



Teemu Moisio

# Aurinkosähköjärjestelmän tuotannonohjauksen optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

24.3.2021

## Tiivistelmä

Tekijä: Teemu Moisio  
Otsikko: Aurinkosähköjärjestelmän tuotannonohjauksen optimointi  
Sivumäärä: 29 sivua  
Aika: 24.3.2021

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Energia- ja ympäristötekniikka  
Ammatillinen pääaine: Energiatekniikka  
Ohjaajat: Yliopettaja Kari Salmi  
Yritysmyyjä Jouni Sillanpää

---

Tämän työn tarkoituksena oli kartoittaa aurinkosähköjärjestelmien tuotannonohjauksen optimointimahdollisuuksia Rasol Oy:lle. Yrityksellä on jo käytössä osittainen optimointiratkaisu osalle yrityksen tarjoamista aurinkosähköjärjestelmäpaketeista.

Työn tavoitteena oli selvittää ja ehdottaa Rasol Oy:lle kattava ratkaisu, jota tarjota kaikille asiakkaille tai vaihtoehtoisesti pari ratkaisua, joita tarjota eri asiakkaiden tarpeisiin. Optimointia lähestyttiin näkökulmasta, jonka mukaan paras hyöty saadaan käyttämällä mahdollisimman suuri osuus tuotetusta aurinkosähköstä asiakkaan kohteessa sen sijaan, että se myytäisiin alhaisemmalla hinnalla verkkoon. Työssä tutkittiin eri vaihtoehtoja tuotannonohjausjärjestelmistä kellokytkimiin ja niiden soveltuvuutta Rasol Oy:n tyypillisiin asiakaskohteisiin.

Työ jäi odotettua suppeammaksi laitevalmistajien vajavaisesta tiedonannosta ja viestintäpidosta johtuen, mutta löydettyjen ratkaisujen joukosta kyettiin valitsemaan Rasol Oy:n tarpeisiin soveltuvia laitemalleja. Älykellokytkimet osoittautuivat optimaalisimmiksi vaihtoehtoiksi tuotannonohjausjärjestelmistä saatavien hyötyjen ollessa liian vähäisiä hintaan verrattuna.

Avainsanat: aurinkoenergia, aurinkosähkö, tuotannonohjauksen optimointi, tuotannonohjausjärjestelmä, kellokytkin, lämminvesivaraaja

## Abstract

Author: Teemu Moisio  
Title: Optimization of Production Control of Photovoltaic Systems  
Number of Pages: 29 pages  
Date: 24 March 2021

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Energy and Environmental Engineering  
Professional Major: Energy Engineering  
Instructors: Kari Salmi, Principal Lecturer  
Jouni Sillanpää, B2B salesperson

---

The purpose of this thesis was to survey different solutions for production control optimization of solar electricity or photovoltaic systems provided by Rasol Oy. The company already offers a partial solution to optimization for some of its provided photovoltaic system packages.

The aim of the thesis was to find and suggest to Rasol Oy a comprehensive solution for all its clients, or alternatively a couple of solutions for different client needs. Optimization is considered from the perspective that the best gain is achieved when as high a percentage of the photovoltaic production as possible is used at the client's destination instead of selling it back to the grid for a lower price. The thesis investigates different solutions from energy management systems to timers and how well they integrate into the typical solutions Rasol Oy offers to its clients.

The thesis project became less comprehensive than expected due to device manufacturers' lackluster product specifications and paltry communication, but device models fitting Rasol Oy's needs could still be determined from the solutions found. Smart timers proved the most optimal options while the advantages offered by energy management systems failed to justify their price tags.

Keywords: solar energy, photovoltaic, optimization of production control, production control system, timer, domestic water heater

# Sisällys

1	Johdanto	1
2	Ongelman kuvaus	1
2.1	Varastointi	2
2.2	Varastointitarve	3
3	Aurinkosähköjärjestelmän kuvaus	4
3.1	Kennot ja paneelit	4
3.2	Invertterit ja kuormanvalvonta	10
4	Ratkaisut	11
4.1	Tuotannonohjausjärjestelmät	11
4.1.1	Fronius Symo	11
4.1.2	Resol DeltaTherm	12
4.1.3	SMARTFOX	15
4.1.4	Myenergi eddi	17
4.1.5	Muut tuotannonohjausjärjestelmät	18
4.2	Kellokytkimet	19
4.2.1	Theben SELEKTA 170 top3	21
4.2.2	ENTES MCB-50	22
4.2.3	ORBIS	23
5	Tulosten tarkastelu	24
6	Yhteenveto	27
	Lähteet	28

## 1 Johdanto

Tässä työssä selvitettiin ratkaisuja työn tilaajan tarjoamien aurinkosähköjärjestelmien tuotannon ohjauksen optimointiin. Työn raportissa käydään läpi aurinkosähköjärjestelmän suppea kuvaus ja toimintaperiaate, optimointiin löydetty ratkaisut sekä selvitetään niistä työn tilaajan antamiin parametreihin sopivin.

Työn tilaaja oli Rasol Oy, vuonna 2018 perustettu suomalainen aurinkosähköön erikoistunut energiayritys. Yritys maahantuo, toimittaa ja asentaa aurinkosähköjärjestelmiä, sähköauton latausasemia sekä ilmalämpöpumppuja ympäri Suomea. Rasolin pääkonttori on Sipoossa ja liikevaihto n. miljoona euroa (Yritys 2020).

Työstä haetulla optimoinnilla Rasol Oy halusi tehdä tarjoamistaan aurinkosähköjärjestelmistä vetävämpiä ja kilpailukykyisempiä. Rasol Oy antoi myös esimerkkejä olemassa olevista ratkaisuista ja toivoi työn tulokseksi joko kaikki asiakkaat kattavaa yleisratkaisua tai erilaisille asiakastyypeille optimaalisimpia ratkaisuja. (Sillanpää 2020.)

## 2 Ongelman kuvaus

Rasol Oy haluaa tehostaa tarjoamiaan aurinkosähköjärjestelmiä ja etsii ratkaisua tuotannonohjauksen optimoinnista. Suomen oloissa aurinkosähkön tuotanto on parhaimmillaan kesäisin päiväsaikaan, jolloin tyypillisessä kotitaloudessa ei kuitenkaan ole tarvetta suurelle teholle. Syntyvälle ylituotannolle on kaksi mahdollista sijoituspaikkaa: se joko myydään eteenpäin sähköverkkoon tai varastoidaan. Sähköverkkoon myymisestä saatava hinta on pieni, joten optimaalisesti mahdollisimman suuri osa tuotannosta käytettäisiin tai varastoitaisiin paikan päällä.

## 2.1 Varastointi

Aurinkosähkön ylituotannon varastointiin voi käyttää akkuja. Aurinkosähkötuotanto on kuitenkin luonteeltaan arvaamatonta, mikä tekee akkuratkaisusta epämieluisan Suomen oloihin. Kemialliset akut on pääosin tehty satunnaisesti ladataviksi ja purkamaan lataustaan hitaasti, kun taas aurinkosähkömallissa akun varaustaso vaihtelisi päivän aikana lähes täydestä lähes tyhjään. Monessa akussa on edellytys minimivarauksesta, jota enemmän kapasiteetin purkaminen heikentää akun toimintaa ohjaavaa kemiallista reaktiota. Toistuva ja rajua lataustason muutos lyhentää kalliiden ja kapasiteetiltaan suurten akkujen elinikää merkittävästi, mikä heikentää aurinkosähkijärjestelmän tuottavuutta ja siten pidentää takaisinmaksuaikaa. (What is the Best Battery for a Solar Panel System? 2020.)

