vähähiilipäästöiset energialähteet ovat kaikkien EU maiden käytettävissä, joten tarvitaan edelleen investointeja sähkön- ja kaasun jakeluverkkoihin. Tämän on tarkoitus varmistaa, että energiaa tuotetaan siellä missä se on kustannustehokkainta hiilipäästöjen kannalta ja toisaalta energiaa pystytään toimittamaan sinne missä energiaa tarvitaan. Strategiassa keskeisessä roolissa on pitää energiaan liittyvä taloudellinen ympäristö vakaana ja ennustettavana, jotta yksityinen pääoma hakeutuisi voimakkaammin tukemaan strategiaa ja investoinnit strategiaa tukeviin vähäpäästöisiin teknologioihin olisivat kannattavia sijoituskohteita. Kuvassa (Kuvio 2) on aseteltuja tavoitteita Energia strategian 2020, 2030 ja 2050 osalta. Isot ja helposti mitattavat tavoitteet keskittyvät kasviuonekaasujen päästöjen vähentämiseen.



Kuvio 2. Kasviuonekaasujen päästötavoitteet eri vuosille. Kuvassa näkyy 2020, 2030 ja 2050 mukaisia tavoitteita [7, s. 61]. Päästötavoitteet projektoituna vuoden 2013 tietojen mukaan.

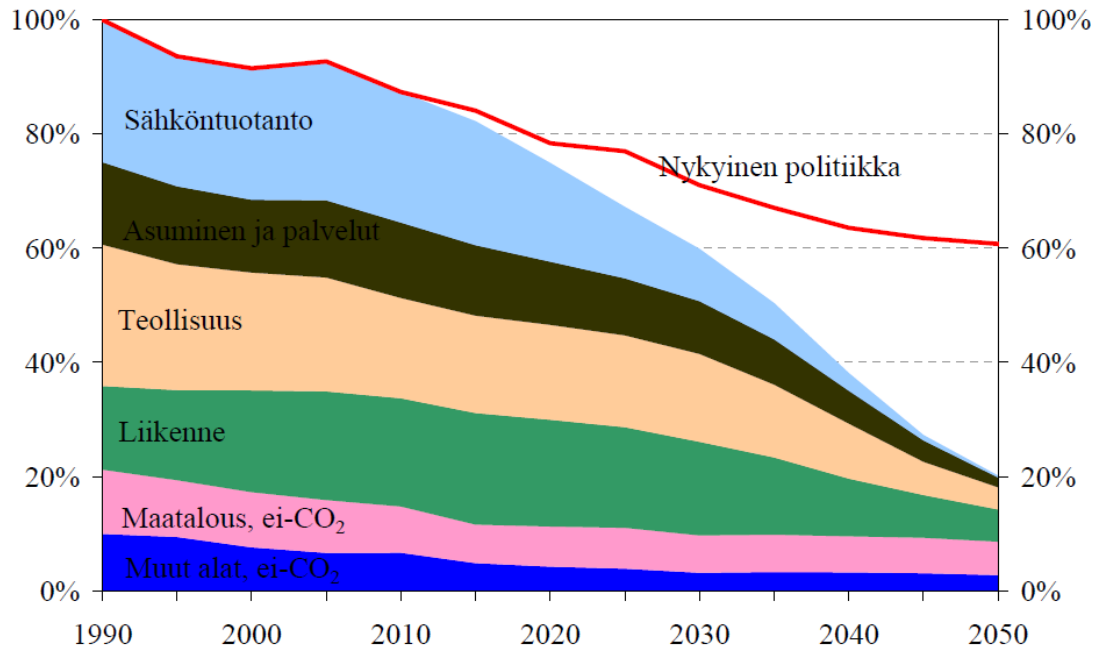
Kasviuonekaasujen vähentämiseen liittyvät tavoitteet on helppo viestiä suurelle yleisölle ymmärrettävässä muodossa. Selkeät tavoitteet numeroina: -20 % vuodelle

2020, -40 % prosenttia vuodelle 2030 ja -80 % vuodelle 2050. Kaikki nämä ovat verrattuna vuoden 1990 kasvihuonekaasujen päästöihin. Kuten Kuvio 2:sta näkyy, on nykyisillä toimenpiteillä saavutettavissa kasvihuonekaasuille 20 % vähennys vuoteen 2020 mennessä, mutta vuoteen 2030 mennessä 40 % vaatimukseen ei päästäisi. Tämä siis tarkoittaa lisää toimenpiteitä EU energian käyttöön myöskin tulevaisuudessa.

EU:lla on paljon haasteita ilmastotavoitteissaan ja lisää ennustettavia toimenpiteitä tarvitaan matkalla kohti kasvihuonekaasujen vähentämistavoitetta vuoteen 2050, jossa kasvihuonekaasujen päästöt pitäisi minimissään olla vähentynyt 80 % vuoden 1990 tasosta. EU laskee skenaarioissaan paljon uuden teknologian varaan, joka auttaa vähentämään kasvihuonekaasujen päästöjä. Tällaisia ovat esimerkiksi uusiutuvan energian teknologia ja hiilidioksidin talteenotto käytettäessä fossiilisia polttoaineita energialähteenä. EU:ssa oletetaan, että uusi teknologia tuo työpaikkoja ja lisää talouskasvua kun se samalla vähentää riippuvuutta EU ulkopuolelta tuodusta energiasta. Kaikki nämä ovat kannatettavia tavoitteita, mutta vaativat toteutuakseen muiden maiden mukana oloa, etenkin Kiinan ja Yhdysvaltojen, jotka taloudellisesti kilpailevat EU:n kanssa globaalisti. Mahdollisena riskinä on, että EU:n pyrkiessä kohti vähähiilipäästöistä taloutta, se rajoittaa omaa kilpailukykyä energian hinnan noustessa uusien rajoitusten ja lainsäädännön seurauksena. EU:n kasvihuonekaasut ovat kuitenkin vain noin 10 % globaalisti. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka EU pudottaisi omat kasvihuonekaasujen päästöt nolnaan, niin muiden jatkaessa nykyiseen malliin, ei tällä olisi ilmastomuutokseen suurta vaikutusta. Talous on tässäkin tapauksessa merkittävimmissä roolissa ajurina kohti tavoitteita. Talouden täytyy kokonaisuudessaan hyötyä Energiastrategioiden mukaisista toimenpiteistä. Investoinnit uusiutuviin energioihin on oltava kannattavia pitkällä aikavälillä. Alkuun voidaan päästä tukemalla EU tasolla ja kansallisesti erilaisia hankkeita uusiutuvaan energiaan, energiatehokkuuteen ja vähäpäästöiseen liikenteeseen, mutta pitkällä aikavälillä hankkeiden on oltava taloudellisesti kannattavia ilman tukia. EU laittaa paljon painoa taloudellisiin säästöihin: Esimerkiksi säästöt polttoaineiden tuonnissa. Tarkeastelujaksolla vuoteen 2050 asti mahdolliset säästöt, käyttäen vähähiilistä polttoainetta tuotettuna EU:n sisämarkkinoilla, voisivat olla 175 - 320 miljardia euroa. Toisaalta yksityisen ja julkisen investoinnin määrä vuoteen 2050 asti ulottuvalla jaksolla pitäisi kasvaa 270 miljardilla eurolla kohdennettuna: Vähähiilisiin energialähteisiin, niiden tukijärjestelmiin ja infrastruktuuriin, älykkäisiin energiaverkoihin, passiivitaloihin,



hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin sekä edistyneisiin teollisuusprosesseihin ja liikenteen sähköistämiseen. 270 miljardia euroa edustaa 1,5 % osuutta EU:n bruttokansantuotteesta. Tämä tarkoittaa merkittävää lisäystä investointeihin tulevina vuosina. Energiaomavaraisuudella ja käyttäen vähähiilistä polttoainetta saavutettavat säästöt jotakuinkin saattaisivat kattaa tarvittavat investoinnit, joten periaatteessa strategia on budjettimielessä tasapainossa. Ja sillä on mahdollisuus onnistua ilman merkittävää julkista lisävelkaa EU:n jäsenmaille. EU:n toimenpiteet ja strategiat ilmaston muutoksen hillitsemiseksi tuovat talouteen lisää vauhtia myös teknologian kehityksen kautta. Energiatehokkaammat laitteet, energiatehokkuus kiinteistöissä ja teollisuudessa vaativat investointeja tuotekehitykseen. Energiatehokkuushankkeet, joissa investointien takaisinmaksuaika on lyhyt, ovat jo itsessään kannattavia ja eivät vaadi julkista rahaa tueksi. Pitemmällä takaisinmaksuajoilla taas vaaditaan julkista rahaa tueksi, joka voi tarkoittaa EU tasolla heikompaa kilpailukykyä, ellei julkisella rahoituksella tuotettua teknologiaa pystytä myymään kannattavasti EU:n ulkopuolelle. Tämä on vastaavasti myös kansallisella tasolla voimassa. Julkinen rahoitus ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi täytyy johtaa kaupallisesti kannattavaan teknologiaan, jota voidaan myydä myös Suomen ulkopuolelle. 2050 Energiastrategian mukaiset vähennykset toimialoittain jakautuvat kuvan (Kuvio 3) mukaan. Suurin paino on sähköntuotannossa ja siinä vähentämistarve on lähes 100 %, joka tarkoittaa hiilivapaata sähköntuotantoa.



Kuvio 3. Kasvihiuonekaasujen päästötavoitteet eri toimialoille 2050 Energiastrategian mukaan. [12, s. 5]. Nykyinen politiikka (v. 2011) johtaisi kuvan mukaan n. 40 % vähennykseen vuonna 2050. Tavoite vuodelle 2050 on aiemmin mainittu 80 % vähennys kasvihiuonekaasujen päästöihin verrattuna vuoden 1990 tasoon. Kuvassa 80 % säästö on esitetty 20 % päästötasona vuonna 2050.

Merkittävin paino 2050 Energiastrategiassa on sähköntuotannolla, asumisella ja palveluilla sekä teollisuuden päästövähennyksillä. Nämä kolme toimialaa edustavat 75 % saavutettavasta vähentämistarpeesta ja 25 % jää lopuille. Absoluuttisena vähennyksenä verrattuna vuoden 1990 tasoon se tarkoittaa näille kolmelle toimialalle yli 92 % vähennystarvetta kun muille jää n. 57 % absoluuttinen vähennystarve. Maatalouden osalta vähennystarve ei koske hiilidioksidipäästöjä suoranaisesti. Vaan siellä haetaan päästövähennyksiä tehokkuutta energian- ja maankäyttöön liittyen sekä kasviperäisiä hiilinieluja hyödyntämällä. Näiden tekijöiden avulla maatalouden päästöjä pyritään pienentämään.

Tällä hetkellä [12, s. 14] maat, jotka edustavat 80 % maailman kokonaispäästöistä ovat sitoutuneet noudattamaan Kööpenhaminan sitoumuksen ja Cancúnin sopimuksen mukaisia kansallisia päästötavoitteita. Tosin osalta maista käytännön toimenpiteet puuttuvat ja niiden pitäisi lisätä ponnistelujaan sopimusten täyttämiseksi. Kaikkiaan tilanne on se, että EU melko yksipuolisesti toteuttaa ilmastonmuutosta ehkäiseviä toimenpiteitä ja toivoo, että se voisi omalla esimerkillään saada myös muita enenevässä määrin mukaan ilmastotalkoisiin, jotta EU:n noin 10 % kokonaispäästötason edustava

osuuden pienentäminen ei olisi turhaa. Kulutusta voi ohjaila lainsäädännöllä ja veroilla mutta globaalın kilpailukyvyın säilyttämiseksi ja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi olisi tarve ilmastopolitiikkaa tukeville tuotteille ja palveluille tultava markkinaehtoisesti. Muuten EU:n oma kilpailukyky kärsii.

### 3. Energiatohokkuus Suomessa

Seuraavaksi tarkastellaan miten direktiivi 2012/27/EU on vaikuttanut Suomessa ja erityisesti energiatohokkuuden osalta. EU:ssa on määritelty energiatohokkuuden säästötavoitteet primäärienergiana, mutta Suomeen kyseinen mittaus tapa ei sovellu kovinkaan hyvin johtuen Suomen energiaintensiivisestä teollisuudesta verrattuna muihin EU maihin. Suomessa mittarina käytetään loppuenergiaa, johon esimerkiksi lasketaan sähkönkulutus ja rakennusten lämmittämiseen käytetty energia. Suomen tavoite loppuenergian kulutukselle on 310 TWh vuonna 2020. Loppuenergian kulutus on Suomessa [13, s. 11] viime vuosina ollut tuota luokkaa, mutta tähän on syynä talouden ja etenkin teollisuuden normaalia heikompi tila. Tavoite on kuitenkin asetettu normaaliin talouden toimintaympäristöön, joten tällä olettamalla energiatohokkuustoimenpiteitä pitää jatkaa talouden normalisoitumisen myötä. 310 TWh vastaa primäärienergiana 417 TWh. Loppuenergia 417 TWh vastaa 35.86 Mtoe (muunnoskerroin  $Mtoe=11.63 \text{ TWh}$ ), josta taas voidaan laskea suhteellinen osuus Suomen primäärienergian kulutuksesta vuonna 2020. Suomen osuus primäärienergiaksi laskettuna 2020 on  $35.86 \text{ Mtoe} / 1474 \text{ Mtoe} * 100 \%$ , josta saadaan 2.4 %. Suhteutettuna väkilukuun, joka on noin 1 prosentti EU:n kokonaisväkimäärästä, havaitaan, että kulutus on reilusti isompi kuin EU:ssa keskimäärin. Tämä johtuu edellä mainitusta energiaintensiivisestä teollisuudesta ja rakennusten lämmitystarpeesta talvisin.

Kahden tärkeän termin määritelmä, jotka liittyvät energiatohokkuuteen [15, 1429/2014 3 §]:

**Energiatohokkuus:** Suoritteen, palvelun, tavarun tai energian tuotoksen ja energiapanoksen välistä suhdetta.

**Energiatohokkuuden parantaminen:** Teknisistä, ihmisten käyttäytymiseen liittyvistä tai taloudellisista muutoksista johtuvaa energiatohokkuuden lisääntymistä

Suomessa Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) edustaa Suomea EU:n suuntaan energiatohokkuuteen liittyvissä asioissa. TEM tehtävänä on koordinoita energiatohokkuuspolitiikkaa Suomessa. TEM siirsi osan energiatohokkuuden ja uusiutuvan energian toimeenpanotehtävistä Energiamarkkinavirastoon vuoden 2014 alussa. Tässä yhteydessä uudeksi nimeksi tuli Energiavirasto. Energiaviraston tehtävinä on mm. edistää energiatohokkuussopimuksia ja energiakatselmuksia.

Energiatehokkuussopimukset ovat tärkeässä roolissa EU:n energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanossa [14]. Energiatehokkuussopimukset ovat vapaaehtoisia ja niillä edistetään energiatehokkuuden toteutumista eri toimialoilla. Eri ministeriöt vastaavat eri toimialojen energiatehokkuussopimuksista. Esimerkiksi TEM vastaa elinkeinoelämän sopimuksista, jotka koskevat: Teollisuutta, energia-alaa ja palveluita. Lisäksi TEM vastaa kunta-alan sopimuksista. Kiinteistöalan sopimusvastuu jakautuu kahden ministeriön kesken. Asuinkiinteistöistä vastaa Ympäristöministeriö (YM) ja toimialakiinteistöistä vastaa Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM). Valtion omistama Motiva Oy puolestaan hoitaa Energiaviraston toimeksiannosta energiatehokkuussopimusten käytännön toimeenpanoa, tiedotusta, raportointia ja seuranta. Energiaviraston toimiin kuuluu myös energiakatselmusten hallinnointi ja toimeenpanon ohjaus. Energiakatselmustoiminta nykymuotoisena on lähtenyt liikkeelle Suomessa 1992 ja ne ovat tärkeä osa kansallista energiatehokkuustoimintaa. Energiakatselmusten avulla analysoidaan katselmuskohteen energiankäyttöä ja selvitetään energiansäästöpotentiaali sekä esitetään kustannustehokkaita toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseksi. Varsinainen lainsäädäntö energiakatselmuksista on puuttunut vuoteen 2015 asti, jolloin on tullut voimaan Energiatehokkuuslaki (1429/2014), joka on astunut voimaan 2015 alussa. Energiatehokkuuslailla pannaan täytäntöön kansallisesti EU:n energiatehokkuusdirektiivin (2012/27/EU) mukaiset toimintaohjeet.

Energiakatselmus jakautuu kahteen katselmustyyppiin: Yrityksen energiakatselmus ja kohdekatselmus. Yrityksen energiakatselmuksessa on vaatimuksena saada riittävästi tietoa konsernin tai yrityksen energiankulutusprofiilista [15, 1429/2014 4 §]. Energiankulutusprofiilista pitää käydä ilmi kaikkien yrityksen Suomessa olevien energian käyttöön ja energiatehokkuuteen liittyvien toimintojen kulutukset energialajeittain. Yrityksen energiakatselmuksessa huomioidaan kaikki yrityksen energiankäyttökohteet: Rakennukset, teollinen ja kaupallinen toiminta sekä liikenne. Yrityksen energiakatselmuksessa pitää olla lisäksi kohdekatselmuksia, joiden määrä on suhteutettu yrityksen energiankäyttökohteiden ja energiankäytön määrään. Lisäksi katselmuksessa pitää olla: Jo tehdyt energiatehokkuutta parantavat sekä suunnitteilla olevat tai lisäselvitystä vaativat toimenpiteet. Yrityskatselmuksessa pitää myös olla suunnitelmat seuraavaan energiakatselmukseen mukaan otettavista kohteista eli kohdekatselmuksista ja niiden toteuttamisajankohdista. Energiatehokkuuslaki velvoittaa

suuria yrityksiä tekemään energiakatselmuksen neljän vuoden välein. Suuriksi yrityksiksi, jotka ovat lain piirissä, määritellään konserni tai yritys seuraavin tunnusluvuin: Henkilömäärä yli 250 tai liikevaihto on yli 50 M€ ja tase on yli 43 M€ [16, s. 14]. Tase rajaa pois isoja yrityksiä, joilla on iso liikevaihto mutta pieni tase. Tällaisia yrityksiä on esimerkiksi kaupan- ja jakelualalla toimivat yritykset. Tunnusluvut alittavat yritykset määritellään pieniksi ja keskisuuriksi yrityksiksi. Tase tunnuslukuna antaa oikeudenmukaisemman kuvan yrityksen toiminnasta ja kokoluokituksesta. Koska isoilla yrityksillä on velvollisuus yrityksen energiakatselmukseen, on järkevää, että taseen avulla saadaan velvollisuutta rajattua yrityskohtaisesti. Esimerkiksi maahantuontia harjoittavan yrityksen liikevaihto saattaa olla 50 M€, mutta käytännössä toiminta on kohtuullisen pientä esimerkiksi energiatehokkuuteen liittyvien toimintojen osalta. Tällaisella yrityksellä voi olla vähän varasto- ja konttoritilaa, joissa varsinaista säästöpotentiaalia on hyvin vähän verrattuna esimerkiksi valmistavaan teollisuuteen. Tällöin yritys voi valita taseeseen perustuvan rajan, jolla saadaan perustellusti rajattua pois turhia yrityksiä energiakatselmuksen osalta. Katselmointivelvoite koskee Suomessa rekisteröityä konsernia tai yritystä. Tunnuslukuihin otetaan huomioon konsernin tai yrityksen Suomessa tai ulkomailla yhteenlasketut luvut. Jos yritys on määritelty suureksi, niin kaikki sen Suomessa omistamat yritykset kuuluvat pakolliseen yrityksen energiakatselmoinnin piiriin. Energian mittaukseen, tiedon tallennukseen ja analysointiin liittyy erityisesti 1429/2014 8 §, jossa on yrityksen energiakatselmuksen vähimmäisvaatimukset.

*Yrityksen energiakatselmuksessa on käytettävä luotettavia, ajan tasalla olevia sekä, mikäli mahdollista, mitattuja ja jäljitettävissä olevia operatiivisia tietoja energiankulutuksesta ja kuormitusjakaumista. Tiedot on tallennettava historiallista analyysiä ja tuloksellisuuden seuranta varten. [15, 1429/2014 7 §]*

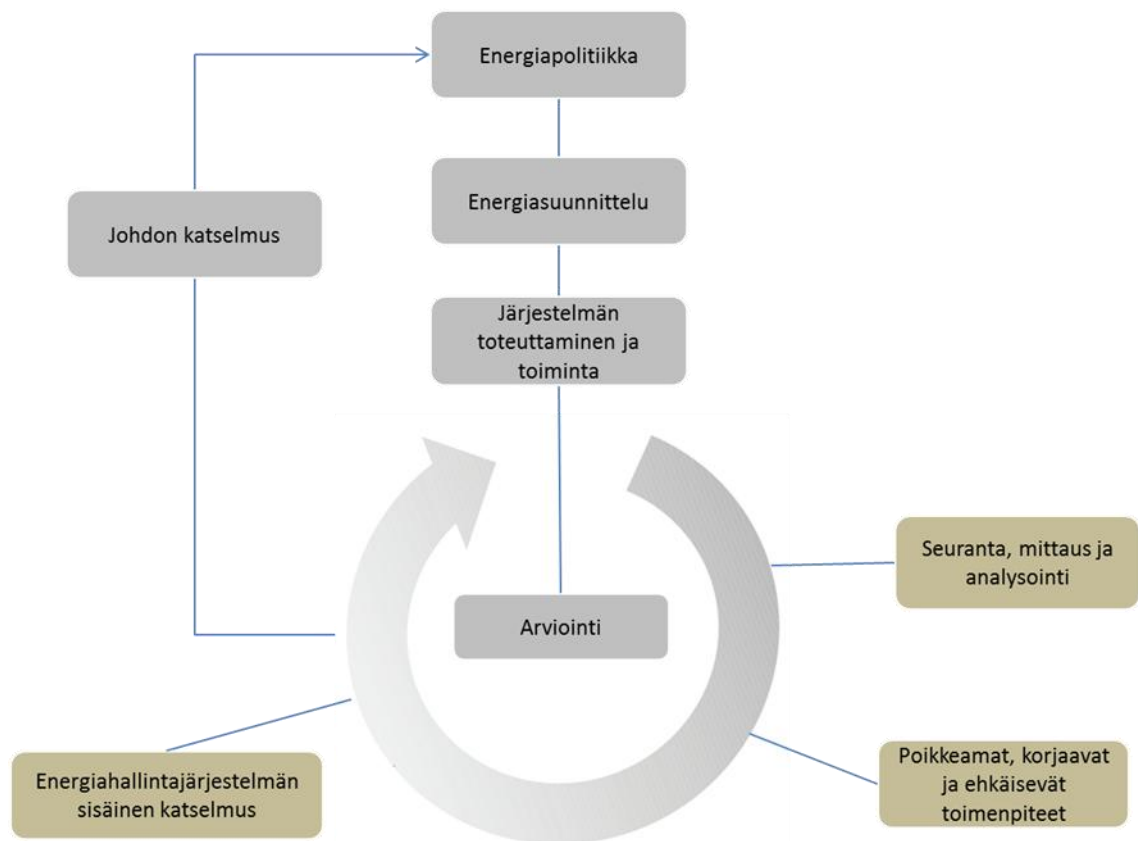
Kohdekatselmus on energiatehokkuuslaissa määritelty menettelyksi, jolla saadaan yksityiskohtaista tietoa energiakulutuksen kohteesta. Sen avulla pystytään esittämään kustannustehokkaasti toteutettavia energiatehokkuustoimenpiteitä. Kohdekatselmus tehdään mm. rakennukseen, rakennusryhmään, teollisuuslaitokseen tai sen osaan. Kohdekatselmus pyritään tekemään kohteisiin, joissa on korkein kulutus tai energiatehokkuudessa on eniten parantamismahdollisuuksia. Kohdekatselmusten määrälle on asetettu mahdollisuus valita kolme erilaista vaihtoehtoista tapaa. [17, 3 §]

- *Kohdekatselmuksilla katetun energian määrän on vastattava vähintään kymmentä prosenttia yrityksen tai konsernin kokonaisenergiankäytöstä*
- *Sähköä tai lämpöä tuottavan yrityksen tai konsernin energiakatselmukseen sisältyvän kohdekatselmuksilla katetun energian määrän on kuitenkin vastattava vähintään viittä prosenttia yrityksen tai konsernin kokonaisenergiankäytöstä*
- Jos energiankäyttökohteet ovat rakennuksia tai toimipaikkoja, voidaan kohdekatselmusten määrä laskea vaihtoehtoisesti rakennusten määrään perustuen asetuksen mukaan

Kohdekatselmuksien vaatimukset isoille yrityksille on selkeästi mietitty iteratiiviseksi prosessiksi. Ensin lähdetään suurimmista energiankulutuskohteista tai säästöpotentiaaleista ja laitetaan niitä katselmoinnin ja energiatehokkuustoimenpiteiden avulla kuntoon. Ja koska katselmointivelvollisuus on isoille yrityksille neljän vuoden välein, on seuraavassa katselmoinnissa jäljellä seuraavaksi parhaimmat energiansäästömahdollisuudet. Prosessia jatkettaessa se johtaa pitkällä aikavälillä jatkuvasti parantuvaan energiatehokkuuteen huomioiden myös kehittyvän teknologian tuomat uudet säästöpotentiaalit. Tässä mielessä energiatehokkuuslaki tukee EU:n pitkän ajan Energiatehokkuusstrategiaa joka ulottuu vuoteen 2050 asti. Tuohon mennessä lain voimassa ollessa on velvoittavia energiakatselmuksia suoritettu noin. 8-9 kertaa, jolloin voidaan ajatella, että lähes kaikki energiatehokkuuslain edellyttämät kustannustehokkaasti toteutettavat energiatehokkuustoimenpiteet on tehty. Pakollisissa energiakatselmuksissa, jotka koskevat isoja yrityksiä, on organisaation toteutettava, ylläpidettävä ja jatkuvasti kehitettävä katselmustoimintaa. Pakolliseen energiakatselmukseen liittyy lisäksi velvoite käytettyjen menetelmien ja niiden valintaperusteiden dokumentoinnista. Lisäksi katselmoinnin tuloksista veloitetaan ylläpitämään tallenteita [19]. Tällä veloitteella isoissa yrityksissä varmistetaan energiankäytön tehokkuus ja jatkuva paraneminen.

Toisaalta pakollinen energiakatselmus on mahdollista välttää jos yrityksessä on käytössä ISO 50 001 standardin mukainen sertifioitu energianhallintajärjestelmä. Sertifiointi voidaan tehdä akkreditoidun tahon toimesta. Tällaisia on Suomessa esimerkiksi Inspecta, SGS ja Bureau Veritas. Pakollisesta energiakatselmuksesta voi

myös vapautua jos on sertifioitu ympäristönhallintajärjestelmä ISO 14 001 ja lisäksi sertifioitu ETJ+ energiatehokkuusjärjestelmä [18]. ETJ+ on varsinaisesti kytköksissä ISO 50 001 standardiin ja se sisältää standardin mukaiset vaatimukset energiakatselmuksista. Energiakatselmusten osalta ETJ+ on yhteneväinen ISO 50 001 kanssa. ETJ+ sisältää kaikki samat elementit ja prosessikuvauskin on suora kopio standardista ISO 50 001 (vertaa [19, s.6]). ISO 50 001 standardin on tarkoituksena antaa yrityksille ja organisaatioille suuntaviivat energian tehokkaasta kulutuksesta ja käytöstä sekä energiatehokkuudesta. Standardin perusidea on auttaa vähentämään kasvihuonekaasuja ja muita ympäristöön liittyviä vaikutuksia sekä vaikuttaa energian kustannuksiin hyödyntämällä energiahallintaa.



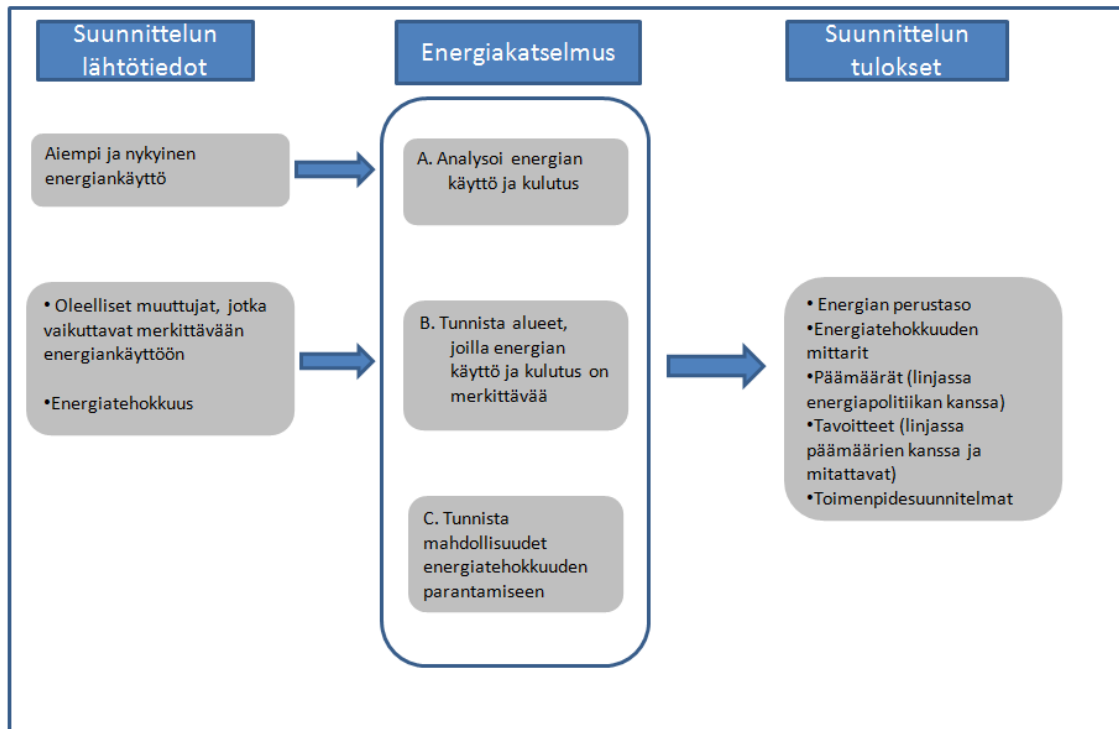
Kuvio 4. ISO 50 001 standardin mukainen energiahallinnan prosessikuvaus

ISO 50 001 perustuu jatkuvan parantamisen malliin "Plan - Do - Check - Act (PDCA)", joka tunnetaan myös Demingin laatuympyränä. Malli pyrkii parantamaan prosessia jatkuvan arvioinnin kautta. Prosessin tavoitteet suunnitellaan ja toteutetaan. Sen jälkeen seurataan suunnitelman toteutumista ja tehdään tarvittavat korjaavat toimenpiteet suunnitelman toteuttamiseksi. Prosessi etenee järjestelmällisesti kohti



suunnitelmaa, joka voi tarkentua tai muuttua prosessin aikana. ISO 50 001 energianhallinnan prosessikuvaus poikkeaa PDCA-mallista energiapolitiikan osalta, joka menee osittain päällekkäin suunnitteluvaiheen kanssa. Energiapolitiikkaosiossa on keskeistä saada sitoutuminen organisaatiolta sovittuihin energiatehokkuustavoitteisiin. Erityisesti johdon sitoutumista energiatehokkuustavoitteisiin korostetaan. Tämä myös siksi, että myöhemmin kun johdon katselmuksessa arvioidaan asetettujen tavoitteiden toteutumista ja järjestelmän toimivuutta, täytyy johdolla olla lisäksi halu asettaa uusia tavoitteita. Muuten energiatehokkuuden parantaminen voi jäädä muutaman kierroksen harjoitukseksi, josta ei synny jatkuvasti energiatehokkuutta parantavaa prosessia. Energiapolitiikan laatimisvaiheessa organisaation on sitouduttava antamaan tarvittavat resurssit sekä tiedottamaan ja esittämään saavutetut tulokset kaikille mukana oleville tahoille, jotta energiatehokkuustavoitteisiin olisi ylipäätänsä mahdollista päästä.

Energiasuunnitteluvaiheessa kartoitetaan energiankäyttö sen hetkisessä tilanteessa, jotta saadaan lähtötaso, johon energiatehokkuuden parantamista voidaan myöhemmin verrata. Lähtötason osalta pitää sopia kohteet ja soveltuvat mittausmenetelmät, jotta energiatehokkuudessa saavutettujen tulosten ja toimien vertaaminen on mielekästä. Suunnitteluvaiheen pitää olla linjassa energiapolitiikan kanssa ja siinä pitää ottaa huomioon, että suunnitellut toimenpiteet johtavat jatkuvasti parantuvaan energian käyttöön. Energiasuunnitteluvaihe on keskeisessä roolissa ISO 50 001 standardissa ja se on kuvattuna standardissa omana prosessina, keskeinen komponentti on energiakatselmus.

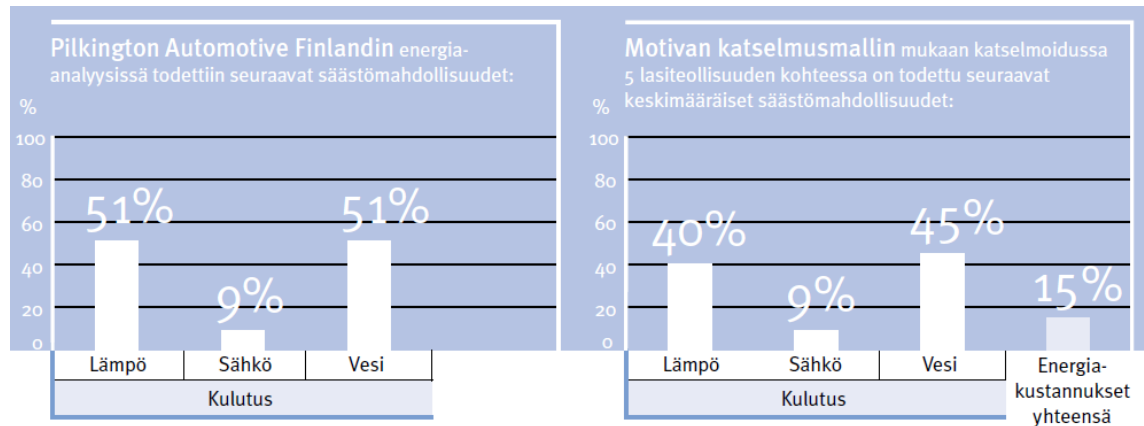


Kuvio 5. ISO 50 001 standardin mukainen energiasuunnitteluvaihe, jossa on havainnollistettu eri vaiheita energiasuunnittelussa. Prosessikuvaus on periaatteellinen esimerkki, jota eri organisaatiot voivat hyödyntää soveltuvin osin tai lisätä prosessiin heitä paremmin palvelevia prosessin osia tai kuvauksia.

Suunnittelun lähtötiedot ovat paremmin saatavilla jos energiasuunnittelua on tehty jo aikaisemmin. Eli ISO 50 001 tai ETJ+ prosessit ovat jo käytössä. Energiasuunnitteluvaiheen lähtötietoina kerätään ja dokumentoidaan ymmärrettävään ja havainnolliseen muotoon aikaisempi sekä nykyinen energiankäyttö. Lähtötiedoissa kartoitetaan myös merkittävään energiankäyttöön liittyvät oleelliset muuttujat, jotka voivat esimerkiksi lämmön, sähkön ja veden kulutus. Lähtötiedoissa kartoitetaan kulutus ajallisesti ja käyttökohteittain. Mitä paremmat ja tarkemmat lähtötiedot saadaan ajallisesti sekä käyttökohteittain, sitä helpompi on löytää sopivia energiansäästökohteita ja verrata saavutettuja tuloksia myöhemmin. Ajallisen tiedon saaminen on tärkeää esimerkiksi lämmityksen osalta koska ulkoilman lämpötila vaikuttaa merkittävästi lämmityksessä käytettyyn energiaan. Lisäksi energiankulutus saattaa ajoittua muuten tietyille kuukausille kohteen toimintojen mukaan. Tällaisia voi olla esimerkiksi teollisuudessa huoltoseisokit tai rakennuksissa lomakausi. Suunnittelun lähtötiedoissa huomioidaan lisäksi nykyinen tila energiatehokkuudessa ja mahdollisesti siinä jo tehdyt toimenpiteet.

Lähtötietojen keräämisen ja nykytilan selvityksen jälkeen lähdetään suorittamaan energiakatselmusta. Energiakatselmuksen kohdassa A analysoidaan koko organisaation energiankäyttöä ja -kulutusta. Energiankäyttö on energian hyödyntämisen tapa tai muoto. Tällaisia ovat mm. lämmitys ja jäähdytys sekä esimerkiksi ilmastointi. Energiankulutus on kulutettu energia (kWh, MWh, GWh, TWh). Kohdassa B hyödynnetään analysoitua tietoa ja tunnistetaan merkittävät energiakäytön alueet. Pyritään löytämään organisaatiosta ne alueet, joilla on parhaiten mahdollisuuksia parantaa energiankäyttöä ja kulutusta. Kohdassa C tunnistetaan ja laskelmiin perustuen määritellään parhaat energiatehokkuuskohteet. Energiatehokkuudella tarkoitetaan syötetyn energian ja ulostulevan hyödynnettävän energian tai muun lopputuotoksen välistä laskennallista suhdetta. Tällainen voi olla esimerkiksi sähkömoottorin tapauksessa moottorin hyötysuhde tai esimerkiksi tuotantolinjalla kappaleen valmistamiseen käytetty energia. Moottorin hyötysuhdetta parantamalla sama toiminto saadaan tehtyä pienemmällä energialla. Kappaleen valmistamisessa tämä voi olla materiaalihukan pienentämistä, moottoreiden hyötysuhteen nostamista tai esimerkiksi siirryttäessä pneumaattisista toimielimistä sähköisiin.

Energiakatselmoinnista siirrytään suunnittelun tuloksiin. Tuloksissa määritellään energian perustaso, johon suunnitelman toteutumista voidaan myöhemmin verrata. Lisäksi perustasoon voidaan huomioida siihen vaikuttavia tekijöitä kuten säätilaa tai käyttöastetta. Energiatehokkuuden mittaristo voi pitää sisällään yksinkertaisia mittarvoja tai monimutkaisia malleja prosessien energiatehokkuudesta. Joka tapauksessa niiden on oltava vertailukelpoisia asetettuun perustasoon ja lisäksi niiden on sovelluttava kyseisen kohteen tai toiminnon mittaamiseen. Suunnittelun tuloksena asetetaan päämäärät, jotka ovat linjassa energiapolitiikan kanssa. Päämäärä on pitkän aikavälin tavoite yleisellä tasolla ja sillä voi olla yleisluontoinen kuvaus. Esimerkiksi tehtaan energiankäyttöä tehostetaan ja halutaan olla omalla alalla hyvää keskitasoa energiankäytössä. Tällöin voidaan verrata nykyistä energiankäyttöä vastaaviin muihin yrityksiin, jolloin saadaan aseteltua tavoitteita konkreettisesti. Kuten seuraavassa kuvassa, joka on Motiva esimerkkikatselmointi toteutettuna Pilkington lasitehtaassa.



