



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jani Saarinen

NES-järjestelmän hyödyntäminen pienjänniteverkossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaationtekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

30.1.2021

Tekijä Otsikko	Jani Saarinen NES-järjestelmän hyödyntäminen pienjänniteverkossa
Sivumäärä Aika	24 sivua 30.1.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Osmo Massinen asiakkuuspäällikkö Tommi Pyhähuhta
<p>Opinnäytetyö on toteutettu Caruna Oy:lle. Tavoitteena oli tutkia Networked Energy Servicen (NES) tarjoamien järjestelmien hyödyntämistä pienjännitejakeluverkon hallinnassa. Opinnäytetyössä perehdytään NES-järjestelmiin sekä aurinkosähkön takamittarointiin.</p> <p>Työssä tarkastellaan älykkään sähköverkon ratkaisuja NES:in tarjoamilla älykkäillä mittareilla sekä keskittimen toimintoja. Älykkäitä NES-järjestelmiä tarkasteltaessa käytettiin Networked Energy Servicen kumppaniportaalia ja Carunan sisäisiä dokumentteja sekä molempien yritysten haastatteluja. Näin saatiin tietoa älylaitteiden käytöstä ja mahdollisuuksista Carunalla.</p> <p>Teoriaosuudessa käydään älymittareiden sekä keskittimen hälytystoimintoja ja kuinka näitä voidaan hyödyntää pienjänniteverkossa. Kuinka keskittimen automaattinen topologian hallinta tapahtuu sekä miten keskitintä voidaan hyödyntää enemmän siihen asennettavilla moduuleilla. Mittaustiedon hallinnassa käydään läpi, kuinka älymittareilta siirtyvät tuntitiedot kulkevat aina sähkömyyjille saakka.</p> <p>Työn tavoitteet saavutettiin ja työssä saatiin selville, kuinka NES-järjestelmiä voidaan hyödyntää pienjänniteverkossa. Älymittarin havaitsemia tapahtumia hyödynnetään vikojen paikantamisessa sekä tunnistamisessa. Tapahtumat kerätään tuntisarjojen luennan yhteydessä tai ne voidaan lukea erillisellä luennalla. Tapahtumat kulkevat älymittarilta keskittimelle PLC-yhteydellä ja tieto kulkee keskittimeltä GPRS-yhteydellä NES-järjestelmään. Opinnäytetyötä on mahdollista hyödyntää opastusta antavana dokumenttina älylaitteiden hyödyntämisessä pienjänniteverkossa.</p>	
Avainsanat	älykäs sähköverkko, älymittarit, takamittarointi

Author Title	Jani Saarinen Low-voltage Network Management with NES systems
Number of Pages Date	24 pages 30 January 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Osmo Massinen, Senior Lecturer Tommi Pyhähuhta, Account Manager
<p>The thesis work was carried out for Caruna Oy. The aim was to study the use of systems provided by Network Energy Services (NES) to manage the low-voltage distribution network. The thesis will look at NES systems and the rear measurement of solar power.</p> <p>The thesis will examine smart grid solutions with smart meters provided by NES, as well as the functions of the central unit. Networked Energy Service's partner portal and Caruna's internal documents, as well as interviews with both companies, were used to study smart NES systems. This provided information on the use and possibilities of smart devices at Caruna.</p> <p>The theory section examines the alarm functions of smart meters and the data hubs, and how they can be utilized in a low-voltage network. The control of measurement data is reviewed to see how hourly data transferred from smart meters travels all the way to electricity vendors. How the automatic topology management of the data concentrator takes place and how the data concentrator can be utilized more with the modules installed in it are also clarified.</p> <p>The objectives of the thesis work were achieved and how NES systems can be utilized in a low voltage network was clarified. The events detected by the smart meter are used to locate and identify faults. Events are collected during the reading of hour series or can be read in a separate reading. Events travel from the smart meter to the central meter via PLC, and the data travels from the central to the NES via a GPRS connection. It is possible to use the thesis as a guidance document to utilize smart devices in a low-voltage network.</p>	
Keywords	smart grid, smart meters, back measurement

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tietoa Carunasta	2
3	Älykäs sähköverkko	4
4	Mittaustiedon hallinta	9
5	Älymittarit	12
5.1	Älykkään mittarin hyödyt ja haasteet	12
5.2	Älykkään mittarin toimintaperiaate	13
5.3	NES-älymittarit	13
6	Keskitin	16
6.1	Automatisoitu topologian hallinta (ATM)	18
6.2	Vaihtoehtoiset moduulit keskittimeen	18
6.3	CPM 6040 -ohjauspiestemoduuli	19
7	NES-järjestelmäohjelmisto	21
8	Aurinkosähkön takamittarointi	22
9	Yhteenveto	24
	Lähteet	25

Lyhenteet

AMI	Advanced Metering Infrastructure. Kehittynyt mittausinfrastruktuuri.
ATM	Automatic Topology Management. Keskitimen toiminto, joka ylläpitää voimansiirtoverkosta.
CPM	Control Point Modules. Ohjauspistemoduuli.
DCN	Distributed Control Node. Keskitin.
EVENT	Mittarien tallentamat sähkölaatutapahtumat.
Keskitin	Sähkömittareiden tietojen kerääjä ja lähettäjä.
MDM	Metering Data Management. Mittaustiedonhallintajärjestelmä.
OSGP	Open Smart Grid Protocol. Tietoliikenneprotokolla.
PLC	Power Line Communication: Tiedonsiirtomenetelmä, jolla keskitimet ovat yhteydessä mittareihin.

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä selvitetään, kuinka pienjänniteverkkoa voidaan hallita Network Energy Servicen tarjoamilla älykkäillä laitteilla. Sähköverkon älykkyys perustuu mittausinfrastruktuurin (Advanced Metering Infrastructure) kokonaisuuteen, johon kuuluvat etäluettavat mittalaitteet, viestintäverkot ja mittaustiedon hallintajärjestelmä.

Opinnäytetyön alussa tarkastellaan ensin älykkään sähköverkon rakennetta ja sen ominaisuuksia. Älykäs mittalaite on mahdollista liittää älynäyttöön, josta voidaan seurata muun muassa kiinteistön sähkönkulutusta sekä ohjata kiinteistön älylaitteita, kuten lämmivesivaraajaa ja sähköautojen latauspistokkeita. Työssä käydään myös älymittarin hyötyjä sekä tulevaisuuden toisen sukupolven älykkäiden mittarien haasteita kuluttajan ja verkonhaltijan näkökulmasta.