On kuitenkin mainittava, että akkuteknologia on nykyään nopeasti kehittyvä tekniikan ala. Mahdollisesti lähitulevaisuudessa tapahtuvat läpimurrot voivat tehdä akkuratkaisista Suomenkin oloihin soveltuvan.

Niin Suomessa kuin muuallakin toteutettavien aurinkosähkijärjestelmien ylituotannon ensisijaiset sijoituspaikat ovat viilennys ja lämmitys. Viilennykselle on kesällä käyttöä, vaikka kiinteistössä ei olisikaan asukkaita tuotantopiikin aikaan. Ilmalämpöpumppuja on Suomessa myyty jo lähes miljoona ja monesta aurinkosähköratkaisun hankkineesta kiinteistöstä sellainen löytyykin (Talouselämä 2019). Rasol haluaa ohjata ylituotannon tehokkaammin perinteiseen pääsijoituspaikkaan eli käyttöveden lämmitykseen (Sillanpää 2020).

## 2.2 Varastointitarve

Suomessa on legionellabakteerin leviämisen estämiseksi määrätty ympäristöministeriön taholta kylmän talousveden lämpötilan ylärajaksi 20 °C ja lämmönsiirtimeltä tai -vaihtimelta lähtevän kuumen talousveden lämpötilan alarajaksi 55 °C ja ylärajaksi 65 °C (Lämmityksen säätökäyrä ja lämpimän käyttöveden oikea lämpötila 2018). Tavalliseen suomalaiseen kotitalouden lämminvesivaraajaan mahtuu 200 litraa tai kilogrammaa vettä (Lämminvesivaraajat 2020). Veden ominaislämpökapasiteettina käytetään arvoa 4,18 kJ/(°C\*kg) (Çengel & Boles 2015: 903).

$$Q = cm\Delta T = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{°C*kg}} * 200 \text{ kg} * 35 \text{ °C} = 29\,260 \text{ kJ} = 8,1277 \dots \text{ kWh} \quad (1)$$

Lämminvesivaraajan energiatarve on siis vähintään 29 260 kJ tai noin 8,13 kWh (kaava 1) olettaen, että varaaja on täynnä kylmää 20-asteista vettä varastoinnin alkuhetkellä. Tyypillinen lämminvesivaraaja lämmittää vettä teholla 3 kW, joten koko tankki lämpenee käytettäväksi vajaassa 2 tunnissa ja 45 minuutissa (Lämminvesivaraajat 2020).

Rasolin edustaja antoi käytettäväksi erään asiakaskohteen sähkölaskut, joissa oli eritelty sähköenergian hinta kesäkuulta 2020. Asiakkaan sopimuksessa oli kiinteä hinta sähköenergialle 4,99 snt/kWh sekä 2,90 €:n kuukausimaksu. Asiakkaan sähköyhtiö Oomi Energia osti asiakkaan aurinkosähköjärjestelmän yli-tuotannon kesäkuun ajalta hintaan 3,7418 snt/kWh. Näin voidaan laskea keskimääräinen säästö yhdelle kesäkuun päivälle, jos käyttövettä lämmitetään aurinkosähköllä yösähkön sijaan, ottaen huomioon, että lämmitykseen käytettyä sähköä ei myydä sähköverkkoon (kaava 2).

$$\text{säästö} = \text{yösähkö} - \text{aurinkosähkön myyntihinta} = 4,99 \text{ snt/kWh} * 8,13 \text{ kWh} - 3,7418 \text{ snt/kWh} * 8,13 \text{ kWh} = 10,147 \dots \text{ snt} \approx 10,1 \text{ snt} \quad (2)$$

Jos aurinkosähköä käytetään veden lämmittämiseen sen sijaan, että vettä lämmitetään ostetulla sähköllä, on pelkällä lämmityksellä saavutettu säästö merkittävä koko kesän ajalta. Tämän onnistumiseksi on käyttöveden lämmitys kuitenkin ajoitettava kesäisin päiväsaikaan, mikä ei välttämättä jokaiselle asiakkaalle sovi. Tyypillisesti lämminvesivaraaja lämmittää vettä ja siten käyttää sähköä joko sitä mukaa kun vettä käytetään tai yöllä alhaisemman sähkön hinnan vuoksi. (Sillanpää 2020.)

Rasol haluaa lähestyä optimointia tutkimalla markkinoilla olevia ratkaisuja tuotannonohjaukseen. Tavoitteena on suomalaiseseen aurinkosähkötuotantoon ja loppukäyttäjän tarpeisiin soveltuva keino ohjata aurinkosähköä sinne, missä sitä tarvitaan. (Sillanpää 2020.)

### **3 Aurinkosähköjärjestelmän kuvaus**

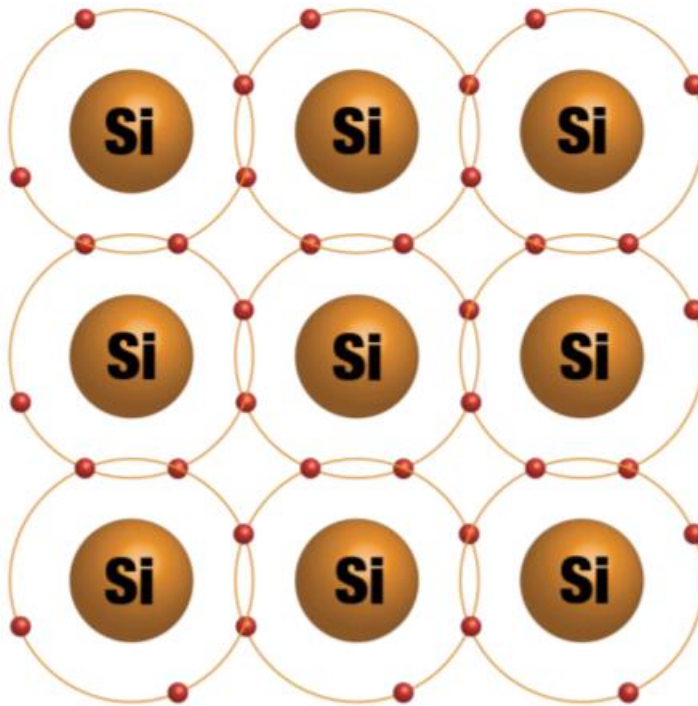
Tässä osiossa käydään lyhyesti järjestelmän toimintaperiaatteet sekä siihen kuuluvat laitteet.

#### **3.1 Kennot ja paneelit**

Aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä auringon sähkömagneettisesta säteilystä. Tähän käytetään ns. valosähköilmiötä, jossa tietyntaajuisen säteilyn fotonit luovuttaa energiaa kohtaamansa materiaalin elektronille, joka lähtee liikkeelle materiaalin sisällä. Ilmiötä havaitaan etenkin metalleissa, joissa elektroni kuitenkin menettää saadun energian lämpönä hyvin nopeasti. Tästä syystä aurinkosähköjärjestelmissä käytetään puolijohteita, joissa valosta imeytynyt energia välittyy pitemmälle, mikä mahdollistaa sen ohjaamisen haluttuun kohteeseen. (Tohka & Salmi 2018.)