Kuvio 6. Vertailu lasiteollisuuden yrityksen ja Motivan vertailuryhmän välillä. Viidessä muussa katselmoidussa lasiteollisuuden kohteessa on todettu lämmityksen osalta keskimäärin 40 % ja veden osalta 45 % säästämismahdollisuus. Pilkingtonin lasitehtaassa vastaavasti on katselmoinnissa todettu saavutettavan vertailuryhmää paremmat säästöt. Lämmölle 51 % ja vedelle 51 % [20]

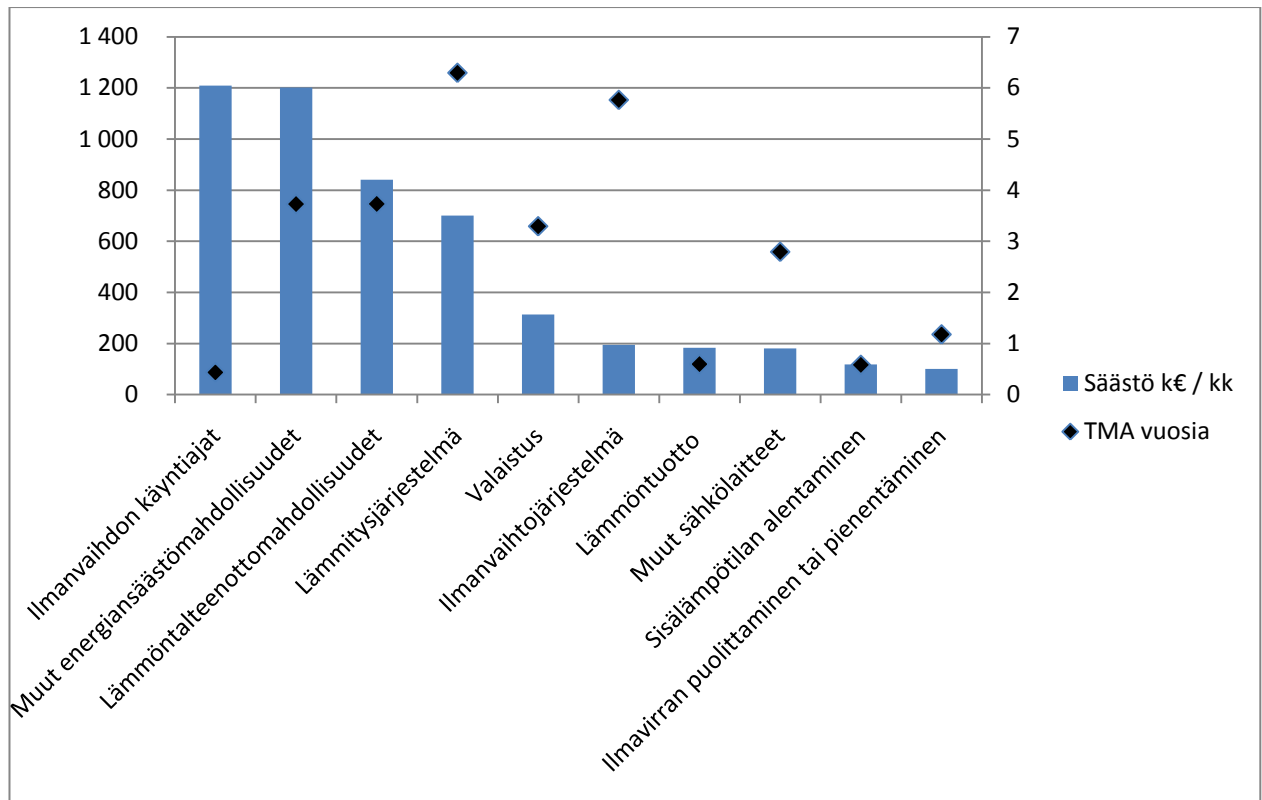
Päämäärien jälkeen asetetaan tavoitteita, jotka ovat mitattavia. Tavoitteena voisi tässä esimerkkitapauksessa olla säästäminen lämmityskuluissa 51 % jne. Toimenpidesuunnitelmilla lähdetään purkamaan tavoitteita pienempiin paloihin ja miten tavoitteisiin päästään. Esimerkkinä tässä tapauksessa se on ollut prosessilämmön talteenotto ja prosessivesien kierrätys 15 eri kohteessa. Seuraavassa on koottu yhteen eri teollisuustoimialojen osalta tehtyjä katselmointeja, joissa on Motivan keräämän tiedon pohjalta laskettu merkittävimmän säästötoimenpiteen osuus kokonaissäästöstä. [21]

Taulukko 1. Motivan katselmuksista koostettua tietoa kokonaissäästöpotentiaalista eri toimialoille. Merkittävimpinä toimenpiteenä yhteisenä kaikille toimialoille on ilmanvaihdon käyntiajat. Motivan koostamaa tietoa vuosilta 2000 - 2012.

Toimenpide: Ilmanvaihdon käyntiajat	Katselmoitujen kohteiden määrä	Ilmanvaihdon käyntiajat Säästö yht. € / vuosi	Ilmanvaihdon käyntiajat Investoinnit yht. / €	Ilmanvaihdon käyntiajat Takaisin- maksuaika / vuotta	Kokonais- säästö- potentiaali, €	Keskim. Takaisin- maksuaika/ vuotta	Ilmanvaihdon käyntiajat / % säästöstä
Muoviteollisuuden tuotantolaitokset	17	113500	15000	0,1	1000000	2,9	11 %
Maaleja ja lakkoja valmistavat tuotantolaitokset	6	52700	5300	0,1	456000	2,6	12 %
Muita koneita ja laitteita valmistavat tuotantolaitokset	15	390000	63000	0,2	2000000	3	20 %
Sähkökoneita ja laitteita valmistavat tuotantolaitokset	16	315000	23000	0,1	1000000	1,5	32 %

Taulukko 1:ssä huomataan merkittävänä säästökohteena ilmanvaihdon käyntiajat. Näistä neljästä toimialasta ne edustavat noin 20 %:n kokonaissäästöpotentiaalia. Lisäksi huomioituna vielä takaisinmaksuaika, joka on erittäin lyhyt noin 0,1 vuotta. Tämä tarkoittaa käytännössä pieniä investointeja suhteessa säästöön. Käyntiaikojen muutokset ovat muutoksia IV-koneiden ohjelmistoihin pääsääntöisesti. Ilmastoinnin käyntiajat suunnitellaan vastaamaan paremmin käyttäjien tarpeita. Pidetään ilmastointia päällä ainoastaan silloin kun siihen on tarvetta. Tai jos tuotantolaitoksessa on vähemmän henkilökuntaa paikalla, niin pudotetaan ilmastointia. Tai lisätään ilmastointiin CO2 anturi, jolloin ilmastointia voidaan ajaa riittävän ilmanlaadun perusteella. IV-koneella säädetään usein myös kiinteistön lämpötilaa, joten myös lämpötilan säätöön voidaan vaikuttaa energiaa säästävästi aikaohjelmien muutoksilla tai pudottamalla turhan korkeita lämpötiloja riittävään tasoon. Muita yhteisiä säästökohteita ovat mm. valaistus ja lämmöntalteenotto. Näissä tosin takaisinmaksuajat ovat jo reilusti pidempiä, tyypillisesti useita vuosia. Tämä johtuu tarvittavista laiteinvestoinneista, jotka ovat esimerkiksi lämmön talteenottolaitteisto tai paremman hyötysuhteen valaisimet.

Seuraavassa on esitetty Motivan katselmuksissa ehdotetuista toimenpiteistä koostettuna suurimmat säästöt kuukausitasolla. Tässä mallissa korostuvat nopean takaisinmaksuajan säästötoimenpiteet. Toisaalta jos toimenpiteellä on nopea takaisinmaksuaika, se ei tuota säästöä pitkään, mutta antaa välitöntä säästöä. Investointi on nopeasti maksettu takaisin ja sen jälkeen se voidaan laskea puhtaaksi tuotoksi.

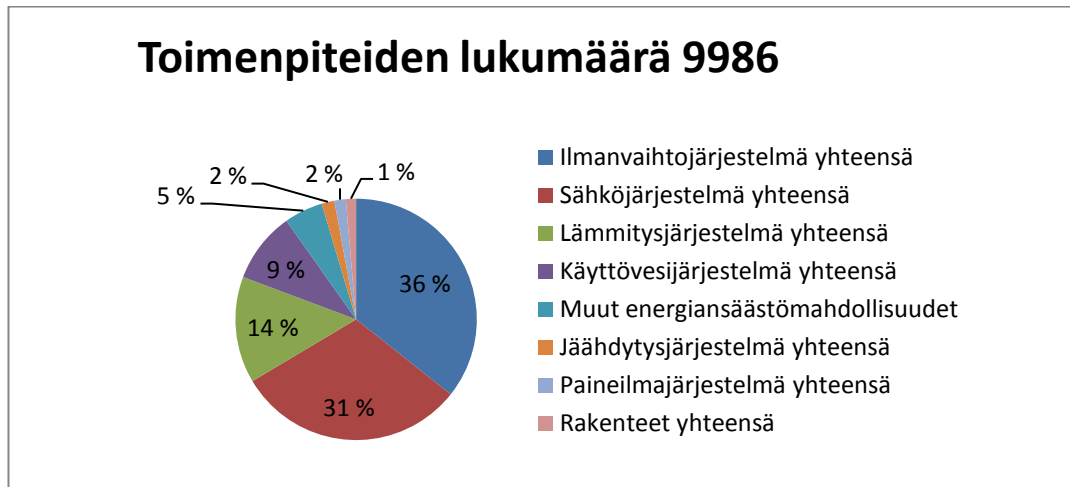


Kuvio 7. Motivan katselmuksissa ehdotetuista toimenpiteistä koostettuna suurimmat säästöpotentiaalit laskettuna kuukausitasolle. Motiva on kerännyt tiedot vuosina 2008-2013 eri sektoreilta [22].

Ilmanvaihdon käyntiajat ovat nopeinta tuottoa antava säästötoimenpide tässäkin tapauksessa. Säästötoimenpide ”Muut energiansäästämahdollisuudet” ovat seuraavaksi suurimpana ja ne koostuvat pääosin teollisuuden tehdaspalvelujärjestelmiin ja prosesseihin liittyvistä toimenpiteistä.

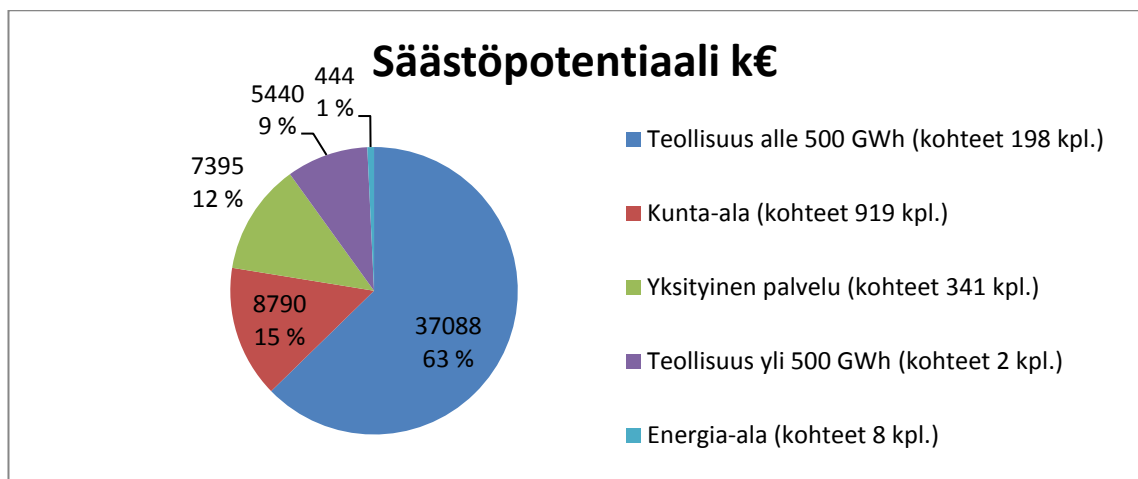
Lukumääräisesti suurimmat säästötoimenpiteet liittyvät ilmanvaihtojärjestelmään ja sähköjärjestelmiin. Niiden osuus on kokonaisuudessaan 67 % kaikista katselmuksista ehdotetuista toimenpiteistä. Ilmanvaihtojärjestelmät ovat

kustannussäästöpotentiaaliltaan mitattuna suurin luokka kattaen 35 % kokonaissäästöpotentiaalista ja 36 % toimenpiteistä.



Kuvio 8. Motivan katselmuksissa ehdotettujen eri toimenpiteiden prosentuaalinen osuus. Motiva on kerännyt tiedot vuosina 2008 - 2013 [22].

Suurinta säästöpotentiaalia katselmoiduista sektoreista edustaa teollisuus yhteensä 72 % osuudella. Suurin osa potentiaalista ja toimenpiteistä on alle 500 GWh kuluttavissa teollisuuslaitoksissa kun taas yli 500 GWh kuluttavissa laitoksissa kohteiden määrä vain ollut muutama kappale verrattuna n. 200 kpl. alle 500 GWh teollisuudessa (Kuvio 9).



Kuvio 9. Motivan katselmuksissa ehdotetuista toimenpiteistä koostettuna säästöpotentiaali yhteensä eri sektoreille. Motiva on kerännyt tiedot vuosina 2008 - 2013 eri sektoreilta [26].

Motivan sivuilta on löydettävissä paljon eri näkökulmista analysoitua tietoa jakautuen sektoreittain, toimenpiteittäin ja energiamuotojen kesken näiden kuvaajien lisäksi. Edelliset kuvaajat ovat muodostettu Motivan keräämän tiedon pohjalta ja tarkoituksena on antaa nopeasti yleiskuva katselmuksissa kertyneestä tiedosta nostoen esiin muutamia aiheita kuten ilmanvaihdon käyntiajat.

Takaisinmaksuaika on yksinkertaisin menetelmä laskea investoinnin kannattavuus mutta se ei esimerkiksi ota huomioon korkokantaa ja antaa korkotasosta sekä takaisinmaksuajan pituudesta riippuen lyhemmän arvon kuin laskemalla esimerkiksi nykyarvomenetelmällä. Yleensäkin pohdittaessa energiansäästöinvestoinnin kannattavuutta täytyy sitä verrata muihin investointeihin ja niistä saatavaan tuottoon. Varmuudella voidaan kuitenkin sanoa, että investointi, joka maksaa itsensä takaisin alle vuodessa kannattaa tehdä. Edellisessä esimerkissä katselmointien tuloksena on järkevää investoida ilmanvaihdon käyntiaikojen muutoksien tekemiseen. Yleensäkin talousosastolle investointeja perusteltaessa paras järjestys on suorittaa toimenpiteitä investoinnin tehon suhteen. Ensin ne joista saadaan mahdollisimman paljon mahdollisimman lyhyellä takaisinmaksuajalla.

Pakollisen energiakatselmuksen ulkopuolelle jääville yrityksille on tarjolla katselmus- ja investointitukea. TEM tukee taloudellisesti Motivan ohjeiden mukaisesti toteutettuja ja raportoituja energiansäästöselvityksiä. Puhutaan Motiva-energiakatselmuksista. Energiakatselmustukea voivat saada yritykset ja yhteisöt. Investointitukea voivat saada yritykset, jotka käyttävät uutta teknologiaa energiansäästöön tai edistävät uusiutuvan energian käyttöä. Motiva suosittelee ensin teettämään energiakatselmuksen, jota voidaan myöhemmin käyttää pohjana haettaessa investointitukea. Energiakatselmus- tai investointituki haetaan ELY-keskuksen kautta, jonka alueella ne toteutetaan. Energiakatselmustuen enimmäismäärä on pääsääntöisesti 40 % hyväksytyistä katselmoinnin kustannuksista. Investointituen osuus hyödynnettäessä uutta energiansäästöteknologiaa voi olla enintään 40 %. Tavanomaista ja jo laajasti käytössä olevan teknologian hyödyntämiseen energiansäästöhankkeissa investointituen määrä voi olla maksimissaan 20 %. Uuden ja tavanomaisen teknologian yhdistelmät ovat jossain vaihteluvälillä 20 - 40 % riippuen teknologioiden osuuksista ja kuinka ELY-keskus ja TEM ne arvioivat ja hyväksyvät.



Katselmus- ja investointituen lisäksi on yhtenä rahoitusmallina energiakäytön tehostamiseen ESCO (Energy Services Company). Tässä rahoitusmallissa kustannukset maksetaan syntyvillä säästöillä. ESCO-palvelun tarjoaa ulkopuolinen energia-asiantuntijayritys, joka suunnittelee, investoi ja toteuttaa asiakasyritykselle energiansäästöhanke. Investointi voi tulla myös kolmannelta osapuolelta. Lisäksi ESCO-palvelua tarjoava yritys sitoutuu energiankäytön tehostamiseen tavoitteiden mukaan asiakasyrityksessä. Tyypillisesti ESCO palvelun tarjoaa yritys, joka on erikoistunut energia- tai materiaalitehokkuuden parantamiseen. Se voi olla myös laitetoimittaja tai energiayhtiö. ESCO on alun perin lähtöisin Pohjois-Amerikasta (USA ja Kanada). ESCO pitää sisällään laajasti energiaan liittyviä palveluita. Näitä ovat mm. koulutus, energianhallinta, huolto- ja käyttösopimukset. Palveluihin voi lisäksi kuulua energianmyynti. ESCO:n laajan palvelukirjon vuoksi on Motiva halunnut selkeyttää Suomessa käytettävää ESCO-mallia, josta käytetään nimitystä MotivaESCO-konsepti. MotivaESCO-konsepti on pyritty selkeästi rajaamaan ja vain koskemaan energiasäästöinvestointia. MotivaESCO-konsepti pitää sisällään neljä osa-aluetta:

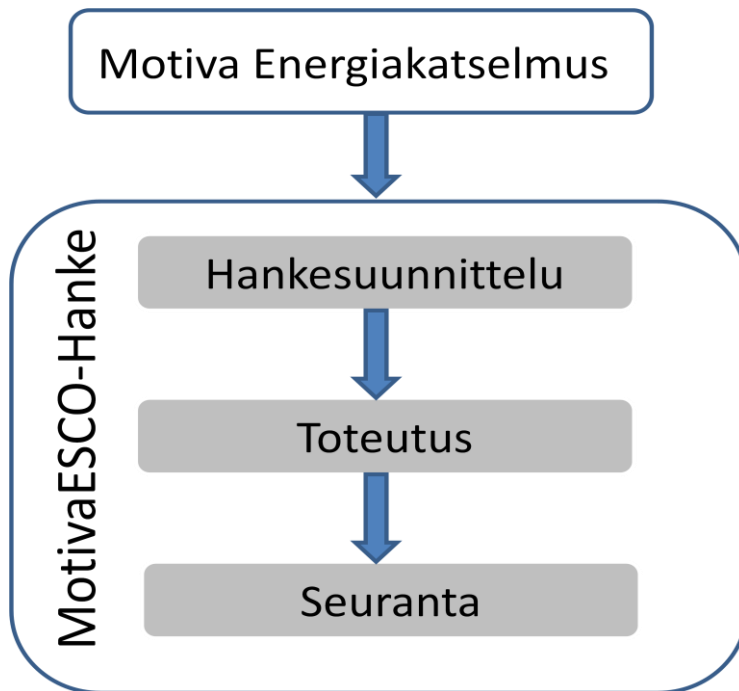
- Energiansäästötoimenpiteen identifiointi
- Rahoituksen järjestäminen
- Energiansäästötoimenpiteen toteuttaminen
- Säästövaikutuksen todentaminen.

Näiden lisäksi ESCO:lla voi olla tarpeen mukaan tarjolla käyttö- ja huoltotoimintaa, koulutusta, energiahallintaa ja seuranta sekä energiahankintaa. ESCO-hankkeen haastava osuus on sopia millä perusteilla ESCO saa tuloa hankkeesta. Kulmakivinä tässä ovat: Säästön todentaminen, tilaajan maksut ESCO:lle ja toteutuskustannus. Perusteena olevan säästön tulouttaminen ESCO:lle ei pelkästään riitä taloudellisesti kannattavaan toimintaan vaan lisänä tulee ESCO-fee, joka on bonus ESCO:lle hankkeesta. ESCO-fee määräytyy sovittavalla tavalla. Se voi olla kiinteä summa, prosenttiosuus hankkeen kokonaiskustannuksista tai se voidaan sitoa säästötavoitteen ylitykseen. ESCO-hankkeessa asiakaan maksut ESCO:lle voidaan sopia kiinteiksi tai muuttuviksi maksuiksi. Lisäksi maksuihin liittyy saavutetun säästön jakaminen asiakkaan ja ESCO:n välillä. Kiinteä maksu on yksinkertaisin tapa, jossa ESCO:lle maksetaan sovituin väliajoin kiinteä summa. Summa määräytyy laskennallisesta säästöstä tai se voi myös perustua investoinnin jälkeiseen seurantamittaukseen.

Muuttuva maksu perustuu seuranjaksolla saavutettuihin säästöihin. Tämä tarkoittaa jatkuvaa seuranta ja todentaminen voi olla melko monimutkaista mutta suoritettavat maksut ovat reiluja kummallekin osapuolelle. Kiinteän tai muuttuvan maksun mallien tuottamat säästöt voidaan jakaa ESCO: ja asiakkaan kesken useammalla sovittavalla tavalla. Koko säästö tarkoittaa, että todennettu säästö maksetaan ESCO:lle täysimääräisesti. Jaetussa säästöissä osa säästöistä menee asiakkaalle ja osa ESCO:lle. Lisäksi täytyy sopia investointikustannuksista ja miten ne maksetaan ESCO:lle. Kiinteässä hinnassa ESCO tarjoaa kiinteähintaisen toteutuksen ja riippuen miten todellisista toteutuskustannuksista ESCO:lle jää voittoa tai tappiota. Open book mallissa toteutumiskustannuksille lasketaan tavoitehinta ja kohtuullinen ero tavoitehinnan ja toteutuneen hinnan välillä hyväksytään ilman taloudellisia seuraamuksia. Tavoitehinnan ylitys pidentää sopimusaikaa ja alitus lyhentää sitä [27, s. 11].

Melko monimutkaisten laskenta- ja sopimusmallien vuoksi MotivaESCO-konseptiin on otettu "open book" lähtökohdaksi. Tässä ESCO esittää tilaajalle kaikki hankkeen toteutukseen liittyvät kustannukset ja laskelmissa on myös etukäteen sovittu kate ESCO-fee. Tilaja maksaa ESCO:lle kertyvää säästöä, jolloin sopimuskauden ajan asiakkaan kustannukset pysyvät ennallaan. Kun investointi on kokonaan maksettu tai sopimuskausi päättyy jää säästö tilaajalle. Tyypillinen MotivaESCO-hanke jakautuu kolmeen päävaiheeseen: Hankesuunnittelu, toteutus ja seuranta. Usein ESCO-hanketta edeltää Motiva-energiakatselmus, jossa on selvitetty säästömahdollisuuksia. Energiakatselmus on pidetty erillään prosessista koska sen yleensä maksaa tilaaja kun taas muut prosessin osuudet ovat ESCO:n kustannuksia. Yrityksen teettäessä energiakatselmuksen se usein myös toteuttaa helpot ja kustannustehokkaat säästökohteet itse. ESCO-toiminnan on tarkoitus mahdollistaa haastavampien säästökohteiden kokoaminen paketiksi, jota lähdetään viemään ESCO-hankeella eteenpäin. Tällä menettelyllä saadaan kattavasti toteutettua energiansäästöä muissakin kuin helpoissa ja itsestään selvissä tapauksissa. MotivaESCO prosessin eteneminen on selkeintä silloin kun energiakatselmuksen on toteuttanut ESCO, joka lähtee viemään sitten prosessin muita vaiheita eteenpäin. Energiakatselmuksen tehnyt ESCO ei tässä tapauksessa esimerkiksi voi lähteä syyttämään muita mahdollisten virheellisten, puutteellisten tai väärin laskettujen tietojen perusteella. Mikäli energiakatselmuksen on tehnyt jokin muu kuin MotivaESCO-hanketta toteuttava ESCO on sen varmistuttava lähtötietojen oikeellisuudesta tekemällä ainakin suppean katselmuksen paikanpäällä.

Toisena vaihtoehtona tilaaja voi vastata lähtötietojen oikeellisuudesta mutta tästä täytyy erikseen sopia.



Kuvio 10. MotivaESCO-hankkeen kolme päävaihetta. Energiakatselmus yleensä edeltää MotivaESCO hanketta mutta se on erillään kuvassa, koska sen yleensä maksaa tilaaja kun taas muut maksaa ESCO [27, s.17]

MotivaESCO-hankkeen hankesuunnitteluvaihe käynnistää hankkeen. Tässä vaiheessa ESCO selvittää ja varmistaa katselmuksessa arvioidut säästöt sekä arvioi kustannukset hankkeen osalta. Hankesuunnitelman on tarkoitus antaa tilaajalle ja ESCO:lle riittävät tiedot toteutuspäätöstä varten. Hankesuunnitelmasta tehdään erillinen sopimus osapuolten välillä, jossa määritellään mm. palkkio hankesuunnittelusta. Hankesuunnitteluvaiheessa voi myös käydä ilmi, että hanke ei ole kannattava. Tämä tarkoittaa, että katselmuksessa vaadittuja minimisäästöjäkään ei voi voida toteuttaa tai kustannukset säästöjen toteuttamiseksi ovat liian isot. Tällöin kustannukset jäävät siihen asti tehdystä työstä ESCO:lle. Hankkeen osoittautuessa kannattavaksi lähdetään toteutusvaiheeseen, jolloin varsinaiset hankesuunnittelun kustannukset sisällytetään toteutusvaiheen kokonaiskustannuksiin. Toteutusvaiheessa tilaaja ja ESCO tekevät tarjouksen pohjalta urakkasopimuksen hankkeen toteuttamisesta. Sopimuksessa ESCO sitoutuu säästöhankeeseen toteuttamiseen omalla tai kolmannen osapuolen rahoituksella. Tilaaja sitoutuu maksamaan hankkeen saavutettavilla säästöillä. Toteutukseen kuuluu:

toteutussuunnittelu, asennukset, käyttöönotto, koulutus ja seurannan aloitus. Toteutusvaiheessa ESCO:lle syntyy isoimmat kulut ilman tuloja. Hankesuunnitteluvaiheen kannattavuuslaskelmat ovat siksi tärkeitä ennen toteutusvaiheeseen siirtymistä. Tulojen mahdollinen kertyminen alkaa kun siirrytään seurantavaiheeseen. Säästöjä aletaan seuraamaan ja toteutuneista säästöistä tilaaja maksaa ESCO:lle suunnitelman mukaisesti. Seurantamenetelmä ja syntyneiden säästöjen todentaminen sovitaan ESCO:n ja tilaajan välillä. Perusvaihtoehdot säästöjen todentamiselle ovat: Laskennallinen, seurantamittauksiin tai jatkuvaan mittaukseen perustuva menetelmä. Seuranta on ESCO:n vastuulla ja ESCO tekee tilaajalle sovituin määräajoin seurantaraportin saavutetuista säästöistä, maksamattomasta osuudesta ja lunastushinnasta. Lunastushinnalla tilaaja voi halutessaan lunastaa hankkeen itselleen.

Vuoden 2000 - 2013 tilanne Suomen ESCO markkinoilla on ollut melko vakaa. Vuodesta 2013 eteenpäin odotetaan pienoista kasvua olosuhteiden paranemisen ja ESCO-toimintaa tukevien toimenpiteiden vuoksi [28, s.65]. Suomen ESCO markkinoilla toimii tällä hetkellä aktiivisesti 6 yritystä ja yhtenä niistä Schneider Electric. Aktiivisiksi yrityksiksi Motiva lukee yritykset, jotka ovat ilmoittaneet ESCO-hankkeita hankerekisteriin. Liikevaihto ESCO-hankkeille on ollut noin 10 M€ vuonna 2011. Markkinapotentiaaliksi arvioidaan noin 200 M€ kokonaisuudessaan, joista noin 100 M€ arvioidaan julkisten rakennusten osuudeksi. Pääosin ESCO-hankkeet kohdistuvat LVI, pumppauksen, automaation ja valaistuksen sovelluksiin. Yhä suurempaa osuutta edustaa kunnallinen sektori koska heiltä puuttuu omaa osaamista toteuttaa energiansäästöhankeita. Teollisuudessa energiansäästöä toteutetaan osittain oman osaamisen kautta, joka kilpailee ESCO:jen kanssa. Yleisesti tilanne on Suomessa ESCO:n osalta hyvä. Työkalut ja julkinen tuki on hyvällä tasolla mutta ESCO-hankkeisiin syntyneissä markkinoissa on vielä parantamisen varaa. ESCO toimintaa voi verrata suhteellisen samanlaisen yhteiskuntarakenteen omaaviin Pohjoismaihin. Tosin Tanska poikkeaa tästä joukosta teollisuuden osalta. Markkina potentiaalit ovat suhteessa bruttokansantuotteeseen Suomen ja Ruotsin osalta tasapainossa mutta Tanskan osalta se poikkeaa selvästi.

Taulukko 2:sta huomataan, että Suomen ESCO:n markkinakoko on selkeästi pienempi kuin verrokkimaissa.

Taulukko 2. European ESCO Market Report 2013 [28, s.65, s.54, s.160 ] koostettua tietoa Pohjoismaiden osalta ESCO-hankkeiden markkinakoosta ja markkinapotentiaalista.

	Markkinakoko 2013 M€	Markkinapotentiaali M€
Suomi	10	200
Ruotsi	60	300
Tanska	140	1000

Osiltaan tämä saattaa johtua raportoinnista, mutta kaikkea se ei selitä. Voidaan todeta, että ESCO-markkinoissa on vielä paljon kehitettävää ja energiansäästöpotentiaalia on vielä paljon hyödyntämättä Suomessa.

Motiva-katselmointien raportoidut kustannukset vuonna 2013 ovat olleet 3 M€. Verrattuna ESCO markkinoihin katselmusten osuus kustannuksista on 30 % (10 M€ 2013, Taulukko 2) ESCO-markkinakoosta. Kokonaissäästöpotentiaali katselmuksissa vuosina 2008 - 2013 on ollut Motivan tietojen mukaan [viite 26] 59 M€. Tästä saadaan keskimäärin 10 M€/vuosi säästöpotentiaaliksi, joka vastaa markkinakoko 10 M€. Luvut vastaavat toisiaan ja voidaan todeta, että katselmoidut säästöpotentiaalit ja ESCO-toiminnan markkinakoko vastaavat toisiaan. Verrattuna Pohjoismaihin edellisen nojalla, katselmoinnissa olisi kasvunvaraa, joka johtaisi mahdollisesti laajempaan ESCO-toimintaan ja suurempiin energiansäästöihin.

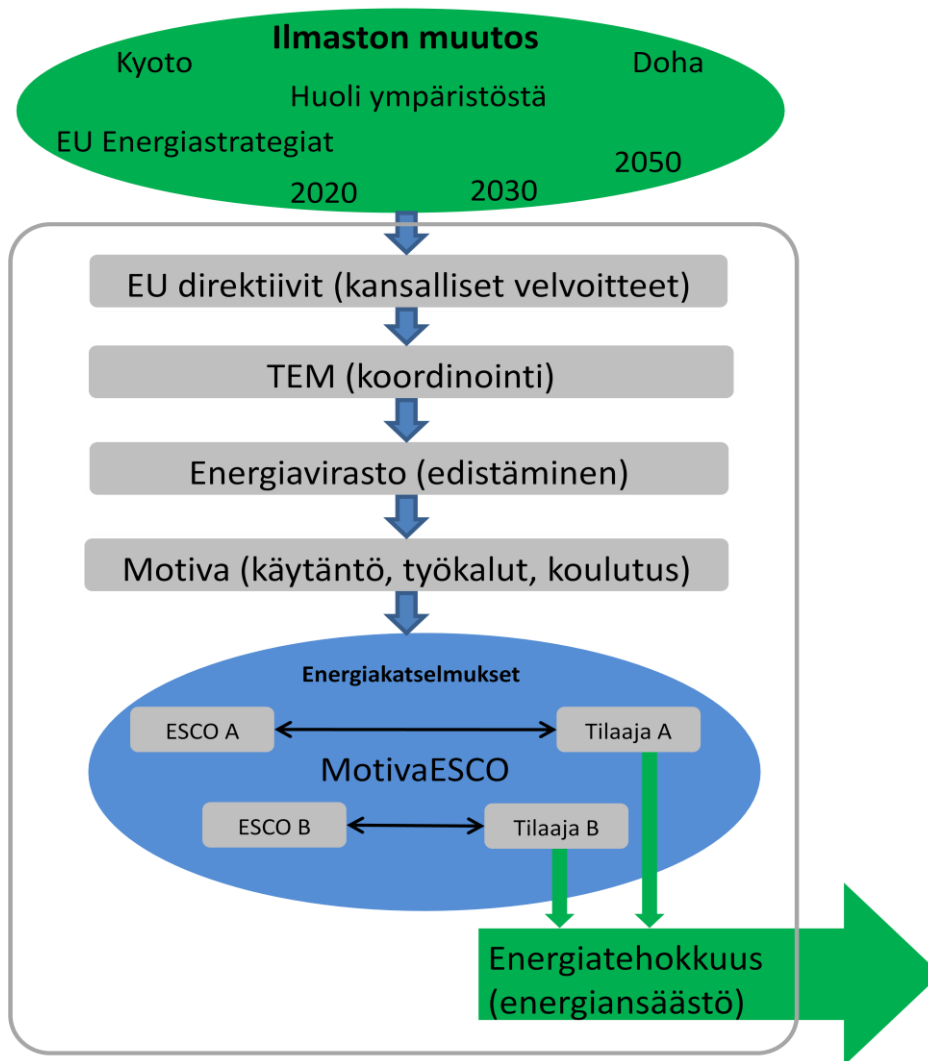
Markkinaraportissa Suomen osalta mainitut puitteet ovat hyvät [28, s.66]. Motiva tarjoaa laajasti työkaluja, palvelua ja koulutusta sekä katselmointeihin että ESCO-toimintaan. ESCO yrityksiä on 6 kappaletta, joka vastaa suhteellisesti Ruotsin vastaavaa määrää 8 kappaletta. Markkinaraportissa oli mainittuna ESCO toiminnan esteeksi kilpailevat energiatehokkuussovellukset. Markkinaraportissa ei sen tarkemmin mainittu mitä ne ovat. Käytännössä tämä tarkoittaa todennäköisesti, että yritykset tekevät energiatehokkuushankkeita itsenäisesti, joka ei kirjaudu ESCO-toimintana.

Toisaalta voi olla kysymys myös seuraavasti asioista:

- Ei osata markkinoida ja myydä energiansäästöä?
- Eivätkö yritykset pidä energiansäästöstä saatuja tuottoja todellisina ja investoivat mieluummin johonkin muuhun?
- Vai onko haastavana taloudellisena aikana investoinnit jäissä kannattaviinkin hankkeisiin?

Tämän opinnäytetyön puitteissa asiaa ei lähdetä selvittämään mutta tässä olisi aihe uudelle opinnäytetyölle.

Energiatehokkuuteen ja energiansäästöön oleellisesti vaikuttavat tekijät ovat esiteltynä Kuvio 11:sta. Ilmastomuutoksen huoli on luonut tarpeen säännöstellä kasvihuonekaasuja globaalisti. EU tasolla on luotu energiastrategioita, jotka osaltaan pyrkivät vastaamaan ilmastomuutoksen aiheuttamaan huoleen. Strategioiden tueksi luodaan direktiivejä, joiden pohjalta ohjataan energiatehokkuutta kansallisesti esimerkiksi säätämällä lakeja. Direktiivien ja kansallisen toteuttamisen väliin tarvitaan koordinoitua, jota hoitaa TEM. Energiavirasto edistää toimillaan energiaan liittyvän lainsäädännön toteuttamista käytäntöön. Motiva puolestaan hoitaa käytännön toimia ja tarjoaa työkaluja ja tietoa energiatehokkuudesta. Energiakatselmuksista löydetään toteuttamiskelpoisia ja kannattavia energiatehokkuushankkeita. ESCO toiminnan kautta hankkeita lähdetään viemään läpi järkevällä rahoitusmallilla. Pienistä energiansäästövirroista syntyy kansallisesti pieniä puroja, jotka toteutettuna EU-maissa muodostavat jo merkittävän energiansäästön kokonaisuudessaan. Lopputulemana ne pyrkivät vastaamaan ilmastomuutoksen haasteisiin globaalistikin merkittävällä tasolla.



Kuvio 11. Energiatehokkuuteen vaikuttavat toimijat ylhäältä aina varsinaisiin energiasäästöihin asti. Kansainväliset sopimukset Kyoto ja Doha ovat edesauttaneet Energiastrategioiden syntyä, joista on EU tasolta tultu direktiivien ja kansallisen lainsäädännön kautta käytännön tekemiseen, jossa Motiva luo puitteita.

Toimijoiden tehtäviä on edellä esitetty ja merkittävänä tekijänä energiansäästöön ja energiatehokkuuteen liittyen on ollut mittaaminen. Se on käynyt ilmi useissa kohdissa. Katselmuksissa pyritään selvittämään nykytaso. Nykytason selvittämiseen liittyy oleellisesti energiankulutuksen mittaaminen. ESCO-hankkeissa korostuu seuranta ja yleensä hanketta edeltää katselmointi. Pakolliset energiakatselmuksien ja ISO 50 001 standardin vaatimukset tai ETJ+ mainitsevat mittauksen keskeiseksi tekijäksi. Standardi mm. mainitsee: analysoi energiankäyttö ja kulutus, määritä energian perustaso, aseta mittarit jne. Mittaaminen on mainittuna useasti ja se on tärkeä tekijä. Metropolian energianmittausjärjestelmässä on pyritty tuomaan mukaan mittaukseen

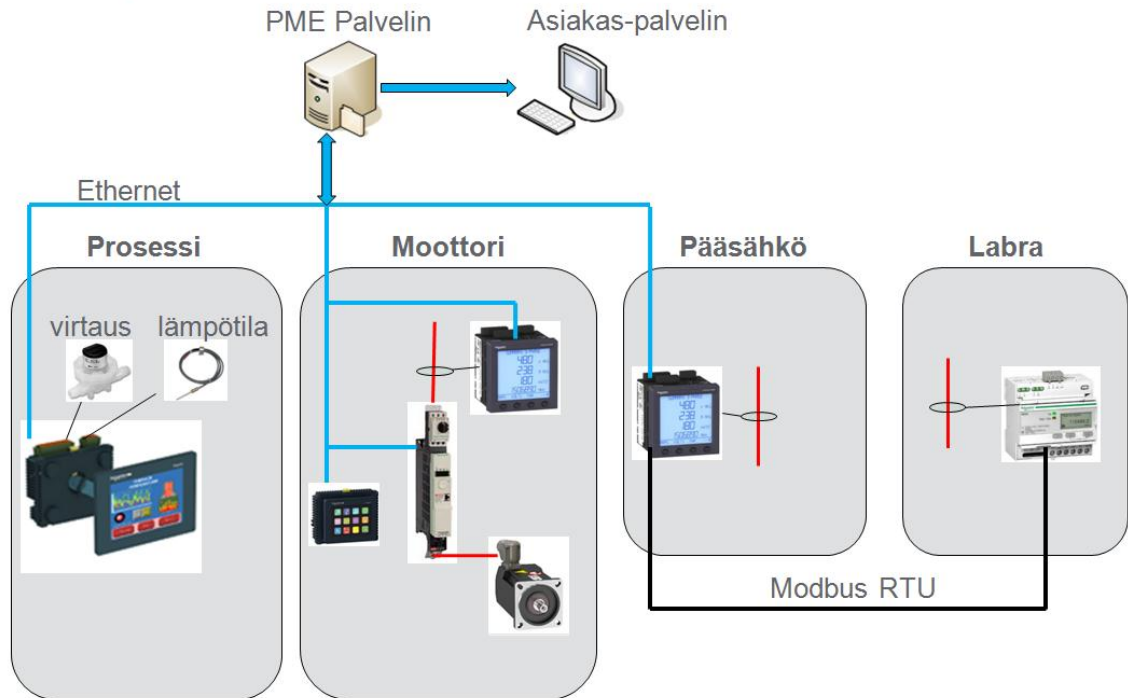
liittyvät perustoimenpiteet sähkön sekä prosessinmittauksen osalta. Energianmittausjärjestelmä mahdollistaa koulutuksen ja oppimisen energiamittarin liittämiseksi PME- energianhallintajärjestelmään, jossa voidaan helposti koostaa peruseraportteja kulutuksesta tai verrata kulutuksia eri aikajaksoilta. PME mahdollistaa myös vaativammat analyysit mm. sähkönlaatuun liittyen. Tarvittaessa PME:ssä olisi esimerkiksi mahdollista ohjata ilmanvaihdon aikaohjelmaa tai mitä tahansa muuta energiansäästöön liittyvää laitteistoa. Metropoliaan toteutettavan järjestelmän on tarkoitus antaa valmiudet opiskella energiatehokkuuteen ja energiansäästöön liittyviä mittauksia ja analyysijä.



#### 4. Metropolian energiamittausjärjestelmä

Metropolian energiamittaushanke käynnistettiin 2014 alussa tapaamisessa, jossa esiteltiin Schneiderin tarjoamia ratkaisuja energiamittaukseen. Tapaamisessa käytiin läpi PME:n tarjoamia mahdollisuuksia energian mittaukseen, raportointiin ja mittaustiedon tallentamiseen. Muutamissa jatkotapaamisissa ja sähköpostien vaihdon yhteydessä ideoitiin mittaroitavia kohteita sekä erityyppisiä sovelluksia. Mittaroitavat kohteet ja sovellustyypit määrittivät laitteistovalinnat eri kohteisiin. Mittaroitaviksi kohteiksi valikoitui pääsähkönmittaus talo-A:sta sekä laboratorion yhden ryhmän mittaus. Sovelluskohtaiseksi mittauksiksi otettiin moottorimittaus ja prosessin energiamittaus. Tämä kokonaisuus kattaa melko hyvin erilaiset mittaukset kaikenlaisissa kohteissa. Pääsähkönmittauksessa pystytään mittaamaan koko A-talon energiankulutus sekä sähkönlaatuun liittyvät suureet. Labramittauksessa taas päästään käsiksi yksittäisen kohteen energiaseurantaan. Moottorimittaus mahdollistaa yksittäisen sovelluksen tai koneen mittauksen. Lisäksi moottorimittaus mahdollistaa kahden erityyppisen moottorin energiankulutuksen vertailun. Moottorimittauksen taajuusmuuttaja pystyy ohjaamaan oikosulkumoottoria tai kestopagneettimoottoria. Moottorimittauksen analysaattori mahdollistaa myös sähkönlaadun mittauksen ja esimerkiksi harmonisten virtakomponenttien tutkimisen ja analysoinnin. Prosessimittaus mahdollistaa jonkun prosessin yksittäisen piirin energiankulutuksen mittaamisen. Prosessimittauksessa on mukana virtausmittari ja kaksi lämpötilamittaria. Näiden mittausten perusteella voidaan laskea prosessissa kuluva energia. Tässä tapauksessa virtaus mitataan vedestä, joten sillä voi käytännössä mitata esimerkiksi lämmityspiirin energiankulutuksen.