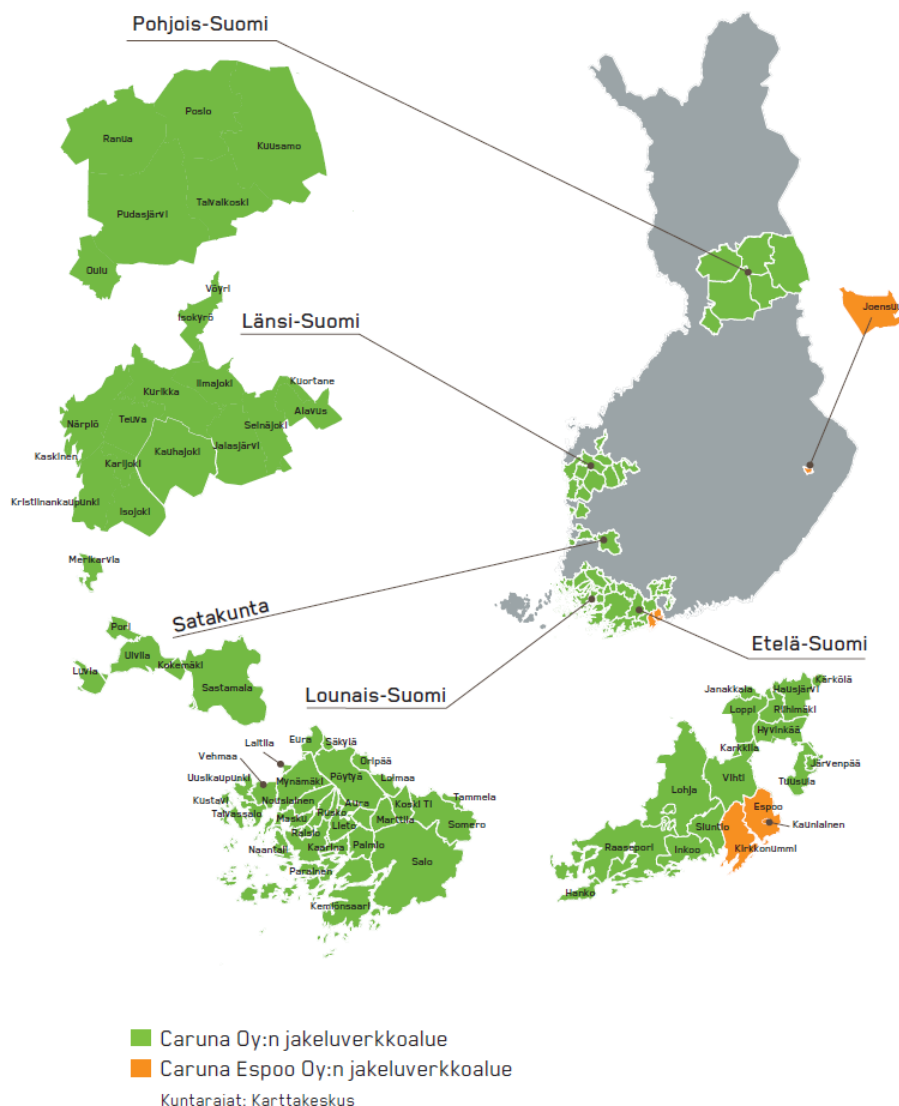
Lisääntyvä kysyntä sähkön saatavuudelle sekä hajautetulle sähköntuotannolle luovat tarpeen lisätä kulutuksen- ja sähkön laadun mittauksia. Älykäs mittari on edistyksellinen energiamittari, joka mittaa kuluttajien energiankulutusta ja antaa lisäinformaatiota sähköyhtiölle ja/tai sähkönsiirtoyhtiölle, parempaa seurantaa ja laskutusta varten. Älykkäällä mittarilla mitataan sähkönlaatumietoja, kuten jännitettä ja taajuutta, ja tallennetaan reaaliaikaiset energiankulutustiedot. Älykäs mittari on yksi tärkeimmistä älyverkossa käytetyistä laitteista, koska älymittareita voidaan käyttää myös antureina sähköverkossa. Kuluttajan näkökulmasta älykkäät mittarit tarjoavat useita etuja, kuten näkevät oman reaaliaikaisen sähkönkulutustiedot ja siten pystyvät hallitsemaan energiankulutustaan.

Työssä käytettiin enimmäkseen ulkomaalaista kirjallisuutta, koska suomenkielistä kirjallisuutta on vain rajallisesti. Englanninkielistä kirjallisuutta oli internetissä kuitenkin todella paljon saatavilla.

Tämä opinnäytetyö on tehty Caruna Oy:lle selvittämään älykkään NES-järjestelmän ratkaisuja. Opinnäytetyössä perehdytään älymittareiden ja keskittimen ominaisuuksiin ja toimintaan pienjänniteverkon hallinnassa.

2 Tietoa Carunasta

Caruna on suomalainen sähkösiirtoyhtiö, joka kunnostaa, ylläpitää ja rakentaa säännestävää sähköverkkoa yli 692 000 asiakkaalleen. Caruna huolehtii sähkönjakelusta Etelä-, Lounais- ja Länsi-Suomessa, Joensuussa, Koillismaalla sekä Satakunnassa. Näillä alueilla Carunalla on asiakkaitaan noin 80 kuntaa, 90 000 yritystä ja noin 600 000 kotitaloutta. Carunalla on kaksi eri verkkoyhtiötä Caruna Espoo Oy ja Caruna Oy, jotka eroavat toisistaan merkittävästi. [1.] Kuvassa 1 on esitettyä Carunan verkkoalueet yhtiöittäin.

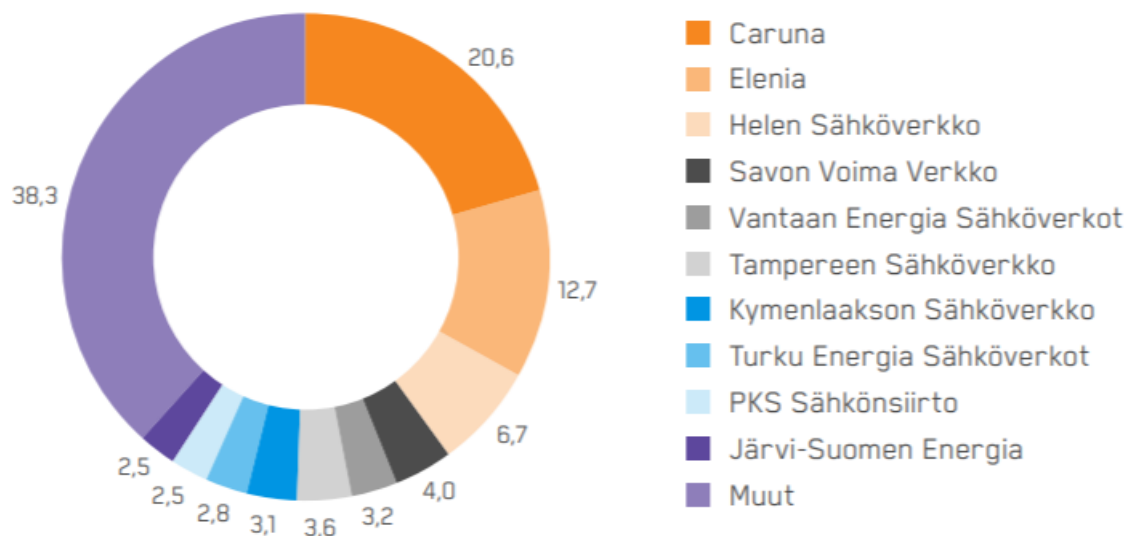


Kuva 1. Carunan jakeluverkkokartta. [2.]

Caruna Espoo Oy on kaupunkiyhtiö, jonka kaapelointi aste on 76 %, joka on korkea. *Caruna Espoo*lla on sähköverkkoa noin 7 900 km, joka tekee 36 m asiakasta kohden. *Caruna Espoo* kattaa Espoon, Kauniaisen, Kirkkonummen sekä Joensuun kaupunkikeskustan. *Caruna Espoo* kuuluu myös Suomen edullisempien sähkönjakeluyhtiöiden joukkoon. Asiakkaita näissä käyttöpaikoissa on noin 218 000. [1.]

Caruna Oy puolestaan toimii pääosin haja-asutusalueilla ja verkkoalueeseen kuuluvat Keski-Uusimaa, Koillismaa, Länsi-Uusimaa, Lounais-Suomi, Pohjanmaa sekä Satakunta missä on ylläpidettävää, rakennettavaa ja kunnostettavaa verkkoa paljon. Sähköverkon pituus on 79 470 km ja asiakkaita on noin 474 000, joka tekee 168 m asiakasta kohden. *Caruna Oy*:n kaapelointiaste on 54 %. [1.]

Carunalla on sähköverkkoa yhteensä jopa 87 370 km, jonka sähkön toimitusvarmuus on 99,99 %. Näin ollen *Carunan* osuus koko Suomen sähkönjakelusta on 20,6 %. Kuvassa 2 on esitettyä *Carunan* ja muiden yhtiöiden osuus Suomen sähkönjakeluista. [1.]



Kuva 2. Yhtiöiden osuus toimitetun sähkönmäärästä jakeluverkossa. [1.]