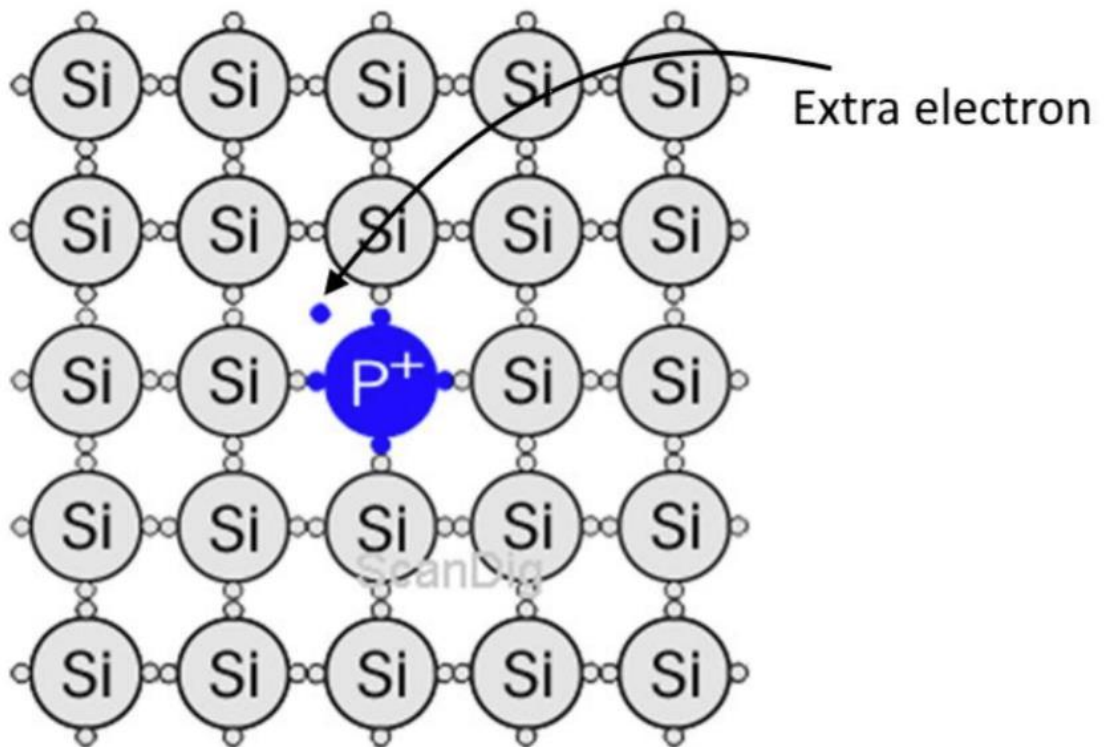


Aurinkokenno koostuu suurilta osin puolijohdemateriaalista, joka useimmin on seostettua piitä. Piillä itsellään on uloimmalla elektronikuorellaan neljä elektronia, ja ne kaikki menevät kiderakenteessa sidoksiin viereisten piiatomien kanssa (Kuva 1). Täten pii on huono luovuttamaan tai vastaanottamaan elektroneja. Tästä syystä piihin lisätään eli seostetaan alkuaineita, joiden avulla piihin muodostuu lisää varauksenkuljettajia. Suosituimmat lisätyt alkuaineet ovat fosfori ja boori. (Tohka & Salmi 2018.)



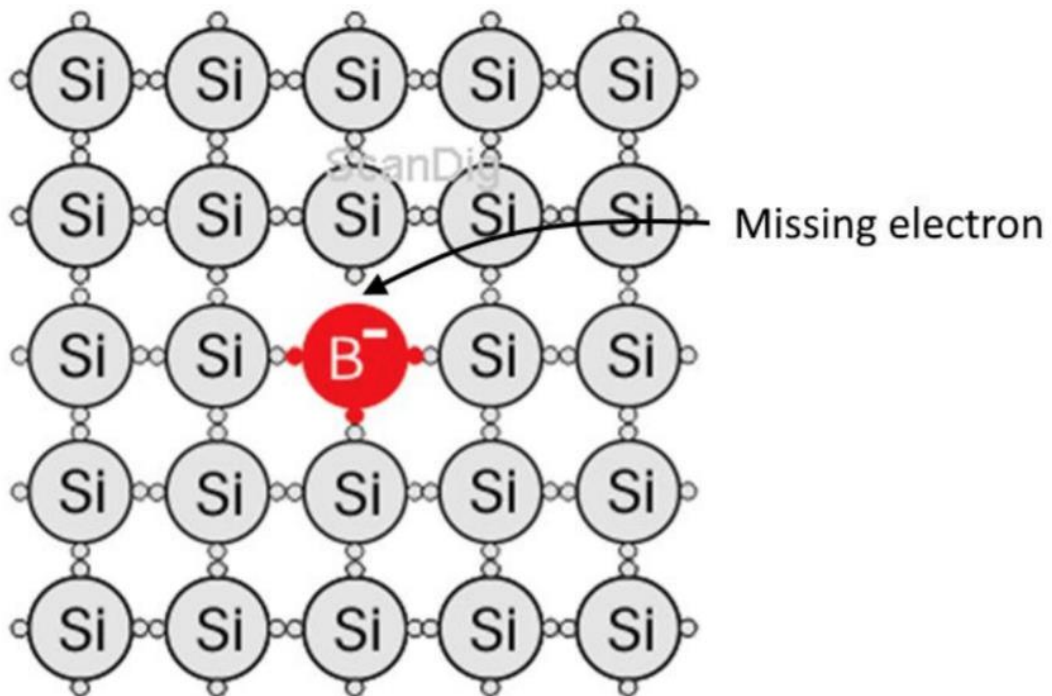
Kuva 1. Puhtaan piin kiderakenne (Tohka & Salmi 2018: 98)

Fosforin uloimmalla kuorella on viisi elektronia, joten piin kanssa sitoutuessaan sille jää yksi sitoutumaton elektroni (Kuva 2). Tämä elektroni on helposti irrotettavissa fosforiatomista, jolloin atomi saa positiivisen varauksen ja tuloksena on fosfori-ioni. Tätä pii-fosfori-sidoksen sisältävää kennoa kutsutaan negatiiviseksi tai n-tyyppin piiksi siinä vapaasti liikkuvien elektronien vuoksi. (Tohka & Salmi 2018.)