Kuvio 12:sta on vasemmalta alkaen järjestelmätason kuvaus prosessimittauksesta. Prosessimittaus tapahtuu mittaamalla prosessiin menevän ja sieltä ulos tulevan veden lämpötilaero sekä virtaus.



Kuvio 12. Järjestelmäarkkitehtuuri Metropolian energianmittausjärjestelmästä. Mittauskohteina ovat A-talon pääsähkö ja Laboratorion ryhmälähtö. Sovelluskohteina ovat prosessimittaus ja moottorimittaus. Tiedonhallinta ja keräys tapahtuu PME serverillä.

Paikallisella näytöllä näytetään sen hetkiset lämpötilat sekä laskettu virtaus virtausanturin pulssitiedosta. Näistä saadaan laskettua prosessiin jäävä energia. Moottorimittaus pitää sisällään paikallisen käyttöliittymän, josta voidaan valita moottorityyppi. Lisäksi paikallisnäytöltä on saatavissa tietoa moottorin perusarvoista kuten esimerkiksi eri vaiheille syötettävä virta. Pääsähkö, moottorimittaus ja prosessimittaus ovat PME-järjestelmässä kiinni ethernet liitynnällä. Labran valaistusryhmän mittaus on kiinni pääsähkön mittarissa Modbus RS-485 sarjaliikenne liitynnällä. Tämä on tyypillinen toteutustapa, koska tällä hetkellä on tilanne vielä se, että Modbus sarjaliikennemittarit ovat edullisempia kuin ethernet liitettävät. Ethernet liitynnän sisältävä mittari toimii siltana Modbus sarjaliikenteelle ja mahdollistaa edullisemmän verkkotopologian.

## 5. Energiamittausjärjestelmä ja ohjelmistot

Kaikkien eri kohteiden mittauksiin saatiin vaatimusmäärittely tapaamisissa ja sähköpostitse karkeahkolla tasolla. Tämä oli myös tarkoitus koska tarvittava laitteisto ja mitattavat kohteet tarkentuivat paikan päällä tehdyillä katselmoineilla. Katselmoineissa tutustuttiin eri kohteissa laitteistoa ja asennuksia määrittäviin tekijöihin. Alkuun prosessimittausjärjestelmä oli tarkoitus toteuttaa lämmönjakohuoneessa mittaamalla kaukolämpöön liittyvää energiankulutusta. Lämmönjakohuonetta katselmoimassa havaittiin, että virtaus- ja lämpötilamittauksen asentaminen ja toteuttaminen vaatisi muutoksia nykyiseen liitännöihin sekä LVI:n sähkön että automaatioliityntöjen osalta. Kiinteistöhallinnallisista syistä päätettiin, että prosessimittaus tehtäisiin automaatiotekniikan laboratorion pienprosessiin. Pienprosessin kaikki suureet ovat samat mutta mittakaava vain pienempi. Todettiin, että opetuskäytössä pienprosessin mittaukset olisivat riittäviä.

### 5.1 Pääsähkönmittaus

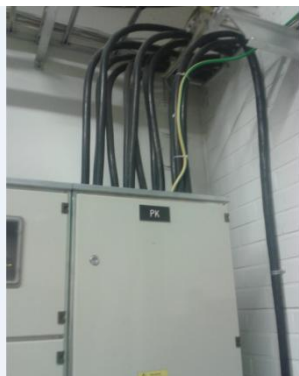
Pääsähkönmittaukseen saatiin vaatimusmäärittely tapaamisissa ja sähköpostitse sekä tarkennukset tehtiin katselmoimalla tiloja.

Vaatimusmäärittely pääsähkönmittaukseen (sähköposti Liljaniemi):

- Mittauskohde: A-talon pääsyötön mittaus
- Asennuspaikka: Katselmoitu paikka keskuksen vierestä
- Mittaustapa: Avattavat virtamuuntajat
- Asennustapa: Mittari erilliskoteloon
- Nimellisrta: In 1250A"
- Nykyiset virtamuuntajat: Sähkölaitoksen virtamuuntajat 1250/5A
- Syöttökaapeli: Kaapeli AMMK 3\*3\*300+2\*300+2\*300S"
- 

Katselmoineissa paikanpäällä todettiin, että pääsähkökeskukseen ei mahdu asentamaan lisävirtamuuntajia virtakiskoihin. Lisäksi rajoitteeksi tuli tehtävien muutosasennusten lupamenettely kiinteistön hallinnan kannalta. Tästä syystä päädyttiin erillisiin koteloihin ja erillisiin avattaviin virtamuuntajiin. Avattavat virtamuuntajat mahdollistavat asennuksen jälkikäteen ilman, että esimerkiksi sähköjä tarvitsee kytkeä pois kiinteistön pääsyötöstä. Oman haasteensa asetti syöttökaapeliin

toteutus. Syöttö jokaista vaihetta kohden oli tuotu kolmella erillisellä kaapelilla. Tämä tarkoittaa sitä, että virrasta 1/3 osa kulkee kutakin kaapelia pitkin. Lisäksi kolme syöttökaapelia vievät paljon tilaa fyysisesti.



Kuvio 13. Pääkeskuksen syöttökaapelien reititys ja fyysinen muoto. Kuvasta havaitaan, että kaapelit vievät huomattavasti enemmän tilaa kuin vastaava yksi syöttökaapeli.

Käytännössä ei löytynyt mitään järkevää virtamuuntajaa, joka olisi tuolle 1250 A nimellisvirralle mennyt kaikkien kolmen syöttökaapelin ympäri. Lisäksi mittaustarkkuus olisi kärsinyt koska virtamuuntajan silmukka olisi tullut suhteettoman suureksi. Paras ratkaisu oli käyttää virtamuuntajaa joka mittaisi vain yhden syöttökaapelin virtaa vaihetta kohden. Melko tarkka arvo mittauksesta saadaan kun lasketaan, että kokonaisvirta yhtä vaihetta kohden on  $3x$  (yhden kaapelin virta). Käytännössä tähän vaikuttaa syöttökaapelien resistanssi, joka on suoraan verrannollinen kaapelin pituuteen ja kääntäen verrannollinen poikkipinta-alaan. Kaapelien ominaisuuksien mittaukseen ei ollut mahdollisuutta, joten tässä vaiheessa päädyttiin käyttämään olettaa, että kaikki kaapelit ovat identtisiä ja virta jakautuu tasan. Pääsähkömittauksen virta-analysoijan parametreihin mittaskaalauksen korjaus oli tehtävissä helposti. Käytetyn virtamuuntajan arvo 500/5 A oli lähimmäksi mitattavaa nimellisvirtaa 1250 A osuva fyysisiltä mitoiltaan sopiva virtamuunnin. Analysoijan virtamuuntajan arvoksi aseteltiin 1500/5A. Tällä toimenpiteellä saatiin syöttökaapelin virta kerrottua kolmella. Käytännössä jos haluttaisiin mittausta vielä tarkentaa, niin sopiva menetelmä olisi mitata esimerkiksi tarkalla pihtivirtamittarilla kaapelien keskinäiset virrat ja ottaa tämä huomioon mittauksissa. Mittatarkkuus voisi parantua muutaman prosentin. Korjaus voitaisiin tehdä joko virta-analysoijassa tai sitten PME-järjestelmässä.

## 5.2 Labran valaistusryhmänmittaus

Automaatiolaboratorion vaatimusmäärittely tuli ensin sähköpostitse ja sitä tarkennettiin katselmoinnissa ja tapaamisessa.

Vaatimusmäärittely pääsähkönmittaukseen (sähköposti Liljaniemi):

- Mittauskohde: Automaatiolabran ryhmä R54
- Asennuspaikka: Erillinen kotelo keskuksen alle
- Syötön koko: 16/25A, 16A sulakkeet
- Virtamuuntajat: 16/5 tai 16/1
- Virtamuuntajien asennustapa: Avattavat virtamuuntajat (voidaan helposti pois)

Katselmoinnissa ryhmäkeskus 54 avattiin ja arvioitiin mahdollisuutta asentaa mittari ja virtamuuntajat ryhmäkeskukseen. Ryhmäkeskuksessa tilaa oli kuitenkin niin vähän, että päädyttiin asentamaan energiamittari erilliseen koteloon ryhmäkeskuksen ulkopuolelle. Virtamuuntajiksi valittiin 100/5 A, jotka ovat Schneider-valikoimassa ominaisuuksiltaan riittävät virtamuuntajat. Virtamuuntajia voi käyttää pienempien virtojen mittaamiseen lenkittämällä virran useamman kerran virtamuuntajan läpi. Suoraan virtamuuntaja läpi menevä johdin vastaa yhtä kierrosta ja silloin virtamuuntajan muuntoarvo on ilmoitettu nimellismuuntoarvo. Esimerkiksi 100/5A tarkoittaisi, että 100 A ensiövirralla toisiovirta on 5 A. Jos 100/5 A muuntajaan lisätään lenkki, niin muuntoarvoksi tulee 50/5A. Ja yleisesti muuntoarvo on  $I_E / (N+1) / I_T$ , jossa  $I_E$  on ensiövirta ja  $I_T$  on toisiovirta. N on lenkkien määrä muuntajassa. Lenkkien määrä N+1 saadaan siitä, että suoraan menevä johdin on varsinaisesti ensimmäinen lenkki tosin hyvin iso sellainen. Virtamuuntajia valittaessa on oleellista huomioida mitattavan virran arvo, jotta se osuu lähelle virtamuuntajan mittausaluetta. Virtamuuntaja valitaan mahdollisimman lähelle mutta isommaksi kuin mitta-alue. Lisäksi haluttu tarkkuus määrittää virtamuuntajan tyyppin. Seuraavassa on ote datalehdessä labran ryhmäkeskuksessa käytetystä virtamuuntajasta.

Type C - current transformer (cable profile)							
Internal profile type	Cables (mm)	Bars (mm)	Rating I <sub>p</sub> /5 A (A)	Cat. no.	Accuracy class		
					0.5	1	3
					Max. power (VA)		
CC	Ø21	-	40	METSECT5CC004	-	-	1
			50	METSECT5CC005	-	1.25	1.5
			60	METSECT5CC006	-	1.25	2
			75	METSECT5CC008	-	1.5	2.5
			100	METSECT5CC010	2	2.5	3.5
			125	METSECT5CC013	2.5	3.5	4
			150	METSECT5CC015	3	4	5
			200	METSECT5CC020	4	5.5	6
			250	METSECT5CC025	5	6	7

Kuvio 14. Ote virtamuuntajien ominaisuuksista. Taulukossa näkyy tärkeitä ominaisuuksia mittaustarkkuuden osalta.

Katsotaan tyyppille METSECT5CC010 seuraavat ominaisuudet. Tarkkuusluokka 0.5 %, jolloin kuormitettavuus 2 VA. Tämä tarkoittaa, että jos muuntajan toisiopuolta kuormitetaan 2 VA isommalla teholla niin tarkkuus alkaa huonontua. Kuormitettaessa toisiopuolta 2.5 VA ollaan tällä muuntajatyypillä tarkkuusluokassa 1 % ja 3.5 VA kuormalla tarkkuusluokka on tippunut jo 3.5 %:iin. Seuraavassa lasketaan teoreettisesti labran valaistusryhmässä saavutettavaa virtamittauksen tarkkuutta. Labran energiamittarin datisivuilta saadaan tieto, että tyyppin A9MEM3255 (energiamittarisarja PM3000) kuormitus on 0.3 VA ja kuormitus on ilmoitettu maksimivirralla 5 A.

Schneider Electric device	Consumption of the current input (VA)
Ammeter 72 x 72 / 96 x 96	1.1
Analogue ammeter	1.1
Digital ammeter	0.3
PM700, PM800	0.15
PM3000	0.3

Kuvio 15. Ote energiamittareiden virtamuuntajan kuormituksesta.

Kuormitukseen vaikuttaa energiamittarin kuormituksen lisäksi johtimien resistanssi.

Johtimen resistanssi lasketaan kaavalla:

Kaava 5-1

$$R = \rho \times \frac{l}{A}$$

$\rho$  on johtimen resistiivisyys

$l$  on johtimen pituus

$A$  on johtimen poikkipinta-ala

Toisiopuolen kokonaiskuormaksi saadaan:  $P_{\text{tot}}$

Kaava 5-2

$$P_{\text{tot}} = P_m + I^2 \times R$$

$P_m$  on energiamittarin taakka

$I$  on virta

Tästä lasketaan valaistusryhmän energiamittauksessa käytetyn virtamuuntajan ja energiamittarin ja mittausjohtimien aiheuttama kuorma. Energiamittarin ja virtamuuntajien välinen etäisyys on 2 metriä ja käytetty mittajohdin oli 2.5 mm<sup>2</sup> kuparijohdinta. Lisäksi huomioidaan, että johtimen kokonaispituus 4 metriä koska häviöt lasketaan tulo- ja paluujohdille. Laskennassa käytetään kuparin ominaisresistanssia 20 °C lämpötilassa. Kokonaistehoksi saadaan 0.3 VA + 0.69 VA, joka on n. 1 VA. Voidaan todeta, että tarkkuusluokkaan 0.5 päästään näillä mittausjärjestelyillä mainiosti. Samoilla mittausjärjestelyillä laskettuna 70 °C lämpötilassa kokonaiskuormitukseksi saadaan 1.13 VA. Voidaan todeta, että mittausjärjestelyt riittävät tarkkuusluokkaan 0.5. 1 mm<sup>2</sup> mittausjohtimella kokonaiskuormitukseksi saataisiin 2.02 VA, joten tässä tapauksessa täytyisi jo alkaa huomioidaan tarkkuusluokan huonontumista. Yhteenvetona voidaan todeta, että mittaukseen on valittava riittävän poikkipinta-alan omaava johdin, jotta pysytään halutussa tarkkuusluokassa.

Virtamuuntajilla on muitakin ominaisuuksia, jotka vaikuttavat niiden valintaan. Esimerkiksi laskutuksessa käytettävät virtamuuntajat täytyy olla tarkkuusluokaltaan 0.2 S tai 0.5 S riippuen tarkkuusvaatimuksista. 0.2 S tarkoittaa virran prosentuaalista mittavirhettä määritellyllä mitta-alueella prosentteina. Standardi 61869-2 (IEC:2012) määrittelee esimerkiksi tarkkuusluokille seuraavia ominaisuuksia:

Taulukko 3:ssa vasemmalla tarkkuusluokka ja oikealla määritellyjä raja-arvoja eri kuormitusvirroille, joissa tarkkuus on voimassa.

Taulukko 3. Virtamuuntajan tarkkuusluokan 0.1-1 ominaisuuksia.

Accuracy class	Ratio error				Phase displacement							
	± %				± Minutes				± Centiradians			
	at current (% of rated)				at current (% of rated)				at current (% of rated)			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Esimerkiksi tarkkuusluokka 0.2 sallii 0.75 % virheen kun mitattava virta on 5 % nimellisvirrasta. Vaihevirhe on tällöin 0.9 senttiradiaania, joka on 0,26 °.

Kuten Taulukko 4:stä huomataan, on laskutusmittauksissa käytetyn virtamuuntajan ominaisuudet vaativammat pienemmillä virroilla.

Taulukko 4. Virtamuuntajan tarkkuusluokan 0.2 S ja 0.5 S ominaisuuksia.

Accuracy class	Ratio error					Phase displacement									
	± %					± Minutes					± Centiradians				
	at current (% of rated)					at current (% of rated)					at current (% of rated)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0,5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

Suhteelliseksi virheeksi sallitaan 0.2 % alkaen 20 % nimellisvirrasta. Lisäksi tarkkuusvaatimus on määritelty 1 % asti nimellisvirrasta ollen 0.2 S virtamuuntajalle 0.75 %, joka on sama kuin 0.2 tarkkuusluokan virtamuuntajalle 5 % nimellisvirralla. Tarkkuusvaatimus pienille kuormille on perusteltua kun kyseessä on laskutusperusteinen mittaus. Metropoliaan toimitettavaa energiamittarointijärjestelmää ei käytetä laskutettavaan energiamittaukseen. Se on tarkoitettu opetuskäyttöön havainnollistamaan energiamittaukseen liittyvissä toimissa kuten monitorointi, raportointi, mittauksen liittäminen valvomojärjestelmään sekä sähkön laatuun liittyvien ilmiöiden tutkimiseen ja ymmärtämiseen.



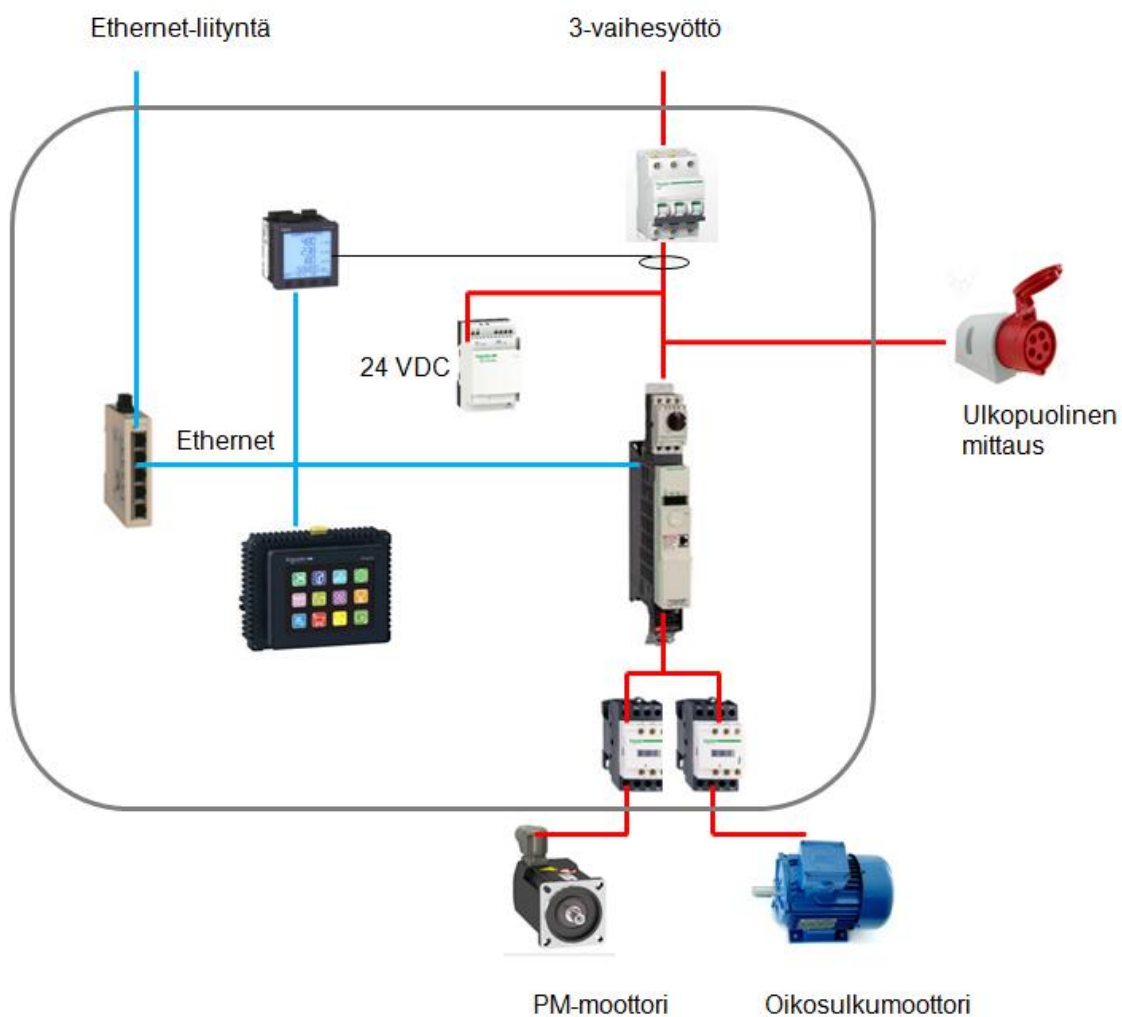
### 5.3 Moottorimittaus

Moottorimittaus toteutetaan mahdollistamalla kahden erityyppisen moottorin kytkeminen taajuusmuuttajaan. Kuvio 16:sta on periaatteellinen kuva moottorinohjausyksiköstä, joka on rakennettu liikuteltavaan koteloon. Liikuteltava kotelo oli tarpeen koska laboratoriossa ei ole kiinteää paikkaa moottorimittausyksikölle. Moottorimittausyksikkö on tarvittaessa mahdollista siirtää laboratoriotyön ajaksi paikkaan, jossa sille saadaan 3-vaihesyöttö sekä ethernet-liityntä.

Vaatimusmäärittely moottorimittaukseen (Sähköposti Liljaniemi):

- Jarrulevystä laite, jossa toisella puolella servo ja toisella puolella tavallinen oikosulkumoottori
- Laitteiston komponenttien asennus sähkökoteloon, jossa kiinnitykset samanlaiseen alustaan kuin nykyissä koteloidissa
- Oikosulkumoottorin tyyppi: Kolmiossa 220V, 0,25kW, 1,6/0.95A (saa myös kytkettyä tähteen).

Käytettävän ATV32 taajuusmuuttajaan kytkettävän moottorin nimellisteho on maksimissaan 0.37 kW. Moottorimittausyksikön mukana toimitettiin kestopagneettisynkronimoottori nimellisteholtaan 0.37 kW. Taajuusmuuttajaan voi liittää myös nimellisteholtaan 0.37 kW oikosulkumoottorin. Kuvassa (Kuvio 16) on periaatteellinen kuva moottorimittausyksiköstä. Kuvassa näkyy energia-analysaattori, paikallinäyttö, syötönvaihtoon liittyvät kontaktorit ja liitäntä ulkopuolisen kuorman syöttöön. Moottorimittaukseen voidaan liittää oikosulkumoottori tai kestopagneettimoottori, joiden valinta tehdään paikallinäytöstä. Mekaanisesti lukitut kontaktorit varmistavat, että taajuusmuuttaja ei kytke ohjausta päälle kuin yhdelle moottorityypille vuorollaan.



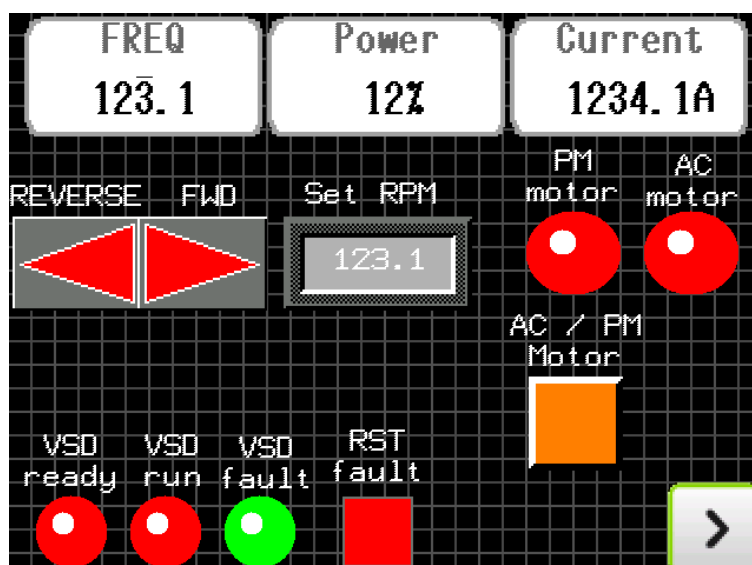
Kuvio 16. Periaatteellinen kuva moottorimittauksesta. Kuvassa näkyy sinisellä ethernet väylä ja punaisella sähkösyöttö. Lisäksi kuvassa ovat liitettävien moottorityyppien kuvat.

Lisäksi moottorimittausyksikköön liitettiin virtamuuntajien läpi kulkeva syöttö 16- ampeerin 3-vaihe syötölle. Tämä mahdollistaa minkä tahansa siihen liitetyn kuorman energiamittauksen tai sähkönlaatuun liittyvien tekijöiden mittaamisen ja analysoinnin PME-ohjelmassa. Virtamuuntajat ovat 100/5 muuntosuhteella ja niiden läpi menevät johtimet ovat lenkitetty neljä kertaa. Tällöin nimellismittausvirraksi saadaan 20 A. Kolmivaihemoottorin nimellisvirta on 0.37 kW moottorille noin 0.7 A (4 % 20 A mittausalueesta) tyypillisellä  $\cos \phi$  arvolla 0.8. Ottaen huomioon virtamuuntajan tarkkuusluokan 0.5 ja katsoen taulukosta 1 kohdasta "accuracy class" 0.5 ja "at current" 5 % nimellisvirrasta saadaan virtamuuntajan tarkkuudeksi 1.5 %. Virtamittarin tarkkuus on määritely 0.2 %, jolloin voidaan todeta että saavutettava tarkkuus moottorimittauksissa on luokkaa 2 %. Moottorityyppien vertailuun saadaan suhteelliseksi tarkkuudeksi parempi tulos mutta absoluuttinen tarkkuus on luokkaa  $\pm 2$

prosenttia tälle virta ja tehoalueelle. Tarkkuus riittää kulutuksien suhteelliseen vertailuun mutta esimerkiksi laskutusmittaukseen se olisi liian epätarkka. Mikäli tarkkuutta haluttaisiin parantaa, olisi käytettävä pienempiä tai tarkempia virtamuuntajia moottorimittaukseen. Toisaalta moottorimittausyksikköön on haluttu jättää mahdollisuus mitata minkä tahansa 3-vaihe laitteen energiaa liittämällä siihen pistoke ulkopuolisen mittaukseen. Mittaus on mitoitettu 16 A, joten toteutettu järjestely on kompromissi ominaisuuksista mahdollistaen laajan sovellusalueen. Moottorimittausyksikköä voidaan liikutella, joten se on siinä mielessä myös liikuteltava energiamittausyksikkö.

Moottorimittausyksikön moottorityypin valinta tapahtuu ohjauspäätteellä, jossa on perusohjaus kahdelle eri moottorityypille. Painikkeesta AC/PM motor voidaan valita moottorin tyyppi. Oletuksena moottorityypille on PM-moottori (Permanent Magnet) ja tarvittaessa moottori on vaihdettavissa oikosulkumoottoriin AC/PM painikkeesta. Kuvio 17 näyttää taajuusmuuttajan mittaamat lukemat taajuudesta, tehosta ja virrasta. Taajuusmuuttajan tarkkuus tehon ja virranmittauksessa ei ole yhtä tarkka kuin energiamittarin antama mittaus. Esimerkiksi moottorin virran mittauksen tarkkuus on 5 %. Tästä johtuen myös moottorin teho ja laskettu vääntömomentti ovat tässä samassa tarkkuusluokassa. Käytännössä mittaustarkkuus riittäisi esimerkiksi arvioitaessa koneen kuluttamaa suhteellista tehoa eri ajankohtina. Esimerkiksi koneen energiankulutus tietyssä toiminnossa olisi alkuun pysytellyt vakiotasolla mutta trendiä lukemalla saataisiin tieto, että energiankulutus on noussut ajan kuluessa kyseiselle toiminnolle. Tästä voitaisiin saada indikaatiota koneen kulumisesta. Tämä voisi olla esimerkiksi moottorin laakerien kulumisen tai moottorin pyörittämän kuljettimen viallinen toiminta.

Kuvio 17:sta on ohjaukseen liittyviä tärkeitä indikaatioita taajuusmuuttajan tilan tarkastelemiseksi.



Kuvio 17. Moottorimittauksen alkunäkymä ohjauspäätteen käynnistyttyä. Kuvassa on perusparametrien asettelu ja taajuusmuuttajan tilojen indikointi. Lisäksi ylhäällä näkyvät taajuusmuuttajasta luetut arvot mm. Moottorin virta (Current)

VSD ready merkkilamppu indikoi taajuusmuuttajan valmiutta ottaa ohjauskäsky vastaan. Vihreällä palaessaan taajuusmuuttaja on valmis esimerkiksi ottamaan nopeuskäskyn vastaan. VSD run valo indikoi taajuusmuuttajan käy tilaa. Esimerkiksi jos nopeusohje on annettu kenttään Set RPM ja painikkeesta FWD on aseteltu käsky ajaa eteenpäin, niin VSD run valo palaa vihreänä kun taajuusmuuttaja lähtee ajamaan aseteltua nopeutta. Virheen tapahtuessa taajuusmuuttajassa syttyy VSD fault merkkilamppu punaiseksi. Vikatilanne voidaan nollata RST fault painikkeesta. RST fault indikoi taajuusmuuttajan yleisvikabitin tilaa. Mikä tahansa virhe muuttaa sen värin vihreästä punaiseksi. Tällaisia virhetilanteita voi olla esimerkiksi virheet kommunikoinnissa ohjauspäätteen ja taajuusmuuttajan välissä, ylikuormitustilanne tai virheellinen kytkentä. Kun virheen aiheuttaja on poistettu, voidaan taajuusmuuttaja nollata ja saattaa VSD ready tilaan painamalla RST fault painiketta. Mikäli taajuusmuuttaja menee uudestaan vikatilaan, on syytä selvittää tarkemmin mikä sen aiheuttaa. Vikatilanteessa taajuusmuuttajan näytölle tulee vikakoodi, jonka tarkemman kuvauksen voi hakea käyttöohjeesta. Toinen vaihtoehto on hyödyntää taajuusmuuttajan Web-serveriä, josta vikakoodit myös löytyvät. Web-serverin sivuilla on taajuusmuuttajan parametrit ja vikakoodit selkeässä muodossa. Taajuusmuuttaja diagnostiikkasivuille pääsee selaimella taajuusmuuttajan IP-osoitteella. (Kts. Liite 1. Energiamittauksen IP-osoitteet)

Taajuusmuuttajan ohjaus täytyy suorittaa tietyssä järjestyksessä, jotta ohjaus saadaan luotettavaksi. Ohjauspäätteen konfigurointiympäristö Vijeo Designer mahdollistaa JavaScript kielen suorittamisen ajon aikana. Skriptikieli mahdollistaa yksinkertaisten ohjausten ja laskennan suorittamisen ohjauspäätteellä. Taajuusmuuttajan ohjaus luotettavasti vaatii tilakoneen ohjelmoimista skriptikielellä. Taajuusmuuttajan ohjaaminen on selkeää bitti- ja rekisteritasolla. On vain varmistettava, että käyttäjästä riippumatta ohjaukset toimivat luotettavasti. Esimerkiksi tilanne, jossa käyttäjä yrittää vaihtaa moottorityypin tilaa edestakaisin voi ilman taajuusmuuttajan tilan tarkastelua johtaa virhetilaan.

Kuvio 18 on Action-listaus taajuusmuuttajan ohjausta varten kirjoitetuista JavaScript:stä.

Actions					
	Trigger	Property	Interlock	PublishTo	Actions
1	Periodic	Repeat every 0.5 sec		HMI Runtime	Read ETA
2	Periodic	Repeat every 1 sec		HMI Runtime	AC_PM_State_Machine
3	Periodic	Repeat every 1 sec		HMI Runtime	Word Set [Moottorin_momentti_PME] = [Moottorin_momentti]...
4	Event	On Startup		HMI Runtime	Word Set [int_Relays] = [1]

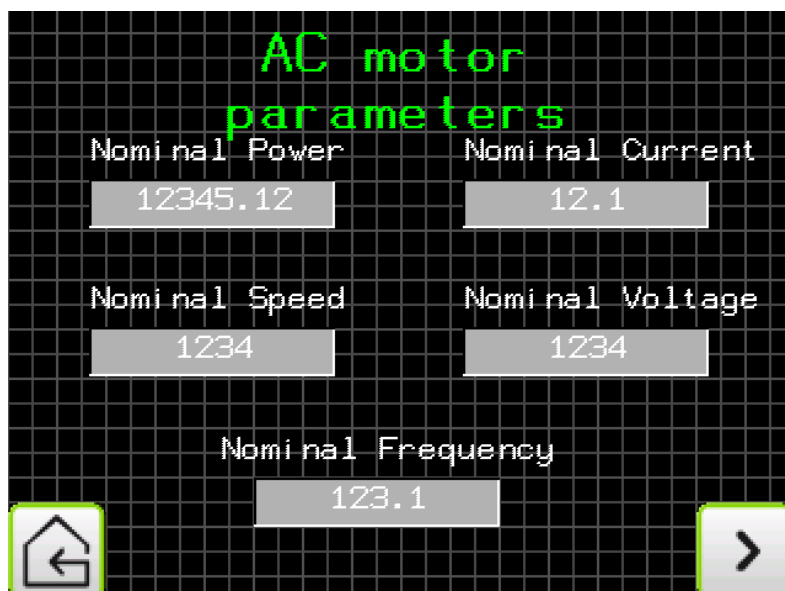
Kuvio 18. Moottorimittauksen ohjauspäätteen Action-listaus. Ajonaikaiset ohjaukset ovat periodisessa tilassa ja ohjauspäätteen käynnistyessä asetetaan taajuusmuuttaja tilaan synkronoitu kestopagneettimoottori

Periodisten skriptien suorittamisaika voidaan määrittää ohjelmassa ja tässä tapauksessa noin sekunnin periodinen skripti on riittävän nopea vastaamaan käyttäjän ohjauspyyntöihin ohjauspäätteeltä. Periodista skriptiä voi käyttää niin kauan kuin ohjauspäätteessä riittää suorituskykyä skriptien ajamiseen ilman, että esimerkiksi ohjauspäätteen käyttöliittymän suorituskyky kärsii. Jos sivuja tulee projektiin paljon ja sivujen vaihto hidastuu skriptien suorituksen takia, voidaan skriptit ohjelmoida tapahtumapohjaisiksi. Tällöin skripti suoritetaan esimerkiksi painikkeen saatua tilanvaihtokäskyn. Periodisen skriptin käyttö vastaa logiikkaohjelmoinnissa tuttua ohjelman kiertoaikaa ja tällöin koodin lukeminen on selkeämpää. Liitteen 1 mukainen skripti on tuttua Java-script ohjelmointiin perehtyneelle, mutta erityiseikkana on muuttujien määrittely ja lukeminen. Paikalliseen skriptiin ei saa määriteltä globaaleja muuttujia vaan skriptissä esitellyt muuttujat ovat paikallisia ja tästä seuraa se, että skriptien kutsujen välissä ne eivät pidä arvojaan. Tämä ratkaistaan käyttämällä metodeja esimerkiksi `muuttuja.getIntValue()`, joka on linkitetty ohjauspäätteen

muuttujaan ja palauttaa sen arvon kutsuttaessa. Vastaavasti paikallisen muuttujan arvo voidaan kirjoittaa ohjauspäätteen muuttujiin käyttämällä metodia `muuttuja.write(arvo)`. Read ETA skripti hoitaa indikaatiomerkkilamppujen ohjauksen (VSD ready, VSD run, VSD fault). Tarkemmat yksityiskohdat selviävät projektin luovutuksen yhteydessä toimitetuista suunnittelutiedostoista nimellä `Metropolia_EE_HMI_MotoBox`, joka aukeaa SoMachine suunnitteluympäristössä.

Moottorityypin vaihto on toteutettu määrittämällä taajuusmuuttajaan kahden eri moottorityypin parametrit, jotka on talletettu taajuusmuuttajaan. Taajuusmuuttajaan integroitua I/O:ta käytetään välireiden kautta ohjaamaan kontakteita, jotka vaihtavat syötön kestopagneettimoottorin ja oikosulkumoottorin välillä. Syötönvaihto on varmistettu mekaanisesti lukituilla kontakteilla. Mekaaninen lukitus varmistaa sen, että syöttö voi olla kerrallaan vain yhdelle moottorille, jolloin moottorin tai taajuusmuuttajan rikkoutuminen on estetty. Liitteessä 3 on kuvattuna vuokaaviona taajuusmuuttajan ohjaus moottorin tyyppivaihdon yhteydessä. Ohjausta jouduttiin muuttamaan tilakonetyyppiseksi luotettavan toiminnan varmistamiseksi. Aluksi toiminta suunniteltiin mahdollisimman yksinkertaiseksi perustuen aikaviiveeseen. Kun moottorin tyyppiä haluttiin vaihtaa, ohjauspäätteeltä laitettiin kiinteä aika, joka oli noin sekunnin luokkaa ennen kun taajuusmuuttajaa käskytettiin vaihtamaan kontakteita ohjaavien releiden tila. Useimmiten vaihto meni normaalisti, mutta välillä parametrien vaihto moottorilta ei ehtinyt tapahtua sekunnin aikana, jolloin moottori meni vikatilaan yrittäessään ohjata esimerkiksi kestopagneettimoottorin parametreilla oikosulkumoottoria. Aikaa kasvatettiin muutamaan sekuntiin mutta aina silloin tällöin tässäkin tilanteessa moottorin fyysinen syötönvaihto ehti tapahtua ennen kuin taajuusmuuttajassa oli oikeat parametrit. Tämä ratkaistiin ottamalla taajuusmuuttajasta rekisteri käyttöön, josta sai tiedon mitkä parametrit olivat taajuusmuuttajassa aseteltuna. Tilakoneessa on kuvattuna toiminta, jossa moottorinvaihtopyynnön tapahtuessa taajuusmuuttajan tilaa luetaan ja tehdään fyysinen syötönvaihto kun taajuusmuuttaja on siihen valmis. Moottorityypin vaihto ei normaalissa toiminnassa ole aikakriittinen toimenpide koska harvemmin taajuusmuuttajalla ohjataan kahta erityyppistä moottoria. Tämä on tietysti mahdollista ja joissain sovelluksissa käytetty menetelmä jos kustannuksia halutaan säästää ja moottorien ohjaamisen ei tarvitse olla samanaikaista.

Ohjauspäätteelle laitettiin myös mahdollisuus vaihtaa oikosulkumoottorin kilpiarvoja, jolloin voidaan tarvittaessa testata useampia oikosulkumoottoreita ja verrata niiden käyttäytymistä energiankulutuksen ja momentin osalta kestromagneettimoottoriin.



Kuvio 19. Moottorimittauksen oikosulkumoottorin kilpiarvojen asettelu. Näkymä ohjauspäätteen sivulta 2

Oikosulkumoottorin kilpiarvot:

- Moottorin nimellisteho
- Moottorin nimellisvirta
- Moottorin nimellinopeus
- Moottorin nimellisjännite
- Moottorin nimellistaajuus.

Energiankulutuksen vertailun mittailuun tarvittaisiin kuorma, joka on aseteltavissa vakioksi tai muuten hallitusti säädettäväksi. Automaatiolaboratoriossa oli aikaisemmin tehty kuorma, jossa jarrulevyyn kohdistuvaa jarruvoimaa saatiin säädettyä ilmanpaineella. Tämä laitteisto soveltuisi vakiokuormaksi mitattaessa esimerkiksi hyötysuhdetta eri moottorityyppien välillä.

#### 5.4 Sähkömoottorien energiatehokkuus

Tällä hetkellä teollisuus katselee tuotantoaan kokonaistehokkuuden näkökulmasta, jossa mittarina toimivat käytettävyys (K), kappalemäärä (N) ja laatu (L). Käytettävyys mittaa koneen kokonaiskäyntiaikaa. Kuinka monta prosenttia kone on käynnissä mahdollisesta käyntiajasta. Mahdollinen aika ei välttämättä ole 24/7 vaan voi olla esim. 16 tuntia arkipäivisin jos ajetaan kahdessa vuorossa. Kappalemäärä suhteutetaan koneen teoreettiseen maksiminopeuteen. Esimerkiksi jumitilat heikentävät kappalemäärää. Laatu saadaan laskemalla kurantin tavaran suhde kaikkiin tuotettuihin kappaleisiin. Kun edelliset kolme tekijää kerrotaan keskenään saadaan  $K \times N \times L$ , joka mittaa kokonaistehokkuuden. Erinomaisena maailmanluokan lukuna voidaan pitää KNL:lle yli 85 % arvoa. Tyypillisesti liikutaan 40 - 80 % tietämissä.

KNL mittaa osiltaan myös kestävään kehitykseen liittyviä asioita. Korkea laatu esimerkiksi kertoo, että tulee vähän materiaalihukkaa. Käytettävyys ja kappalemäärä taas korreloivat yhtä tuotetta kohden käytetyn energian kanssa. Voidaan myös sanoa, että mitä parempi KNL, sitä paremmin toteutetaan kestävä kehityksen ajatusta. Kuluttajapuolella vihreillä arvoilla on merkitystä osalle kuluttajista. Toisaalta valtiot pyrkivät lainsäädännön ja verotuksen kautta vaikuttamaan tuotteiden energiataseeseen. Tästä on esimerkkinä hehkulamppujen korvaaminen energiansäästölampeilla. Muitakin esimerkkejä löytyy kuten kodinkoneiden energiamerkinnot (mm. kylmälaitteissa, pyykinpesukoneissa, kuivaavissa pesukoneissa). Näillä merkinnöillä kuluttaja voi tehdä itse valintoja ekologisuuden ja sähkölaskun suhteen. Verotuksellinen esimerkki löytyy autoilusta, jossa ajoneuvovero on suurempi enemmän polttoainetta kuluttavilla ajoneuvoilla. Myös teollisuuspuolella löytyy esimerkki mm. sähkömoottorien hyötysuhdevaatimuksista. 2009 on tullut EU-komission asetus 640/2009. "Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2005/32/EY täytäntöön panemisesta sähkömoottoreiden ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta.



Tässä asetuksessa määrätään mm. moottorien hyötysuhteet nimellistehojen mukaan” [30].