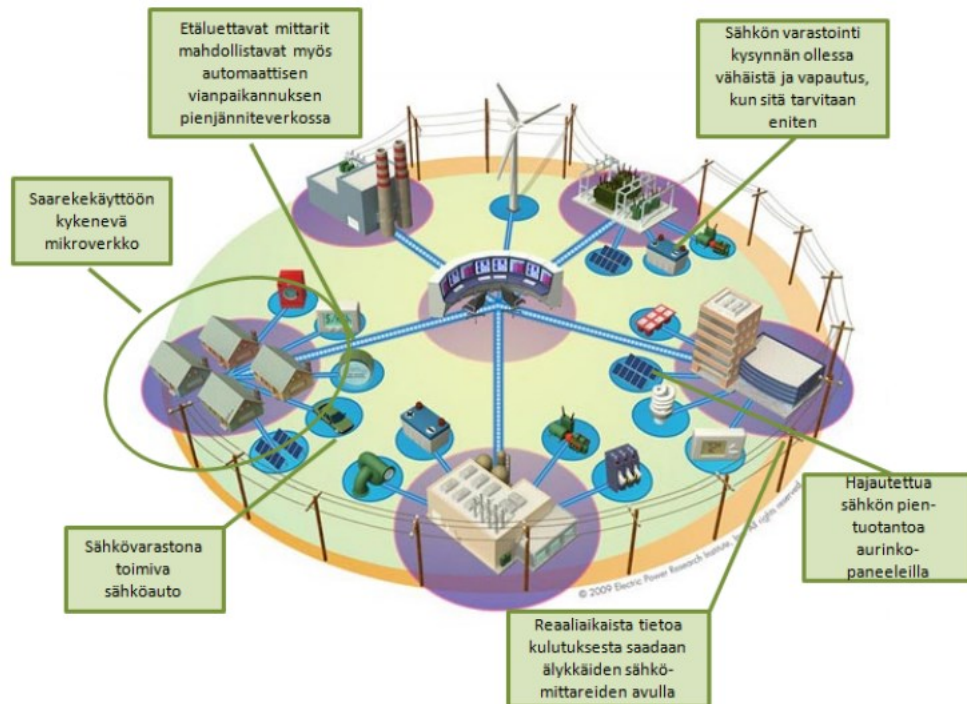
3 Älykäs sähköverkko

Älykkäälle sähköverkolle ei ole yksiselitteistä määritelmää maailmanlaajuisesti vaan sitä yleensä kuvaillaan kyberfyysisenä järjestelmänä ja sen tarjoamista hyödyistä perinteisiin sähköverkkoihin verrattuna. Älykkäillä sähköverkoilla viitataan jakelu- ja siirtoverkon älykkyyteen. [3.]

Taulukko 1. Perinteisen ja älykkään sähköverkonvertailu. [4.]

Perinteinen sähköverkko	Älykäs sähköverkko
Muutama anturi	Antureita kaikkialla
Yksisuuntainen viestintä	kaksisuuntainen viestintä
Pääsääntöisesti keskitetty tuotanto	Hajautettu tuotanto
Manuaalinen seuranta	Automaattinen
Manuaalinen palautus	Automaattinen
Paikan päällä tapahtuvat kunnossapitotyöt	Etämonitorointi

Perinteisen ja älykkään sähköverkon välinen suurin ero on, että älykkäässä sähköverkossa tiedonsiirto ja sähkö kulkee kahteen suuntaan. Tämä tarkoittaa, että sähköenergian jakelu ei ole enää yksisuuntainen. Esimerkiksi perinteisessä sähköverkossa sähkö tuotetaan voimalaitoksessa ja sieltä siirretään siirto- ja jakeluverkon kautta käyttäjille. Älykkäässä sähköverkossa käyttäjät voivat myös syöttää sähköä takaisin verkkoon. Esimerkiksi kuluttajat voivat halutessaan aurinkopaneeleilla tuottaa sähköä ja syöttää sen takaisin verkkoon. [4.] Sähköajoneuvoista voidaan tarvittaessa ottaa järjestelmään tehoa kuormien tasapainottamiseksi ja toimia esim. häiriöreservissä [5]. Kuvassa 3 havainnollistetaan älykkään sähköjärjestelmän rakennetta.



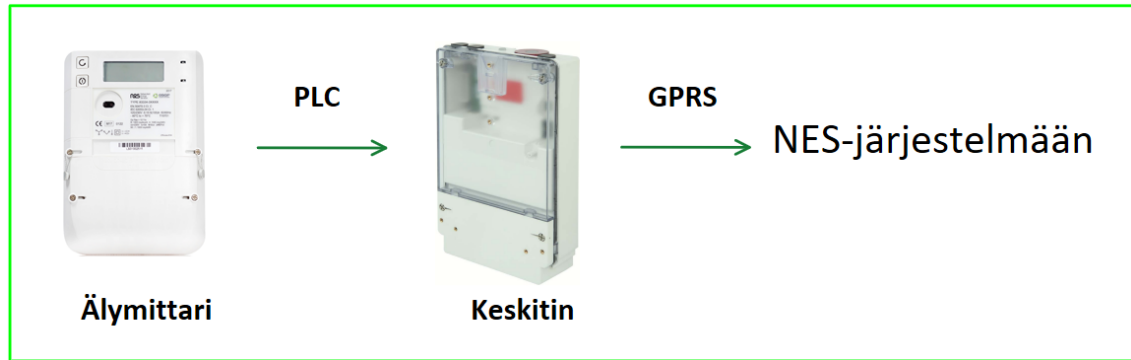
Kuva 3. Käsitteellinen malli älykkäästä sähköverkosta. [3.]

Selvemmin sanottuna älykästä sähköverkkoa voidaan siis pitää sellaisena sähköjärjestelmänä, joka käyttää tietoa, kaksisuuntaista viestintää, kyberturvallista viestintäteknikkaa ja laskennallista älykkyyttä sähköntuotannossa, jakelussa ja kulutuksessa, joka on turvallinen, luotettava, kestävä sekä tehokas.

Älymittareiden hälytystoimintojen hyödyntäminen pienjänniteverkossa

Älymittarit havaitsevat verkossa tapahtuvat poikkeavuudet ja tallentavat ne mittarin tapahtumiin. Tapahtumat kerätään mittareilta tuntisarjojen luennan yhteydessä tai ne voidaan lukea erillisellä luennalla. Osasta tapahtumista mittarilta saadaan myös suoraan hälytys käyttökijärjestelmään, näitä ovat nollavika ja vaihevika.

Nämä hälytykset lähtevät saman tien älymittarilta ja tieto kulkee keskittimelle PLC-yhteydellä ja keskittimeltä tieto lähetetään GPRS-yhteydellä NES-järjestelmään. [6.] Kuvassa 4 esitetään mittariviestin tiedonkulku NES-järjestelmään.



Kuva 4. Hälytyksien tiedonkulku. [6.]

Nollavika syntyy, kun sähköverkon nollajohdin katkeaa. Vaihejännite voi silloin pahimmillaan nousta 230 voltista jopa 400 volttiin. Nollavika on erittäin vaarallinen, ja se täytyy välittömästi korjata sillä nollavian aikana voi syntyä hengenvaarallinen tilanne vaarallisten kosketusjännitteiden kanssa. Nollavian aikana laitteita voi rikkoutua ja myös tulipalonriski on olemassa. Näille hälytyksille on asetettu 10 sekunnin odotusaika eli jännitteiden täytyy olla määritellyissä rajoissa vähintään 10 sekuntia ennen kuin mittari lähettää hälytyksen. [6.]

Älymittarista voidaan etäyhteydellä lukea suoraluontana mittarin hetkellisarvot (kuva 5) ja hälytykset (kuva 6) tarvittaessa käytöntukijärjestelmästä tai Landis + Gyrin hallinnoimalla AIM Dashdoard -järjestelmällä.

The screenshot shows the AIM Dashboard interface. At the top, there are navigation tabs: 'Mittaukset', 'Laitteet', 'Sopimukset', 'Tapahtumat', 'Luentapyynnöt', 'Ohjaukset', 'Kuvat', and 'ecoMeter'. Below the tabs, there are radio buttons for 'Jaksomittausarvot', 'Sarjamittausarvot', 'Hetkellisarvot' (selected), 'Tapahtumat', and 'Sähkölaatu tiedot'. There are also buttons for 'Lue hetkellisarvot...' and 'Lue muuntajasuhde...'. The main content area is divided into two tables:

Viimeaikaiset luentapyynnöt			Arvot	
Alkamisaika	Pyynnön tyyppi	Tila	Arvon nimi	Arvo
15.12.2020 13:06	Lue hetkellisarvot	Onnistunut	Aika	15.12.2020 13:06:27
			Vaihejännite (L1)	233.683 V
			Vaihejännite (L2)	232.942 V
			Vaihejännite (L3)	231.978 V
			Vaihevirta (L1)	0.03 A
			Vaihevirta (L2)	0.06 A
			Vaihevirta (L3)	0 A

Kuva 5. Hetkellisarvojen lukeminen AIM Dashboardilla.

Hetkellisarvoja lukemalla voidaan todeta kohteen olevan kunnossa vaihejännitteiden (L1, L2 ja L3) ja vaihevirtojen (IL1, IL2 ja IL3) avulla. Esimerkiksi jos vaihejännitteen (L2) arvo olisi pudonnut 100 volttiin, niin silloin mittari havaitsee vaihevian, jolloin siitä tulisi vaihevikahälytys ja se näkyisi kuvassa 5.