Kuva 2. Fosforilla seostetun piin atomirakenne ja ylimääräinen elektroni (Tohka & Salmi 2018: 101)

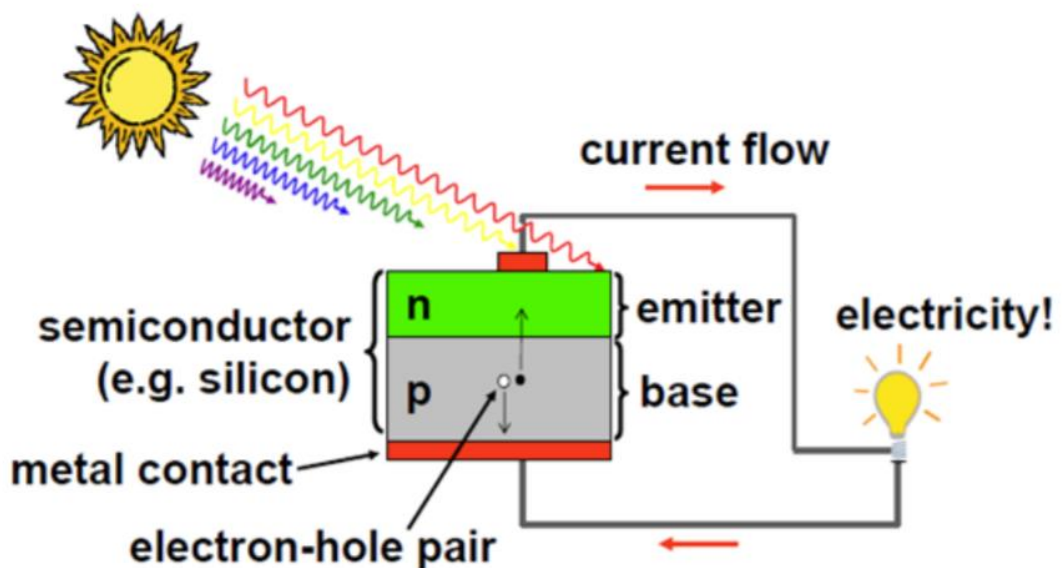
Samalla tavalla boorin ulkokuorella on kolme elektronia, jolloin sidoksessa piin kanssa muodostuu "aukkoja" puuttuville elektroneille, joten booriatomista tulee negatiivisen varauksen boori-ioni (Kuva 3). Tätä kennonä kutsutaan positiiviseksi tai p-tyypin piiksi elektronivajeen vuoksi. (Tohka & Salmi 2018.)



Kuva 3. Boorilla seostetun piin atomirakenne ja elektroniaukko (Tohka & Salmi 2018: 105)

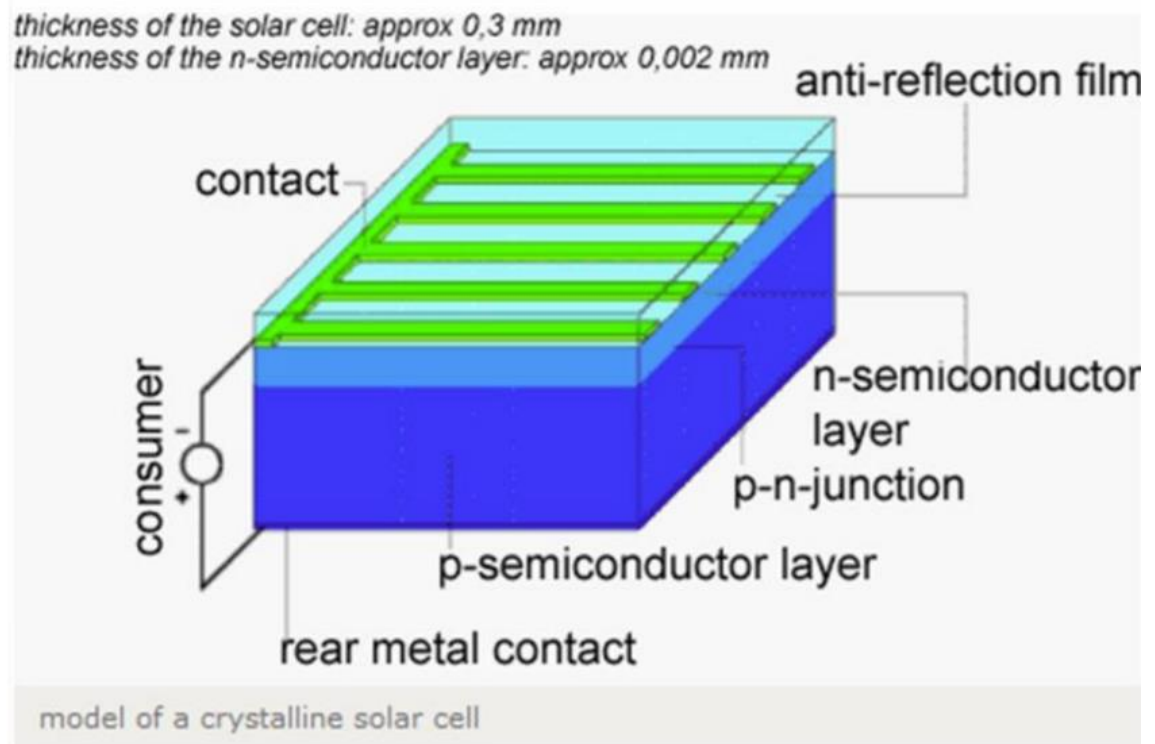
Aurinkokennon toiminnan edellytys on kaksi päällekkäin olevaa ultraohutta kerrosta, päällimmäinen n-tyyppin ja pohjimmainen p-tyyppin piitä. Materiaalissa on siis niin kutsuttu pn-rajapinta. Kun Auringosta saapuvat fotonit osuvat tähän rajapintaan, syntyy lisää varauksenkuljettajia, ns. elektroni-aukkopareja. Syntyneet elektronit siirtyvät n-tyyppin pihin ja aukot p-tyyppin pihin; p-tyyppissä olevien elektronien siirtyminen p-puolen aukkoihin aiheuttaa aukkojen katoamisen, mutta uusia aukkoja syntyy p-tyyppissä näiden elektronien lähtökohtiin. Vaikka todellisuudessa vain elektronit liikkuvat, ilmiötä kuvataan aukkojen liikkeellä. Tämä eri varauksenkuljettajien liike synnyttää sähkövirran. (Tohka & Salmi 2018.)

Tuloksena kennon sisälle muodostuu vain ylhäältä alas kulkeva elektronivuo, toisin sanoen alhaalta ylös kulkeva sähkövirta, joka voidaan ohjata haluttuun kohteeseen yhdistämällä kohde kennon ylä- ja alaosien sähköisiin kontakteihin (Kuva 4). (Tohka & Salmi 2018.)



Kuva 4. Aurinkokennon toimintaperiaate (Tohka & Salmi 2018: 117)

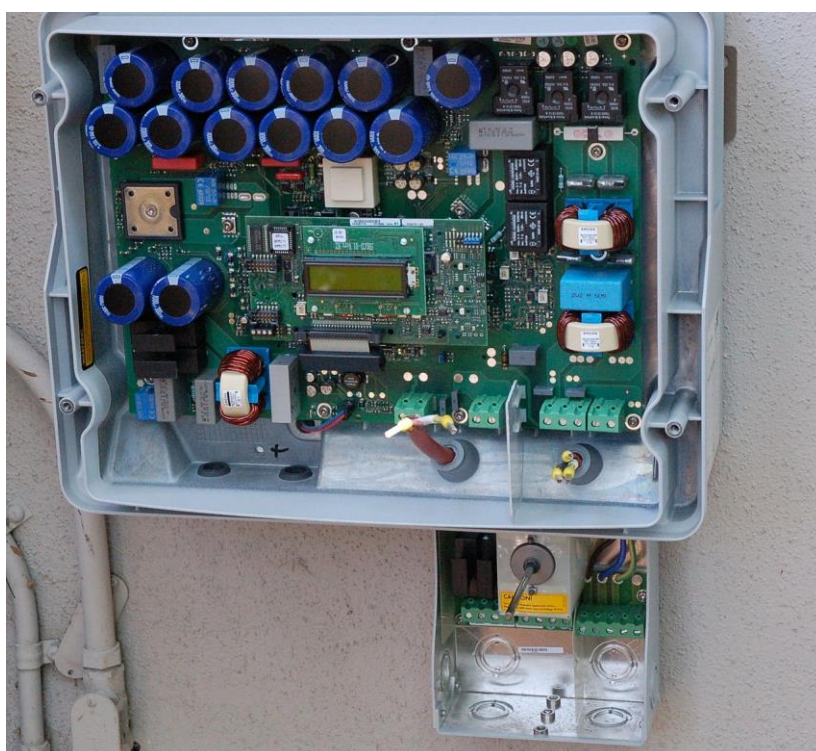
Kennon muita osia ovat päälle asetettava heijastumista estävä materiaali sekä sisälle asennettavat sähköä johtavat materiaalit (Kuva 5). Kennot ovat muodoltaan neliöitä, jonka sivu on 10–15 cm. Kennot yhdistetään yleensä rinnakkain isommiksi yksiköiksi, joita kutsutaan paneeleiksi. (Tohka & Salmi 2018.)