- 1) 16 päivästä kesäkuuta 2011 moottoreiden hyötysuhteen on vastattava vähintään liitteessä I olevassa 1 kohdassa määriteltyä hyötysuhdetasoa IE2
- 2) 1 päivästä tammikuuta 2015: Moottoreiden, joiden nimellisteho on 7,5–375 kW, hyötysuhteen on vastattava vähintään liitteessä I olevassa 1 kohdassa määriteltyä hyötysuhdetasoa IE3 tai täytettävä liitteessä I olevassa 1 kohdassa määritelty hyötysuhdetaso IE2 ja oltava varustettu taajuusmuuttajalla.
- 3) 1 päivästä tammikuuta 2017: Moottoreiden, joiden nimellisteho on 0,75–375 kW, hyötysuhteen on vastattava vähintään liitteessä I olevassa 1 kohdassa määriteltyä hyötysuhdetasoa IE3 tai täytettävä liitteessä I olevassa 1 kohdassa määritelty hyötysuhdetaso IE2 ja oltava varustettu taajuusmuuttajalla.

640/2009 Liite I määrittelee moottorien vähimmäisarvot nimellishyötysuhteella nimellistehon ja napaluvun mukaan. Esimerkiksi IE2 moottorille nimellisteholla 7,5 kW ja napaluvulla 2 nimellishyötysuhde on 88.1 %. Vastaavalle IE3 moottorille arvo on 90.1 %. Muutaman prosentin ero hyötysuhteessa on merkittävä kun moottorin elinkaari on tyypillisesti yli 10 vuotta. Marraskuussa 2009 astui voimaan 2009/125/EY, joka kumosi direktiivin 2005/32/EY. 2009/125/EY tunnetaan EcoDesign-direktiivinä. EcoDesign-direktiivi määrittelee energiaan liittyvien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle asetettavien vaatimusten puitteita. EcoDesign-direktiivistä on saanut alkunsa paljon Euroopan Komission asetuksia. Osa asetuksista on melko tuoreita. Näyttää siltä, että EcoDesign alkaa tulla teollisuuden laitevalmistajille huomioitavaksi seikaksi eikä sitä voi välttää. Seuraavassa muutamia EcoDesign asetuksia, joita on hiljattain tullut voimaan:

- 2015/1188, paikallisten tilalämmittimien EcoDesign
- 2015/1189, kiinteän polttoaineen kattiloiden EcoDesign
- 2015/1185, kiinteää polttoainetta käyttävien paikallisten tilalämmittimien EcoDesign
- 2015/1095, ammattikäyttöön tarkoitettujen kylmä- ja pakastesäilytyskaappien, pikajäähdytyskaappien, lauhdutinyksiköiden ja prosessijäähdytyslaitteiden EcoDesign
- 1253/2014, ilmanvaihtokoneiden EcoDesign

- 548/2014, pienten, keskikokoisten ja suurten muuntajien osalta EcoDesign
- 66/2014, kotitalouksien uunien, keittotasojen ja liesituulettimien EcoDesign
- 4/2014, sähkömoottoreiden EcoDesign annetun asetuksen (EY) N:o 640/2009 muuttamisesta
- 813/2013, tilalämmittimien ja yhdistelmälämmittimien EcoDesign
- 814/2013, vedenlämmittimien ja kuumavesisäiliöiden EcoDesign

Kaikkiaan asetuksia heinäkuussa 2015 on jo 22 kappaletta koskien jo hyvin laajaa ryhmää laitteita.

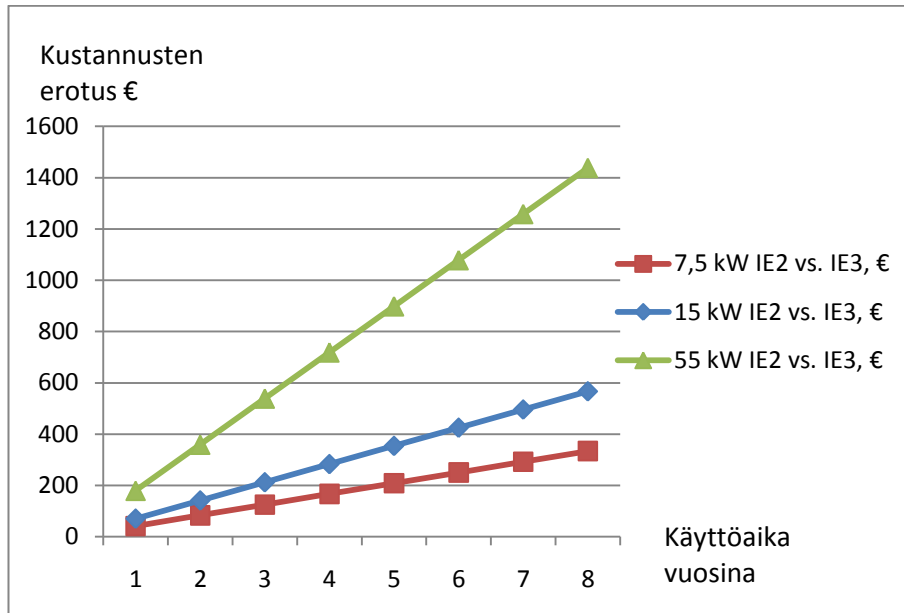
Seuraavassa on laskettuna kustannusten erotukset muutamalle moottorityypille, jossa hyötysuhteena on käytetty 640/2009/liitteen I mukaisia tietoja, jotka taas puolestaan ovat määriteltynä standardissa IEC 60034-30 (EY 4/2014 ei aiheuta muutoksia). Nämä tiedot ovat hyvä lähtökohta koska kaikkien moottorivalmistajien on täytettävä vähintään ne. Tarkasteltuna muutamaa moottoritoimittajaa, olivat annetut hyötysuhteet lähellä Taulukko 5 arvoja. Hintatiedot ovat muutaman moottoritoimittajan hinnoista muodostetut ja ovat arvioita.

Taulukko 5 tietoja käyttäen on laskettu kertynyt säästö vuosittain. Kuvasta voidaan laskea takaisinmaksuaika investoinnille tarkastelemalla "break even" menetelmällä kuvaajaa kustannusten erotusten osalta eri moottorityypeille ja hankintakustannuksia.

Taulukko 5. Muutaman moottoritoimittajan julkisista listahinnoista arvioidut nettohintaerot IE2 ja IE3 luokan moottoreille. Laskennassa on käytetty 0,06 € / kWh hintaa ja 50 % käyttöastetta nimellisteholla. Napaluku on 4.

kWh hinta €	0,06		
Käyttöaste	50 %		
Moottorityyppi	Hankintahinnan erotus €	Hyötysuhde IE2	Hyötysuhde IE3
IE2 vs. IE3, 7,5 kW	150	0,887	0,904
IE2 vs. IE3, 15 kW	600	0,906	0,921
IE2 vs. IE3, 55 kW	1200	0,935	0,946

Kuvaajasta (Kuvio 20) on laskettu takaisinmaksuaikoja kolmelle erikokoiselle moottorille. Jos hankintahinnan erotus on esimerkiksi 150 € 7.5 kW moottorille. Voidaan kuvasta nähdä, että energiakustannusten erotus on 150 € jo noin 3 vuoden kohdalla.



Kuvio 20. Moottorityyppien IE2 ja IE3 energiakustannusten erotus kolmelle eri moottorikoolle. Kuvasta saadaan takaisinmaksuaika kun verrataan hankintakustannusten erotus kertyneeseen energiansäästöön IE3 moottorin eduksi.

Kuvaajasta (Kuvio 20) voidaan vertailla takaisinmaksuaikaa paremman hyötysuhteen moottorille IE3 ja IE2-moottorin välillä

Taulukko 6. Takaisinmaksuaika laskettuna eri IE3 moottorityypeille verrattuna IE2:een.

Moottorityyppi	Hankintahinnan erotus €	Takaisinmaksuaika
IE2 vs. IE3, 7,5 kW	150	n. 3 vuotta
IE2 vs. IE3, 15 kW	600	n. 9 vuotta
IE2 vs. IE3, 55 kW	1200	n. 6 vuotta

Karkeahkosti IE3 moottori maksaa itsensä takaisin kuudessa vuodessa säästyneenä energiana. Tarkastelussa ei ole otettu huomioon muita kuluja. Näitä saattaisi olla esimerkiksi suorissa moottorikäytöissä etukojen mitoituksen huomiointi. IE3 moottorit saattavat valmistajasta riippuen tarvita etukojen ylimitoitusta suuremman

käynnistysvirran vuoksi, jolloin investointikustannusten ero ja takaisinmaksuaika kasvaa. Laskennassa on käyttöasteena 50 %, mutta jos moottori on päällä jatkuvasti eli 100 %, niin vastaavasti takaisinmaksuaika puolittuu. Motivan sivuilta löytyy erillinen opas energiatehokkuuden näkökulmasta sähkömoottorin hankintaan. Oppaassa on seikkaperäisesti kerrottu erikseen huomioitavat asiat hankittaessa sähkömoottoria. Oppaassa on mm. esimerkkilaskelmia vaihdettaessa vanha sähkömoottori uuteen IE2 tai IE3 tyyppiin. Esimerkiksi vanha 5.5 kW moottori vaihdettaessa uuteen voi antaa jopa alle kahden vuoden takaisinmaksuajan [29, s.22].

EU on kunnostautunut asettamalla paljon määräyksiä energiatehokkuuteen ja voidaan olettaa, että niitä tulee jatkossakin. Sähkömoottoreihin asetetut hyötysuhdevaatimukset ovat seurausta moottorien suuresta energian kulutuksesta teollisuudessa. ”Sähkömoottorit muodostavat yhteisössä suurimman sähkökuormatyyppin teollisuudenaloilla, joiden tuotantoprosesseissa käytetään moottoreita. Näitä moottoreita käyttävien järjestelmien osuus teollisuuden sähkönkulutuksesta on noin 70 prosenttia. Näiden moottorijärjestelmien energiatehokkuutta on mahdollista parantaa kustannustehokkaasti kaikkiaan 20–30 prosenttia. Yksi tällaisten parannusten kannalta keskeinen tekijä on se, että käytetään energiatehokkaita moottoreita. Sähkömoottorijärjestelmien moottorit ovat siten ensisijainen tuoteryhmä, jolle olisi laadittava ekosuunnitteluvaatimukset” [30].

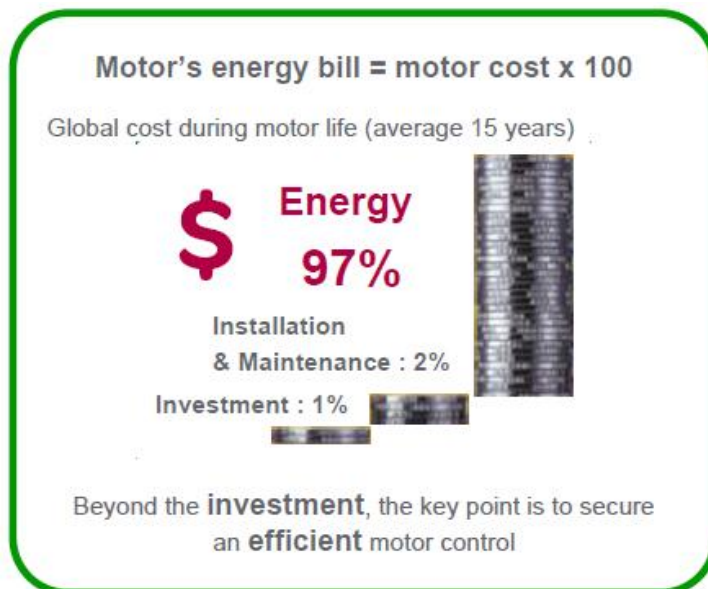
Näistä jo olemassa olevista määräyksistä ja EU:n tavoitteista kestäväan kehitykseen liittyvästä energiankäytöstä voidaan olettaa, että energiatehokkuusvaatimukset tulevat laajenemaan koskemaan laajempaa joukkoa teollisuuden toimintoja.

Koneenrakentajille ja laitevalmistajille energiansäästötalkoot näkyvät tällä hetkellä pääosin sähkömoottorien vaatimusten kautta. Toisaalta myös kuluttajat ovat havahtuneet kestäväan kehitykseen ja laitevalmistajien on otettava huomioon myös tämä. Laitevalmistajilla on mahdollisuus erottua kilpailijoistaan tuomalla markkinoille vihreämpiä koneita. Iso osa koneen energiatehokkuudesta luodaan konetta suunniteltaessa. Konetta käytettäessä on kuitenkin seurattava koneen energiankulutusta aivan kuten mitattaessa KNL:ää. Jos ei ole mittarointia, energiatehokkuudesta menetetään osa saavutetusta säästöstä ajan kuluessa.

Laitevalmistajat ovat enenevässä määrin tietoisia kestäväan kehityksen mukana tuomasta energiatehokkuusajattelusta. Markkinoilta on tulossa vaatimuksia

energiatehokkuuden huomioimisesta, mutta laitevalmistajat ovat vielä varovaisia lähtemään mukaan. Tämä johtuu osittain siitä, että uuden suunnittelun ja teknologian hinta koetaan lisäkustannuksia aiheuttavana tekijänä. Käytännössä kestävä kehityksen ajattelu ja energiatehokkuuden huomioon ottaminen mahdollistavat sitoutuneemmat asiakkaat ja paremman laadun koneille uuden teknologian avulla. Lisäksi energiatehokkuusajattelu mahdollistaa uusien asiakkaiden löytämisen ja pärjäämisen myös haastavissa kilpailuolosuhteissa. Seuraavassa käsitellään menetelmiä energiatehokkuuteen, joka tarjoaa samalla laitevalmistajille mahdollisuuden erottautua kilpailijoistaan tuotetarjonnallaan sekä tarjoamalla uutta lisäarvoa omille asiakkailleen [31, s.2]

Toimilaitteet mitoitetaan usein ylisuuriksi kuten sähkömoottorit ja pneumaattiset toimielimet. Tämä johtaa usein ylisuureen energiankulutukseen. Ylimitoittaminen on helposti vältettävissä oikealla suunnittelulla ja testaamisella. Sovellusta on tarkasteltava riittävän syvällisesti, jotta saadaan käsitys riittävästä laadusta ja mitoituksista. Samassa on huomioitava myös mahdollinen päivitystarve tulevaisuuden varalle. Kokemus osoittaa, että mitoittamalla moottorit juuri sovellusta varten johtaa säästöihin energian kulutuksessa, jotka ovat keskimäärin 3-4 % elinkaaren ajalle. Samalla voidaan säästää myös etukojen mitoittamisessa. Seuraavassa on esitetty moottorin tyypillinen kustannusjakauma 15 vuoden elinkaarelle.

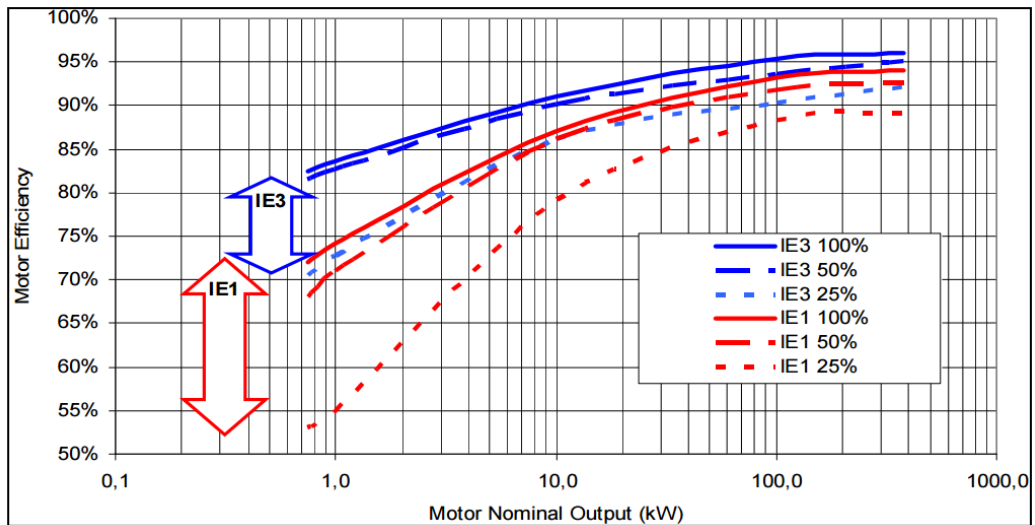


Kuvio 21. Tyypilliset moottorin kustannukset 15 vuoden elinkaaren aikana. 1 % on itse moottorin hinta. 2 % tulee asennuksesta ja ylläpidosta. Suurin osuus 97 % tulee käytön aikaisesta sähköenergiasta. [31, s.5]

Merkittävää ei niinkään ole alkuinvestoinnit ja ylläpito vaan huomio on oltava moottorin energiankulutuksessa, joiden kustannukset edustavat 97 % koko elinkaaren ajalle tulevista kustannuksista. Tästä voidaan helposti laskea, että jo pienet säästöt moottorin hyötysuhteessa ja energian käytössä säästävät merkittävästi kustannuksia koneen elinkaaren aikana. IEA julkaisemassa raportissa oli annettu hieman poikkeavia lukuja: 1 % korjaus ja ylläpito, 2,3 % moottorin hankinta ja 96,7 % energiakustannukset [32, s.72]. IEA lukuja vastaavat arvot oli annettu myös Motivan toimesta [29, s.6]. Toisaalta elinkaari on laskettu hieman eri pituuksille ja käyttöasteille. Esimerkiksi Schneiderin luvuissa on asennuskustannukset kun taas Motiva ja IEA ei mainitse niitä. Joka tapauksessa yhteistä on, että elinkaarikustannukset eri lähteistä antavat energian osuudelle n. 97 % kokonaiskustannuksista.

Korkean hyötysuhteen moottorin valinta on tärkeä ensimmäinen tekijä, jolla energiansäästöä saadaan. Parempaan hyötysuhteeseen ja korkeampaan hetkelliseen momenttiin päästään synkronimoottoreilla. Synkronimoottorilla voi säästää jopa 30 % energiankulutuksessa verrattuna oikosulkumoottoriin. Synkronimoottorilla on itsessään jo parempi hyötysuhde ja lisää hyötysuhdetta saadaan sen paremman hetkellisen momentin kautta, joka voi olla 4...5 kertaa nimellismomentti. Oikosulkumoottorin alhaisemman hetkellisen momentin vuoksi voi joutua ylimitoittamaan moottoria, jolloin oikosulkumoottori ei toimi enää parhaalla hyötysuhdealueella, kun taas PM-synkronimoottorilla pääsee optimihyötysuhteeseen. Tämä korostuu sovelluksissa, joissa tarvitaan usein liikkeellelähdössä suurta momenttia. Oikosulkumoottori joudutaan näissä tapauksissa ylimitoittamaan, jolloin sen hyötysuhde jää heikommaksi.

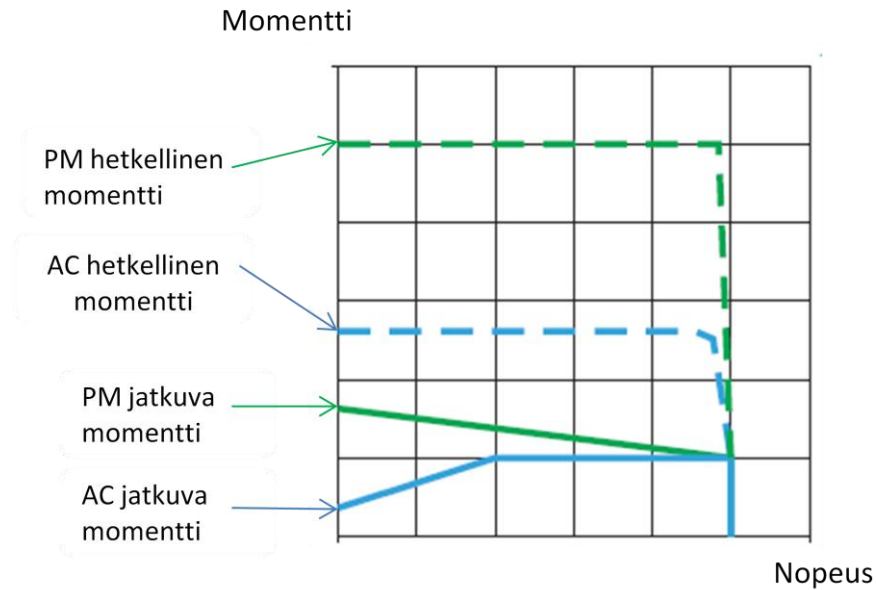
Kuvio 22:sta voidaan havaita, että oikosulkumoottorin hyötysuhde varsinkin pienissä IE3-luokan moottoreissa putoaa merkittävästi jos kuorma on pieni verrattuna nimelliskuormaan.



Kuvio 22. Oikosulkumoottorin hyötysuhde IE3 ja IE1 moottoreille eri kuormituksilla verrattuna nimelliskuormaan. IE3 moottorin hyötysuhde 25 % nimelliskuormalla on alle 10 kW moottoreilla noin 5 prosenttiyksikköä heikompi kuin nimelliskuormalla [32, s.47]

Tyypillisiä sovelluksia, joissa kuormitus on usein reilusti alle nimelliskuorman ja moottorikoko on melko pieni, ovat puhallinsovellukset ilmanvaihdossa. Ilmanvaihdon puhallinsovelluksissa ovat yleistyneet EC-moottorit, jotka ovat usein tyypiltään kestromagneettisynkronimoottoreita. Ohjaus on integroitu moottoriin ja staattorille syötetään hallittua DC-virtaa. EC-moottoreiden hyötysuhde on parempi verrattuna oikosulkumoottoriin. Lisäksi hyötysuhde alhaisilla kuormilla tai pyörimisnopeudella on oleellisesti parempi.

Vaihtoehtona momenttikäyttöihin on kestromagneettisynkronimoottori. Sen hetkellinen momentti on tyypillisesti pienissä moottoreissa noin 2 kertaa suurempi kuin vastaavan kokoluokan oikosulkumoottorissa.

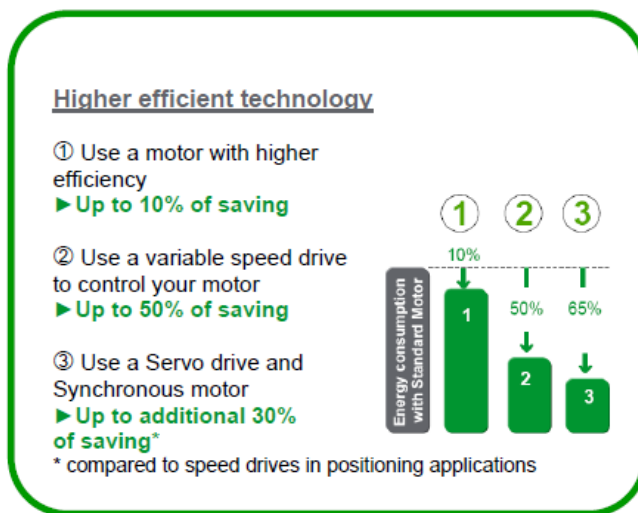


Kuvio 23. Viitteelliset ja suhteelliset arvot pienelle alle 1 kW moottorille. AC on oikosulkumoottori ja PM on kestopagneettisynkronimoottori. Hetkellinen momentti PM moottorille voi olla noin 2 kertaa mikä se on vastaavan nimellistehon oikosulkumoottorille. Myös jatkuva momentti on parempi koko nopeusalueella. [33, s.5]

PM-moottorin valintaan vaikuttaa hinta. Tyypillisesti hinta verrattuna esimerkiksi vastaavaan IE3 moottoriin on 2-3 kertainen. Mutta jos esimerkiksi valinnan perusteina ovat lisäksi pieni koko ja suuri hetkellinen momentti sekä energiatehokkuus niin silloin PM-moottori on kilpailukykyinen. PM-moottoreiden heikko puoli on kestopagneettien tarve, jotka ovat valmistettu harvinaisista maametalleista. Näiden materiaalien hinnat saattavat heilahdella paljonkin ja siten muodostavat haasteen PM-moottorien hinnoittelulle. Moottorien kehitys jatkuu ja markkinoille on tullut myös ilman harvinaisia maametalleja käyttäviä synkronoituja kestopagneettimoottoreita. Ne ovat korkean hyötysuhteen synkronireluktanssimoottoreita, joiden luokitus voi olla parhaimmillaan IE5. Magneettimateriaali on ferriittimagneetti, joka on hinnaltaan oleellisesti halvempaa kuin harvinaiset maametallit. Tyypillisesti nämä erikoismoottorityypit vaativat toimiakseen taajuusmuuttajan, joten suorien moottorikäyttöjen korvaajaksi niistä ei ilman taajuusmuuttajaan tehtyä lisäinvestointia ole. Suoriin moottorikäyttöihin on puolestaan omat korkean hyötysuhteen moottorit. Vielä on matkaa siihen, että päästäisiin yhtä vaivattomaan moottoriin kuin oikosulkumoottori, joka toimii suorakäytöllä tai taajuusmuuttajaohjattuna.



Sovelluksesta riippuen suorien moottorilähtöjen sijaan pehmokäynnistin tai taajuusmuuttaja voi säästää huomattavasti energiaa. Tällainen sovellus voi olla, jokin vanha pumppu- tai puhallinsovellus. Sovelluksessa esimerkiksi ohjataan virtauksen määrää kuristamalla virtausta moottorin ollessa täysillä. Lisäksi energian kulutukseen suorissa moottorikäytöissä vaikuttaa käynnistysten tiheys. Kuvio 24:ssä on kiteytettyinä säästämahdollisuudet moottorin valinnan osalta.



Kuvio 24. Erilaisia valintamahdollisuuksia säästää energiaa moottorin osalta. Kohdassa 1 valitaan korkean hyötysuhteen moottori IE2 tai IE3. Kohdassa 2 valitaan taajuusmuuttaja suoraikäytön sijaan, kohdassa 3 valitaan PM-synkronimoottori oikosulkumoottorin sijaan. Kohdassa 3 on huomioitava, että kaikissa sovelluksissa 30 % lisäsäästöä ei välttämättä saavuteta.[31, s.6]

Optimitapauksessa voidaan päästä 65 % energiansäästöön. Takaisinmaksuaika voi tällaisessa tapauksessa olla hyvinkin lyhyt. Laskuesimerkkinä takaisinmaksuajasta seuraavilla lähtötiedoilla: kWh hinta 0,06 €, koneen teho on ollut keskimäärin 7,5 kW, käyntiaika 24 h / 365 päivää, säästö energiassa 65 %. Koneeseen tarvittava lisäinvestointi 3 k€. Uusi teho 65 % säästöllä:  $0.35 \cdot 7.5 \text{ kW} = 2.6 \text{ kW}$ . Tästä saadaan säästö 4.9 kW.

Takaisinmaksuaika:

$3 \text{ k€} / (24 \text{ h} \cdot 365 \cdot 0,06 \text{ €} / \text{kWh} \cdot 4.9 \text{ kW}) = \text{vuosi ja kaksi kuukautta.}$

65 % optimisäästöllä päästään takaisinmaksu aikaan, jossa lisäpääoman muuta tuottomahdollisuutta, kuten esimerkiksi korkotuottoa, on tarpeetonta huomioida. Tässä tapauksessa lisäinvestointi automaatioon on melko suuri ja se sisältäisi jo synkronimoottorit sekä niiden käytöt. Korkean hyötysuhteen moottorit ovat myös pitkäikäisempiä, joten kestävän kehityksen malli toteutuu tässäkin suhteessa.

Pumppu-, puhallin- ja kompressorisovelluksiin käytön edut ovat ilmeiset vaihtelevilla kuormilla ja jopa 50 % energiansäästön voi saavuttaa. Lisäksi sovelluksissa, joissa on paljon liikuteltavaa massaa, joko liike-energian tai potentiaalienergian muodossa, voidaan käyttää verkkoon takaisin syöttävää tekniikkaa. Tyypillinen sovellus tästä ovat erilaiset kuormien nostosovellukset. Kuormaa laskettaessa voidaan jarrutusenergia syöttää takaisin verkkoon tai välipiiriin kautta suoraan jonkin toisen taajuusmuuttajan välipiiriin, joka puolestaan toimii käyttönä samanaikaisesti jollekin muulle sovellukselle. Liikkeenhallinnassa servoilla saavutetaan energiansäästön lisäksi myös tarkempi liikkeen tarkkuus sekä nopeampi liikkeenohjaus. Nämä ominaisuudet lisäävät koneen nopeutta, sekä mahdollistavat paremman laadun pienempien toleranssien kautta. Myös pneumaattisten toimielinten korvaaminen sähköisillä säästää energiaa. Pneumaattisissa järjestelmissä esiintyy usein vuotoja, jotka tuovat lisäkustannuksia energian käyttöön. Seuraavassa on lueteltu etuja, joita saadaan käyttämällä liikkeenhallintaa ja servomoottoreita.

Hyödyt loppuasiakkaalle:

- Tuottavampi kone
- Vähemmän jätettä
- Joustavampi tuotanto
- Pienemmät koneet

Hyödyt laitevalmistajalle:

- Vähemmän mekaniikkaa
- Vähemmän komponentteja
- Pienempi sähkönsyöttö

Loppuasiakas saa lisäarvoa, joka näkyy laadussa, energiankulutuksessa ja muutenkin vastaa kestäväen kehityksen ajatukseen. Loppuasiakas voi tämän lisäarvon tarjota kuluttajille.

Suunnitteluvaiheessa energiankulutus on huomioitu koneen huolelliseen ja optimoituun käyttöön. Käytännössä mikään kone ei ole koko ajan päällä vaan välillä kone seisoo tai on pysäytetty. Näissä kahdessa tilassa koneen kulutus saattaa olla merkittävää ja optimoimalla joutokäyntitiloja on arvioitu, että energiaa voidaan säästää kymmeniä prosentteja sammuttamalla koneesta kaikki turhat toiminnot pois. Useissa koneissa sammutuksen pitää olla hallittu ja myös koneen käynnistyksen pitää tapahtua tietyssä sekvenssissä, jotta kone saadaan nopeasti ajettua ylös. Kiinnittämällä huomioita tähän melko mitättömältä kuulostavaan ongelmaan, voidaan kuitenkin säästää merkittäväsi energiaa.

Muita energiaa säästäviä keinoja:

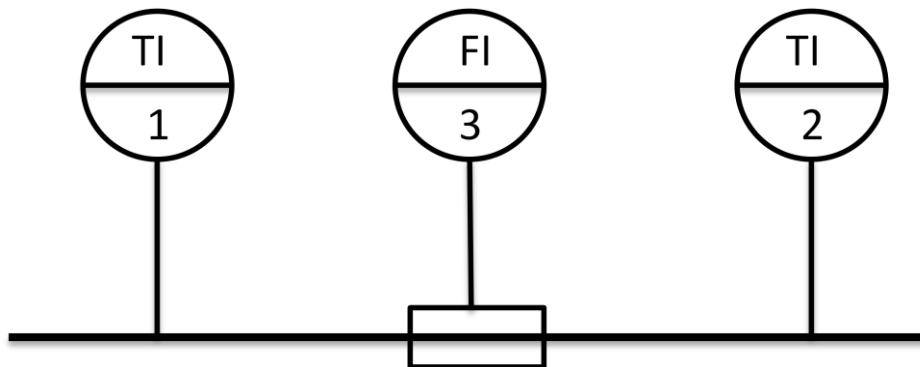
- Ohjauspäätteiden käyttö (vähemmän nappuloita ja merkkivaloja), taustavaloa pitää kontrolloida tyhjäkäyntitiloissa.
- LED:n käyttö merkkilampun sijaan
- Kontrollerin ja I/O: oikea mitoittaminen
- Tehokertoimenkorjaus lähellä aiheuttajaa

## 5.5 Prosessimittaus

Vaatusmäärittely prosessimittaukseen (sähköposti Liljaniemi):

- sijainti: Automaatiolabra
- Mittaussuureet: Virtaus ja lämpötila pienprosessista

Isompi prosessilaitteisto tulossa myöhemmin ja prosessimittaukseen käytetään siinä. Prosessimittauksen muunneltavuuden mahdollistamiseksi se päätettiin toteuttaa PLC-pohjaisesti. Jos esimerkiksi prosessin virtausmittarin tyyppi muuttuu tai tarvitaan useampia virtausmittareita sekä lämpötilan mittausta muutamasta eri prosessista. Toteutettu mittaus on yhdelle virtausmittarille sekä kahdelle lämpötilamittaukselle. Prosessimittauksessa käytetty PLC on varsinaisesti PLC:n ja ohjauspäätteen yhdistelmä tyyppiä HMISCU6B5. Tämä myös yksinkertaistaa tarvittavan laitteiston määrää koska prosessiin tarvittava laskenta ja paikallinen näyttämä saadaan samasta laitteistosta. HMISCU sisältää kaikki tarvittavat toiminnot pienen prosessin mittaukseen: suorat lämpötilatulot ja nopeat digitaalitulot virtausanturin liittämiseksi.



Kuvio 25. Prosessimittauksen PI-kaavio. Prosessissa on kaksi lämpötilamittausta ja yksi virtausmittaus.

Toteutetulla mittauksella on mahdollista mitata prosessiin jäävä energia jos tunnetaan virtaavan nesteen ominaislämpökapasiteetti sekä tulevan ja lähtevän nesteen lämpötilaero. Virtausmittariksi tulee Digimesan FHKU SCAN 335, jonka mittaus perustuu siivekkeiden pyörimisen mittaukseen. Mittausalueena on 0.15 - 6.8 litraa minuutissa. Seuraavassa on laskettu esimerkkinä prosessiin jäävä teho kun virtaavana nesteenä on vesi.

Veden ominaislämpökapasiteetti  $c$  4.182 kJ / (kg °C)

Lasketaan virtausmittarin maksimivirtaamalle 6.8 l/min. Prosessiin jäävä teho kun menoveden lämpötila on  $T_1$  ja paluueden lämpötila  $T_2$ . Prosessiin jäävä energia  $E$  lasketaan:

Kaava 5-3

$$E = m * c * \Delta T$$

$m$  on massa

$c$  on ominaislämpökapasiteetti

$\Delta T$  on tulo- ja menoveden lämpötilojen erotus

Massavirta lasketaan virtaamasta 6.8 l/min / 60 s \* 1 kg / l. Tästä saadaan massavirraksi virtausmittarin maksimiarvolla 0.113 kg/s. Tästä voidaan laskea prosessiin jäävä teho suoraan.

$$P = 0.113 \text{ kg/s} * 4.182 \text{ kJ / (kg °C)} * (T_1 - T_2)$$

Lasketaan esimerkiksi tapaukselle, jossa tulo- ja menoveden erotus on 20 °C. Saadaan prosessiin jääväksi tehoksi 9.47 kW. Virtausmittari on tarkoitettu melko pieneen prosessiin ja tässä vaiheessa se toimii lähinnä havainnollistamaan sähkön mittauksesta poikkeavaa prosessisuureta energiamittauksessa.

Tällä hetkellä prosessilogiikalta lähtee tietona ulos lämpötilat ja virtausmittaustieto litroina minuutissa. Tämä mittaustieto on muutettu tehoksi PME valvomo-ohjelmassa. Valvomo-ohjelma pollaa tietoja muutamia kertoja sekunnissa ja melko hitaaseen virtausprosessiin tämä on riittävä mittaus- ja tallennusväli. Mikäli virtausprosessi olisi nopeampi ja virtauksessa tapahtuisi nopeita alle sekunnin muutoksia, olisi perusteltua laskea prosessiin jäävää energiaa suoraan logiikassa. Logiikan suorituskyky riittäisi laskemaan millisekunti tasolla tapahtuvia muutoksia. Tällaiset muutokset ovat helposti mahdollisia esimerkiksi jos prosessi sisältää nopeita venttiileitä ja prosessin kuluttamasta energiasta halutaan tarkkaa tietoa.

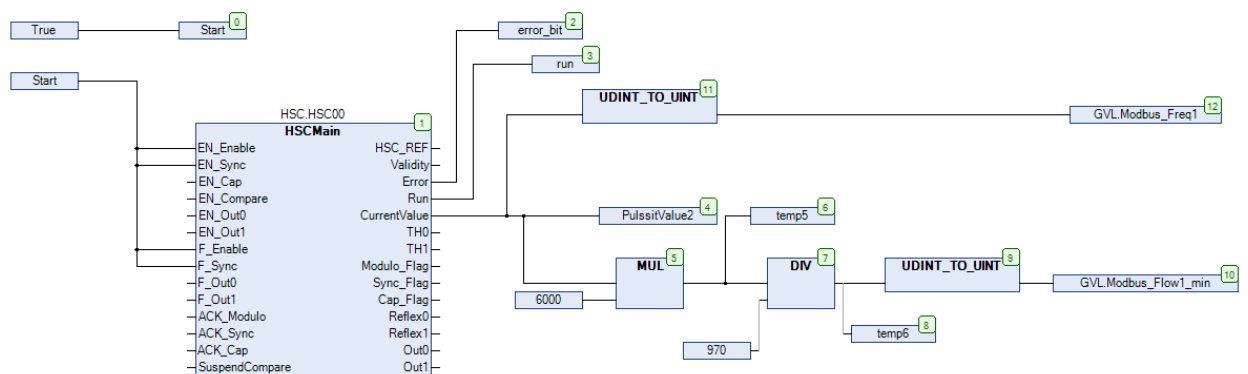
PME monitorointiin on helppo liittää laitteita Modbus TCP/IP protokollan kautta. Prosessimittauslogiikassa on määriteltynä Modbus rekisterit, joita PME pollaa.

Seuraavassa on esiteltyä logiikan ohjauspäätepuolelle määritellyt muuttujien osoitteet ja tyypit.

	Name	Data Type	Data Source	Scan Group	Device Address
1	_ControllerStatus	DINT	External	SOM_HMISCUxB5	@prop:2
2	Flow_litrs_per_minute	UINT	External	ModbusSlaveTCP/IP01	%MW0
3	Temperature_water1	INT	External	ModbusSlaveTCP/IP01	%MW1
4	Temperature_water2	INT	External	ModbusSlaveTCP/IP01	%MW2

Kuvio 26. Modbus TCP/IP muuttujien osoitteet logiikan ohjauspäätteen muuttujamäärittelyssä.

%MW0 - %MW2 ovat PME monitorointiin näkyvät muuttujat. Virtausmittaus on merkitön kokonaislukumuuttuja koska oletuksena on, että virtaus on aina prosessiin päin. Lämpötilat voivat olla myös negatiivisia. Muuttujat luetaan PME:ssä vastaavista osoitteista kuin ne ovat määritelty logiikassa. Tällä hetkellä dataa on käsitelty ainoastaan skaalauksen osalta. Laskentaan on käytetty nopeaa laskuria HSC (High Speed Counter), joka pystyy laskemaan pulsseja 50 kHz asti. Virtausmittarille on määritelty pulssimäärä 970 pulssia/ litra. Maksimivirtauksella 6.8 litraa / minuutti tämä tekee  $970 \cdot 6.8 / 60$  pulssia/s. Tästä saadaan 110 pulssia/s, joka on 110 Hz. Mittausalue riittää logiikassa erittäin hyvin käsittelemään virtauksen pulssitietoa. Tällä hetkellä pulsilaskuri laskee pulsseja sekunnin ajan, josta edelleen skaalaamalla saadaan haluttu lähtötieto litraa / minuutti.

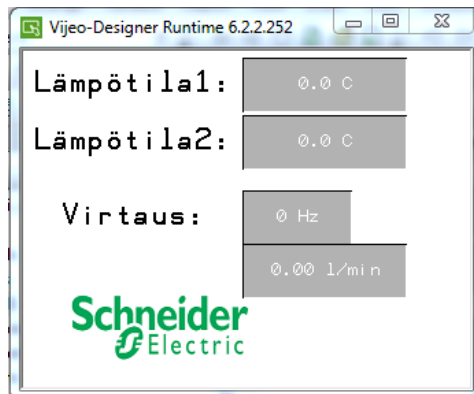


Kuvio 27. Virtausmittarin ohjelmallinen käsittely logiikassa on kuvattuna toimilohkokielellä (CFC). Laskuri on asetettu seuraamaan HSC00 laskuria, joka on linkitetty nopeaan tulon kanava 0.

Ohjelmassa näkyy skaalaus virtausmittarin antamalle pulssilukemalle 970 pulssia / litra. Lisäksi kerroin 6000 on laskennassa koska mittaukselle on haluttu 2 desimaalia

tarkkuudeksi. PME monitorointiin data viedään kokonaislukuna, jossa on ylimääräinen kerroin 100 tarkkuuden lisäämiseksi.

Ohjauspäätteen käyttöliittymä on tehty ainoastaan näyttämään prosessin tilaa. Näytössä on mitatut lämpötilat tulo- ja paluuedelle. Lisäksi näytössä on skaalattu virtausmittaus ja skaalamaton pulssiluku.



Kuvio 28. Virtausmittarin paikallinen näyttö ohjauspäätteellä

Paikallinen prosessin tilan näyttö hyödyllinen vikatilanteissa, joissa ei olla varmoja mistä vika johtuu. Onko se esimerkiksi yhteydessä valvomoon päin vai esimerkiksi paikallinen virhe antureissa, liitännöissä tai PLC:ssä. Varsinaiset muuttujien siirto Modbus TCP/IP rekistereihin tapahtuu ohjauspäätteen puolella.