Sähkön laatu tiedot
 Laitteen tapahtumat
 Hälytykset

Suodata Suodatus: 254 tyyppi(ä) valittu

Tapahtuma-aika	Tapahtuman nimi	Tapahtumakuvaus	Lähde
05.09.2020 6:36:43	Virta palautui	Virta on palautunut	NES
05.09.2020 6:36:42	Sähkökatko	Sähkökatko alkoi	NES
09.07.2020 6:12:40	Virta palautui	Virta on palautunut	NES
09.07.2020 6:12:39	Sähkökatko	Sähkökatko alkoi	NES
30.06.2020 3:32:08	Virta palautui	Virta on palautunut	NES
30.06.2020 3:32:07	Sähkökatko	Sähkökatko alkoi	NES
18.06.2020 4:38:43	Virta palautui	Virta on palautunut	NES
18.06.2020 4:37:41	Sähkökatko	Sähkökatko alkoi	NES
11.06.2020 11:55:23	Virta palautui	Virta on palautunut	NES
11.06.2020 11:55:09	Sähkökatko	Sähkökatko alkoi	NES
26.05.2020 12:27:45	Virta palautui	Virta on palautunut	NES
26.05.2020 12:27:36	Sähkökatko	Sähkökatko alkoi	NES

Kuva 6. Mittarille tallentuneet hälytykset.

NES-älymittarilta on mahdollista saada erilaisia tapahtumailmoituksia ja hälytyksiä, kuten:

- ZERO (nollavika)
- SWF (ohjelmoitava sulake)
- SUR (korkea jännite)
- SOUT (sähkökatko alle 3 min)
- SAG (alhainen jännite)
- RVEN (sähköntuotantoa)
- ROT (vaihe puuttuu tai vaihe järjestys muuttunut)
- PLOSS (vaihe puuttuu)
- OVC (ylivirta)
- LOUT (sähkökatko yli 3 min) [7.]

RVEN-tapahtumailmoitus

Reverse Energy (RVEN) tarkoittaa, että joltain vaiheelta mittari rekisteröi yli 1 ampeerin virran, joka menee verkkoon päin ja tämän tulee kestää vähintään 10 sekunnin ajan niin tällöin tulee hälytysilmoitus RVEN-tapahtumailmoitus. Tämä 1 ampeerin virtaraja on määritettävissä NES-mittareille mutta oletusarvoisesti tämä on yksi ampeeri. [7.]

RVEN-tapahtumailmoituksia yleensä tulee seuraavista syistä:

- Asiakkaalla on omaa tuotantoa.
- Mittarille tulevat ja lähtevät johtimet on kytketty väärinpäin.

Caruna on toteuttanut tämän RVEN-hälytysilmoitukset niin, että kun asiakkaalle aktivoidaan pientuotantomittaus, mittarilta kytketään samalla RVEN-tapahtumailmoitukset pois päältä. [7.]

Kuvassa 7 huomataan, että RVEN-tapahtumailmoitukset on tullut päiväsaikaan klo 9–15. Kyseessä on silloin luultavasti aurinkopientuottajia, joiden mittareilta ei ole vielä otettu RVEN-tapahtumailmoituksia pois päältä.



Kuva 7. Reverse Energy-mittaritapahtumat.

Kuvassa 8 huomataan, että joillakin kohteilla RVEN-tapahtumailmoituksia on tullut myös muina kuin päiväsaikaan. Näissä kohteissa on todennäköisesti kytkentävirhe tai kohteessa on jokin laite, joka aiheuttaa RVEN-tapahtumailmoitusten muodostumisen. Näissä tapauksissa kohteita lähdetäisiin selvittämään ja tilattaisiin asentaja paikan päälle. [7.]

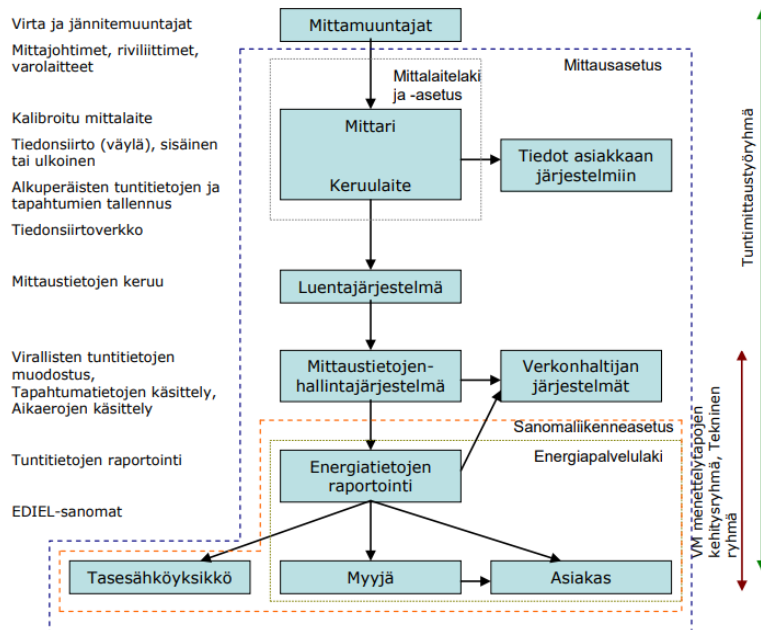


Kuva 8. Reverse Energy-mittaritapahtumat.

4 Mittaustiedon hallinta

Energiateollisuus on asettanut tuntimittauslaitteille suosituksia, kuten mittalaitteen rekisteröimät tiedot tulee pystyä lukemaan etäyhteyksin ja että sähkökatkosten aikana mittalaitteen tulee toimia ja pystyä rekisteröimään yli kolmen minuutin pituiset alkamis- ja päättymisajankohdat. Mittaus- ja jännitteetöntä aikaa koskevat tiedot tallennetaan mittaustiedonhallintajärjestelmään, jossa tuntikohtaiset mittaustiedot säilytetään vähintään kuusi vuotta ja jännitteetöntä aikaa koskeva tieto vähintään kaksi vuotta. Mittalaitteistolla täytyy olla vähintään yksi ohjauslaite kuormanohjausta varten ja kuormanohjauskomennot lähetetään mittalaitteistolle tietoverkon välityksellä. Tietojärjestelmän tietosuojan tulee olla varmistettu mittauslaitteiston ja verkonhaltijan välillä. Lisäksi asiakkaan erillisestä pyynnöstä verkonhaltijan tulee pystyä tarjoamaan tuntimittauslaitteiston, jolla voidaan seurata reaaliaikaista sähkönkulutusta. [8.]

Kuvassa 9 on esitettyä mittalaitteen keräämien tuntitietojen lähettäminen tiedonsiirtoverkolla luentajärjestelmään ja sieltä mittaustietojen hallintajärjestelmään. Mittaustiedon hallintajärjestelmässä käsitellään sekä analysoidaan tapahtumatietoja, josta energian mittaustiedot siirretään verkonhaltijan järjestelmään sekä energia tiedot lähetetään sähkön myyjälle loppulaskutusta varten. Carunalla on oma Caruna+ -palvelu, josta asiakas voi seurata omaa lähes reaaliaikaista sähkönkulutustaan.



Kuva 9 Tuntiluennan mittaus- ja tiedonsiirtoketju (Energiateollisuus ry) [8.]

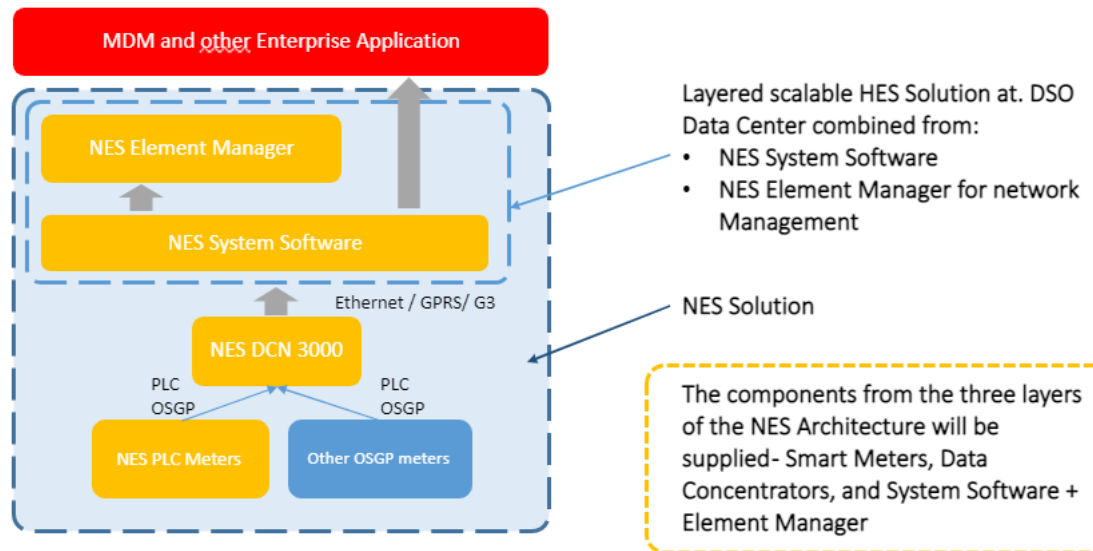
Mittausinfrastruktuuri AMI

AMI tulee englanninkielisistä sanoista (Advanced Metering Infrastructure). Kehittyneellä mittausinfrastruktuurilla tarkoitetaan mittaus- ja keruujärjestelmää, joka koostuu kolmesta komponentista: älykkäistä mittalaitteista, viestintäverkoista ja tiedonhallintajärjestelmästä. AMI-järjestelmän tehtävänä on välittää mittaustiedot hallintajärjestelmään. [9.]