Kuva 5. Aurinkokennon poikkileikkaus ja muut osat (Tohka & Salmi 2018: 118)

### 3.2 Invertterit ja kuormanvalvonta

Aurinkokennot ja -paneelit tuottavat sääolosuhteista riippuen vaihtelevan taasoista tasavirtaa. Invertteri eli vaihtosuuntaaja (Kuva 6) on laite, joka vastaanottaa paneeleilta tulevaa tasavirtaa ja kantaverkosta tulevaa vaihtovirtaa ja antaa kohteen sähköverkkoon sopivaa tasaista vaihtovirtaa. Invertteri voi myös ylituotannon aikana syöttää tuotettua vaihtovirtaa kantaverkkoon. Invertteri on oleellinen laite, sillä se mahdollistaa aurinkoenergian käytön esim. kodin laitteissa ja ylituotannon myynnin takaisin verkkoon.



Kuva 6. Erään invertterin rakenne (Neches 2008)

Kuormanvalvontalaitteita käytetään toteutuksissa, joissa ylituotanto ohjataan akkuihin. Nämä laitteet valvovat akkujen varausta ja varmistavat sen pysymisen halutulla alueella. Tässä työssä tarkasteltiin ratkaisuja akuttomiin toteutuksiin.

## 4 Ratkaisut

Rasolilta tuli alkukokouksessa ehdotuksia kahteen vaihtoehtoon ongelman ratkaisuksi (Sillanpää 2020). Internetissä tehdyn alustavan tutkimuksen päätteeksi oli todettava, ettei markkinoilla näiden lisäksi ole järkeviä tapoja toteuttaa tuotannonohjausta.

### 4.1 Tuotannonohjausjärjestelmät

Ensimmäisenä Rasolin edustaja ehdotti erillistä tuotannonohjausjärjestelmää. Kyseessä on erillinen tai kohteessa sähkötauluun asennettava laite, joka valvoo aurinkopaneeleilta saapuvaa tehoa ja ohjaa sen eteenpäin sähköjärjestelmään kytkettyihin laitteisiin. Laitteita on runsaasti käytössä Keski-Euroopassa, joten muutama laitevalmistajakin löytyi. Laitteesta käytetään englanninkielisiä termejä energy manager, energy management system ja solar power diverter.

Tuotannonohjausjärjestelmät ovat varsin kalliita niistä saatavaan hyötyyn nähden, mikä tekee niistä ei-halutun lisän aurinkoenergiajärjestelmäpakettiin. Moni Rasolin asiakkaista on kuitenkin ilmaissut mielenkiintoa tuotannonohjausjärjestelmän mahdollistamaan oma-aloitteiseen optimointiin ja ohjelmointiin, joten täysin vailla viehätystä se ei ole. (Sillanpää 2020.)

#### 4.1.1 Fronius Symo

Rasolin tarjoamiin aurinkosähköjärjestelmäpaketteihin kuului työn alussa luonnostaan itävaltalaisen Froniuksen valmistama Symo-sarjan invertteri (Kuva 7). Invertteri yksin ohjaa siis tuotannon kohteen sähkökaappiin eikä haluttuihin kohteisiin, mutta Symo-sarjassa on sisäänrakennettuna Datamanager-lisäosa, jonka yhtenä ominaisuutena on ohjelmoitavuus tuotannon ohjaukseen eri laitteille. Rasolilla on kuitenkin ollut ongelmia Symo-sarjan yhdistettävyyden kanssa; Symossa on yhdistettävyyden kannalta välttämätön WLAN-antenni niin heikko ja kehnosti sijoitettu, ettei siihen saa langatonta yhteyttä seinän läpi, mikä rajoittaa vaihtoehtoja invertterin sijoittamiselle asiakaskohteissa. Rasol



suosii inverttereiden osalta maahantuonnissa kiinalaista valmistajaa Sungrow'ta, jonka tuotteissa yhdistettävyyys on paremmin toteutettu, mutta mikäli parempaa vaihtoehtoa ei löydy, on Symo optimaalisin ratkaisu, sillä siinä tuotannonohjaus ei vaadi ylimääräistä laitetta. (Fronius Symo 2020; Sillanpää 2020.)



Kuva 7. Fronius Symo 3.0-3-M-sarjan invertteri (Fronius Symo 2020)

#### 4.1.2 Resol DeltaTherm

Resol on saksalainen aurinkolämpöön erikoistunut yritys, joka valmistaa myös aurinkosähköjärjestelmiin soveltuva laitteita. Työn osalta tarkasteltiin DeltaTherm-malliston laitteita PV (Kuva 8) ja PHM (Kuva 9), sillä molemmat ovat suunniteltuja nimenomaan ylimääräisen aurinkosähkötuotannon ohjaamiseen lämminvesivaraajalle. (DeltaTherm® PV 2020; DeltaTherm® PHM 2020.)





Kuva 8. Resol DeltaTherm® PV (DeltaTherm® PV 2020)

PV on kahdesta kattavampi ja fyysisesti suurempi malli. Molempia laitteita ohjataan näytön avulla, mutta vain PV mahdollistaa laitteen luoman datan lähettämisen internet-pohjaiseen palveluun luettavaksi. Tämä ominaisuus tosin vaatii joko Datalogger-laitteen tai KM2-yhteysmoduulin, eikä datan saaminen internetiin välttämättä ole vaatimus jokaiselle asiakkaalle. Molemmat laitteet myös vaativat kuvauksen mukaan oman uppokuumentimensa lämminvesivaraajaan, PV:n kohdalta löytyy lisäksi vaatimus lämminvesivaraajan pumpun hallintaan. Pumppuun yhdistäminen voisi ehkä olla mahdollista, mutta suomalaiset lämminvesivaraajat valmistetaan umpinaisiksi, ja on vaikea kuvitella niiden puhkomisen uppokuumentimen asentamiseksi olevan sallittua. PV:n ohella kaupataan myös Resolin omaa lämpötila-anturia myös varaajaan asennettavaksi, mikä edellyttäisi niin ikään varaajan puhkomista. (DeltaTherm® PV 2020; DeltaTherm® PHM 2020.)