Actions				
	Trigger	Property	Interlock	Actions
1	Periodic	Repeat every 1 sec		Word Set [Flow_litrs_per_minute] = [SoM.HMISCUxB5.Application.GVL.Modbus_Flow1_min], ...

Kuvio 29. Muuttujan siirto PLC puolelta Modbus TCP/IP rekisteriin

Kuvio 29:ssä on käytetty Action-toimintoa jaksollisesti siirtämään PLC:n puolella käsitellyt muuttujat ohjauspäätteen Modbus TCP/IP määriteltyyn rekisteriin. Ohjauspäätteen ja logiikan yhdistelmässä varsinaiset Ethernet-väyläajurit sijaitsevat ohjauspäätteen puolella, jolloin ulospäin lähtevät muuttujat on linkitettävä PLC-muuttujiin ohjauspäätteen puolella. Jaksollinen muuttujien linkittäminen on tehokas ja helppo tapa jos muuttujia ei ole muutamaa sataa enempää. Jos muuttujamäärät nousevat useisiin satoihin on järkevämpää käyttää tapahtumapohjaista muuttujien siirtoa. Muuttujan arvo päivitetään väylälle aina kun siinä tapahtuu muutos. Tässä

menetelmässä on lisäksi se etu, että se ei syö ohjauspäätteen resursseja turhaan. Tällä varmistetaan ohjauspäätteen jouheva käyttö kaikissa tilanteissa. Ohjauspäätteen resurssien käyttöä joutuu varsinaisesti miettimään kun ohjauspäätte sisältää kymmeniä eri sivuja, paljon grafiikkaa ja trendinäyttöjä. Tällöin on merkitystä miten muuttujien päivittämistä tehdään.

## 5.6 Ohjelmointiympäristö

Ohjelmointiympäristönä toimii SoMachine, joka on Schneider Electric:n suunnittelema ohjelmointiympäristö logiikoille, ohjauspäätteille ja liikkeenhallinnalle. Prosessimittaus toteutetaan SoMachine versio V4.1, jonka pohjana on CoDeSys V3.5. Ohjelmointiympäristö on varsinaisesti suunnattu laitevalmistajille sekä ympäristönä, että siihen liitettävän laitekannan ja sovelluskirjastojen osalta. Liitettävä laitekanta on monipuolinen ja tukee seuraavia laitteita: Logiikka, HMI-logiikan yhdistelmä, taajuusmuuttajaan liitettävä PLC-kortti, liikkeenhallintakontrolleri, ohjauspäätte. Lisäksi järjestelmään on lukuisia laitteita liitettävissä FDT/DTM tekniikalla. Mm. Taajuusmuuttajat, hajautus IO, langattoman ohjaukseen liittyvä tukiasema jne.

SoMachine tukee kaikkia IEC 61131-3 määrittelemiä ohjelmointikieliä, jotka on määritelty seuraaviksi:

- Ladder diagram (LD), graafinen kieli(tikapuukaavio, relekaavio)
- Function block diagram (FBD), graafinen kieli (toimilohkokaavio)
- Structured text (ST), tekstipohjainen (strukturoituteksti, lausekieli)
- Instruction list (IL), tekstipohjainen (käskylista)
- Sequential function chart (SFC), graafinen kieli (vuokaavio-ohjelmointi)
- Continuous Function Chart (CFC), graafinen kieli, laajennus IEC 61131-3 standardiin ja FBD:hen

Erilaisilla kielillä on omat vahvuutensa ohjelmoinnissa. Yleisimmin käytetyt kielet ovat FBD ja etenkin sen laajennus CFC, relekaavio LD ja lausekieli ST sekä vuokakaavio-ohjelmointi SFC. Relekaavio kieltä on tehokasta käyttää kuvaamaan, kuten sen nimikin sanoo relekaavioita, joissa lähdöt riippuvat tuloista sarja- ja rinnankytkennässä sekä näiden yhdistelmästä. Relekaaviota on helppo lukea esimerkiksi mitkä tuloehdot pitää



toteutua, että jokin lähtö tai toiminto menee päälle. Toimilohkokaaviokieli CFC on laajennettu kieli FBD:stä. CFC:ssä voi lohkojen suoritusjärjestystä muuttaa ja lisäksi takaisinkytkennät suoraan lähdöstä tuloon ovat sallittuja. CFC sopii hyvin yleiskieleksi kuvaamaan sovelluksen toimintaa. Sitä lukemalla saa hyvän yleiskuvan sovelluksen toiminnasta jos sovellus on selkeästi tehty. Lausekieli on tehokas kun ohjelmoidaan silmukoita, käsitellään taulukoita tai tehdään matemaattista laskentaa. Vuokaavio-ohjelmointi on parhaimmillaan kun kuvataan askeltavaa prosessia tai tilakonetta. Hyvin luettavan ohjelman saa kun käyttää eri ohjelmointikieliä kuvaamaan sovelluksen eri osa-alueita niiden vahvuusalueillaan. Esimerkiksi toimilohkoilla kuvataan ohjelman päätoiminta ja eri toiminnoille tehdään omat toimilohkot, joissa taas puolestaan on käytetty sopivaa kieltä kuvaamaan kyseinen toiminto.

SoMachine CoDeSys pohjaisena tuo logiikoiden ja ohjauspäätteiden väliseen tietoliikenteeseen tehokkaita ominaisuuksia. Esimerkiksi muuttujat logiikoiden välillä on mahdollista siirtää läpinäkyvästi siten, että toisessa logiikassa määritelty muuttuja on käytettävissä ilman erillistä rekisteriä suoraan toisessa ohjelmassa samalla nimellä. Tämä tietysti edellyttää, että logiikat ovat määritelty samassa projektissa. Muuttujien läpinäkyvyys toteutetaan määrittämällä GNVL (Global Network Variable List) sekä lähetävä että vastaanottava solmu. Läpinäkyvyys on toteutettu CoDeSys:ssä käyttämällä DDE (Dynamic Data Exchange) toimintoa, joka mahdollistaa muuttujien symbolisen vaihdon logiikoiden välillä.

## 5.7 Metropolian PME energianmittausjärjestelmä

PME (Power Monitoring Expert) on Schneider Electric:n energiamittaus- ja monitorointijärjestelmä. PME ohjelmisto sisältää toiminnot valvomo-ohjelmistosta ja raportointiominaisuudet energianhallintaan. Tyypillisiä käyttökohteita ovat: teollisuuslaitokset, vesilaitokset ja kiinteistöt. Erikoiskohteina ovat sähkösyötön kannalta kriittiset kohteet kuten tietoliikenne- ja datakeskukset sekä sairaalat. Lisäksi PME-järjestelmiä on käytössä sähkölaitoksilla ja sähkön tuotantoon liittyvillä toimijoilla.

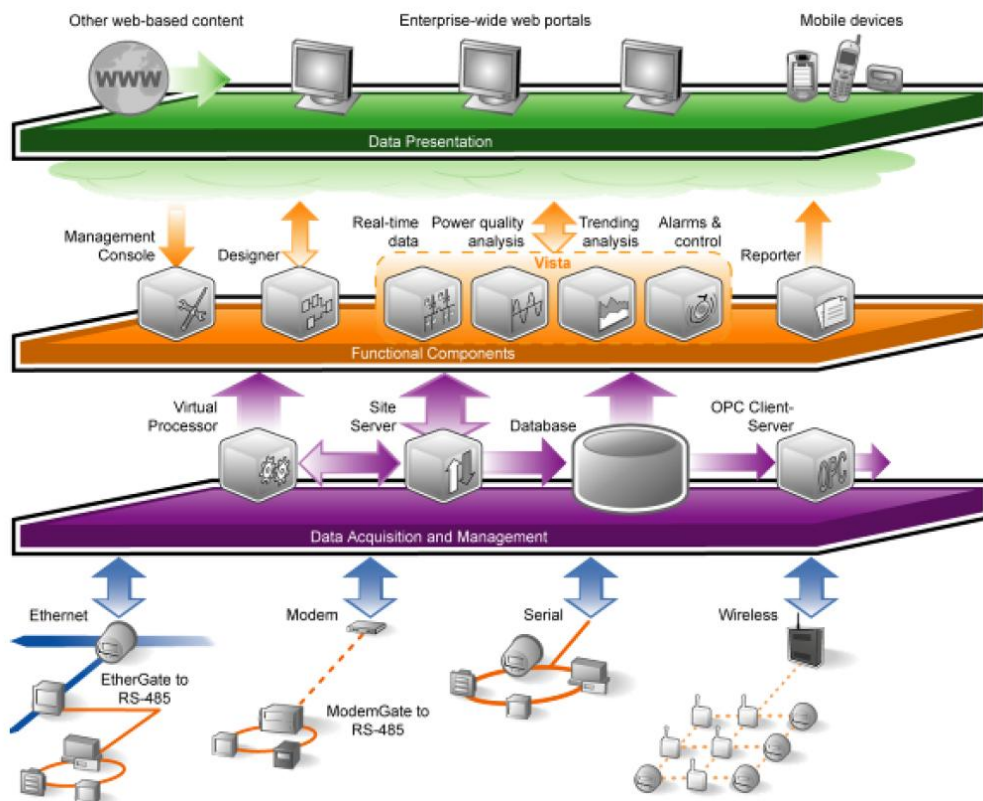
PME auttaa parantamaan energiatehokkuutta ja sähkönlaatua mittaroinnin ja raportoinnin kautta. Mittarointi ja siitä saatavat raportit auttavat paikantamaan sähkönkulutuksen kohteita ajan ja paikan suhteen. Sähkönlaadun mittaukseen liittyvät

toiminnot auttavat hallitsemaan käyttöomaisuuden elinkaarta. Esimerkiksi verkossa näkyvät virran tai jännitteen harmoniset komponentit voivat vaikuttaa muuntajien elinkaareen lyhentävästi harmonisten komponenttien lämmittäessä muuntajia yli normaalin käyttölämpötilan. Lisäksi verkon yksittäiset tai toistuvat jännitepiikit voivat rikkoa laitteita normaalia elinkaarta nopeammin. Käyttökustannuksiin taas puolestaan vaikuttaa huipputehon tarve sekä sähkön hinta eri ajankohtina. Yritykset ja muut isommat sähkönkäyttäjät maksavat sähkönsiirrosta tyypillisesti seuraavien perusteiden mukaan (esimerkki Imatran Seudun Sähkön siirtohinnoittelusta) [25]

- 1 Kiinteä kuluttajamaksu (euroa/vuosi)
- 2 Kulutetun energiamäärän mukaan määräytyvä siirtomaksu (senttiä/kWh)
- 3 Tehomaksu (euroa/kW/kk). Tehomaksun määräytyy kuukausittaisen huipputehon mukaan
- 4 Loistehomaksu (senttiä/kVar/kk) (anto & otto)

Kohtaan 2, jossa siirtohinnoittelu määräytyy kulutetun energian mukaan, on mahdollista vaikuttaa pienentämällä kokonaiskulutusta. Tämä vaatii kulutuspisteiden tuntemisen riittävällä tarkkuudella, jotta voidaan lähteä tekemään energiatehokkuustoimenpiteitä. Kohtaan 3 eli huipputehon määrittämään hintaan voidaan vaikuttaa seuraamalla kuormitusta ja tarvittaessa kytkemällä kuormaa pois päältä mikäli määritelty huipputeho alkaa lähestymään. Tämä tietenkin vaatii sen, että pois kytkettävät toiminnot eivät ole sillä hetkellä tarpeellisia tai ne voidaan tehdä jonakin muunakin ajankohtana. Huipputeho määritellään sähköyhtiöissä monella tapaa. Tästä esimerkkinä Helen, joka määrittelee laskutettavaksi tehoksi kuukauden aikana klo. 7-22 mitatun suurimman keskitehon yhden tunnin aikana [23, s.1]. Yhden kuukauden tehomaksut voivat määräytyä huipputehon mukaan, jolloin on perusteltua mitata ja monitoroida sähkönkulutusta ja tarvittaessa kytkeä kuormaa pois. Tällöin puhutaan kuormantasauksesta, jolla haetaan kustannussäästöjä käyttökuluissa. Siirtohinnan huipputehon mittauksen määrittelyssä on vaihtelua eri toimijoiden välillä mutta yhteistä kuitenkin on, että mitataan huipputehoa jollain aikavälillä, josta muodostuu keskiteho ja laskutuksen peruste. Koska huipputeho mitataan keskitehona, on mittaroinnin avulla mahdollisuus reagoida tehohuippuihin. PME ohjelmistoon on rakennettu ominaisuudet hallita kuorman ohjausta. Mittausten antamaa tietoa voidaan yhdistellä useammista mittauspisteistä ja analysoida niitä ja tehdä kuormantasausohjauksia kenttälaitteitten suuntaan.

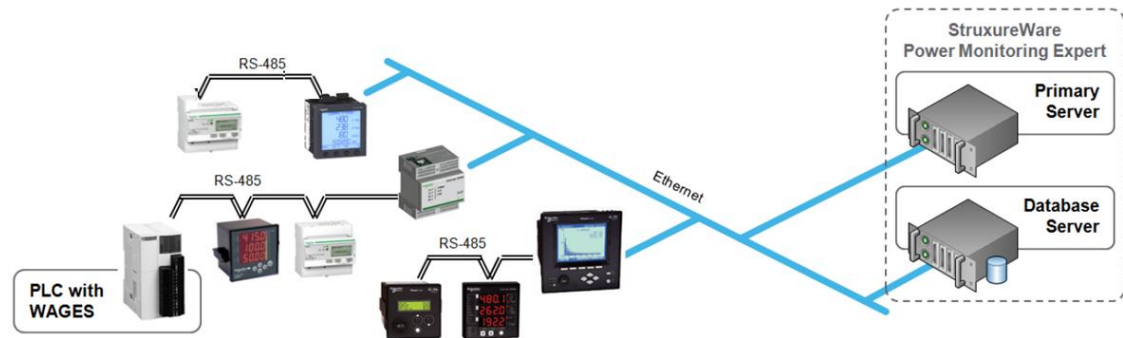
PME ohjelmiston arkkitehtuuri on esitetty Kuvio 30:ssä. Ylin vihreällä oleva kerros on datan esittämiseen käyttäjälle.



Kuvio 30. Arkkitehtuurikuvaus PME ohjelmistosta. Alimpana näkyvät liitettävät kenttälaitteet ja ylipänä käyttäjän liittymät kenttälaiteilta kerättyyn ja käsitelyyn tietoon.

PME näyttöön pääsee paikalliselta palvelimelta tai web-selaimen kautta. Näytöiltä on mahdollisuus katsella mittaristoa (dashboard), jolla esitetään käyttäjälle perustietoja kuten kulutustrendejä, kaavioita, hälytyksiä ja raportteja. Alimmassa kerroksessa ovat kenttälaitteet, jotka liitetään Modbus RTU sarjaliikenteellä tai Modbus TCP/IP ethernet:illä. Schneider Electricin mittareihin on valmiit ajurit ja niiden liittäminen on helppoa. Minkä tahansa kolmannen osapuolen laitteen saa liitettyä Modbus:n kautta, mutta rekisterit kenttälaiteessa ja PME:n päässä pitää määrittää vastaamaan toisiaan ja tiedon esityksessä täytyy ottaa skaalaukset ja muuttujatyypit huomioon. Käytännössä nykyään kaikki laitteet liitetään ethernetin kautta tiedonkeruupalvelimelle vaikkakaan kaikissa kenttälaiteissa ei ethernetiä ole. Tyypilliset liitännät menetelmät ethernetin ovat ethernetin liitännän sisältävän mittarin kautta tehtävä liittyminen tai käyttämällä Modbus TCP/IP siltaa, johon liitetään energiamittareita tai muita kenttälaitteita Modbus sarjaliikenteen kautta.

Päämittaus on liitetty PME-palvelimelle ethernet:llä. PM870 energiamittariin on lisätty ethernet-moduuli PM8ECC, joka mahdollistaa PM870 mittarin liittämisen ethernet:iin. PM870 liitetty ethernet-moduuli toimii lisäksi siltana Modbus RTU:n ja Modbus TCP/IP välillä. PM870 Modbus RTU väylään olisi mahdollista liittää useampia mittareita, jolloin järjestelmä on mahdollista laajentaa 128 alamittariin asti. Kuvio 31:ssä keskellä näkyy arkkitehtuuri ethernet-siltaan liittämiseksi.



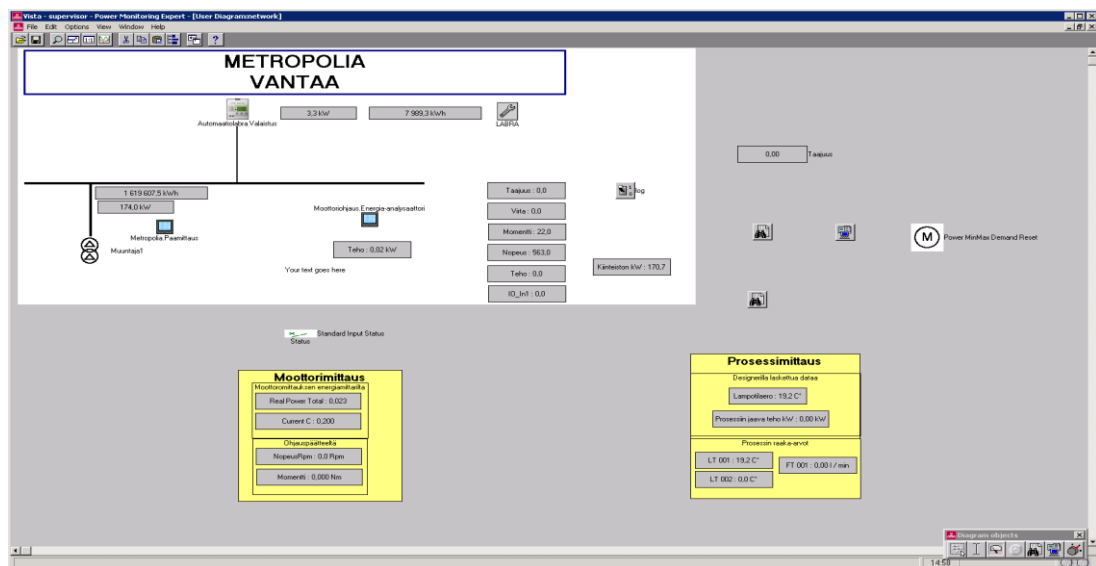
Kuvio 31. Tyypillinen topologia ja arkkitehtuurikuvaus kentälaitteista. Ylätasolta liityntä ethernetillä mittareille tai ethernet sillalle asti. Jatkoliitännät kentälaitteille tyypillisesti RS-485 ja protokollana esimerkiksi Modbus RTU [34, s.12]

RS-485 väylään voi olla liitettynä mitä tahansa laitteita, jotka tukevat valittua protokollaa. Kuvassa näkyvä "PLC with WAGES" kertoo mahdollisuudesta liittää mitä tahansa prosessisuureita järjestelmään. WAGES tulee sanoista Water, Air, Gas, Electricity, Steam. Kaikki nämä ovat prosessisuureita, jotka ovat liitettävissä energiamittaukseen. Usein miten itse energia on useamman muun suureen määrittämä ja tästä syystä ne on liitetty PLC:hen, jossa tapahtuu energian ja mahdollisesti muiden mitattavien suureiden laskentaa ja käsittelyä. Esimerkiksi höyryn energiamittauksessa tarvitaan mittaustietoina höyryn meno- ja paluulämpötila, tilavuusvirtaus ja paine. Näistä suureista voidaan logiikalla laskea prosessiin menevä energia, joka voidaan sitten tallentaa palvelimelle ja käyttää esimerkiksi kohdistettaessa kulutettua energiaa kulutuspistettä kohden tai arvioitaessa prosessia energiatehokkuuden kannalta. Tällä hetkellä useat arkkitehtuurit toteutetaan vielä käyttämällä runkoverkkona ethernetiä ja yhteydet alamittareille hoidetaan RS-485 ja Modbus protokolla. Tämä johtuu siitä, että RS-485 liitännäiset mittarit ovat vielä merkittävästi edullisempia tai kohteessa on jo asennettua mittarikantaa RS-485 liitännällä. Fyysisen liitännän lisäksi palvelimelle voidaan liittää mitä tahansa laitteita ja protokollia PME:n tukeman OPC server/client avulla. Tämä näkyy Kuvio 30:ssä tiedonkeräys- ja hallintakerroksessa, jossa on palvelin

toiminnot. Virtual Processor on palvelu PME palvelimella, jolla on mahdollista lukea tietoa useammalta mittarilta ja yhdistellä niitä esimerkiksi mittausalueiden mukaan sekä toimittaa esikäsiteltyä tietoa eteenpäin eri toimijoille. Tällainen voisi olla esimerkiksi jokin tehtaan osa tai prosessi, josta mitataan energiaa, yhdistellään tiedot eri mittapaikoista ja lasketaan kokonaiskulutus ja raportoidaan kokonaiskulutus kyseisestä prosessista vastaavalle käyttöpäällikölle.

”Functional Components” kerroksessa on varsinaiset toiminnot, joilla määritetään liitettävät kenttälaitteet, verkot, suunnitellaan ja ohjelmoidaan laitteista kerätyn tiedon mittaristo, määritetään mittauksen analyysit ja reaaliaikatieon monitorointi sekä luodaan raportointi.

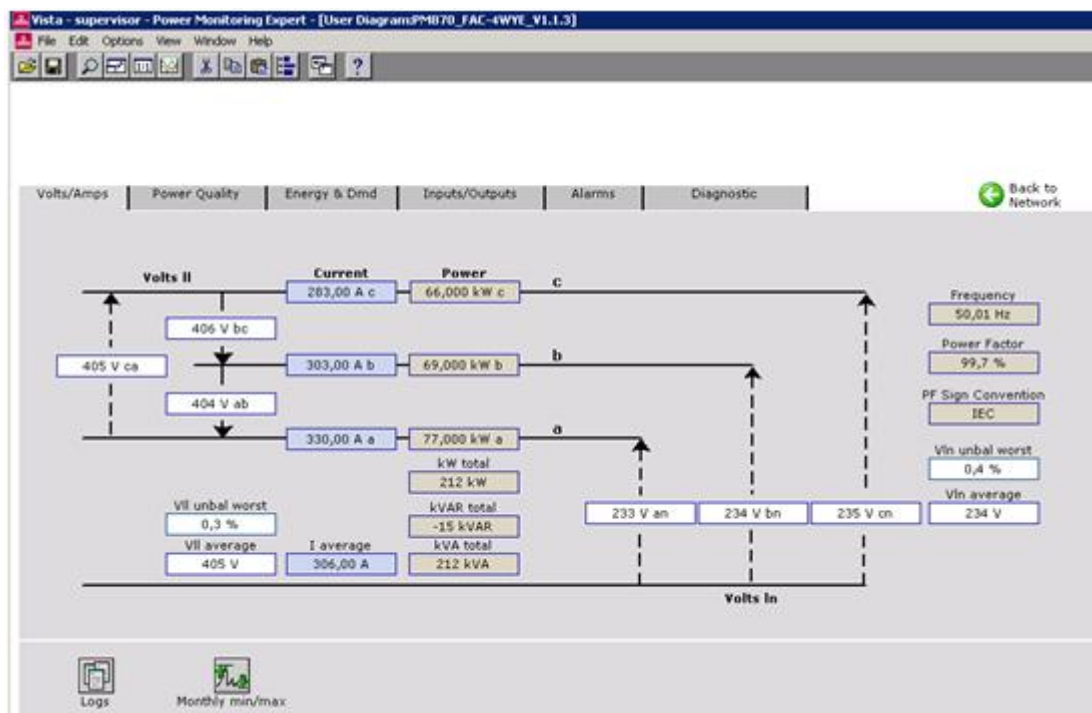
”Management Console” Hallintakonsolissa lisätään ja konfiguroidaan verkkoon liitetyt laitteet. Sen kautta myös hallitaan tietokantaan liittyviä toimintoja, käyttäjätilejä sekä ohjelmiston lisenssiä. Vista työkaluissa luodaan valvomon päänäyttämä kenttälaitteiden mittaustiedoista kaaviokuvana.



Kuvio 32. Pääkaaviokuva Metropolian Vista-näytöstä. Ylhäällä vasemmalla on pääsähkön ja labrasähkön mittaukseen liitetyt mittarit. Keltaisissa laatikoissa on moottorimittauksen ja prosessimittauksen näyttämät.

Kuvio 32 mukainen näyttämä rakennetaan yleensä huomattavasti isommalle järjestelmälle, jossa mittareita voi olla useita kymmeniä tai satoja. Tällöin eri sähkönsyöttöjen ja ryhmien mittauksia on jaettu eri sivulle. Päänäyttämässä on

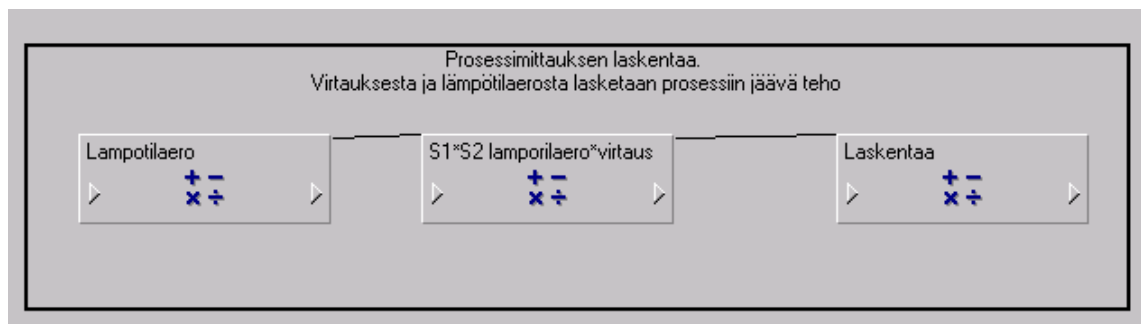
tyypillisesti tiedot kokonaiskulutuksesta sekä mahdollisista vikahälytyksistä. PME:n järjestelmän tukemat energiamittarit tuottavat jo itsessään paljon valmista, käsiteltyä sekä havainnollista tietoa energiamittarin suureista. Energiamittari kerää tarvittavan tiedon paikallisesti ja Vista näyttämään lisättynä ”energiamittari-widget” osaa tämän tiedon näyttää selkeässä havainnollisessa muodossa ilman erillistä määrittelyä. Seuraavassa on kuva päämittauksen energiamittarin tarjoamasta informaatiosta.



Kuvio 33. Päämittauksen energiamittarin tarjoamaa valmista tietoa eri mittaussuureista, joita voi vielä laajemmin tarkastella useilta välilehdiltä. Ensimmäisellä välilehdellä näkyvät vaiheiden perusmittaukset. Sähkönlaatu tai -kulutus voidaan tarkastella seuraavilla välilehdillä.

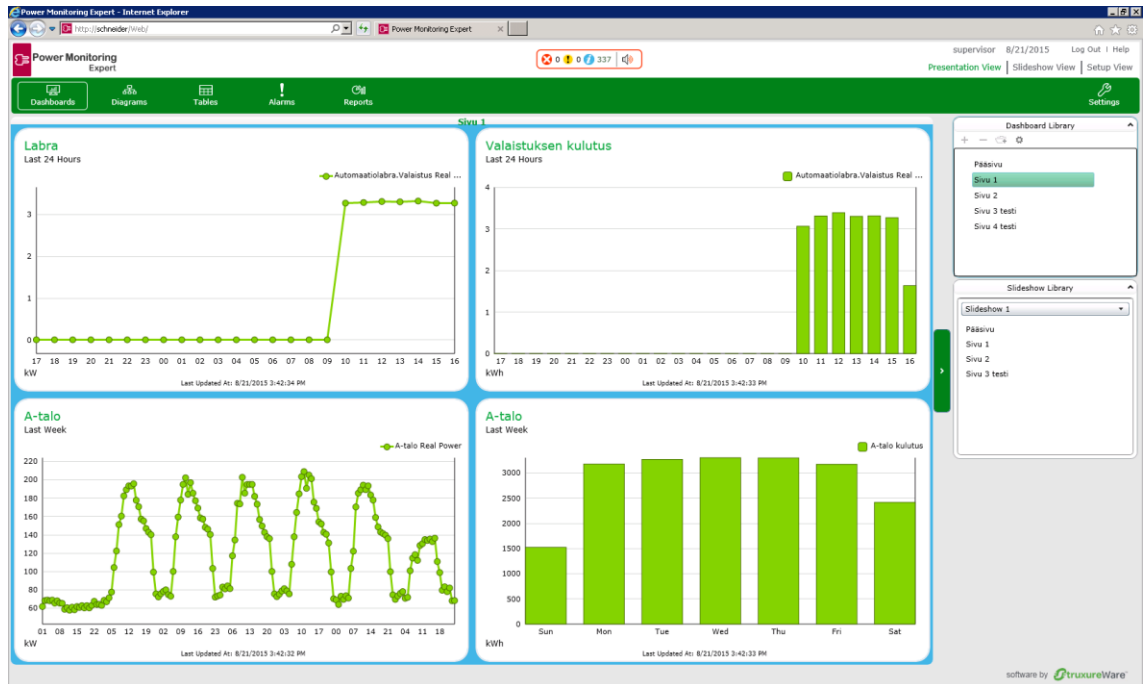
Tarkasteltavan tiedon laajuus riippuu liitetyn mittarin ominaisuuksista. Pääsähkömittauksen ja moottorimittauksen energiamittari on toiminnoiltaan energia-analysointilaite PM870. Perussuureiden lisäksi sillä voidaan myös analysoida sähkönlaatua. Mittarista saadaan esimerkiksi ulos tiedot kokonaissäröstä tai harmonisista komponenteista aina 63 harmoniseen asti. Tieto saadaan harmonisen tehollisarvosta sekä vaiheesta. PM870 saadaan lisäksi tieto sähkönlaadusta standardin EN 50160 vaatimassa muodossa (suomeksi SFS-EN 50160). Standardi antaa esimerkiksi raja-arvot: taajuudelle, jännitepoikkeamille ja harmonisille komponenteille. PM870 energia-analysointilaite saadaan heti tietoa onko sähkönlaatu täyttänyt standardin asettamat vaatimukset halutulle aikavälille.

Designer työkalu on tarkoitettu ohjelmoimaan kehittyneitä toimintoja. Mittaustiedoista voidaan laskea työkalun tarjoamalla valmiilla funktioilla esimerkiksi harmonisten kokonaissärö, taajuusspektri FFT ja monia muita matemaattisia funktioita. Metropolian energiamittausjärjestelmässä prosessimittauksen lämpötilasta ja virtaustiedoista on laskettu prosessiin menevä teho edellä esitetyn kaavan (Kaava 5-3) mukaan. Kuvio 34 ensimmäisessä lohossa lasketaan prosessimittaukseen liitettyjen lämpötila-antureiden erotus. Olettaen, että toinen mittaus on tulopuolella ja toinen lähtöpuolella, saadaan tästä prosessiin jäävä lämpötilaero tulo- ja lähtövirtauksen osalta. Seuraavassa lohossa lämpötilaero kerrotaan mitatulla virtauksella. Viimeisessä lohossa lasketaan prosessiin jäävän tehon osuus olettaen virtauksen olevan vettä.



Kuvio 34. Prosessimittauslaskennasta ruudunkaappaus, jossa laskenta on havainnollisuuden vuoksi paloiteltu pieniin lohkoihin.

”Reporter” sovelluksella luodaan raportit mittauksista, jotka on kerätty tietokantaan. Raportit saadaan ulos Excel tai HTML muodossa ja ne voidaan lähettää sähköpostilla valituille vastaanottajille. Web sovelluksessa määritellään tiedon esitys miten ja mitä tietoa halutaan näyttää. Esitetyn tiedon määrittely on helppoa ja siitä saadaan havainnollinen kokonaiskuva yhdellä silmäyksellä. Sivuja voi määrittellä useita ja niistä voi koostaa halutun esityksen esimerkiksi julkiseen tilaan, jossa halutaan näyttää saavutettuja energiansäästöä. Tai voidaan koostaa sivut päätöksentekoa varten kulutuslukemista.



Kuvio 35. Ruudunkaappaus Web työkalun näyttämästä. Näyttämään saa määritellyä erimäärän ikkunoita, joissa voi näyttää määritellyn tiedon havainnollisessa muodossa. Tässä on esimerkkinä määritellyt ylempänä labran valaistus ja alempana pääsähkö. Labralle on määritellyt päiväkohtainen kulutus ja pääsähkölle kulutus viimeisen viikon ajalta.



## 6. Muita energiamittarointijärjestelmiä

Markkinoilla on muitakin energiamittaukseen ja sähkönlaatuun liittyviä toimijoita. Vastaavia järjestelmiä löytyy muutamilta sähkönjakelussa ja automaatioissa toimivilta isoilta yrityksiltä. Isojen toimittajien selkeä etu on, että ne pystyvät toimittamaan ohjelmiston lisäksi laitteistot, jolloin voidaan varmistua ohjelmiston ja laitteiston helposta integraatiosta. Suurimmat toimijat energian hallintaan liittyvissä ohjelmistoissa jakautuu perinteisten sähkönjakelu ja automaatiotoimittajien kesken, mutta mukaan mahtuu isona toimijan myös näiden ulkopuolelta IBM. Rakenne järjestelmälle on melko monessa yhteneväinen, joten PME järjestelmän ymmärtäminen auttaa ymmärtämään kaikkien toimijoiden järjestelmiä ylätasolla. Myös mittareiden ja laitteiden liittäminen sekä perusarkkitehtuuri ovat monessa tapauksessa vastaavia (Kuvio 30).

Vastaavia muitakin järjestelmiä on, joissa toimittajalla on laitteiston lisäksi ohjelmisto energianhallintaan. Näitä löytyy mm. Siemensiltä, ABB:ltä ja Eatonilta. Siemens energiahallintajärjestelmään kuuluu erilaisia SICAM tuoteperheen ohjelmia. Esimerkiksi SICAM PQS on tarkoitettu sähkönlaadun mittaukseen ja analysointiin. ABB:n energiahallintajärjestelmä on nimeltään cpmPlus, joka on etupäässä suunnattu prosessiteollisuuden energianhallintaan. Eatonin energiahallintajärjestelmä on Power Xpert, joka taas on suunnattu enemmän kiinteistön energianhallintaan. Yleensäkin energiahallinnan toimittajat ovat erikoistuneet eri sovellusalueisiin. Esimerkiksi kiinteistöjen energiahallinnassa johtavia toimijoita ovat Schneider Electric ja Siemens. Haastajiksi on mainittu mm. Elster EnergyICT, Johnson Controls, Verisae, IBM ja lukuisia muita [35]. Se missä järjestyksessä toimijat oikeasti ovat, on varmasti tässä vain suuntaa antavaa tietoa. Osan markkinat ovat Euroopan ja Suomen ulkopuolella, joten ne eivät ole täällä tunnettuja toimijoita. Tunnettu yritys kuten IBM on mukana IBM Power Systems energianhallintaohjelmistollaan ja on erikoistunut esimerkiksi palvelinkeskusten energianhallintaan. Euroopan energianhallintaa käsittelevän katsauksen mukaan [36] Euroopan energiamarkkinoiden ollessa vuonna 2015 noin 4,13 miljardia dollaria, olisivat ne vuonna 2019 jo 11,89 miljardia dollaria olettaen vuosittaiseksi markkinoiden kasvuksi 23,58 %. Tässä katsauksessa isoina toimijoina on mainittuna samoja yrityksiä kuin viitteessä 35. Järjestys on hieman eri koska painotus ei ole kiinteistöissä. Markkinat energianhallintaan näyttäisivät olevan kasvussa jo senkin takia, että viranomaismääräykset energiatehokkuudesta tiukentuvat ja täsmentyvät

jatkuvasti. Tämä luo kustannuksia energiaa kuluttaville tahoille ja taas puolestaan luo hyviä liiketoimintamahdollisuuksia ratkaisuja energiahallintaan toimittaville yrityksille.

## 7. Järjestelmän hyödyntäminen opetuskäytössä

Energiamittausjärjestelmä on sinänsä käyttövalmis ja siihen on määritelty perusmittaustoimintoja valmiiksi. Järjestelmän hyödyntäminen pelkästään lisäämällä laitteita ja ottamalla esiin erilaisia kuvia ja raportteja tutustuttaa oppilaan ainoastaan tähän kyseiseen järjestelmään. Oppilaille on kuitenkin hyödyllisempää oppia käsitteitä ja asioita liittyen energiatehokkuuteen tai sähkönlaatuun. Näistä saatu oppi on yleishyödyllistä ja sovellettavissa laajasti riippumatta valmistajan laitteistosta ja ohjelmistosta. Koska järjestelmän käyttö vaatii kuitenkin ohjelmistokohtaista perehtymistä, on liitteeksi 8 lisätty ohjeet, joissa käydään läpi koko ketju laitteen lisäämisestä aina web työkalun visualisointiin asti. Tämä toimii aiheesta ensimmäisenä labrana, jossa oppilas ymmärtää eri sovelluskomponenttien merkityksen.

Labra 1:ssä käydään läpi ohjelmien eri komponentit, jotta syntyy riittävä kokonaiskuva ohjelmiston käyttämisestä. Tämän labran jälkeen oppilas ymmärtää perustoiminnot ohjelmasta ja osaa navigoida eri ohjelmaosuuksissa sekä osaa liittää järjestelmään mittarin. Tästä eteenpäin oppilas voi itse tutustua ohjelman eri osuuksiin ja löytää mielenkiintoisia ja hyödyllisiä perusominaisuuksia. Labra 1:ssä liitytään severille, jonne PME on asennettu. Lisäksi liitetään järjestelmään jo ethernet-verkossa oleva energia-analysointilaite PM870, joka mittaa pääsähköä. Mittarille määritellään Vista näyttämä ja mittarin "template". Lisäksi mittarille määritellään web-työkalussa peruskulutuksen näyttämät sekä peruseräraportti sähkökustannuksista.

Labra 2. Tässä oppilaan on tarkoitus miettiä millaisilla toimenpiteillä labran valaistuksesta voitaisiin säästää. Oppilas perehtyy labramittauksen kulutustrendiin ja päättää miten valaistus käyttäytyy eri ajankohtina ja olisiko sille tehtävissä mitään taloudellisesti järkevää energiansäästöä? Millaiseen energiansäästöön kustannusten osalta päästäisiin vuositasolla jos labran valaistuksen kulutus voitaisiin puolittaa? Jos mittarilta saadaan kulutustieto viimeisen vuoden ajalta, käytetään sitä. Mikäli tiedoissa on selkeästi katkoja, arvioidaan kulutus sopivan viikon ajalta, jolloin dataa on kertynyt ilman katkoja (esim. serveri ei ole ollut päällä). Käytetään kokonaisarviona edellisestä tiedosta saatua viikon kulutusta 46 viikon ajalle. Hintana käytetään 0,1 € / kWh.

## Loppupäätelmät

Opinnäytetyön mielenkiintoinen ja hyödyllinen osuus oli perehtyä miten Euroopan Unionin direktiivit rantautuvat Suomen lainsäädäntöön asti. Ja miten nämä sitten toimivat käytännössä esimerkiksi ESCO-hankkeiden kautta. Käytännön hyöty työelämässä tästä tulee kun arvioi vaikutuksia EU-direktiivien mahdollisista seurauksista markkinoihin. Hieman seuraamalla direktiivejä ja pohtimalla niiden vaikutuksia Suomi ja EU tasolla voi tarjota asiakkaalle sopivaa teknologiaa etupainotteisesti.

Tavoitteena oli rakentaa ja kehittää soveltuva opetusympäristö energiamittaukseen ja sen tuottaman tiedon hyödyntämiseen Metropolia Vantaan yksikössä. Tavoitteessa onnistuttiin ajatellen energiahallintaan liittyviä perustoimintoja. Järjestelmästä saadaan kulutustietoa eri muodoissa, jota voidaan analysoida järjestelmän työkaluilla. Lisäksi järjestelmä tarjoaa mahdollisuuden tutustua ja oppia mittareiden liittämiseksi tarvittaviin perustietoihin. Varsinaisesti Metropolian energiamittausjärjestelmän hyödyntäminen tulee ajankohtaiseksi syksyllä 2016 ja näillä muutamalla opinnäytetyössä kuvatulla labratyöllä järjestelmän hyödyntämisessä opetuskäytössä päästään hyvään alkuun. Laajempi ja syvällisempi hyödyntäminen ei mahtunut tämän opinnäytetyön aikatauluun. Mutta tästä on hyvä jatkaa esimerkiksi muiden opinnäytetöiden tekemistä eri aihealueista. Tässä opinnäytetyössä toteutettiin kokonaisjärjestelmän runko, josta on mahdollista lähteä syventämään sovelluksia ja perehtymistä energiatehokkuuden ja sähkönlaadun käsitteisiin.

Opinnäytetyön puitteissa tuli myös havaittua, että sähkömoottorien hyötysuhteen merkitys on kasvamassa ja perinteisillä moottoritekniikoilla ollaan tulossa hyötysuhteen osalta päätepisteeseen. Tämä tietysti avaa ovia uusille moottoritekniikoille ja moottorien ohjauksille. Markkinoille on tulossa taas tilaa uusille tekniikoille lainsäädännön kautta, joka pyrkii pitkällä tähtäimellä ilmastonmuutoksen hillintään. Tämän opinnäytetyön aikana myös aikaisemmin nihkeästi ilmastonmuutokseen suhtautuneet USA ja Kiina ovat myös ottamassa askeleita ilmastonmuutostalkoisiin.