AMI-järjestelmä koostuu seuraavista komponenteista:

1. Älymittari, jota voidaan käyttää esim. tallentamaan sähkönkulutustietoja.
2. MDM eli mittaustiedonhallintajärjestelmä, jonne verkkoyhtiö tallentaa mittaustietoja ja jossa mittaustietoja voidaan tarkastella, korjata ja välittää eteenpäin esimerkiksi sähkönmyyjälle.
3. Viestintäverkko on tärkeä osa mittausinfrastruktuuria, se tarjoaa kaksisuuntaisen yhteyden mittarin ja luentajärjestelmän välille (yleensä langattomana yhteytenä tai PLC-tietoliikenne). [9.]

AMI-tietoliikennekaavio on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. NES-ratkaisujen yleiskatsaus. [10.]

5 Älymittarit

NES-älymittarit ovat ratkaisevia laitteita NES-järjestelmässä. Älykkäät sähkömittarit muuttavat perusteellisesti sähköverkkojen toimintaa. Älykkäät mittarit toimivat myös virran laadun antureina jakeluverkossa, joilla voidaan raportoida sähkönlaadusta. Älymittareilla voidaan mitata sekä tallentaa todellista virrankulutusta sekä virrankulutusta voidaan tarkastella päivän aikana haluamallaan aikavälillä. Älykkäillä NES-älymittareilla on seuraavanlaisia ominaisuuksia, kuten etäpäivitykset, etäyhteydet ja uudelleen ohjelmointi, sabotaasin tunnistaminen, katkosten havaitseminen ja suora releohjaus ovat mahdollista. [11.]

5.1 Älykkään mittarin hyödyt ja haasteet

Älykkään mittarin käyttöönotto tarjoaa monia etuja kuluttajille sekä sähköyhtiöille.

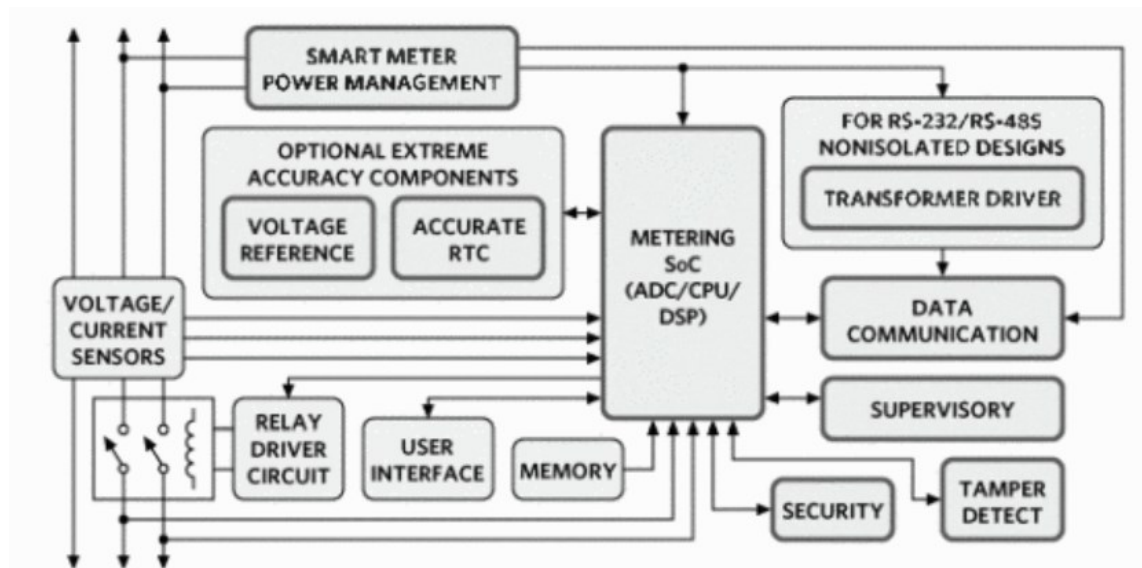
Kuluttajat saavat omasta energiakäytöstään tietoa, tämä lisää kuluttajalle sekä teollisuudelle energiatehokkuutta. Sähköyhtiölle älymittareista on monia etuja, kuten älymittareita voidaan ohjelmoida etänä, automaattinen sekä etämittarin lukeminen on mahdollista, jolloin käyttökustannukset vähenevät. [11.]

Älykkästä mittarista siirtyminen tulevaisuuden älymittareihin voi tuoda haasteita kuluttajille sekä sähköyhtiöille.

Mahdollisia haasteita sähköyhtiöille, kuten monimutkaiset ja aikaa vievät projektit, mittareiden ja infrastruktuurin kustannukset, uusien mittareiden mittaustietojen turvallisuuden hallinta, toisen sukupolven älymittareiden käyttöönoton optimointi ja vanhojen mittareiden hävittäminen. Kuluttajille mahdollisia haasteita toiseen sukupolven mittareihin siirtyessä, kuten uusien mittareiden keräämien tuntimittaustietojen oikeellisuuden varmistaminen ja lisämaksut uusista mittareista. [11.]

5.2 Älykkään mittarin toimintaperiaate

Älykkäät mittarit sisältävät laitteiston, ohjelmiston ja kalibrointijärjestelmien yhdistelmän. Älykkäiden mittarien ydinosaia ovat metrologia, turvallisuus ja viestintä. Kuvassa 11 on esitettyä älykkään mittarin toimintaperiaate. Älykäs mittarijärjestelmä sisältää reaaliaikaisen kellon (RTC), tiedonsiirtomodulin, suojausmoduulin, valvontamoduulin, virranhallintajärjestelmän, sabotaasintunnistuksen ja muuntajaohjaimen. [11.]



Kuva 11. Älymittarin kaavio. [11.]

5.3 NES-älymittarit

Networked Energy Service (NES) tarjoaa seuraavanlaisia älymittareita: 3-vaiheinen älymittari (kuva 12), 1-vaiheinen älymittari (kuva 13), P2P-älymittari (kuva 14), ANSI-älymittarin (kuva 15) ja CT-älymittari (kuva 16).

3-vaihemittari

- Nimellisjännite: 3 x 240/400 V
- Nimellisvirta: 5 A / 100 A
- Tarkkuusluokka B
- Taajuus: 50 Hz +/- 5 %
- Mitat
 - X = 168,97 mm
 - Y = 237,98 mm
 - Z = 85,5 mm



Kuva 12. 3-vaihemittari. [13.]

1-vaihemittari

- Nimellisjännite: 230 V
- Nimellisvirta: 5 A / 100 A
- Tarkkuusluokka B
- Taajuus: 50 Hz +/- 5 %
- Mitat
 - X = 130,00 mm
 - Y = 210,00 mm
 - Z = 66,00 mm



Kuva 13. 1-vaihemittari. [13.]

P2P-älymittari

- Nimellisjännite: 3 x 240/400 V
- Nimellisvirta: 5 A / 100 A
- Tarkkuusluokka B
- Taajuus: 50 Hz +/- 5 %
- Mitat
 - X = 168,97 mm
 - Y = 237,98 mm
 - Z = 85,5 mm



Kuva 14. P2P-mittari. [13.]

ANSI-älymittari

- Nimellisjännite: 230 V
- Tarkkuusluokka B
- Taajuus: 60 Hz +/- 5 %
- Mitat
 - X = 130,00 mm
 - Y = 176,53 mm
 - Z = 155,53 mm



Kuva 15. ANSI-mittari. [13.]