Kuva 9. Resol DeltaTherm® PHM (DeltaTherm® PHM 2020)

PHM on riisuttu malli PV:stä vailla datan latausmahdollisuutta ja pumpun hallintavaatimusta. Se haluaa, kuten edellä mainittu malli, säätää käyttöveden lämmitystä omalla uppokuumentimellaan (DeltaTherm® PHM 2020), mikä tekee siitä Suomen laitteisiin kehnosti soveltuvan.

Työssä haettujen tietojen perusteella Resolin laitteita ei voi suositella Suomen käytäntöihin.

### 4.1.3 SMARTFOX

Itävaltalainen SMARTFOX valmistaa hallintalaitteita ja autolatureita aurinkosähköjärjestelmiin. Työssä tarkasteltiin malleja PRO (Kuva 10) ja Light (Kuva 11). Nämä laitteet eivät ole omissa kuorissaan, vaan ne asennetaan kiinteistön sähkökaappiin, mikä voi monelle asiakkaalle olla mieluinen ja tilaa säästävä ratkaisu. (SMARTFOX Pro, The High-End Energy Management System 2020; SMARTFOX Light: Die clevere Lösung Ihre Solarenergie zu nutzen! 2020.)



Kuva 10. SMARTFOX PRO (SMARTFOX Pro, The High-End Energy Management System 2020)

PRO-mallista on enemmän tietoa saatavilla. Mainostekstin mukaan se kykenee automaattisesti tunnistamaan laitteet sähköverkossa asennuksen jälkeen, mikä kuulostaa suorastaan utopistiselta. Laitteen pinnalla on painikkeita asennuksen yhteydessä ja internetyhteyden puuttuessa käytettäväksi, muuten kaikki hallinta ja tarkkailu tapahtuu yhdistämällä laite joko langallisesti tai langattomasti kiinteistön reitittimeen ja käyttämällä älypuhelimille saatavaa sovellusta tai my.smartfox.at-palvelua. Laite erottuu joukosta erillisellä vaatimuksella lisensistä invertterille, josta ei löytynyt tietoa muualta kuin eräältä jälleenmyyjältä.

Laitevalmistaja ei vastannut tarkentaviin yhteydenottoihin. (SMARTFOX Pro, The High-End Energy Management System 2020; Smartfox Pro energy manager (including current transformer 80A closed) 2020.)

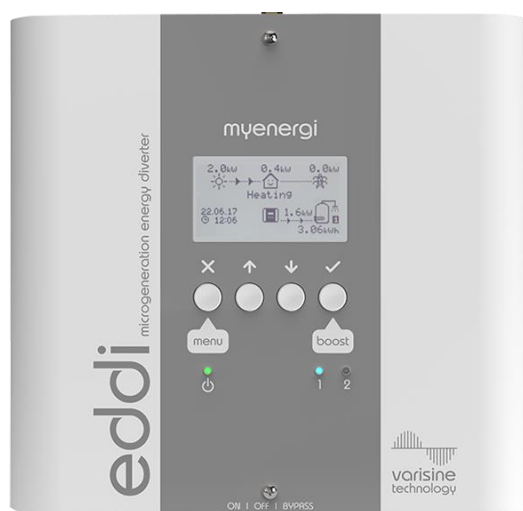


Kuva 11. SMARTFOX Light (SMARTFOX Light: Die clevere Lösung Ihre Solarenergie zu nutzen! 2020)

Light-mallista on vajavaisesti tietoa saatavilla, ja nähtävästi yritys valmistaa myös PRO Light -mallia, joka kuitenkin näyttää ulkoisesti identtiseltä PRO-mallin kanssa. Vähäisen saatavilla olevan tiedon mukaan Light-malli on suunniteltu nimenomaan lämminvesivaraajan ohjaamiseen. Sitä ei PROsta poiketen pysty yhdistämään internetiin, ja kaikki hallinta tapahtuu laitteen näytön kautta. Laite on ulkoisilta mitoiltaan varsin pieni ja kykenee juuri haluttuun toimintaan ilman ylimääräisiä ominaisuuksia, mikä tekee siitä varteenotettavan, vaikkakin ominaisuuksiinsa nähden kalliin vaihtoehdon ongelman ratkaisuksi. (SMARTFOX Light: Die clevere Lösung Ihre Solarenergie zu nutzen! 2020.) On kuitenkin muistettava, että laitetta koskevaa tietoa on hankala löytää eikä valmistaja ole kovin aktiivinen vastaamaan yhteydenottoihin.

#### 4.1.4 Myenergi eddi

Brittiläinen myenergi valmistaa aurinkosähköjärjestelmälaitteita. Työssä tarkasteltiin mallia eddi (Kuva 12), Fronius Symon Datamanagerin lisäksi ainoa tarkastelluista malleista, joka on Rasolin tietojen mukaan Suomessa käytössä, ainakin siinä määrin, että eddistä on hyvää kokemusta kentältä. (Salonen 2020.)



Kuva 12. Myenergi eddi (Eddi 2020)

Eddi on suunniteltu aurinko- ja tuulisähkön käyttöön käyttöveden ja huoneiden lattialämmityksessä. Laitetta käytetään ja ohjelmoidaan näytön kautta; etäkäyttö on mahdollista, mutta se vaatii ylimääräisen hub-laitteen ja älypuhelinsovelluksen. Resol DeltaTherm PV:n tapaan eddille voi myös antaa mahdollisuuden hallita lämminvesivaraajan pumppua, mikä ei siis liene haettujen ominaisuuksien listalla. Laitteessa on myös kaksi ulostuloa, mikä mahdollistaa kahden lämminvesivaraajan hallitsemisen erikseen. (Eddi 2020.)

Eddi erottautuu edukseen miellyttävällä ulkoasulla, käytettävyydellään, maineellaan sekä edellä mainittuihin malleihin edullisemmalla hinnallaan.

#### 4.1.5 Muut tuotannonohjausjärjestelmät

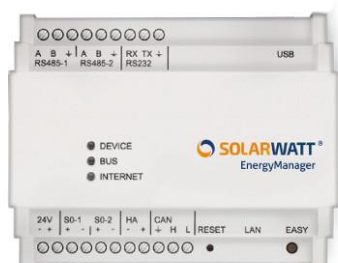
Kaikkiin työn yhteydessä löydettyihin laitevalmistajiin otettiin yhteyttä sähköpostitse, mutta kunnollisia vastauksia ei saatu. Tämä ei tarkoita, ettei seuraavia laitteita voi käyttää tuotannonohjaukseen Rasolin tarjoamissa paketeissa, mutta tarkentavien tietojen puuttuessa niitä ei voi suoraan suositella. Niitä ei voi kuitenkaan täysin sulkea työn ulkopuolelle.

GREENROCK EMS (Energy Management System) (Kuva 13) on itävaltalaisen BlueSky Energyn valmistama energianhallintajärjestelmä, jolla ohjataan aurinkopaneelien tuotanto optimaalisiin kohteisiin. Vaikka laitteen internetsivuilla mainitaan mahdollisuus laitteen käyttöön ilman muita BlueSkyn laitteita, on kuitenkin selvää, ettei sitä ole siihen tarkoitukseen varta vasten valmistettu. BlueSky on yrityksenä keskittynyt enemmän suolaveteen pohjautuvaan akkuteknologiaan ja GREENROCK EMS on valmistettu nimenomaan osaksi akkuja käyttävää aurinkosähköjärjestelmäratkaisua. (GREENROCK Energy Management System 2020.)