Jatkokehitystä ajatellen, energiamittarointijärjestelmästä on hyödynnetty vasta pieni osuus ja sen laajempi hyödyntäminen opetuskäytössä on mahdollista. Lisäämällä esimerkiksi mittarointia useampiin pisteisiin, saataisiin parempaa kuvaa kulutuksesta. Sopivia kulutuskohteita voisi olla esimerkiksi ilmastokäsitteilykoneet ja tietokone luokat.

Lisäksi järjestelmä mahdollistaa esimerkiksi moottorimittauksen osalta eri moottorityyppien hyötysuhteiden vertailun. Tosin tämän hankkeen puitteissa emme saaneet sopivaa testipenkkiä moottorille, jossa vertailua voisi suorittaa. Moottorimittauskotelo mahdollistaa myös ulkopuolisen mittauksen. Sen hyödyntäminen esimerkiksi taajuusmuuttajamittauksissa ja niihin liittyvissä eri luokan suodattamissa sekä niiden tuottamien harmonisten komponenttien analysoinnissa olisi yksi mahdollinen aihe, johon perehtyä. Lisäksi sähkön laadullisiin tekijöihin perehtyminen on mahdollista päämittauksen energia-analysaattorin kautta.

## Lähteet

- 1 Kioton pöytäkirja. Verkkodokumentti  
[http://fi.wikipedia.org/wiki/Kioton\\_p%C3%B6yt%C3%A4kirja](http://fi.wikipedia.org/wiki/Kioton_p%C3%B6yt%C3%A4kirja) . Luettu 2.3.2015.
- 2 Ilmastonmuutosta koskevan yhdistyneiden kansakuntien puitesopimuksen kioton pöytäkirja. Verkkodokumentti.  
[http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2005/20050013/20050013\\_2](http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2005/20050013/20050013_2)  
Luettu 2.3.2015.
- 3 Kansainvälinen ilmastopolitiikka. Verkkodokumentti. <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/f65a78bb-dc8e-41a5-b09a-6fa36661880b> .Luettu 2.3.2015.
- 4 United Nations. 2012. Doha Amendment to the Kyoto Protocol. Adoption of amendment to the Kyoto Protocol Reference: C.N.718.2012.TREATIES-XXV II.7.c. Depositary notification. Verkkodokumentti.  
<http://treaties.un.org/doc/Treaties/2012/12/20121217%2011-40%20AM/CN.718.2012.pdf> . Luettu 10.3.2015.
- 5 EU energiasstrategia 2020. Verkkodokumentti.  
<http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2020-energy-strategy> .  
Luettu 10.3.2015.
- 6 Energy 2020 Brochure. Verkkodokumentti.  
[http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2011\\_energy2020\\_en\\_0.pdf](http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2011_energy2020_en_0.pdf) . Luettu 10.3.2015.
- 7 .Trends and projections in Europe 2014\_1.pdf. Verkkodokumentti.  
<http://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2014> . Luettu 10.3.2015.
- 8 Raportti Ympäristöministeriölle 2010, Matias Keto, Energiamuotojen kerroin. Yleiset perusteet ja toteutuneen sähkön- ja lämmöntuotannon kertoimet
- 9 .trends\_to\_2030\_update\_2009\_en[1] . Verkkodokumentti.  
[http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/docs/trends\\_to\\_2030\\_update\\_2009\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/docs/trends_to_2030_update_2009_en.pdf) . Luettu 14.3.2015.
- 10 PRIMES mallin kuvaus. . Verkkodokumentti.  
<http://ec.europa.eu/environment/archives/air/models/primes.htm> .Luettu 15.3.2015
- 11 EU Energy Strategy 2050. Verkkodokumentti.  
<http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2050-energy-strategy>  
.Luettu 15.3.2015.

- 12 Etenemissuunnitelma - siirtyminen kilpailukykyiseen vähähiiliseen talouteen vuonna 2050. Verkkodokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0112&from=EN> .Luettu 17.3.2015.
- 13 Suomen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma NEEAP-3. Verkkodokumentti. [http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014\\_neeap\\_fi\\_finland.pdf](http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_neeap_fi_finland.pdf) . Luettu 22.3.2015.
- 14 Energiavirasto: Energiatehokkuussopimukset . Verkkodokumentti. <https://www.energiavirasto.fi/energiatehokkuussopimukset>. Luettu 22.3.2015.
- 15 Energiatehokkuuslaki: Verkkodokumentti. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141429>. Luettu 22.3.2015.
- 16 Pk-yritysten uusi määritelmä: . Verkkodokumentti. <http://bookshop.europa.eu/fi/pk-yritysten-uusi-maearitelmae-pbNB6004773/>. Luettu 28.3.2015.
- 17 Valtioneuvoston asetus 20/2015 energiakatselmuksista. . Verkkodokumentti. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150020>. Luettu 28.3.2015.
- 18 Energiatehokkuusjärjestelmä ETJ+ (pdf) . Verkkodokumentti. <http://motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/pakollinen-suuren-yrityksen-energiakatselmus/energiatehokkuusjarjestelma-etj>. Luettu 11.4.2015.
- 19 Energiatehokkuusjärjestelmä ETJ+ määritelmä(pdf) . Verkkodokumentti. [http://motiva.fi/files/10070/Energiatehokkuusjarjestelma\\_ETJ.pdf](http://motiva.fi/files/10070/Energiatehokkuusjarjestelma_ETJ.pdf). Luettu 14.4.2015.
- 20 Energiakatselmusten\_esimerkki\_1-01\_Lasiteollisuus\_Pilkington\_Automotive\_Finland\_Laitilan\_tehdas\_Saaston\_lisaksi\_laatia\_ja\_imagoa[1].pdf. . Verkkodokumentti. <http://motiva.fi/>. Luettu 14.4.2015.
- 21 Energiakatselmukset , energiakatselmuksesta käytäntöön. Verkkodokumentti. [http://www.motiva.fi/julkaisut/energiakatselmukset/energiakatselmuksesta\\_kaytantoon](http://www.motiva.fi/julkaisut/energiakatselmukset/energiakatselmuksesta_kaytantoon). Luettu 14.4.2015.
- 22 Toimienpideluokat 2008-2013(xlsx) . Verkkodokumentti. [http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem\\_n\\_tukemat\\_energiakatselmukset/tilastotietoa\\_katselmuksista/saastotoimenpiteet](http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/saastotoimenpiteet). Luettu 18.7.2015.
- 23 Sähkön siirtohinnoista.pdf 1.1.2015 . Verkkodokumentti. <https://www.helen.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/hsv/sahkon-siirron-hinnastopdf>. Luettu 18.7.2015.
- 24 KOMISSION ASETUS (EY) N:o 640/2009, Euroopan unionin virallinen lehti, moottorien hyötysuhde

- 25 Sähkön hintaesimerkki. . Verkkodokumentti. <http://www.issoy.fi/imatran-seudun-sahkonsiirto-oy/hinnastot>. Luettu 19.7.2015.
- 26 Sektorikohtaiset säästöpotentiaalit 2008 - 2013, Raportoidut kohteet 2008-2013 (xlsx) . Verkkodokumentti. [http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem\\_n\\_tukemat\\_energiakatselmukset/tilastotietoa\\_katselmuksista/sektorikohtaiset\\_saastopotentiaalit](http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/sektorikohtaiset_saastopotentiaalit). Luettu 22.7.2015.
- 27 ESCO-toiminnan yleisperiaatteet ja MotivaESCO-konsepti. Verkkodokumentti. <http://www.motiva.fi/files/837/esco.pdf>. Luettu 25.7.2015.
- 28 European ESCO Market Report 2013. Verkkodokumentti. [http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/jrc\\_89550\\_the\\_european\\_esco\\_market\\_report\\_2013\\_online.pdf](http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/jrc_89550_the_european_esco_market_report_2013_online.pdf). Luettu 1.8.2015.
- 29 Energiatehokkaat sähkömoottorit. Verkkodokumentti. [http://www.motiva.fi/julkaisut/hankinnat/energiatehokkaat\\_sahkomoottorit.1622.shtml](http://www.motiva.fi/julkaisut/hankinnat/energiatehokkaat_sahkomoottorit.1622.shtml). Luettu 24.7.2015.
- 30 KOMISSION ASETUS (EY) N:o 640/2009, Euroopan unionin virallinen lehti, moottorien hyötysuhde. Verkkodokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex:32009R0640>. Luettu 26.7.2015.
- 31 On the road to green machines. How OEMs can improve the energy efficiency of machines. Verkkodokumentti. [http://www.schneider-electric.com/ww/en/download/document/998-2095-01-29-12AR0\\_EN](http://www.schneider-electric.com/ww/en/download/document/998-2095-01-29-12AR0_EN). Luettu 22.3.2015.
- 32 IEA Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems. Verkkodokumentti. [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EE\\_for\\_Electric\\_Systems.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EE_for_Electric_Systems.pdf). Luettu 1.8.2015.
- 33 Energy Efficiency for Machines: the smart choice for the motorization. Verkkodokumentti. [http://www.schneider-electric.com/nz/en/download/document/998-2095-02-04-12AR0\\_EN](http://www.schneider-electric.com/nz/en/download/document/998-2095-02-04-12AR0_EN). Luettu 3.8.2015.
- 34 StruxureWare Power Monitoring Expert 7.2 System Design Guide
- 35 Navigant Research leader board report: Building energy management systems. Verkkodokumentti. <https://www.navigantresearch.com/research/navigant-research-leaderboard-report-building-energy-management-systems>. Luettu 22.8.2015.
- 36 Europe Energy Management Systems Market Outlook to 2020. Verkkodokumentti. <http://www.prnewswire.com/news-releases/europe-energy-management-systems-market-outlook-to-2020---market-analysis-by-geography-applications-type-of-solution-hems-bems-fems-vertical-competitive-landscape-key-company-information---growth-trends-and-forecasts---rep-300145321.html>. Luettu 22.8.2015.



## Skriptikieli AC\_PM\_State\_Machine

```
Script

//Script Created: Mar 31, 2014
//
// Description:
//
//-----
// Replace this line with your script

int ATV_ActConfig_x;
ATV_ActConfig_x=ATV_ActConfig.getIntValue();

int int_Relay_State_x;
int_Relay_State_x=int_Relay_State.getIntValue();

if(int_Relay_State_x==1){ //button set to 1
    if(ATV_ActConfig_x==1){
        int_CMD.write(int_CMD.getIntValue()|32768); //set bit 15
        int_Relay_State.write(5); // change state
    }
}

if(int_Relay_State_x==5){
    if(ATV_ActConfig_x==2){
        int_Relays.write(2);
        int_Relay_State.write(0); //set no change state
    }
}

if(int_Relay_State_x==2){ //button set to 1
    if(ATV_ActConfig_x==2){
        int_CMD.write(int_CMD.getIntValue()&32767); //RST bit 15
        int_Relay_State.write(3); // change state
    }
}

if(int_Relay_State_x==3){
    if(ATV_ActConfig_x==1){
        int_Relays.write(1);
        int_Relay_State.write(0); //set no change state
    }
}

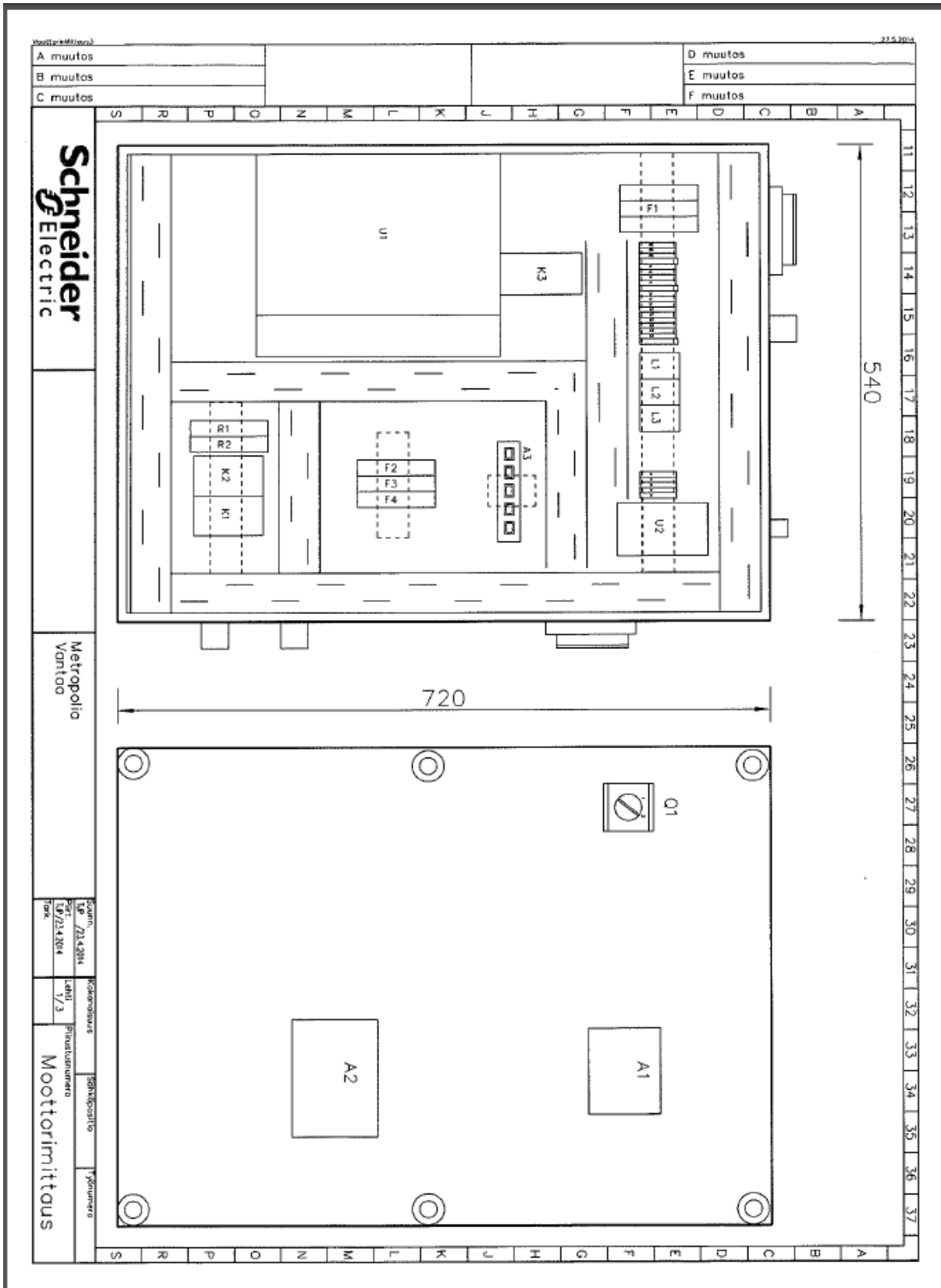
if(ATV_ActConfig.getIntValue()==1){
    int_AC.write(1);
    int_PM.write(0);
}

if(ATV_ActConfig.getIntValue()==2){
    int_PM.write(1);
    int_AC.write(0);
}
}
```

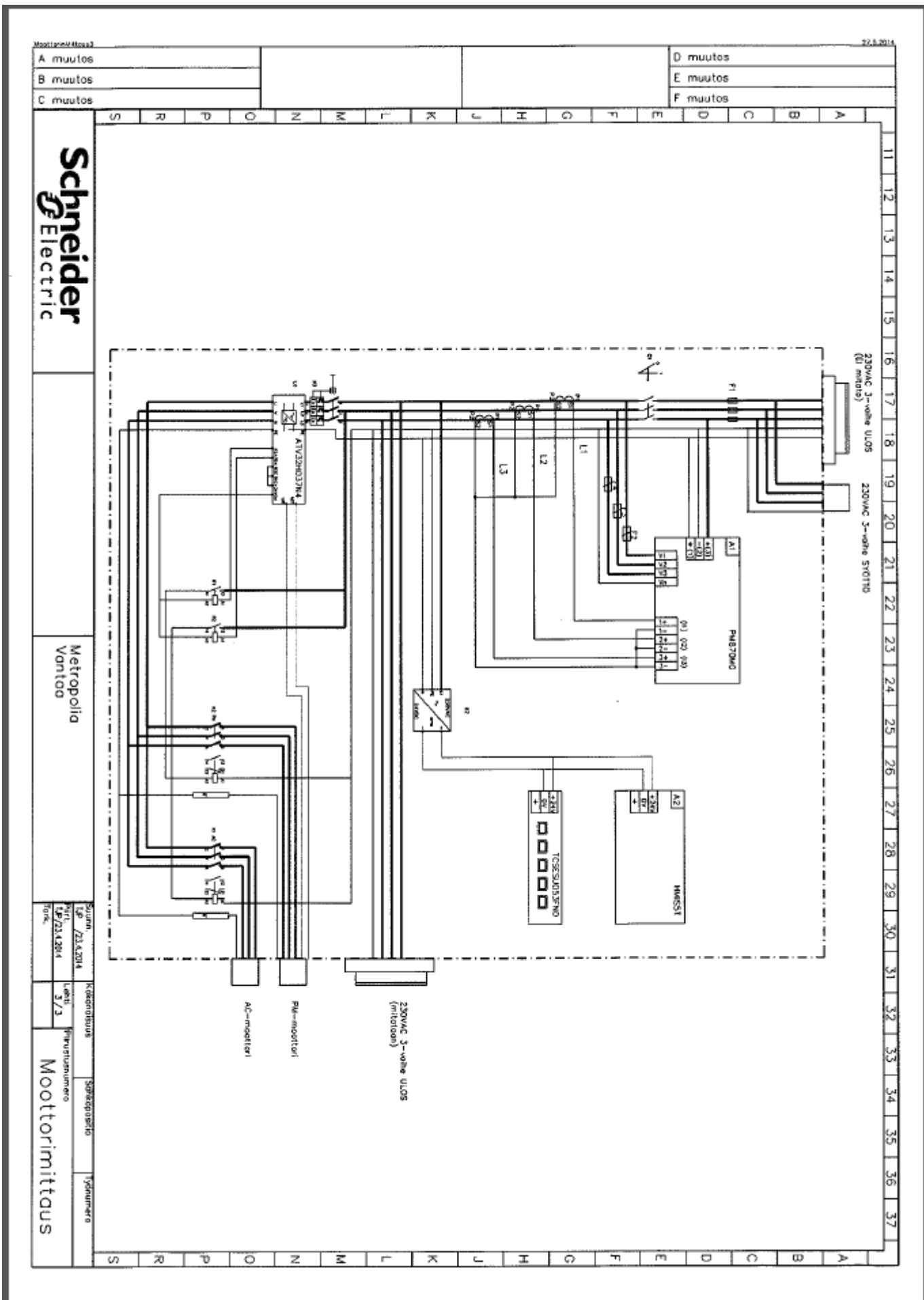
## Tilanvaihto PM ja Oikosulkumoottorin ohjauksessa



**Moottorimittaus sähkökuvat**







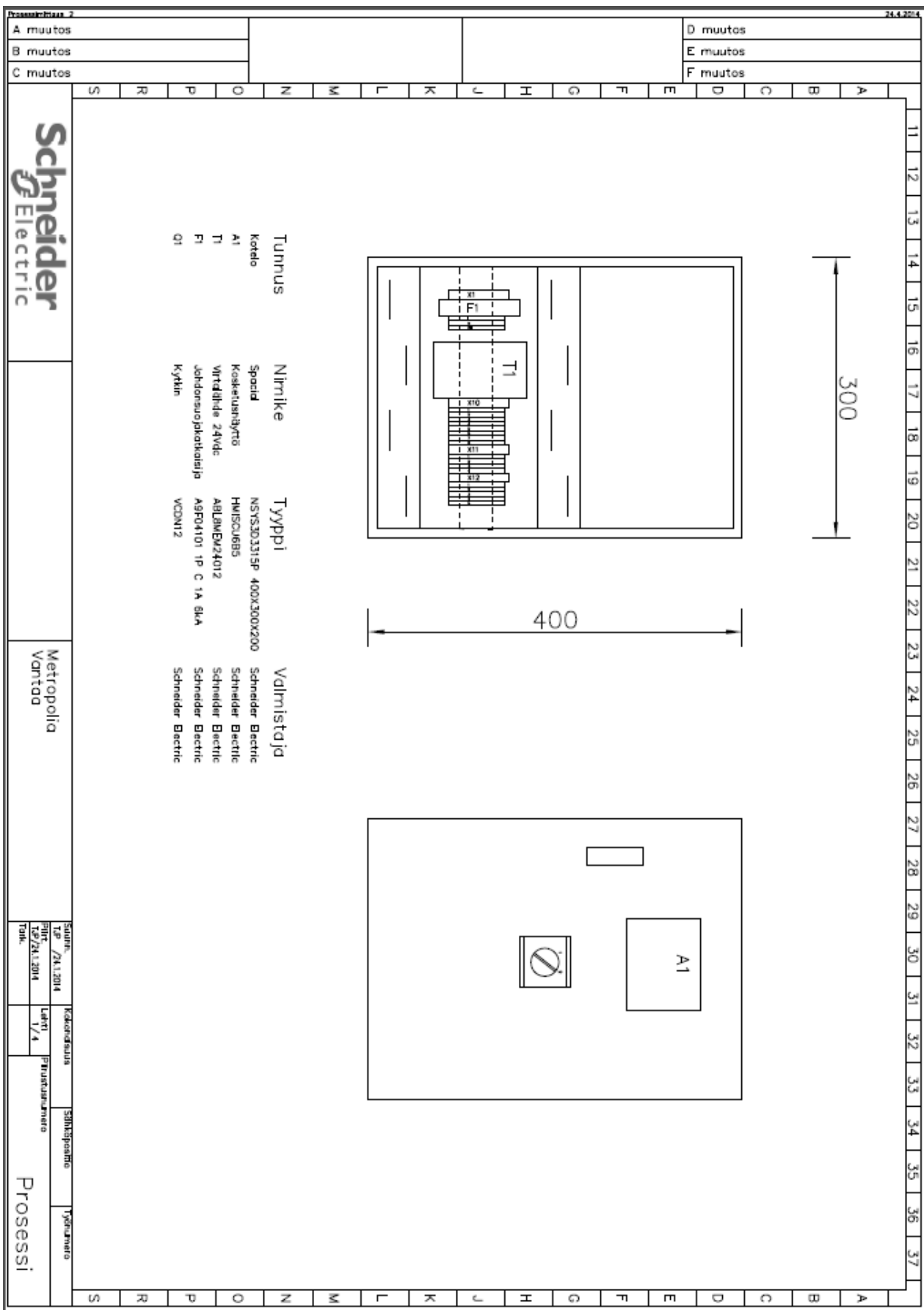
A muutos	D muutos
B muutos	E muutos
C muutos	F muutos

**Schneider**  
Electric

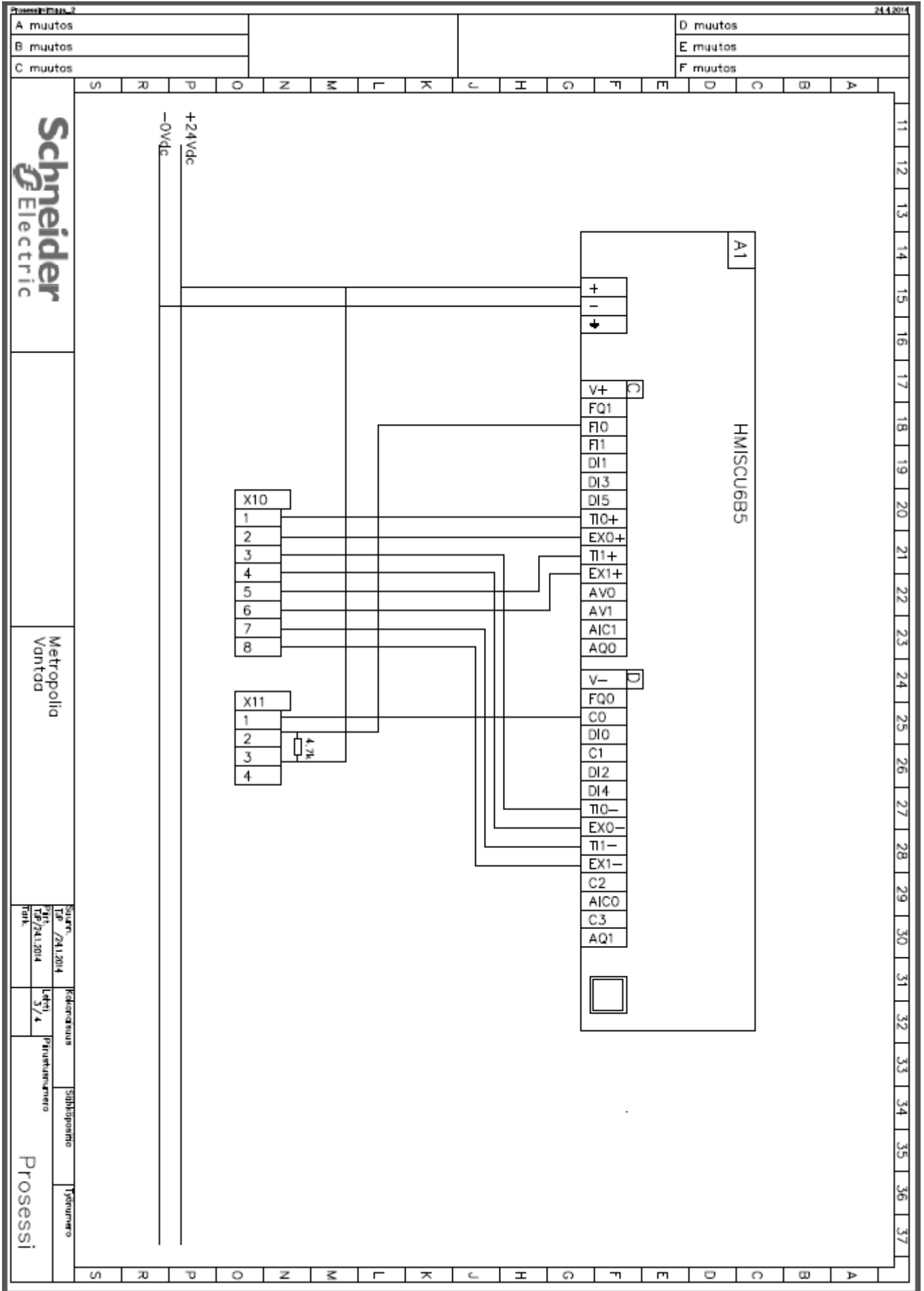
Metropolia  
Vantaa

Suunn. Lp. / 23.6.2014	Käsiteltävä	Sähköpiirros	Yksikön nro
Proj. LP/23.6.2014	Lehti 3/3	Projekti nro	
Mooitorimittaus			

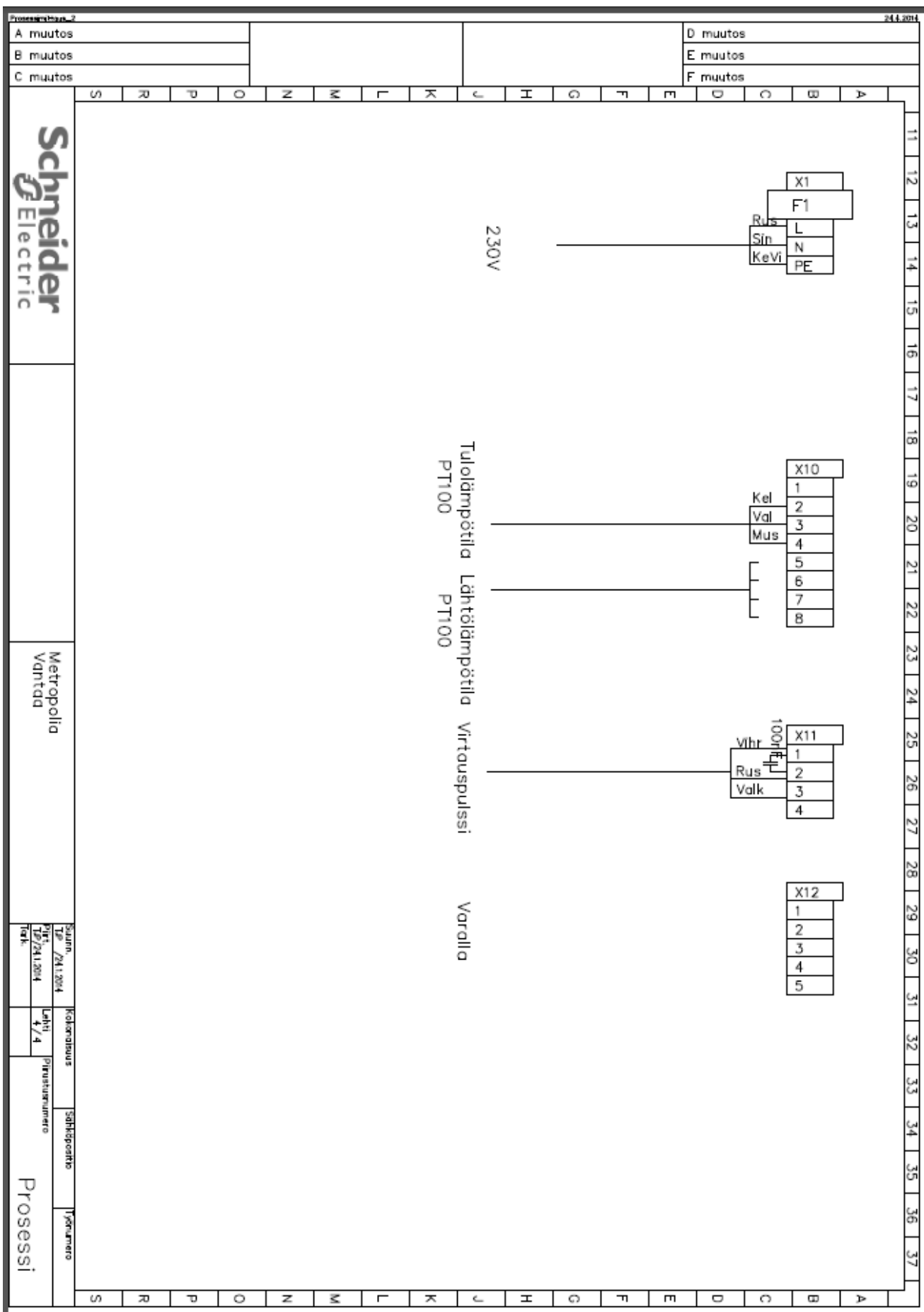
Prosessimittaus sähkökuvat



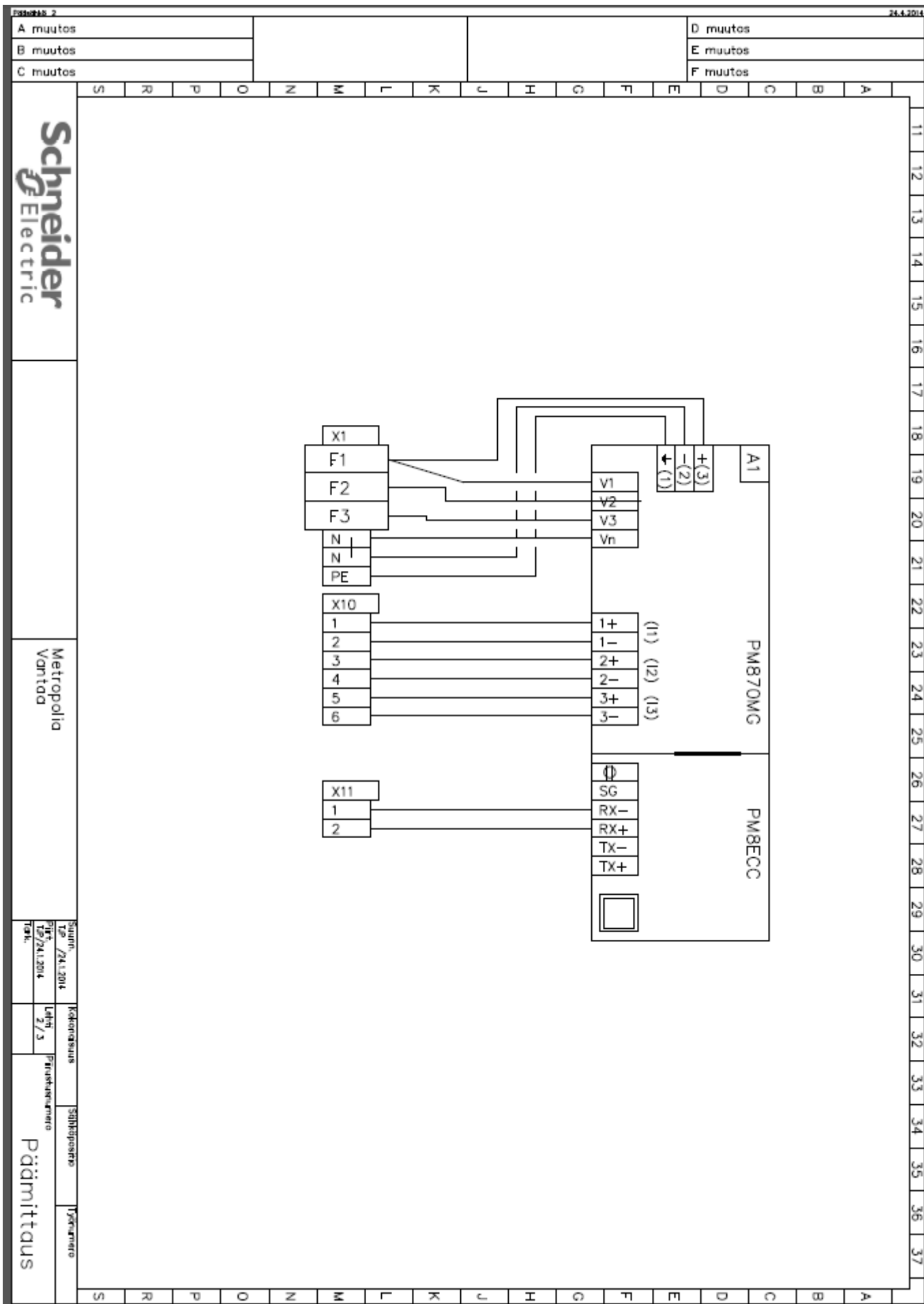


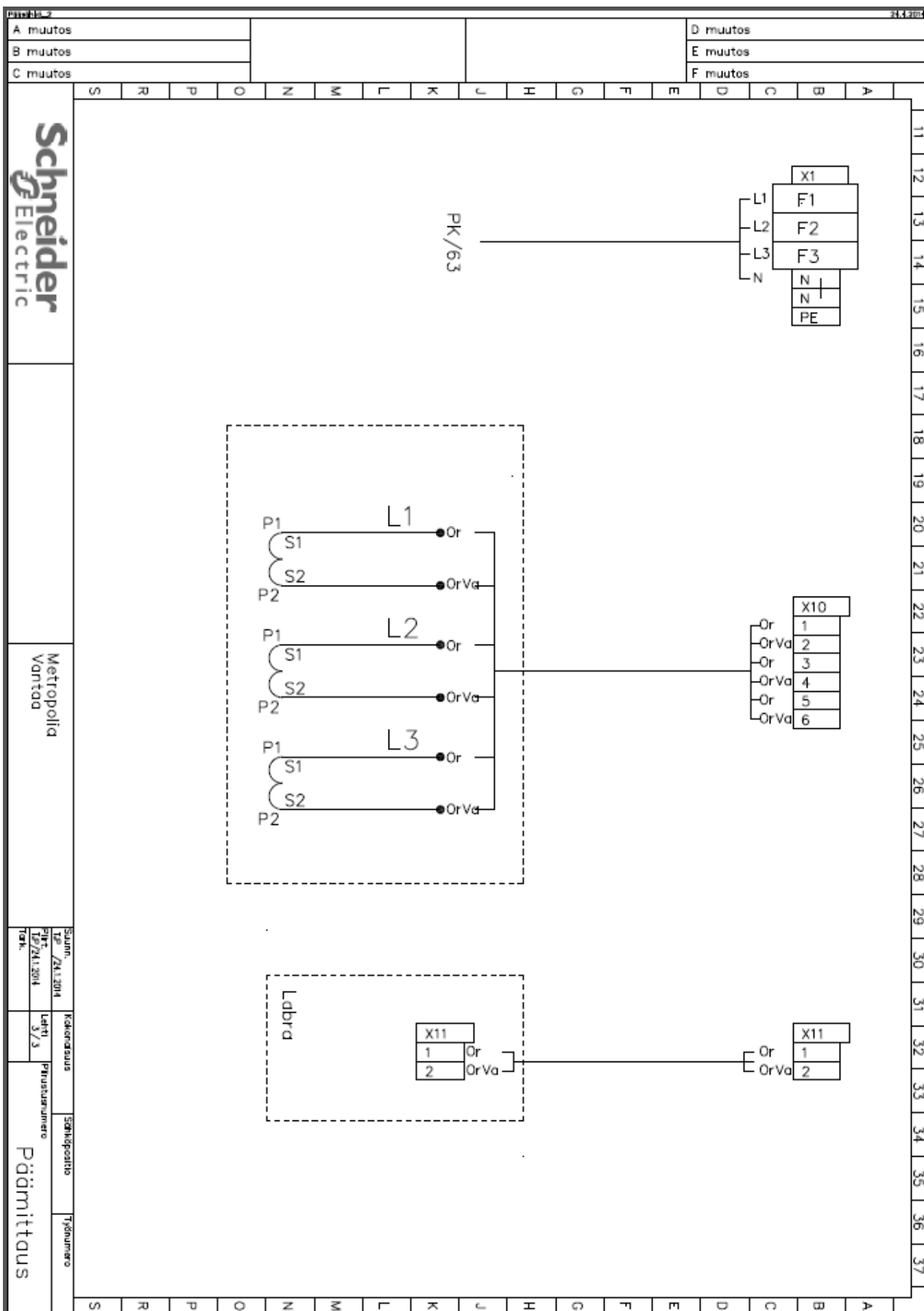













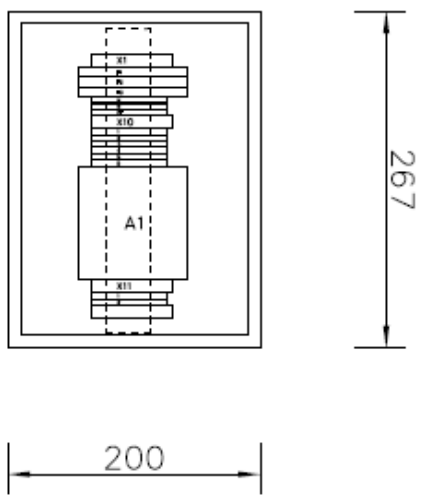
# Labramittaus sähkökuvat

Labraluokitus		24.4.2014	
A muutos		D muutos	
B muutos		E muutos	
C muutos		F muutos	