CT-älymittari

- Nimellisjännite: 230 V
- Nimellisvirta: 5 A / 10 A
- Tarkkuusluokka B
- Taajuus: 50 Hz +/- 5 %
- Mitat
 - X = 168,00 mm
 - Y = 238,00 mm
 - Z = 85,00 mm

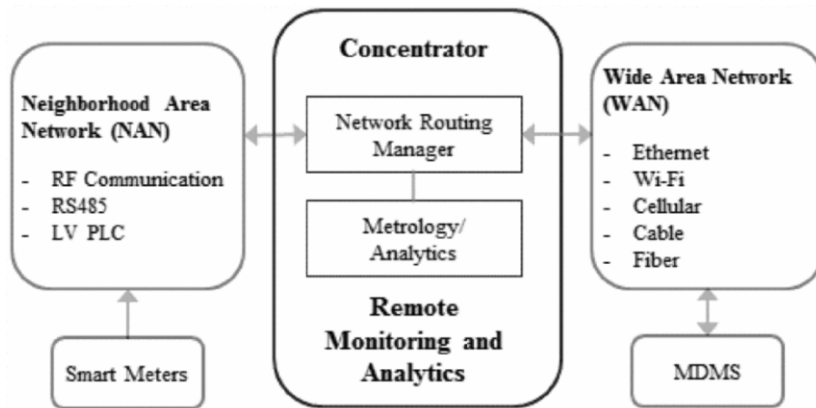


Kuva 16. CT-mittari. [13.]

NES:n älymittarien toimintavarmuus päivittäisestä viestinnästä on 99,7–100 %. Mittarien määritetty käyttölämpötila on $-40\text{ °C} - +70\text{ °C}$, mutta näytön käyttölämpötila on rajoittunut $-25\text{ °C} - +60\text{ °C}$ alueeseen. Älymittarit kuuluvat tarkkuusluokkaan B ja on sertifioitu IEC 50470-3 mukaan. Mittarien elinkaari on todettu olevan vähintään 20–vuotta, kun ympäristön lämpötilaa pysyy $+35\text{ °C} - -40\text{ °C}$ välillä. [12]. Mittarit ovat suojausluokaltaan IP54, jolloin laitteet ovat pölyltä ja vesiroiskeilta suojattu, silloin laitteita voidaan hyvin käyttää ulkona ja pölyisissä tiloissa. [13.]

6 Keskitin

Keskitin on tärkeä AMI-solmu, joka on kytketty moniin älymittareihin ja keskuspalvelimeen, jolloin se mahdollistaa tiedonsiirron näiden välillä. Kuvassa 17 on esitettyä keskittimen tiedonsiirto älymittarilta keskuspalvelimeen.



Kuva 17. AMI:n tiedonsiirto. [11.]

Keskittimet varmistavat tiedonsiirron mittareiden kanssa sekä pystyy eristämään ja tunnistamaan toiminnassa olevat häiriöt. Kommunikointi tapahtuu palvelukeskuksessa sijaitsevan järjestelmäohjelmiston kanssa IP-pohjaisen apuohjelman kautta. [14.]

Keskittimen etukansi on läpinäkyvä, jotta LED-valojen välähdykset näkyisivät sen läpi, mikä helpottaa keskittimen asennusta ja ledien valojen tulkitsemista.



Kuva 18. DCN 3000 -keskitin. [15.]

DCN 3000 -keskittimeen voidaan liittää 1024 NES-sähkömittaria ja 4096 M-Bus-laitetta samaan aikaan. [16.]

Kuvassa 18 nähdään, että keskittimen oikeassa yläreunassa on portti optista lukijaa varten. Keskittimen yläreunassa on resetointinappi, jossa sininen LED-valo vilkkuu tai palaa seuraavanlaisista keskittimen toiminnasta tai häiriötilasta riippuen:

- Sininen LED-valo palaa jatkuvasti: DCN 3000 on päällä ja toimii normaalisti.
- Sininen LED-valo vilkkuu 500 ms ON/500 ms OFF: Järjestelmää alustetaan. Kun keskitin on asennettu ja se ei saa yhteyttä järjestelmään tai verkkoon, silloin LED-valo jatkaa vilkkumista samaan tahtiin. Jos keskitin on saanut yhteyden järjestelmään ja yhteys on tämän jälkeen menetetty LED-valo alkaa palamaan jatkuvasti.
- Sininen LED-valo vilkkuu 250 ms ON/250 ms OFF: Silloin keskittimen kansi ei ole paikallaan.
- Sininen LED-valo vilkkuu 50 ms ON/50 ms OFF: Virtalähde on ylikuumentunut. Tällöin täytyy alentaa ympäristön lämpötilaa tai pienentämällä tehoa joka otetaan USB-portista.
- Sininen LED-valo ei pala: Keskitin voi olla viallinen, ei saa virtaa tai LED-valo on rikki [15.]

DCN 3000:n tekniset tiedot

- Tarkkuusluokka B
- Kotelon mitat
 - X = 260,9 mm
 - Y = 169,4 mm
 - Z = 66,5 mm [16.]

6.1 Automatisoitu topologian hallinta (ATM)

ATM tulee englanninkielisistä sanoista (Automated Topology Management). Automatisoidulla topologian hallinnalla tarkoitetaan NES-järjestelmän kykyä tarjota tietoja ja toimintoja, jotka auttavat laitteiden löytämisessä ja laitteiden yhdistämistoiminnoissa toisiinsa. [16.]

Keskitin on suunniteltu asennettavaksi NES-IEC-mittarin kanssa mutta se voidaan asentaa myös erikseen muuntajan viereen tai johonkin muuhun sopivaan paikkaan pienjänniteverkossa. Keskitin pystyy määrittelemään topologian muuntajansa avulla ja se luo siitä kartan, jota päivitetään verkon topologian muuttuessa. [16.]

Sijaintia määriteltäessä on otettava huomioon seuraavat asiat:

- Keskitin on liitettävä kaikkiin vaiheisiin, jotta voidaan kommunikoida eri vaiheissa olevien mittareiden kanssa.
- Muuntajan vaihejohtimiin tulisi asentaa ainoastaan yksi keskitin, ettei tulisi ylikuumumista. [16.]

6.2 Vaihtoehtoiset moduulit keskittimeen

Keskittimeen on mahdollista asentaa erilaisia moduuleja, jotka asennetaan modeemitiilan sisään ja joita käytetään yhteyden muodostamiseen oheislaitteisiin kuten modeemeihin, Ethernet-verkkoihin tai ulkoisiin virtalähteisiin. [16.]

Seuraavia moduuleja on käytettävissä:

Sisäinen sarjamoduuli tarjoaa yhteyden asiakkaan valitsemaan langattomaan EIA-232-modeemiin [16].

Ulkoinen sarjamoduuli tarjoaa yhteyden asiakkaan valitsemaan langattomaan EIA-232-modeemiin, joka on asennettu DCN 3000:n ulkopuolelle. Ulkoinen sarjamoduuli on hyvä vaihtoehto sisäiseen sarjamoduuliin verrattuna, jos modeemi ei mahdu DCN 3000 -mo-

deemitilaan tai jos modeemi tarvitsee erillisen virtalähteen. Ulkoista sarjamoduulia voidaan käyttää myös yhteyden muodostamiseen ulkoisiin ohjelmiin, joilla voidaan valvoa esim. muuntajan lämpötilaa sekä jännitettä. [16.]

Ulkoinen Ethernet-moduuli tarjoaa ulkoisen yhteyden Ethernet-verkkoon [16].

Ulkoinen USB-moduuli tarjoaa USB-keskittimen liitännän USB-laitteisiin, jotka on asennettu DCN 3000:n ulkopuolelle. USB-moduulia voidaan käyttää esimerkiksi muuntajan lämpötilan valvontaan, jännitteen valvontaan ja rikoksien valvontaa. [16.]

6.3 CPM 6040 -ohjauspistemoduuli

Ohjauspistemoduuli on suunniteltu sekä älymittareille, että muun tyyppisille älyverkkolaitteille. Ohjauspistemoduulilla voidaan muuntaa useita verkkoon liitettyjä perussähkömittareita älykkäiksi kommunikoiviksi mittareiksi, jotka ovat yhteen sopivia NES-järjestelmän kanssa avoimen älyverkkoprotokollan (OSGP) kautta. Tämän laitteen avulla käyttäjät voivat nopeasti integroida nykyiset tuotteet (sähkömittarit ja älyverkkolaitteet) saumattomasti NES-järjestelmään. [12.] Kuvassa 19 on esitettyä NES-ohjauspistemoduuli.