Kuva 13. GREENROCK EMS (GREENROCK Energy Management System 2020)

Saksalaisen SOLARWATTin valmistama tuotannonhallintajärjestelmä Energymanager (Kuva 14) vaikuttaa laitesivun perusteella hyvin lupaavalta ratkaisulta, mutta tarkemman tiedon puutteessa sitä ei voi vielä suositella käyttöön (The SOLARWATT Energymanager – Use Solar Power Intelligently 2020).



Kuva 14. SOLARWATT Energymanager (The SOLARWATT Energymanager – Use Solar Power Intelligently)

## 4.2 Kellokytkimet

Toinen Rasolin edustajan ehdottamista vaihtoehtoista on kellokytkin. Kellokytkin on tuotannonohjausjärjestelmää huomattavasti yksinkertaisempi laite, joka vain tietynä vuorokauden- tai viikonaikana sallii tehon kulun kiinteistön sähkötaululta kytkimen toiseen puoleen kytkettyyn laitteeseen, joka tässä tilanteessa on lämminvesivaraaja. Kellokytkin asennettaisiin ja ohjelmoitaisiin niin, että se päästää tehoa lämminvesivaraajalle kesäisin vain päiväsaikaan, jolloin mahdollisimman suuri osa paneelien tuottamasta sähköenergiasta päätyisi varaajalle. (Sillanpää 2020.)

Kellokytkinratkaisun kustannukset ovat murto-osa tuotannonohjausjärjestelmästä johtuen laitteen yksinkertaisuudesta ja asennuksen helppoudesta. Huonoina puolina ovat auringon nousu- ja laskuajan muuttuminen vuodenajan mukaan ja sääolosuhteiden vuoksi heikentyneen tuotannon johdosta mahdollinen lämpimän veden loppuminen. Kellon ajastusta voidaan muuttaa vuodenajan mukaisesti, mikä kuitenkin vaatii loppukäyttäjältä aktiivisuutta. Kellokytkimen rinnalla tulee olla ohituskytkin, jolla varaajan saa tarvittaessa päälle esimerkiksi saunaillan kaltaisen runsaan käytön ajaksi. Tämä on kuitenkin monessa kellokytkimessä sisäänrakennettuna ja toimii kytkimestä löytyvää nappia painamalla. (Sillanpää 2020; Lääveri 2018.)

Rasolilta tuli toive, että työssä tutkittaisiin ns. älykellokytkimiä mekaanisten kellokytkimien sijaan. Merkittävimpänä erona on älykellokytkimistä löytyvä ominaisuus useiden ohjelmien ohjelmointiin ja ajastukseen. Tämä on useille asiakkaille eduksi, sillä se mahdollistaa esim. yö sähköä käyttävän talviohjelman ja päivä sähköä käyttävän kesäohjelman. Tarvittaessa asiakas voi säätää laitteen muistin rajoitteissa itselleen sopivan määrän ajastettuja ohjelmia. Työssä tutkittiin useita markkinoilta saatavia sähkötauluun asennettavia kellokytkimiä, joista lupaavimmat esiteltiin Rasolille.



#### 4.2.1 Theben SELEKTA 170 top3

Saksalaisen Thebenin valmistama SELEKTA 170 top3 (Kuva 15) on astronominen kellokytkin, joka laskee auringon nousu- ja laskuajat paikkakunnan sijainnin perusteella. Laitteesta löytyy esiohjelmoitu sijaintilista, josta tulee valita asiakasta lähin kaupunki, mutta laitteeseen voi myös itse määritellä kohteen leveys- ja pituuspiirit. Näin laskettuja auringon nousu- ja laskuaikoja voi myös itse tarpeen tullen muokata esim. kiinteistön horisonttia varjostavan puuston vuoksi. Nousuajan säätö myöhemmäksi on muutenkin suositeltavaa, sillä tehokkaimmat tunnit aurinkosähkön tuotannon kannalta sijoittuvat kirkkaana päivänä klo 10 jälkeen ja ennen riittävää tuotantotasoa ajoitettu lämmitys ottaisi tällöin tehoa sähköverkosta. (Sillanpää 2020; SELEKTA 170 top3 2020.)



Kuva 15. Theben SELEKTA 170 top3 -kellokytkin (SELEKTA 170 top3 2020)

Kytöntä voi myös käyttää mobiilisovelluksen ja bluetooth-yhteyden kautta: tämä tuo salauksen tarjoaman lisätietoturvan, mutta vaatii ylimääräisen Bluetooth Low Energy OBELISK top3 -laitteen. Sovellus mahdollistaa myös ohjelmien tallennuksen mobiililaitteeseen, jos laitteen muistin mahdollistamat 56 muistipaikkaa eivät riitä. (SELEKTA 170 top3 2020.)

#### 4.2.2 ENTES MCB-50

Turkkilaisen ENTESin MCB-50 (Kuva 16) on listan halvin kellokytkin. Siihen mahtuu 32 ohjelmaa, mutta tässä mallissa aloitus ja lopetus ovat eri ohjelmia, joten yhden vuorokauden ohjelma vie siis kaksi muistipaikkaa. Peruskäyttäjän tarpeisiin tämä ei kuitenkaan vaikuta, sillä järjestelmänsä optimoinnista kiinnostumaton asiakas todennäköisesti asettaa vain muutaman eri ohjelman eri vuorokaudenajoille, mihin laitteen muisti riittää hyvin. (MCB-50 2020.)



Kuva 16. ENTES MCB-50 -kellokytkin (MCB-50 2020)

Kytkimestä löytyy kaksi ulostulokanavaa, mikä mahdollistaa sen käytön myös esim. ilmalämpöpumpun käyttöön aurinkosähköllä (MCB-50 2020).

### 4.2.3 ORBIS

Espanjalaisen Orbis Tecnología Eléctrica valmistamat kellokytkimet sijoittuvat ominaisuuksiltaan ja hinnoiltaan Thebenin ja ENTESin väliin. DATA LOG -malleista (Kuva 17) löytyy tilaa 40 ohjelmalle, joiden säätäminen ja hallinnointi mobiililaitteella onnistuu erillisen bluetooth-lisäosan kanssa. Saatavilla on sekä yhden että kahden ulostulokanavan malleja, jotka erotetaan lisäämällä ulostulokanavien lukumäärä mallin perään. Kahden tulostulokanavan laite on hieman kalliimpi. (DATA LOG / DATA LOG 2 2020.)



Kuva 17. ORBIS DATA LOG 2 -kellokytkin (DATA LOG / DATA LOG 22020)

Toinen Orbisin valmistama malli on ASTRO NOVA CITY (Kuva 18), joka on muuten identtinen kaksikanavaisen DATA LOG 2:n kanssa, minkä lisäksi siinä on astronominen kello ohjelmoinnin helpottamiseksi (ASTRO NOVA CITY 2020).



Kuva 18. ORBIS ASTRO NOVA CITY -kellokytkin (ASTRO NOVA CITY 2020)

## 5 Tulosten tarkastelu

Työssä kerättiin kohtalainen määrä tietoa, mutta sen valossa voi kuitenkin jo tehdä johtopäätöksiä.