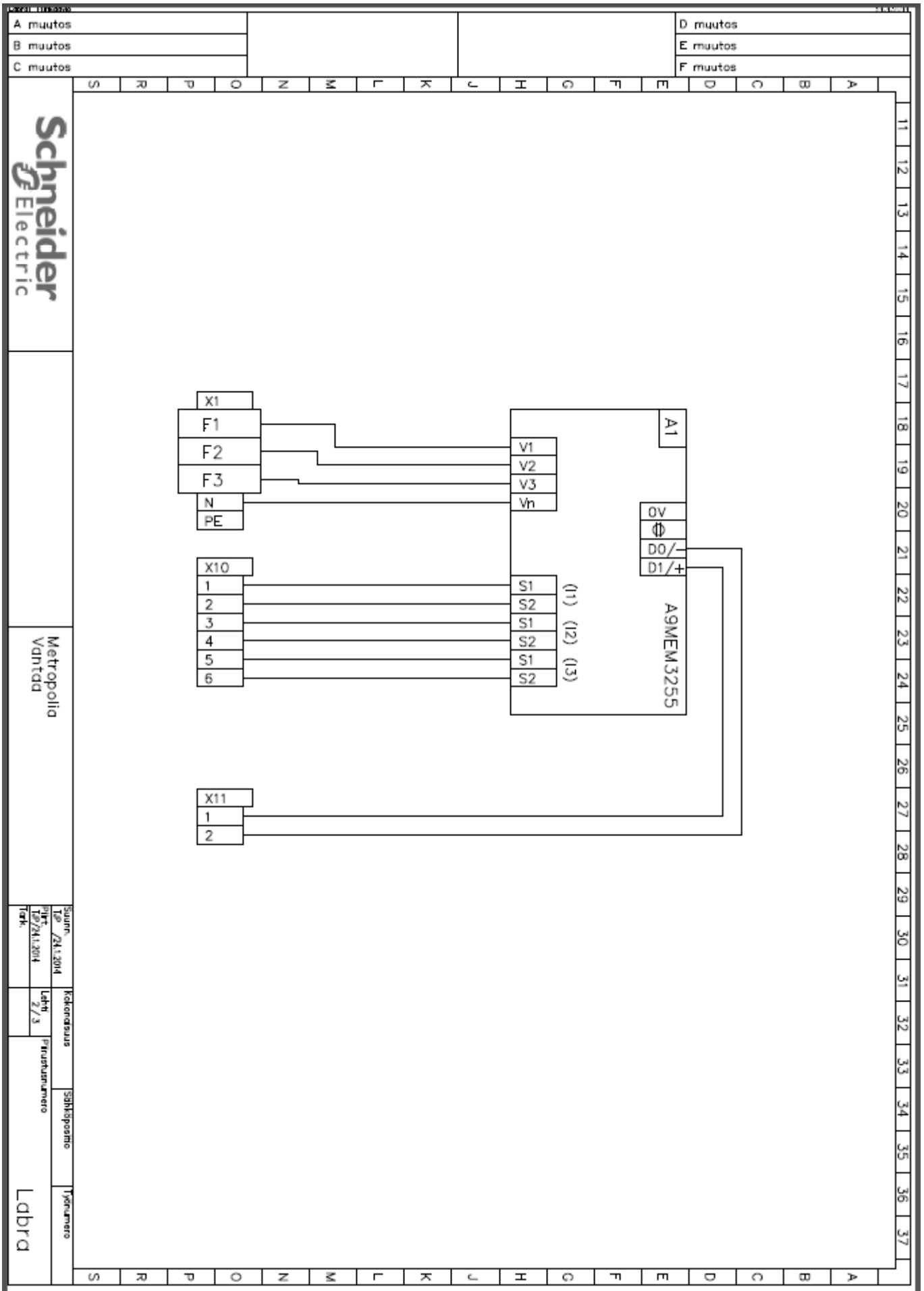
  

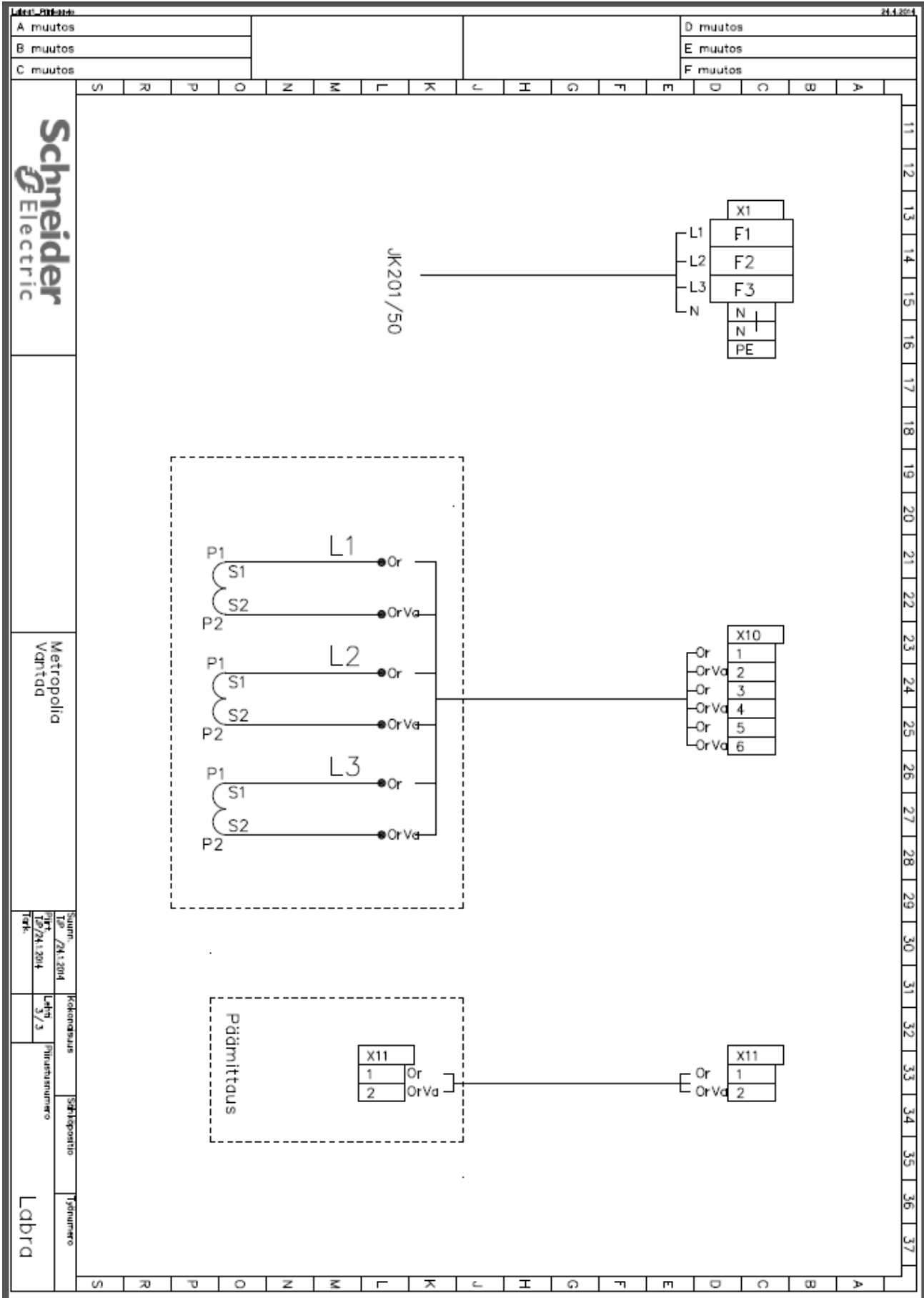
	Metropolia Vantaa	Suunn. 24.4.2014	Kokonaisuus	Sähköpiirros	Tervekko
		Teh. 24.4.2014	Lehti 1/3	Pilausnumero	Labra



<p><b>Tunnus</b></p> <p>Korkeo A1 F1 - F3 X</p>	<p><b>Nimike</b></p> <p>Kaada mini Eurijohdinta Johdusosajakoasija Riviliitin</p>	<p><b>Tyyppi</b></p> <p>13444 267x200x112 A9MEU3255</p>	<p><b>Valmistaja</b></p> <p>Schneider Electric Schneider Electric Schneider Electric Schneider Electric</p>
---	---	---	---





## **IP-osoitteet**

### **Käytetyt IP-osoitteet:**

IP osoitteet 10.83.87.50-10.83.87.59

maski 255.255.254.0

GW 10.83.86.1

DNS 195.148.144.100

### **Moottorimittaus:**

Tamu: 10.83.87.57

HMI: 10.83.87.56

PM8ECC: 10.83.87.55

### **Prosessimittaus:**

HMISCU

10:83.87.51

### **Labran valaistus:**

A9MEM3255: modbus

### **Pääsyöttö:**

PM8ECC: 10:83.87.50



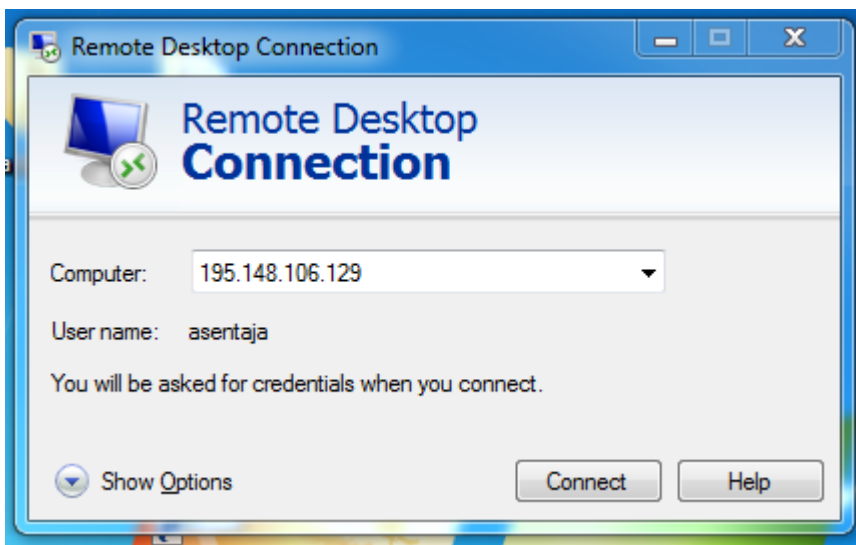
### Labra 1. tutustuminen järjestelmän eri osuuksiin.

Alkuun liitytään serverille asennettuun PME järjestelmään.

Liityntä tapahtuu Remote Desktop:n kautta

Remote Desktop: Schneider.metropolia.fi tai IP 195.148.106.129

HUOM. Jos Remote Desktop ei tarjoa valmista osoitetta voidaan serverille mennä suoraan ip-osoitteen kautta.

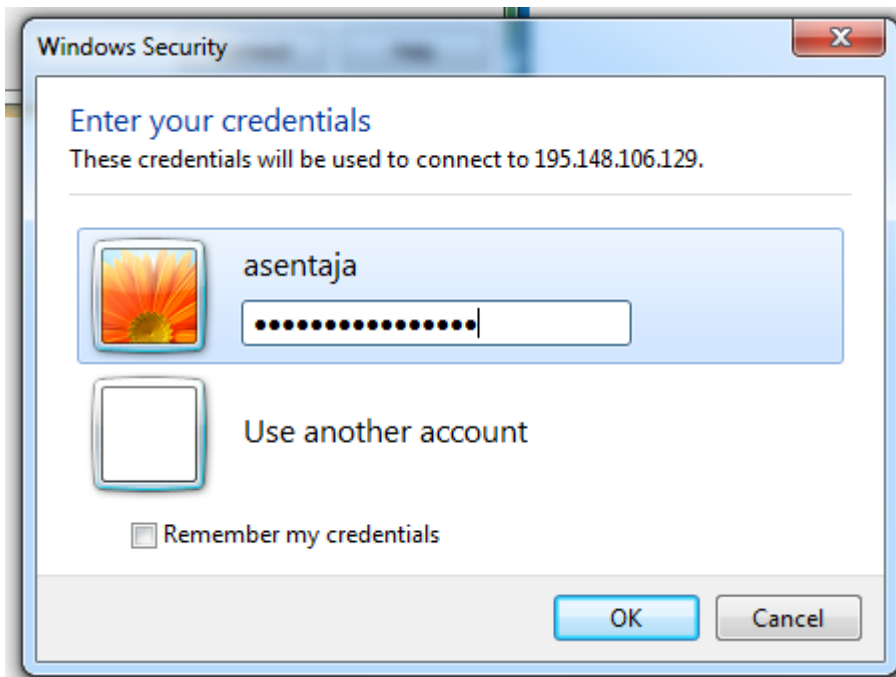


User name:

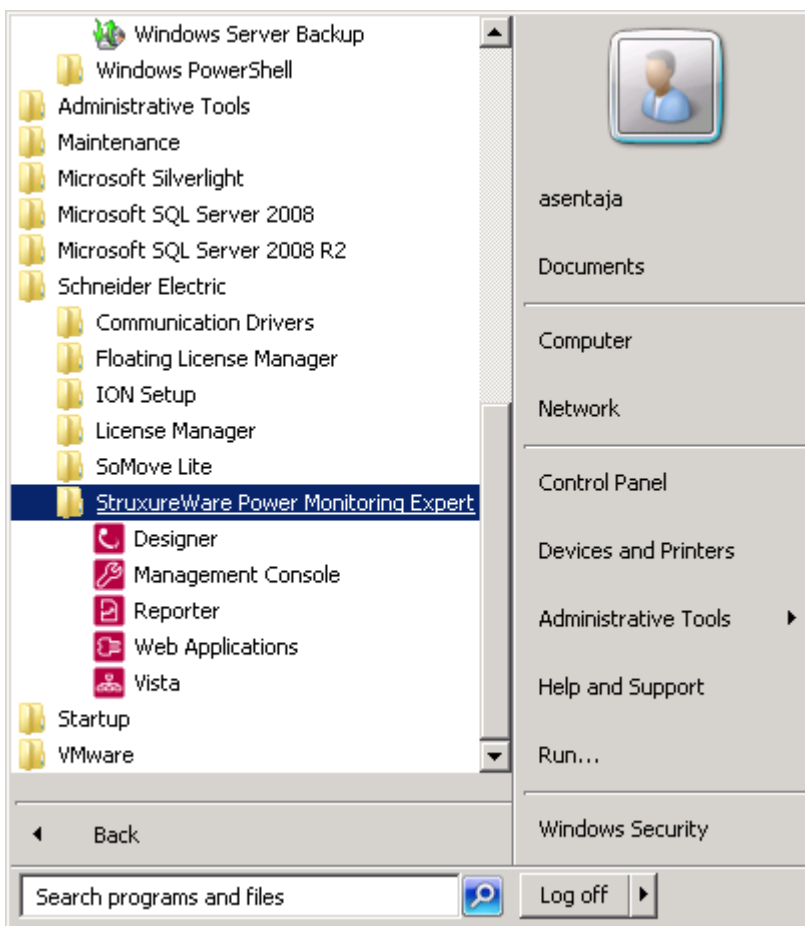
asentaja

Pwd:

PowerAsennus2013!



Power Monitoring Expert ohjelmat löytyvät kansioista Schneider Electric



Salasana kaikkiin ohjelmiin on:

User Name: supervisor

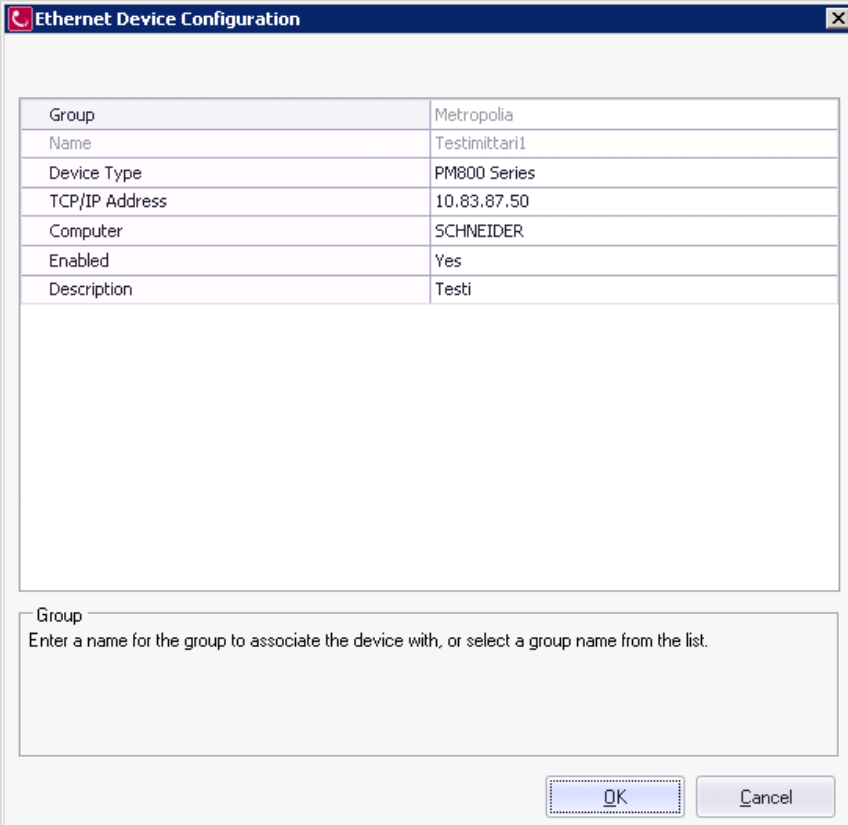
Password: elvis69

Laitteen lisäys: Avataan Management Console

Mennään kohtaan Device ja hiiren oikealla valitaan **New** oikealla avautuvassa näkymässä, jossa on laitteita listattuna

Enabled	Group	Name	Type	Address	Site	Status	Protocol	Description
✓	Metropolia	Paamittaus	PM800 Series	10.83.87.50/502	<Ethernet/SCHNEIDER>	Device Connected	MODBUS	Metropolian päämitta
✓	Automaatiolabra	Valaistus	iEM3155/3255	10.83.87.50/502/2	PM870_Site	Site Available	MODBUS	Automaatiolabran mit
✓	Moottoriohjaus	Energia-analysaattori	PM800 Series	10.83.87.55/502	<Ethernet/SCHNEIDER>	Device Connected	MODBUS	Tamukaappi
✓	Moottoriohjaus	ATV32	TamuATV32	10.83.87.57/502/255	<Ethernet/SCHNEIDER>	Device Connected	MODBUS	
✓	Moottoriohjaus	Ohjauspaneeli	Ohjauspaate	10.83.87.56/502	<Ethernet/SCHNEIDER>	Device Connected	MODBUS	Ohjauspaneeli
✓	Automaatiolabra	VirtausPLC	VirtausPLC	10.83.87.51/502	<Ethernet/SCHNEIDER>	Device Connected	MODBUS	VirtausPLC
✓	Metropolia	Testimittari1	PM800 Series	10.83.87.50/502	<Ethernet/SCHNEIDER>	Device Disconnected	MODBUS	Testi

Laitteeksi määritellään Ethernet Device



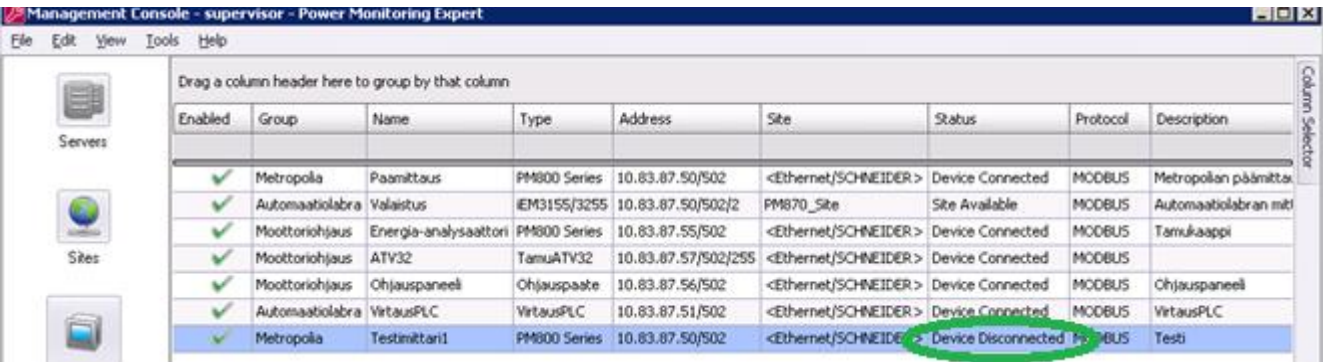
**Ethernet Device Configuration**

Group	Metropolia
Name	Testimittari1
Device Type	PM800 Series
TCP/IP Address	10.83.87.50
Computer	SCHNEIDER
Enabled	Yes
Description	Testi

Group  
Enter a name for the group to associate the device with, or select a group name from the list.

OK Cancel

Laitteeseen kuvan mukaiset tiedot. Painetaan OK ja katsotaan, että lisätyn PM800 mittarin statukseksi tulee "connected"



Enabled	Group	Name	Type	Address	Site	Status	Protocol	Description
✓	Metropolia	Päämittaus	PM800 Series	10.83.87.50/502	<Ethernet/SCHNEIDER>	Device Connected	MODBUS	Metropolian päämittaus
✓	Automaatiolabra	Valaistus	EM3155/3255	10.83.87.50/502/2	PM870_Site	Site Available	MODBUS	Automaatiolabran mittari
✓	Moottoriohjaus	Energia-analysaattori	PM800 Series	10.83.87.55/502	<Ethernet/SCHNEIDER>	Device Connected	MODBUS	Tamukaappi
✓	Moottoriohjaus	ATV32	TamuATV32	10.83.87.57/502/255	<Ethernet/SCHNEIDER>	Device Connected	MODBUS	
✓	Moottoriohjaus	Ohjauspaneeli	Ohjauspaate	10.83.87.56/502	<Ethernet/SCHNEIDER>	Device Connected	MODBUS	Ohjauspaneeli
✓	Automaatiolabra	VirtausPLC	VirtausPLC	10.83.87.51/502	<Ethernet/SCHNEIDER>	Device Connected	MODBUS	VirtausPLC
✓	Metropolia	Testimittari1	PM800 Series	10.83.87.50/502	<Ethernet/SCHNEIDER>	Device Disconnected	MODBUS	Testi

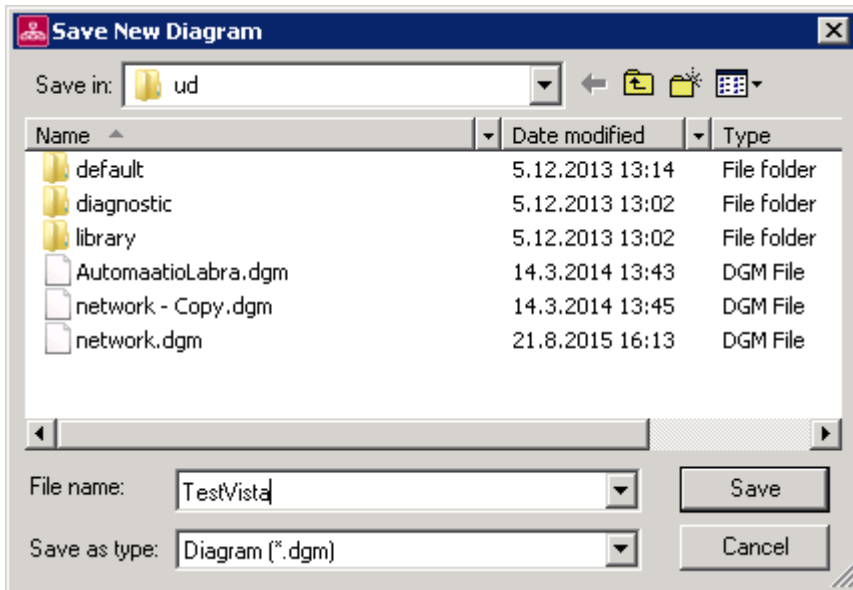
Laitteessa saattaa hetken lukea "Device Disconnected" mutta jos laite on oikein määritelty se tulee viimeistään muutaman minuutin päästä tilaan "Device Connected"

Nyt liitettävä mittari määritelty. Sama mittari on määritelty myös kohdassa "Päämittaus" mutta se ei haittaa, koska mittarin palvelin voi palvella useita samanaikaisia yhteyksiä.

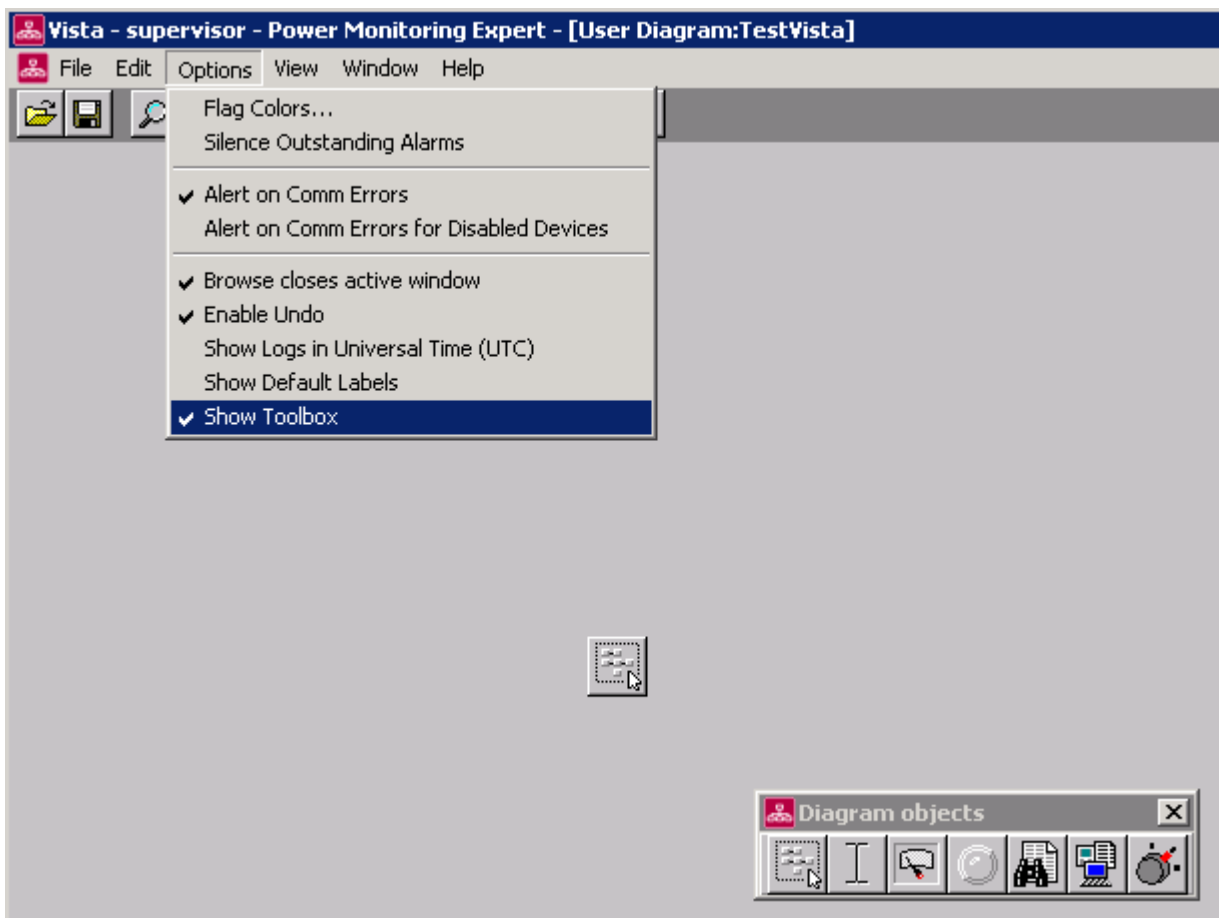
Tämän jälkeen avataan Vista-työkalu.

File -> New

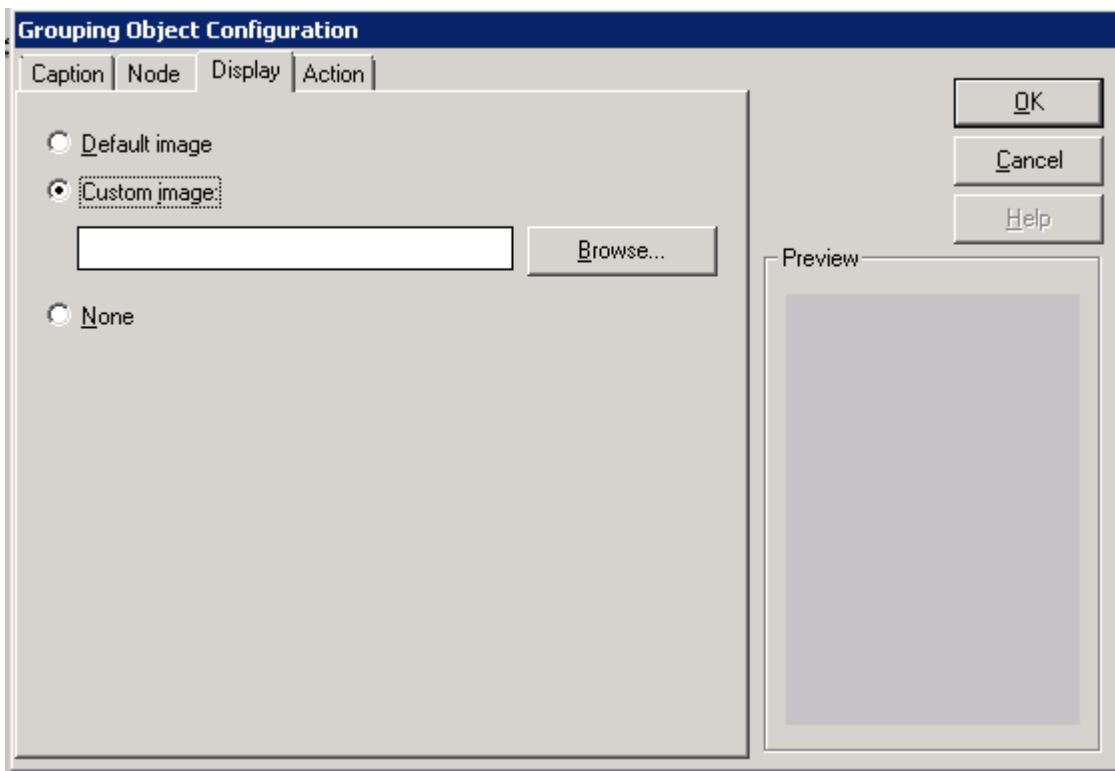
Tämän jälkeen uusi Vista kaavio talletetaan esim. nimellä TestVista



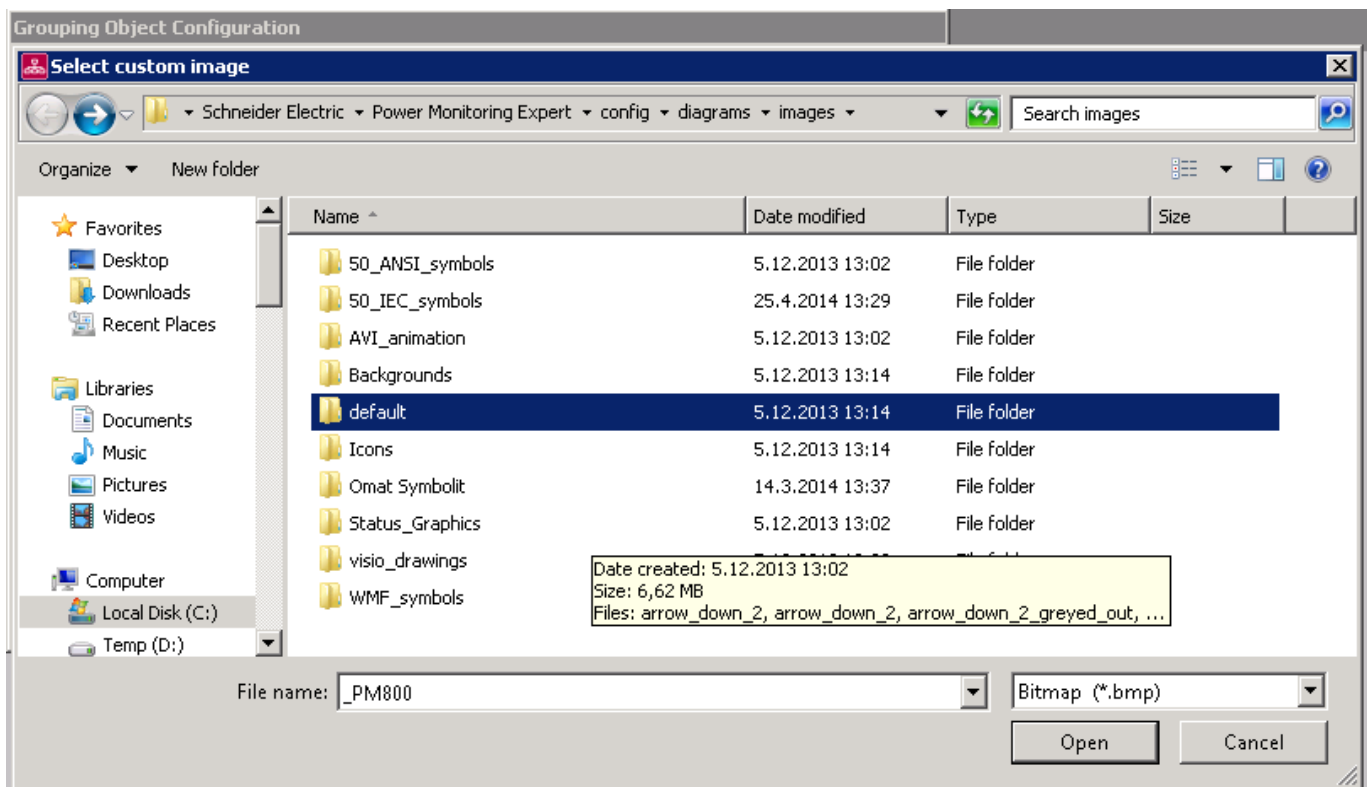
Tämän jälkeen tarkastetaan "Options", että "Show Toolbox" on valittu. Lisätään työalueelle "Grouping Object" raahaamalla



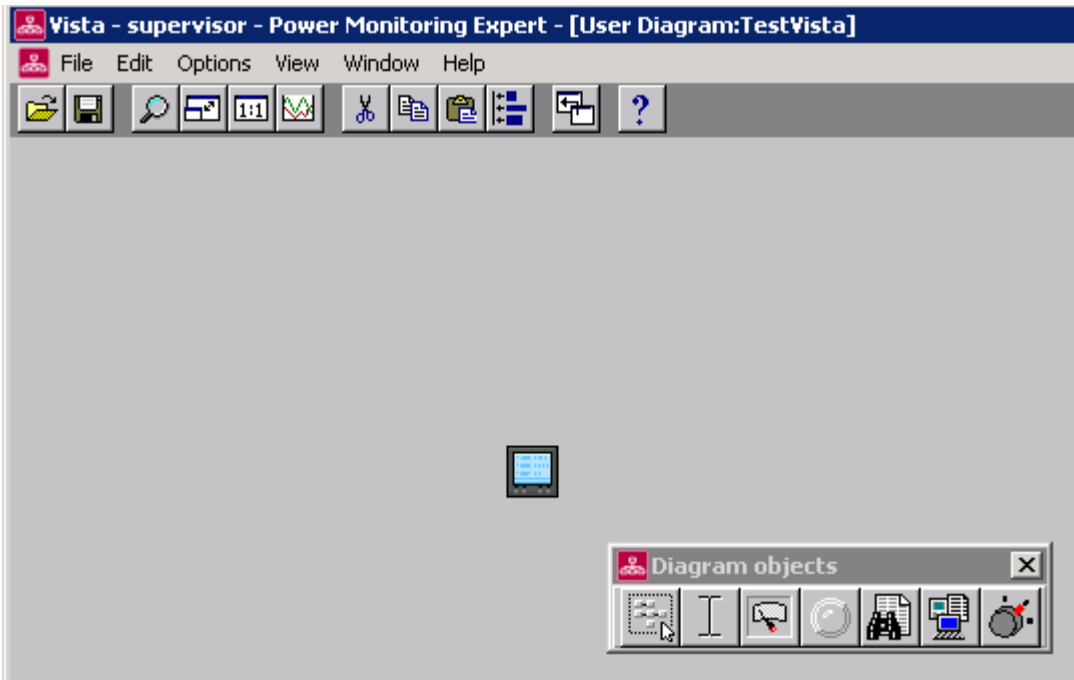
Tämän jälkeen valitaan hiiren oikealla napilla edellä luotu "Grouping Object" ja mennään vällehdelle "Display"



Node välilehdestä valitaan "Custom image" ja valitaan "Browse"

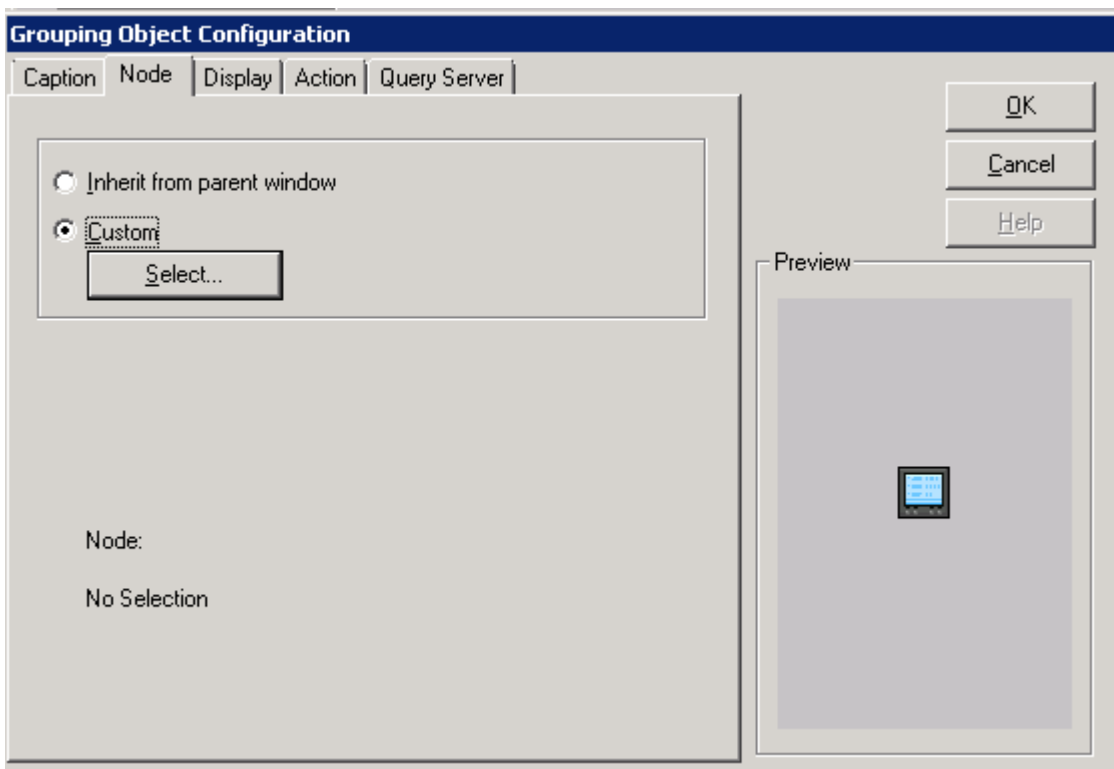


Valitaan default kansio ja sieltä \_PM800 kuvake, joka on lisätyn laitteen symboli.

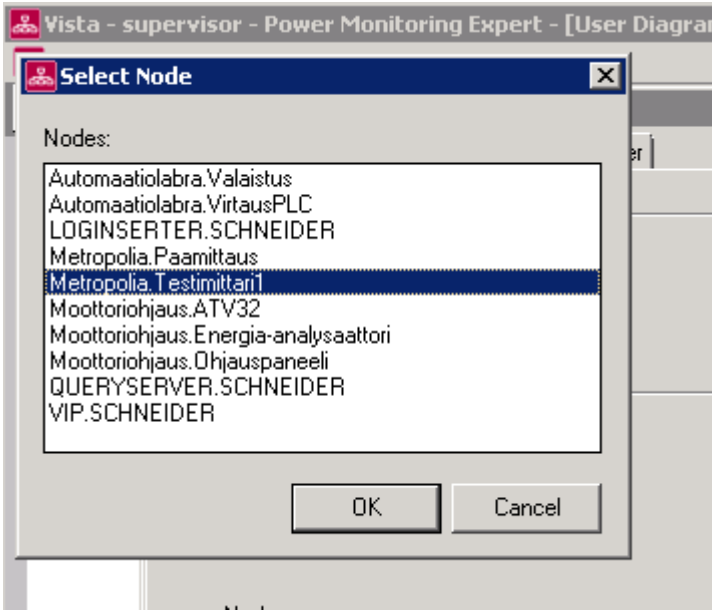


Symboli on nyt oikea. Seuraavaksi liitetään objektiin laite.

Avataan objekti hiiren oikealla napilla ja valitaan välilehti "Node"

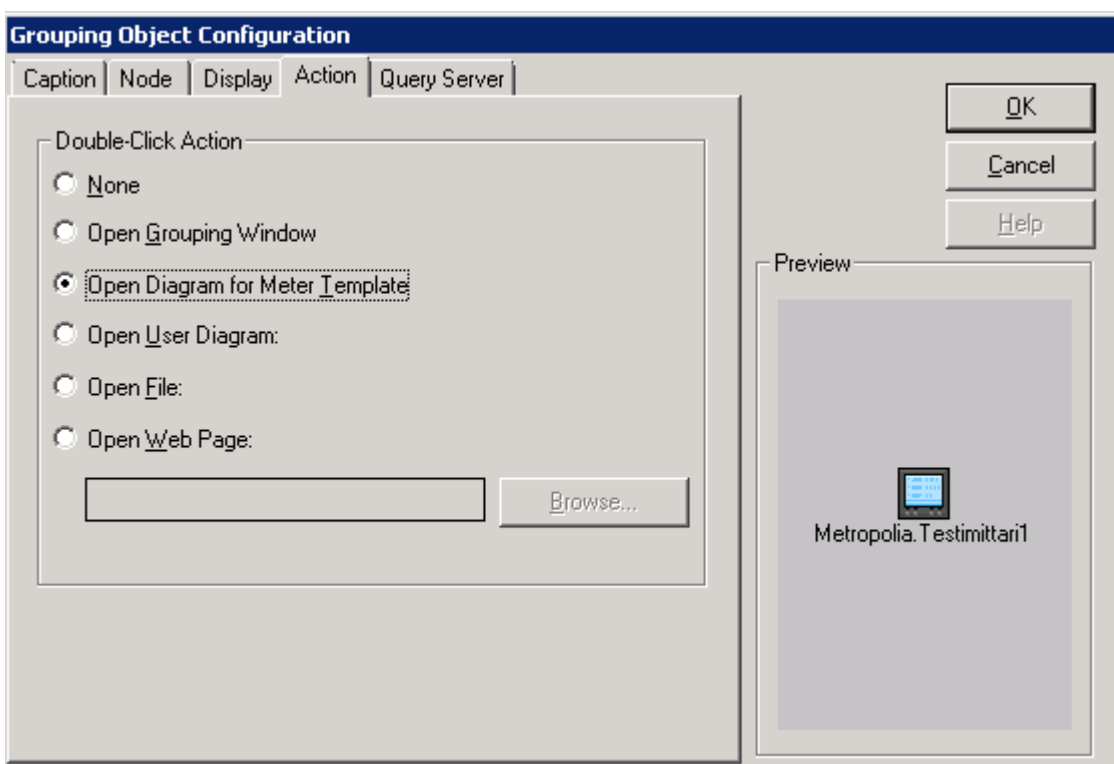


Valitaan "Custom" ja "Select". Lisätään edellä luotu laite "Testimittari1" (Jos annoit eri nimen lisää se)



Nyt mittarilla on symboli ja se on linkitetty fyysiseen laitteeseen. Seuraavaksi luodaan toiminto, jossa päästään tarkastelemaan mittarin tuottamaa dataa.