CPM 6040:n ominaisuudet

Ohjauspistemoduuli mahdollistaa sähkömittareiden ja älyverkkolaitteiden integroinnin NES:in kolmitasoiseen älykkääseen mittaus- ja verkkojärjestelmään. Ohjauspistemoduulilla saadaan laajennettua älyverkkoa erilaitteisiin, kuten aurinkosuuntaajiin ja sähköautojen latauspistokkeisiin.

- Useiden MEP-liitäntöjen avulla moduuli voidaan mukauttaa useisiin laitteisiin (esim. langattomaan M-Bus-korttiin tai laitteeseen).
- Verkkopalvelujen avulla käyttäjä voivat lukea ja kirjoittaa korkean ja matalan prioriteetin hälytyksiä ja tapahtumia.
- Automaattinen NES-etsintä ja topologiakartoitus osoittavat, mikä hyötymuuntaja palvelee erittäin dynaamisia kuormia, kuten sähköajoneuvolaturia.
- CMP 6040 tukee laiteohjelmiston etäpäivityksiä ja uudelleenkonfigurointia. [12.]

CPM 6040 -Tekniset tiedot.

- 2 kappaletta MEP-sarjaliittimiä
- Optinen sarjaliitäntä
- MEP-laite rekisteröity
- PL-viestintäsignaali vastaanotettu [12.]



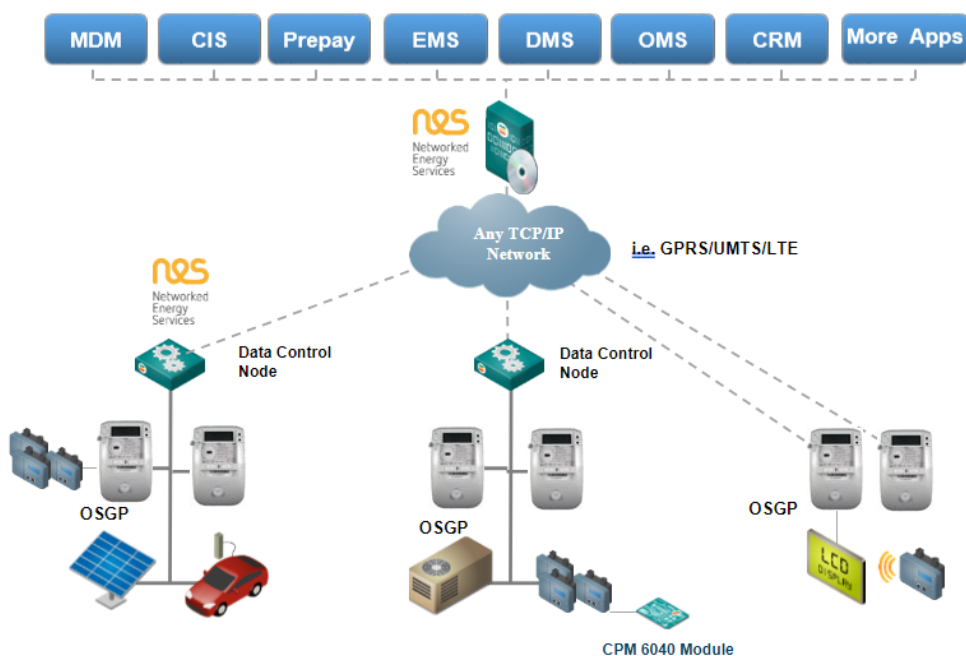
Kuva 19. NES-ohjausmoduuli. [12.]

7 NES-järjestelmäohjelmisto

NES-järjestelmäohjelmisto muodostaa älykkään verkkojärjestelmän alustan. Se tukee kaikkea, mitä apuohjelma tarvitsee, ottaakseen käyttöön, määrittääkseen, hallitakseen diagnosoidakseen ja hakeakseen tietoja mistä tahansa OSGP-yhteensopivasta laitteesta, joka toimii NES-järjestelmässä. OSGP on tietoliikenneprotokolla, jota käytetään NES-älymittareiden ja älyverkkolaitteiden kanssa. OSGP:n käyttämä standardi on ETSI TS 103908. Tämä on älykkääseen mittaukseen ja älyverkkoihin perustuva avoin standardi. OSGP tarjoaa turvalliset ja skaalattavat verkonhallintapalvelut kaikille pienjänniteverkkoon liitetyille laitteille. OSGP on suunniteltu erityisesti älyverkoille ja kapeakaistaiselle viestinnälle, mikä optimoi käytettävissä olevan kaistanleveyden saatavuuden ja tarjoaa parhaan luettavuuden kustannustehokkaalla tavalla. [14.]

NES:n 3-tasoinen arkkitehtuuri (kuva 20) koostuu NES-älymittareista ja antureista, Linux-pohjaisista ohjaussolmuista ja ekosysteemistä kolmansien osapuolten tuotteista, jotka keräävät dataa kentältä. [14.]

NES' OSGP Based AMI and Grid Modernization Platform



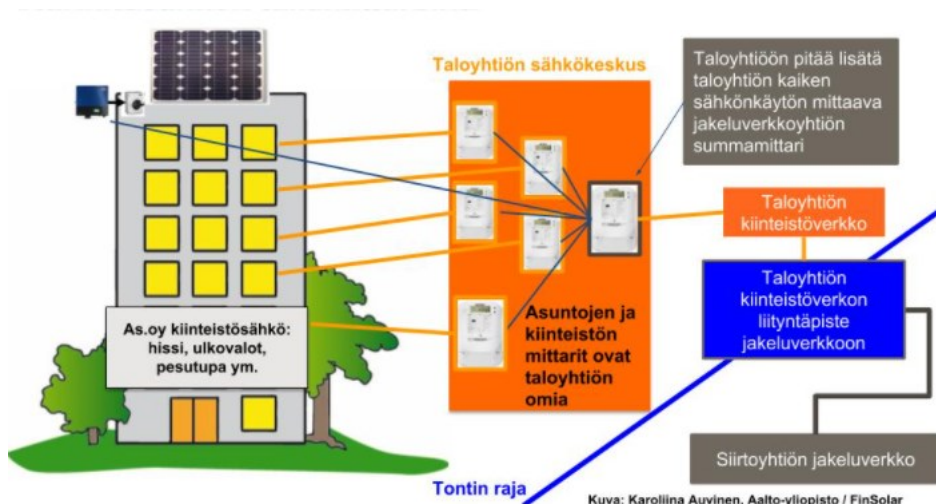
Kuva 20. NES:n kolmitasoinen arkkitehtuuri. [10.]

8 Aurinkosähkön takamittarointi

Aurinkosähkön takamittaroinnilla tarkoitetaan sitä, että taloyhtiö ja sen osakkaat perustavat kiinteistön sisäisen energiayhteisön [18]. Kuvassa 21 on havainnollistettu aurinkosähkön takamittarointimalli.

Aurinkopaneelit kytketään verkkoyhtiön omistamaan summamittariin taloyhtiön kulutuksen puolelle, jolloin taloyhtiön omaa tuotantoa voidaan hyödyntää ensisijaisesti, jolloin se vähentää ostosähkön määrää. Takamittaroinnissa koko taloyhtiö on tehnyt yhden sähkönsopimuksen valitsemaltaan sähköyhtiöltä. Takamittaroinnissa verkkoyhtiön omat sähkömittarit lukuun ottamatta summamittaria poistetaan kiinteistöstä, jolloin taloyhtiön on hankittava uudet sähkömittarit jokaista huoneistoa kohti ja hoitaa näiden asennuttamisen. Uusien mittarien kustannukset asennuksineen vaihtelevat noin 100–400 euroa paikkeilla per asunto (riippuen mittalaitteen valmistajasta sekä urakoitsijan kanssa olevasta asennussopimuksesta).

Ennen kuin taloyhtiö voi perustaa oman energiayhteisön, pitää aurinkovoimalahankinta viedä yhtiökokoukseen, sillä takamittarointiin ja yhteiseen sähkönsopimukseen siirtyminen taloyhtiössä edellyttää yhtiökokouksessa yksimielistä päätöstä, mikäli aurinkovoimalahankinnan kustannukset nousevat suuriksi. Yhtiökokouksessa päätetään myös aurinkopaneelien yli tuotannon jakosuhteista osakkaiden kesken sekä siitä, myydäänkö mahdollinen ylituotanto taloyhtiön toimesta. [17.]