Jos halutaan käyttää mittarin tuottamaa valmista tietoa pitää mittariin vielä linkittää toiminto. Määritellään, että tuplapainallus avaa mittaripohjan. Avaa objekti ja mene välilehdelle "Action". Valitaan kuvan mukainen valinta: "Open Diagram for Meter Template"



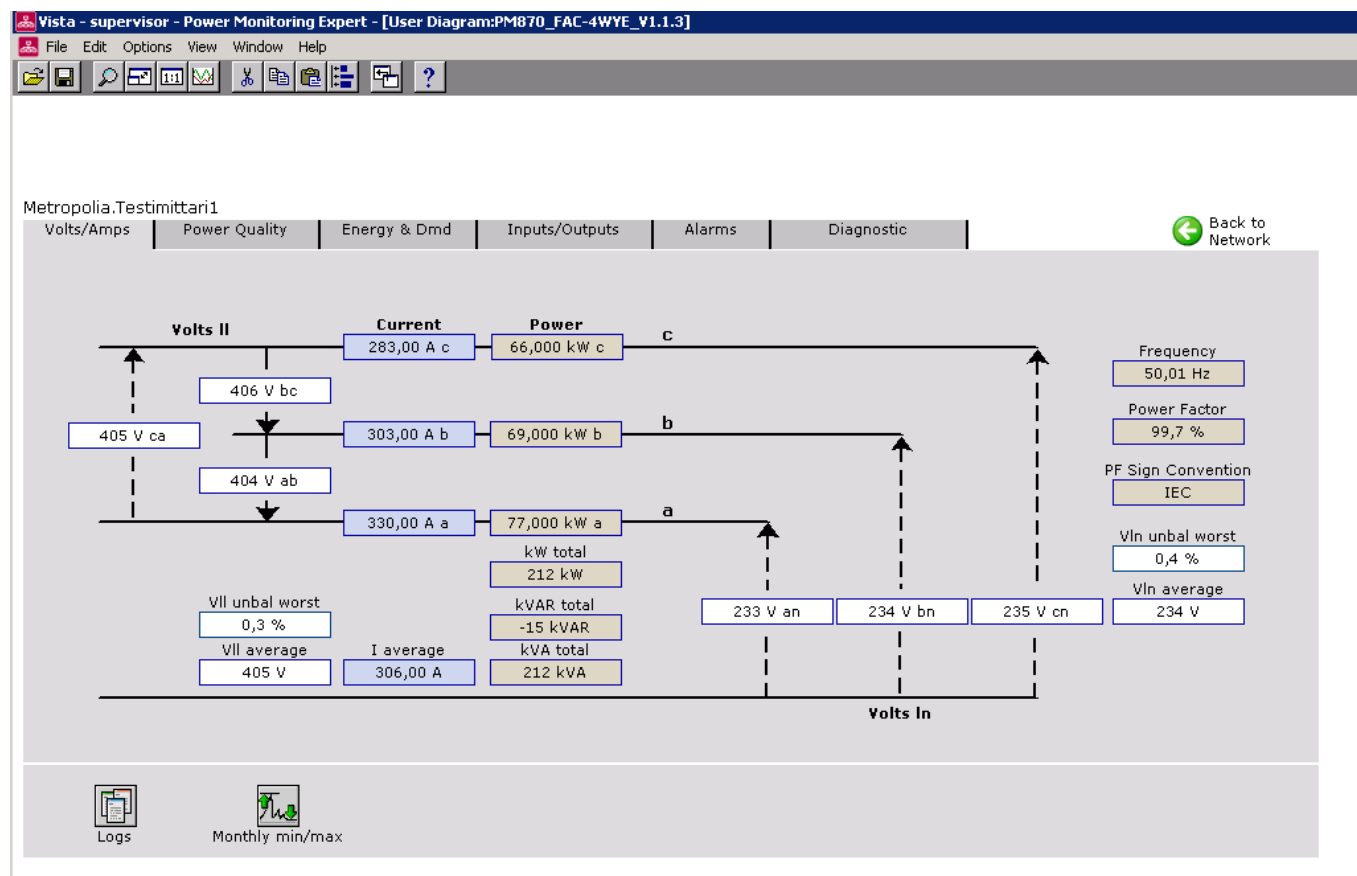


Jotta luotua toimintoa voidaan käyttää ja kokeilla täytyy poistua muokkaustilasta. Muokkaustila on päällä aina kun "Diagram Objects" on näkyvässä.

"Diagram Objects" suljetaan joko "Options" tai suoraan "Diagram objects"

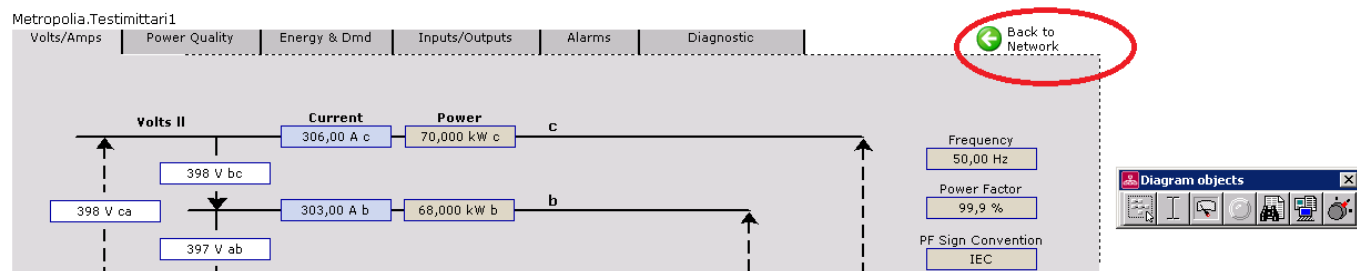


Tämän jälkeen napsautetaan hiirellä objektia ja aukeaa seuraava ikkuna.

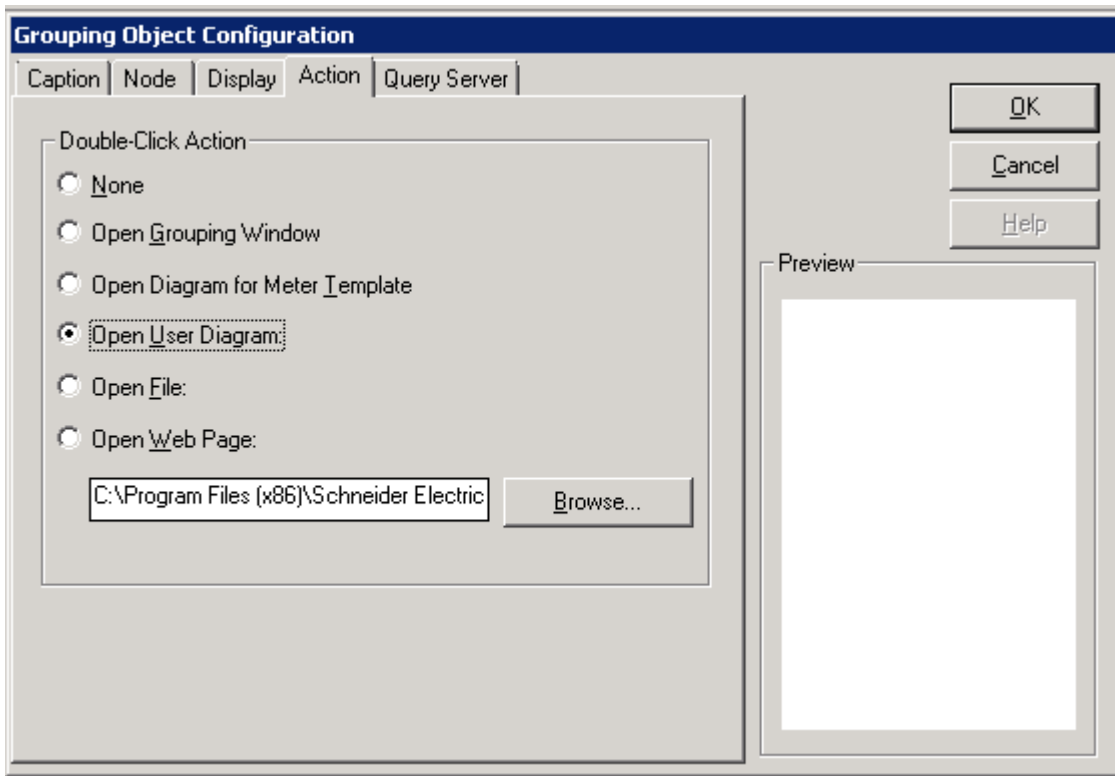


Ikkunassa on perustietoa mittarista ja useita välilehtiä, joista pääsee katselemaan perustietoja.

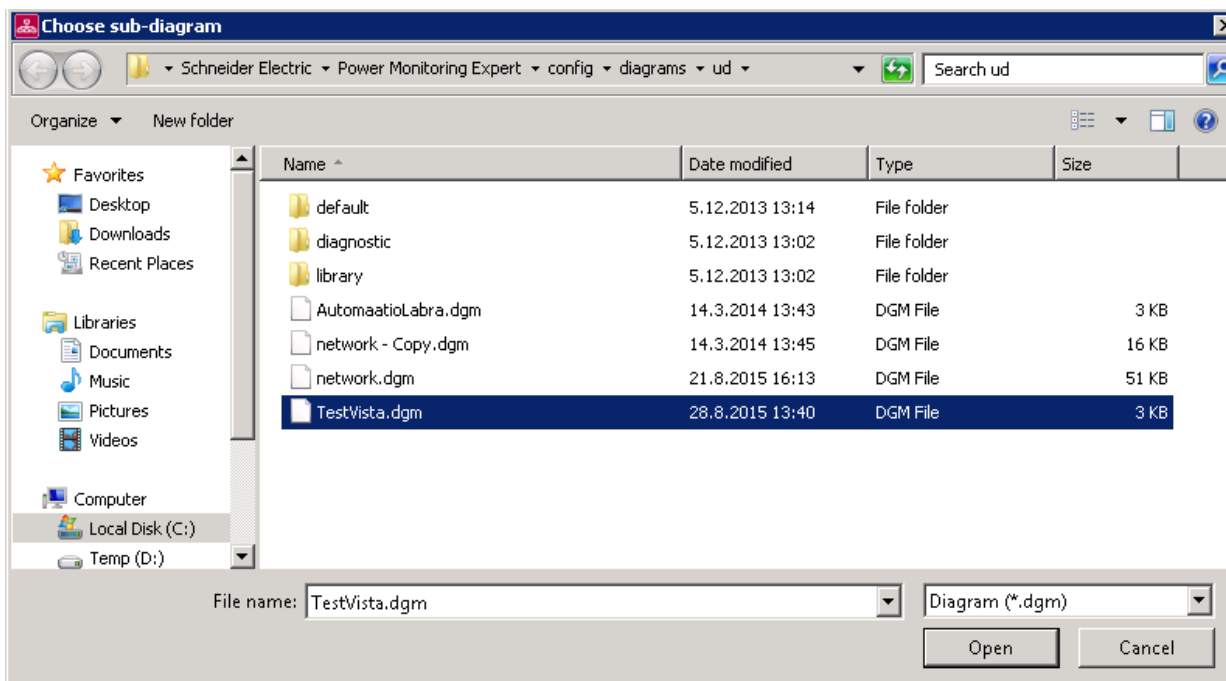
Seuraavaksi täytyy asettaa paluu takaisin oikeaan kaavioon:



"Back to network" asetellaan seuraavasti:

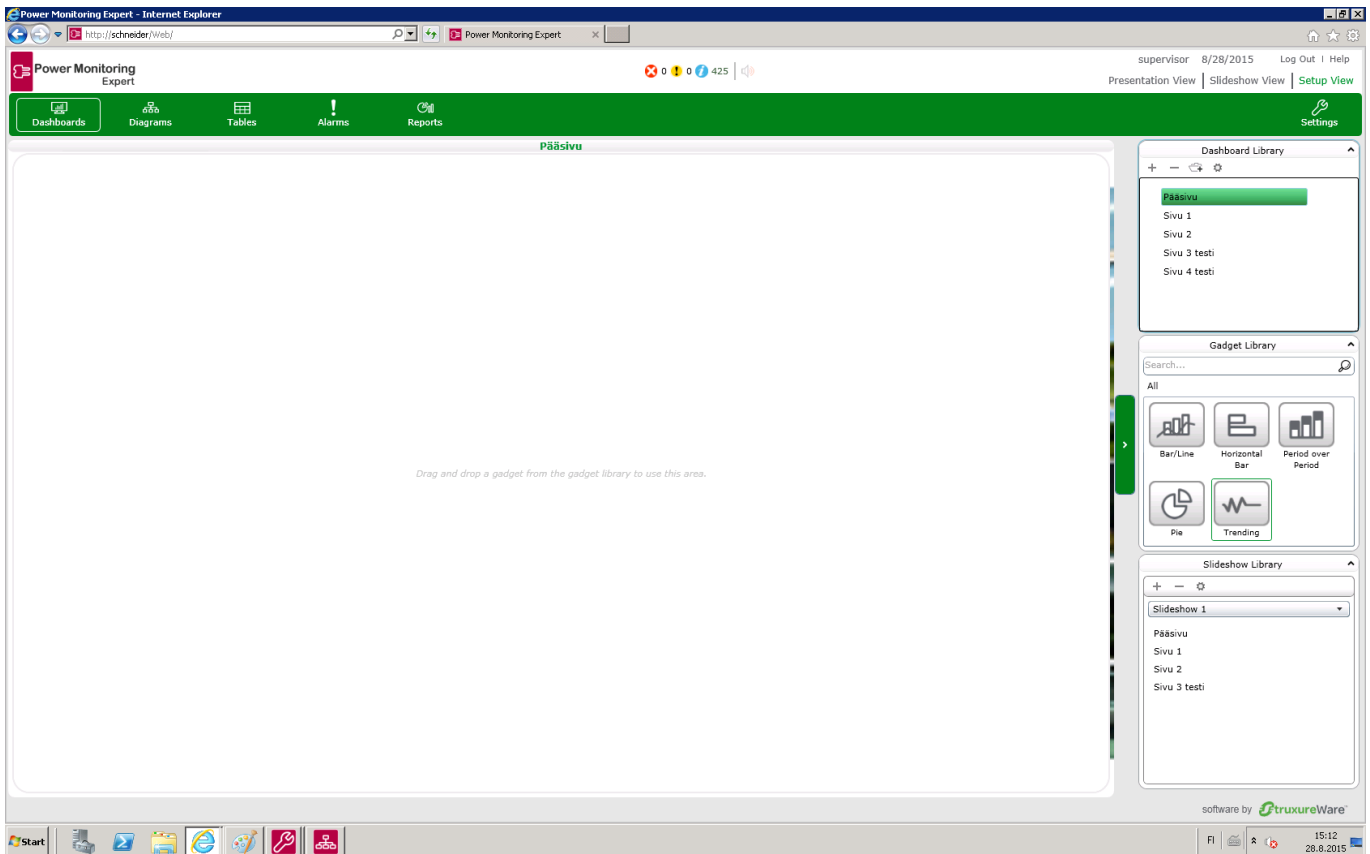


Osoitetaan polku takaisin lähtöpisteeseen:



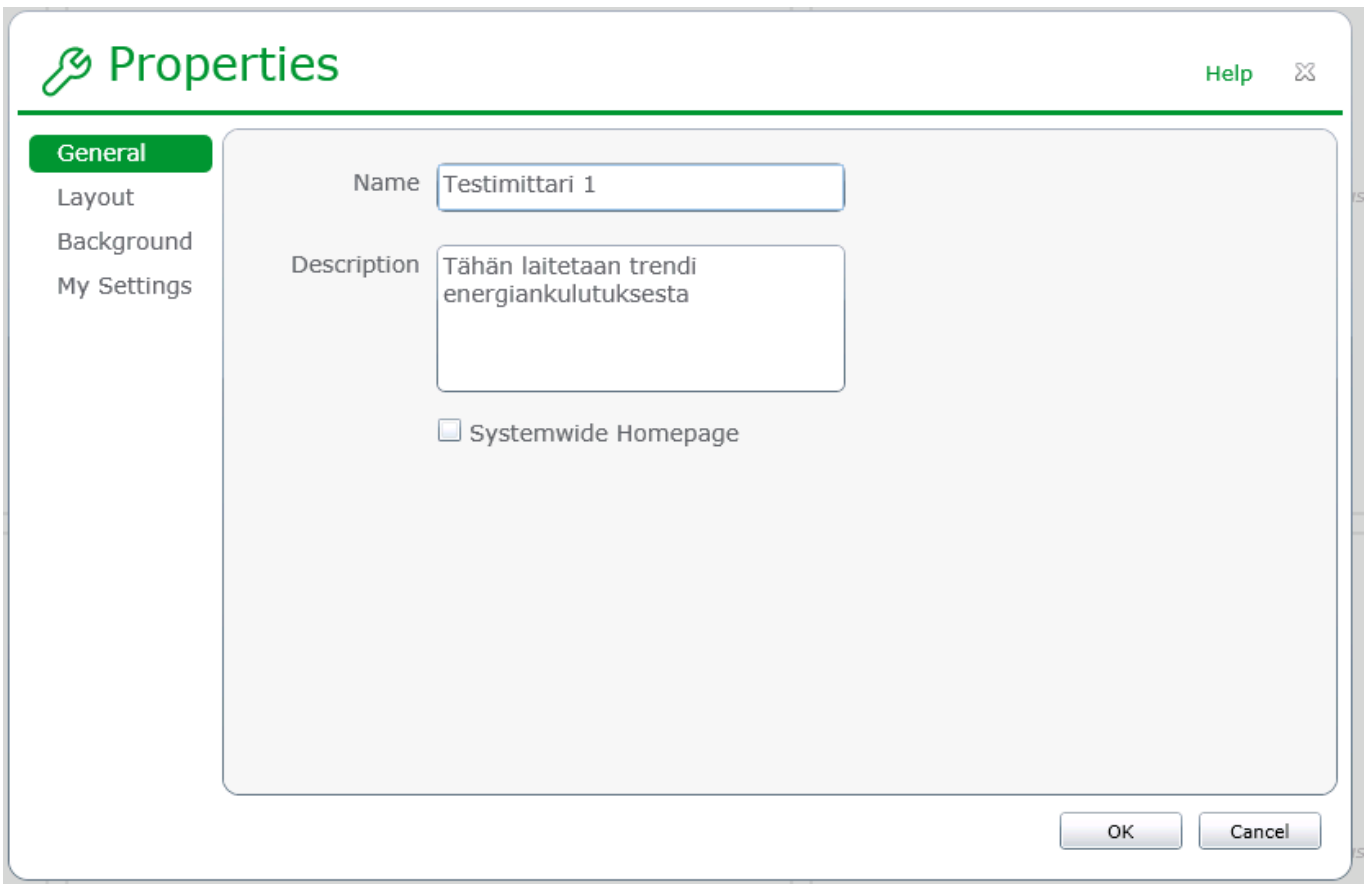
Nyt voit palata kaavioon mittarista, napsauttamalla "Back to network" nappia.

Seuraavaksi luodaan Web näyttämä: Avaa ohjelma "Web applications"

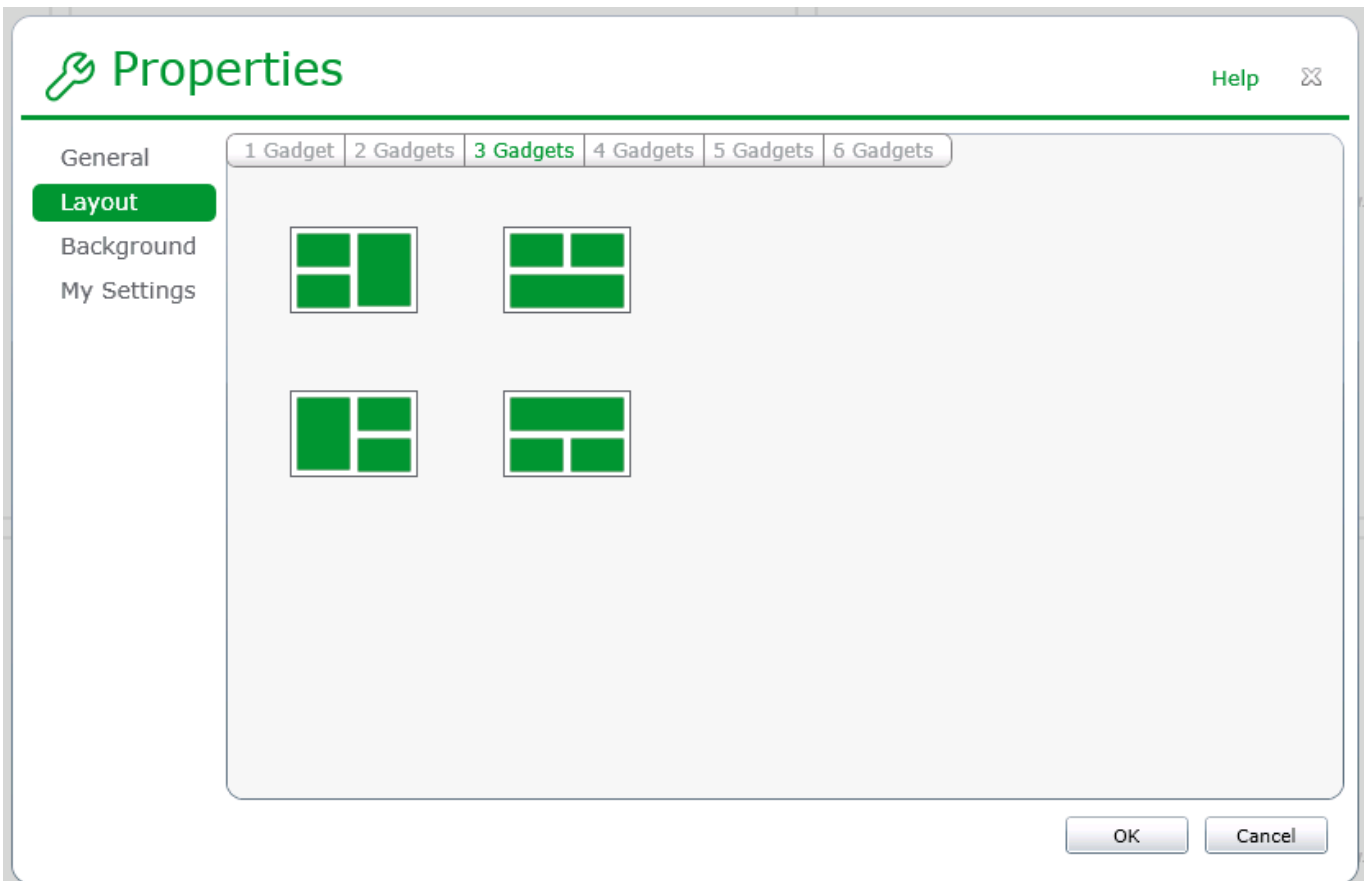


Dashboad Library osioon luodaan uusi sivu. Nimeä se esim. Testimittari1

Valitse luotu "New Dashboard" ja "Properties"

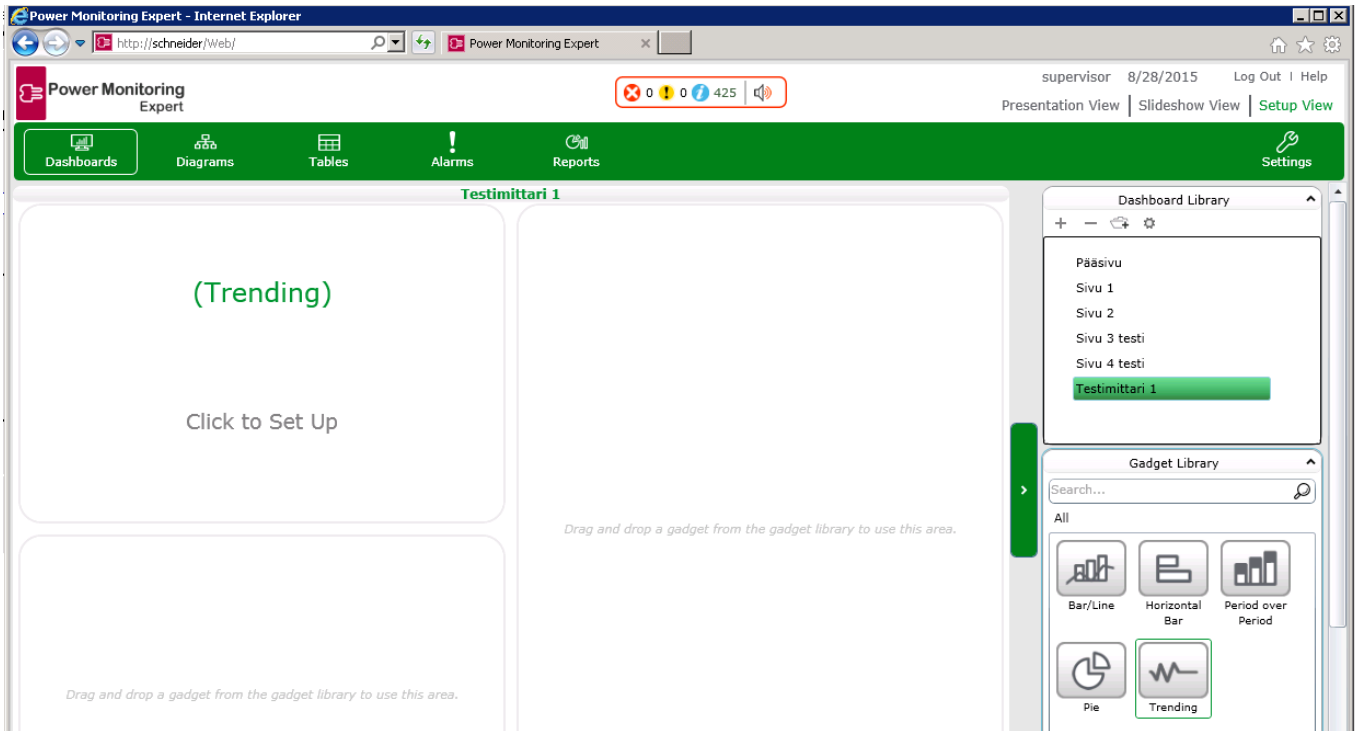


Sitten asetellaan "Layout"

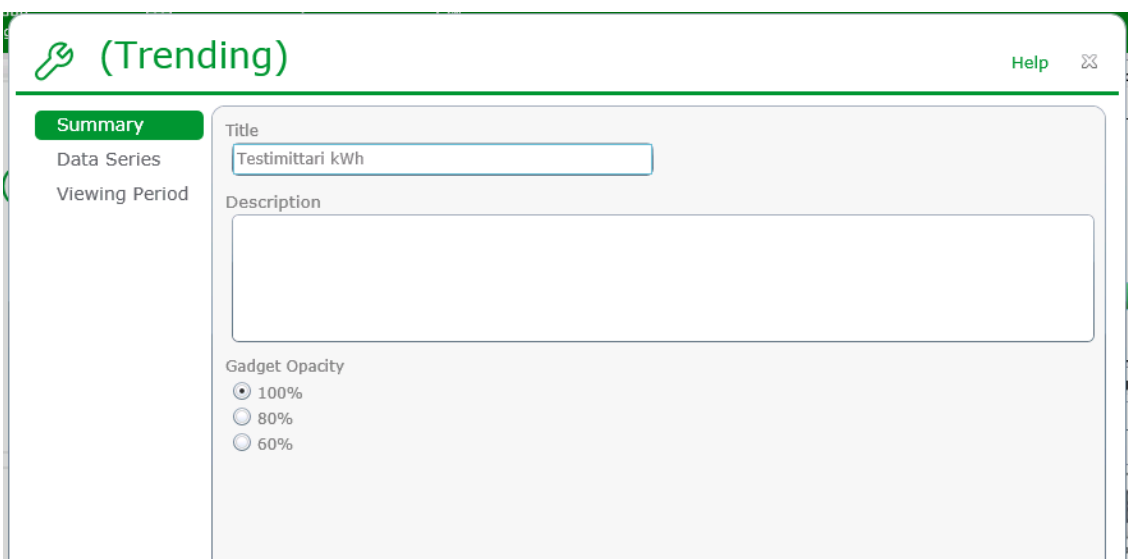


Valitaan ylin vasemmalta.

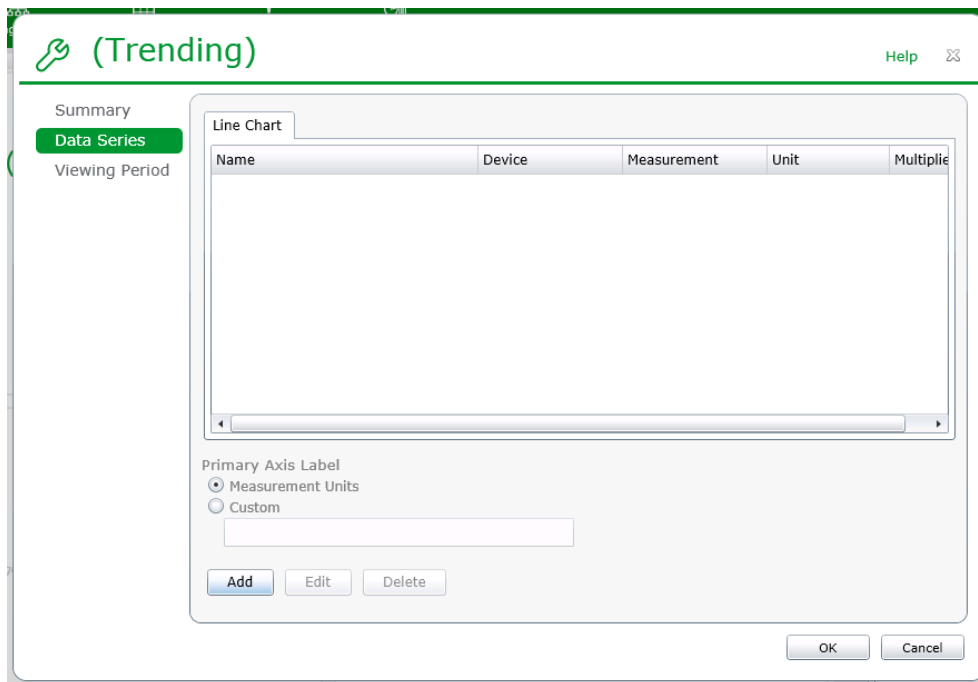
Sitten "Trending" työkaluista "Gadget Library" ja raahataan trendi.



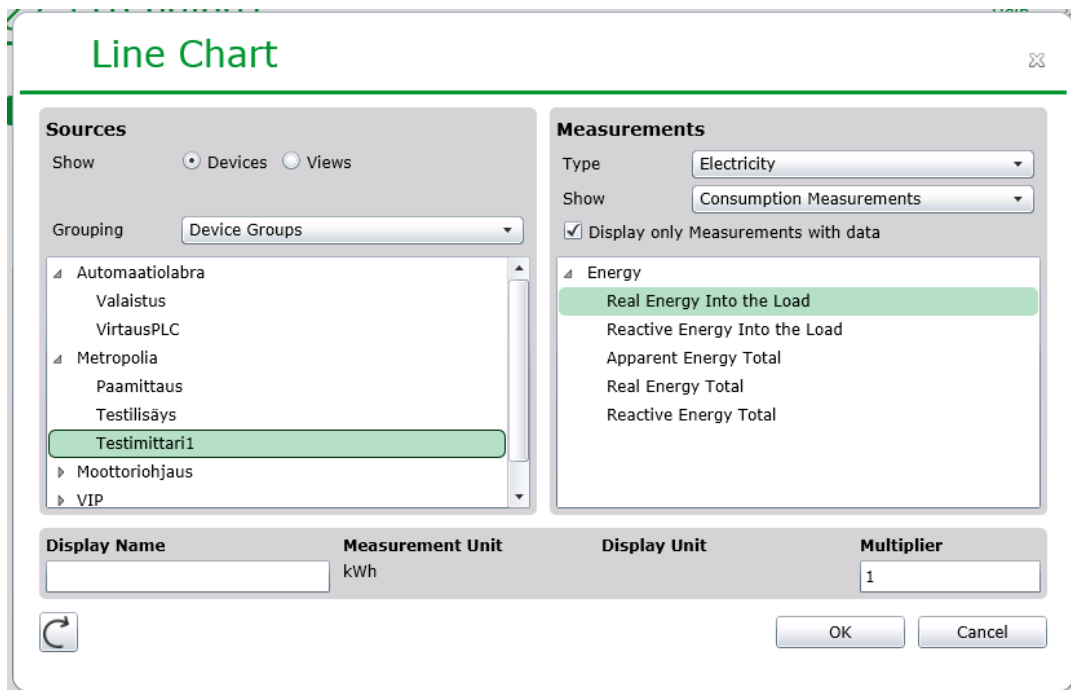
Mennään kohtaan "Click to Set Up"



Valitaan "Add"

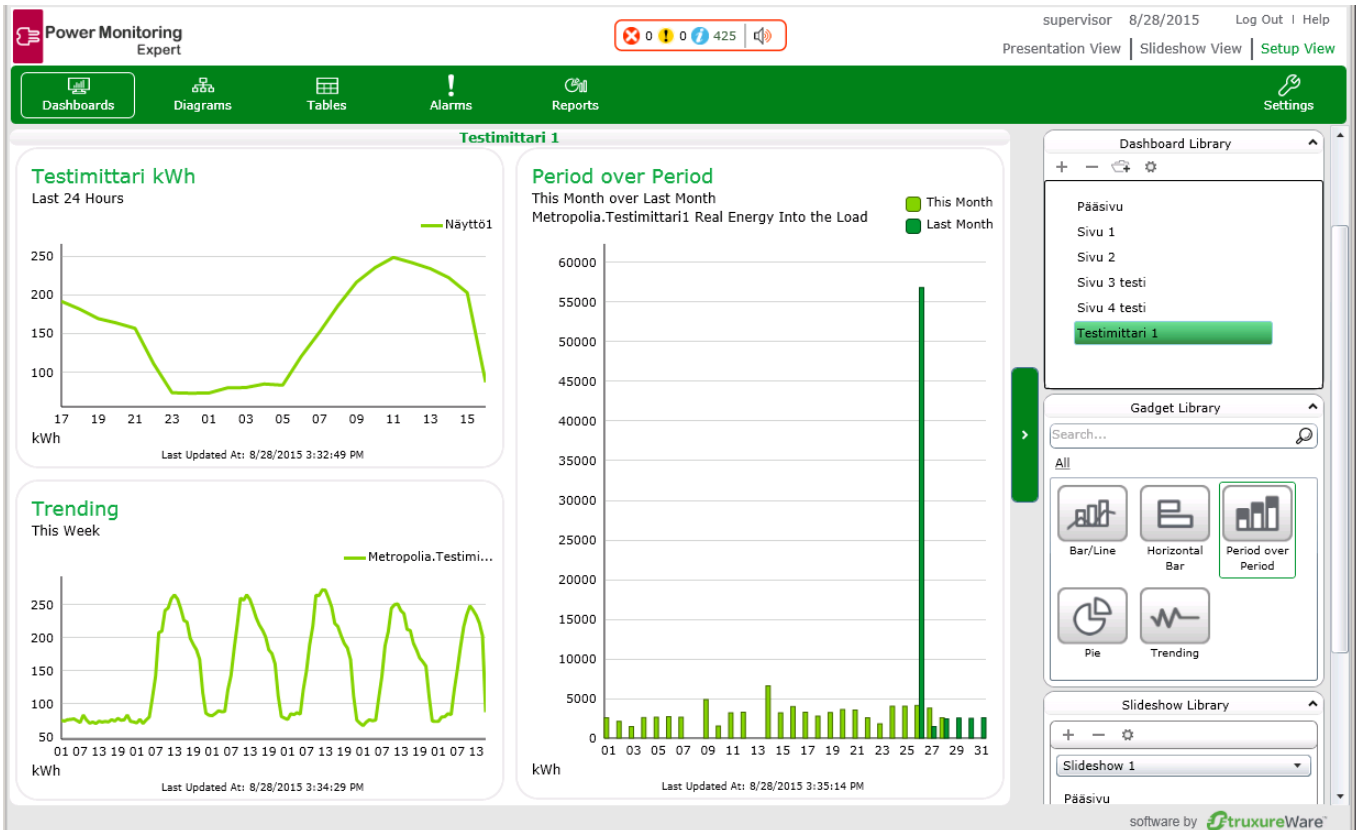


Valitaan seuraavat asetukset:



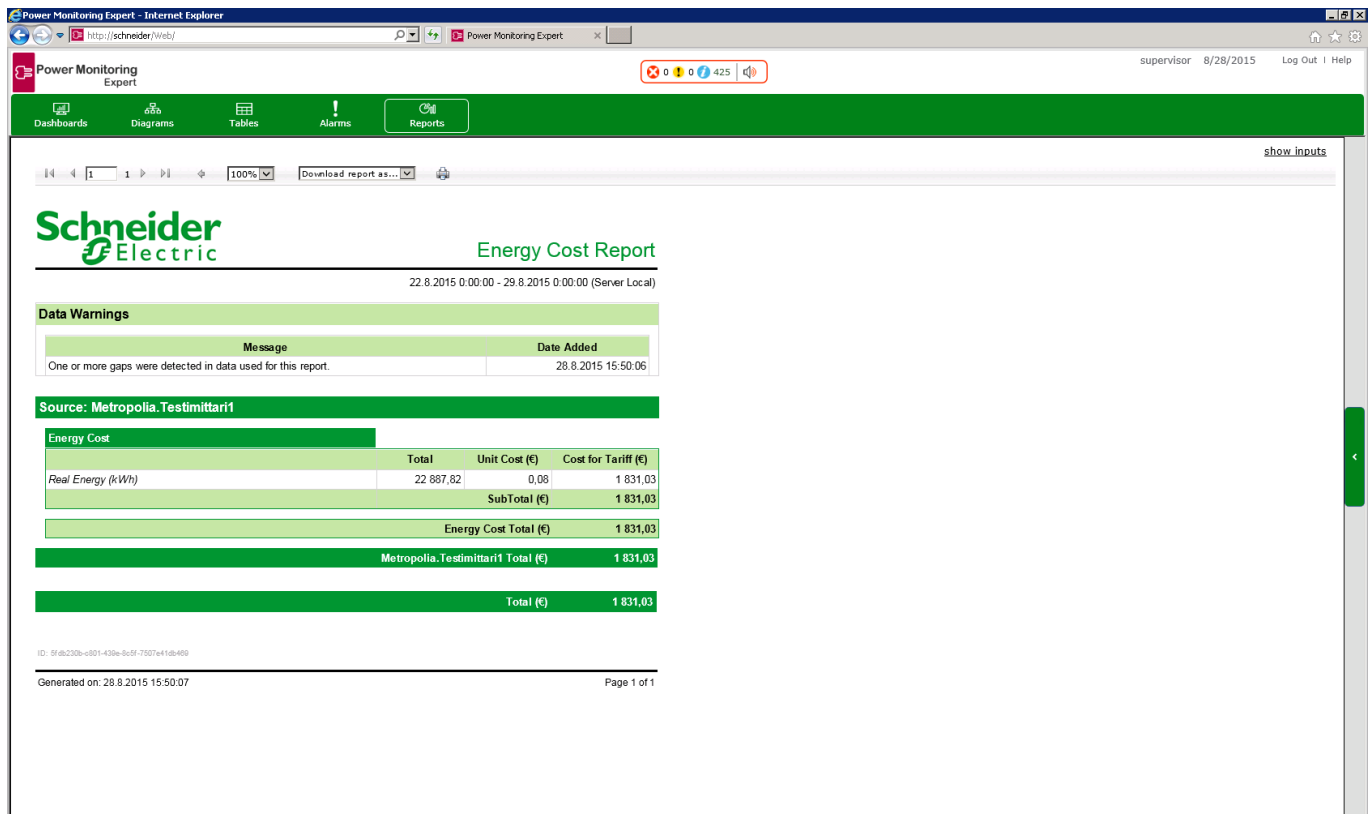
Otetaan lisäksi tarkastelujaksoksi 24 h kohdasta "Period"

Lisäilläään vielä trendi viikon ajalta ja lisäksi pylväsdiagrammi "period over period":



Tässä yksi perusnäyttämä kulutuksesta. Web sivut voi laittaa esimerkiksi yleiseen energiankulutuksen seurantaan infonäyttölle.

Reports osiosta voit generoida raportteja eri käyttötarpeisiin. Esimerkiksi energiakustannukset.



Kun olet Vista näyttämässä ja haluat, että toiminnot ovat aktiivisia, etkä ole muokkaustilassa, täytyy Diagram objects sulkea.