Kuva 21. Aurinkosähkön takamittarointimalli. [18.]

Aurinkosähkön jakamisperiaatteet menevät osakkaiden kesken yhtiövastikkeen mukaan. Mikäli jako-osuudet noudattaisivat toisenlaista periaatetta, tarvittaisiin siihen yhtiöjärjestysmuutos ja määräenemmistö päätös. [17.]

Takamittarointimallissa taloudellinen kannattavuus perustuu siihen, että aurinkopaneelit mitoitetaan tarkasti ja kaikki tuotettu sähkö saadaan kulutettua, jolloin ei ylituotantoa synnyisi. [17.]

Takamittaroinnilla saatuja hyötyjä ovat esimerkiksi:

- Aurinkopaneeleilla tuotetusta sähköstä ei tarvitse maksaa sähkönsiirtomaksua.
- Isompi kuluttajaryhmä voi saada yhteisen sähkönmyyntisopimuksen edullisemmin kuin yksittäiset kuluttajat.
- Rakenteilla olevissa uudiskohteissa ei synny ylimääräisiä kustannuksia mittarien vaihdossa.
- Osakkaat säästävät siirto- ja perusmaksuissa, koska yhden sopimuksen perusmaksut ovat suhteessa pienempiä kuin kaikkien osakkaiden erillisten sopimusten perusmaksut yhteensä [17.]

Takamittaroinnin aiheuttamia haasteita ovat esimerkiksi:

- Taloyhtiössä esim. isännöitsijä hoitaa kiinteistön sisäisen laskutuksen sekä sähkövastikkeen keräämisen.
- Kiinteistössä joudutaan poistamaan verkkoyhtiön mittalaitteet ja vaihtamaan taloyhtiön omat mittalaitteet tilalle ja kustannukset ovat n. 100–400 euroa (riippuen valmistajasta) huoneistoa kohden (sis. asennuksen).
- Jos yksittäinen osakas haluaa irrottautua takamittaroinnista ja solmia uuden sähkösopimuksen joutuu osakas maksamaan siitä aiheutuvat kustannukset itse.
- Yhtiökokouksessa tarvitaan yksimielinen päätös.
- Yhtiöjärjestystä tulee muuttaa. [17.]

9 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia NES-järjestelmän hyödyntämistä pienjänniteverkossa. NES:in tarjoamiin älymittareihin saadaan lisättyä ohjauspiestemoduuli, joka mahdollistaa muiden älylaitteiden liitettävyyden NES-järjestelmään. Tätä varten NES on alkanut tehdä mm. yhteistyötä Develcon kanssa, jonka tuotteet ovat yhteen sopivia NES:in kanssa. Develco on kehittänyt älynäytön, jonka avulla voidaan seurata kiinteistön sähkökulutusta ja sähköntuotantoa. Älynäytöllä pystytään myös ohjaamaan kiinteistön älylaitteita, kuten lämminvesivaraajaa ja muita suuri tehoisia laitteita. Suomessa nämä älylaitteet ovat mahdollista itse hankkia, mutta esimerkiksi Britanniassa ne kuuluvat mittarointipakettiin [19].

Opinnäytetyössä onnistuttiin löytämään uusia toimintamahdollisuuksia keskittimestä, joita ei Carunalla vielä hyödynnetä. Nämä toimintamahdollisuudet on mahdollista ottaa käyttöä vaihtoehtoisilla moduuleilla, joilla voidaan seurata esim. kulunvalvontaan, muuntamon lämpötilaa ja hälytyksiä. Mielestäni näitä ominaisuuksia ei kuitenkaan ole tarvetta ottaa muuntamoille käyttöön, koska muuntamoilla on jo olemassa kulunvalvonta- ja rikosilmoitinjärjestelmät. Tätä opinnäytetyötä on mahdollista hyödyntää opastusta antavana dokumenttina älylaitteiden hyödyntämisessä pienjänniteverkossa ja käyttää mahdollisesti vertailuna muiden vastaavien laitetoimittajien älylaitteisiin.

Lähteet

- 1 Carunan Vuosi 2019. Verkkodokumentti. Caruna Oy. <https://images.caruna.fi/caruna_annual_report_2019_in_finnish.pdf#page=42> Luettu 28.10.2020.
- 2 Tuotannon verkkopalvelu- ja liittymismaksuhinnasto jakeluverkossa 2020. Verkkodokumentti. Caruna Oy. <<https://carunas.sharepoint.com/sites/tyoohjeet/Hinnastot/Tuotannon%20hinnastot/Tuotannon%20verkkopalvelu-%20ja%20liittymismaksuhinnasto%20jakeluverkossa%201.5.2016.pdf#search=jakeluverkkoalue>> Luettu 28.10.2020.
- 3 Älykkäät sähköverkot Suomessa ja Euroopassa 2010. Verkkodokumentti. Energiateollisuus. <https://energia.fi/files/665/Alykkaat_sahkoverkot_Suomessa_ja_Euroopassa.pdf> Luettu 15.11.2020.
- 4 Smart Grid-The New and Improved Power: a survey 2011. Verkkodokumentti. IEEE. <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6099519>> Luettu 4.11.2020.
- 5 Näin älykäs sähköjärjestelmä vaikuttaa sinunkin elämääsi 2018. Verkkodokumentti. Fingrid. <<https://www.fingridlehti.fi/nain-alykas-sahkojarjestelma-vaikuttaa-sinunkin-elamaasi>> Luettu 16.12.2020.
- 6 Juujärvi, Ossi 2020. Liiketoiminta-asiantuntija, Caruna Oy, Espoo. Keskustelu 11.11.2020.
- 7 Kirjola, Antti. 2021. Palvelupäällikkö, Caruna Oy, Espoo. Keskustelu 5.1.2021.
- 8 Tuntimittauksen periaatteita 2016. Verkkodokumentti. Energiateollisuus. <https://energia.fi/files/1153/Tuntimittaussuositus_paiv_20161012.pdf> Luettu 15.12.2020.
- 9 Analysis of communication schemes for Advanced Metering Infrastructure (AMI) 2014. Verkkodokumentti. IEEE < <https://ieeexplore.ieee.org/document/6939562>> Luettu 1.12.2020.
- 10 Colton, Larry 2021. DLMS Board Member and Director at NES. Networked Energy Services. Keskustelu 17.1.2021.
- 11 Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid 2015. Verkkodokumentti. IEEE. <ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7379940> Luettu 6.11.2020

- 12 Älylaitteet 2020. Verkkodokumentti. Networked Energy Services. <<https://networkedenergy.com/en/smart-devices>> Luettu 1.11.2020.
- 13 Sähkölaitteiden koteloituokat A1 (IP-KOODI) 2011. Verkkodokumentti. SFS ry. <<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/171518.htm.stx>> Luettu 12.11.2020.
- 14 Dynamic Analysis, Monitoring and Control of Electric Network Topologies through a Web Portal 2019. Verkkodokumentti. IEEE. <ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8725018> Luettu 16.11.2020.
- 15 Keskittimen ylläpitotyöt kentällä 2019. Yrityksen sisäinen Verkkodokumentti. Luettu 17.12.2020.
- 16 DCN 3000 Distributed Control Node User's Guide 2017. Verkkodokumentti. Networked Energy Services. <https://nes.networkedenergy.com/secured/docs/techdocs/controlnodes_docs.aspx>. Luettu 3.1.2021.
- 17 Tutustu aurinkoyhteisöön ja hyvityslaskentaan 2020. Verkkodokumentti. Virtane. <[Aurinkopaneelit taloyhtiölle | Tutustu energiayhteisöön ja hyvityslaskentaan | Caruna \(virtane.fi\)](http://Aurinkopaneelit%20taloyhtiolle%20|%20Tutustu%20energiayhteis%C3%B6n%20ja%20hyvityslaskentaan%20|%20Caruna%20(virtane.fi))> Luettu 11.12.2020.
- 18 Aurinkosähkön takamittarointimalli 2020. Verkkodokumentti. Finsolar. <<https://finsolar.net/aurinkosahkon-tuotantomallit-taloyhtiossa/aurinkosahkon-takamittarointimalli/>> Luettu 10.12.2020.
- 19 Smart meters explained 2020. Verkkodokumentti. Smart Energy GB. <[About smart meters: smart meters explained | Smart Energy GB](http://About%20smart%20meters:%20smart%20meters%20explained%20|%20Smart%20Energy%20GB)> Luettu 10.1.2021.