Rasol painotti kriteereinään sopivuutta yrityksen ja Suomen järjestelmiin, hintaa sekä ohjelmitavuutta. Rasolilla on kuvauksen mukaan useanlaisia asiakkaita, joista osa on ilmaissut mielenkiintoa oma-aloitteiseen ohjelmointiin, mutta suurta osaa ei kuvattu toiminta kiinnosta, vaan tavoitteena on toimiva ja kohtuudella optimoitu järjestelmä. Tästä syystä on omiaan suositella Rasolille kahta eri ratkaisua.

Taulukko 1. Tuotannonohjausjärjestelmien ja kellokytkimien hintavertailu

Nimi	Hinta
DeltaTherm PV	800-950 € + toim.
SMARTFOX Pro	739 €
Myenergi eddi	435 € + toim.
Theben Selektta 170 top3	109 € + bluetooth 96,50 €
ENTES MCB-50	39 €
ORBIS DATA LOG 2	48 € + bluetooth 42 €
ORBIS ASTRO NOVA CITY	59 € + bluetooth 42 €

Taulukossa 1 on lueteltu ne työssä tarkastellut laitteet, jotka saatavilla olevien tietojen mukaan soveltuvat tarkoitukseen ja joille löytyi hinta ainakin yhdeltä jälleenmyyjältä. (DeltaTherm® PV 2020; Smartfox Pro energy manager (including current transformer 80A closed) 2020; Eddi 2020; Kellokytkimet 2020.)

Tuotannonohjausjärjestelmien korkea hinta ja asentamisen hankaluus verrattuna niiden tuomiin hyötyihin rajaa ne karkeasti pois. Rasolin tarpeet täyttyvät parhaiten ohjelmoitavilla kellokytkimillä, jotka asennetaan kohteen sähkökaappiin hallittavien laitteiden kuten lämminvesivaraajan kohdalle ja ohjelmoidaan niin, että ne syöttävät kesäaikaan tehoa laitteille päiväsaikaan ja muina aikoina yöllä. Ohjelmoinnin suorittaa ensi kädessä Rasol, mutta asiakkaat voivat itse ohjeiden mukaan ohjelmoida omiin tarpeisiinsa soveltuvia ohjelmia.

Halvinta ja helpointa ratkaisua haluaville asiakkaille ENTES MCB-50 -kellokytkin soveltuu parhaiten. Se on yksinkertaisin ja mutkattomin laite, joka mahdollistaa tarpeeksi tarkan säätämisen perustarpeisiin, jotta kytkimen voi jättää kaappiin koskemattomana seuraavaa huoltokertaa varten.

Kehittyneemmälle käyttäjälle soveltuu parhaiten laite ORBIS DATA LOG 2 tai vaihtoehtoisesti ASTRO NOVA CITY. Hintaero näiden kahden välillä on pieni, ja astronominen ohjelmointi voi ainakin ideana miellyttää tekniikasta kiinnostunutta asiakasta. Bluetooth-lisäosan kanssakin molemmat ovat halvempia kuin Theben Selektta 170 top3, joka voi olla liiankin monimutkainen perus- tai vaati-vaankin käyttöön.

Jos asiakas taas ehdottomasti haluaa erillisen laitteen nimenomaan tuotannon-ohjausta varten, on myenergi eddi siihen paras ratkaisu, jos Fronius Symo ei sovellu asiakkaan kohteeseen. Eddi tarjoaa kaiken oleellisen kuin kilpailijansa-kin, mutta miellyttävämällä ulkoasulla ja halvemmalla.

## 6 Yhteenveto

Aurinkosähkö ja kiinnostus siihen ovat voimakkaassa kasvussa kaikkialla maailmassa. Suuret teknologiset harppaukset ovat tehneet paneeleista niin paljon tehokkaampia ja halvempia, että aurinkosähköratkaisut eivät enää ole rajattuja vain varakkaiden harrastajien käyttöön, vaan ne voi saada kannattaviksi peruskuluttajallekin.

Optimointi on oleellinen osa minkä tahansa energiajärjestelmän kannattavuuslaskelmaa; mitä enemmän itse tuotettua energiaa käytetään kohteessa, sitä vähemmän sitä tarvitse ostaa verkosta. Optimaalista tuotannonohjausta tarjoava yritys saa merkittävän kilpailuedun alati kiihtyvässä kilpailussa aurinkosähköjärjestelmien markkinoilla.

On valitettavaa, kuinka huonosti laitevalmistajat vastasivat yhteydenottoihin tai tarjosivat kattavaa tietoa laitteistaan. Vallitseva COVID-19-pandemia selittäisi osaltaan penseän yhteydenpidon, mutta lähes täydellinen kato vastauksissa antaa aiheutta mietintään. Kenties kilpailu ja kyseisen teknologian yrityskulttuuri Keski-Euroopassa on niin eri tasolla, että ulkomaalaisen opiskelijan sähköpostit voi huoletta sivuuttaa. Kerättyjen tietojen valossa oli kuitenkin mahdollista tehdä vähintäänkin kohtuullisia ehdotuksia Rasolin ratkaisuihin.

Aiheeseen lienee syytä palata muutaman vuoden päästä alan kehityksen ja Suomessa käyttöön otettujen ratkaisujen kartoittamiseksi.

## Lähteet

ASTRO NOVA CITY. 2020. Verkkoaineisto. ORBIS TECNOLOGÍA ELÉCTRICA, S.A. <<https://www.orbis.es/products/lighting-and-street-lights-management/time-switches/astronomic/astro-nova-city>>. Luettu 13.10.2020.

Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A. 2015. Thermodynamics: An Engineering Approach. Eighth Edition In SI Units. New York: McGraw-Hill Education.

DATA LOG / DATA LOG 2. 2020. Verkkoaineisto. ORBIS TECNOLOGÍA ELÉCTRICA, S.A. <<https://www.orbis.es/products/timing/digital-time-switches/modular/data-log-data-log-2>>. Luettu 13.10.2020.

DeltaTherm® PHM. 2020. Verkkoaineisto. Resol GmbH. <<https://www.resol.de/en/produktdetail/234>>. Luettu 5.10.2020.

DeltaTherm® PV. 2020. Verkkoaineisto. Resol GmbH. <<https://www.resol.de/en/produktdetail/210>>. Luettu 5.10.2020.

Eddi. 2020. Verkkoaineisto. Myenergi. <<https://myenergi.com/product/eddi/>>. Luettu 5.10.2020.

Fronius Symo. 2020. Verkkosivu. Fronius. <<https://www.fronius.com/en/solar-energy/installers-partners/technical-data/all-products/inverters/fronius-symo/fronius-symo-3-0-3-m>>. Luettu 2.10.2020.

GREENROCK Energy Management System. 2018. Verkkoaineisto. <<https://www.bluesky-energy.eu/en/greenrock-ems-2/>>. BlueSky Energy. Luettu 5.10.2020.

Kellokytkimet. 2020. Verkkoaineisto. Finnparttia Oy. <[https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi\\_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/DIGI2](https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/DIGI2)>. Luettu 22.10.2020.

MCB-50. 2020. Verkkoaineisto. ENTES. <<https://www.entes.eu/mcb-50t/>>. Luettu 13.10.2020.

Lämminvesivaraajat. 2020. Verkkoaineisto. Taloon.com. <<https://www.taloon.com/lamminvesivaraajat>>. Luettu 30.9.2020.

Lämmityksen säätökäyrä ja lämpimän käyttöveden oikea lämpötila. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen\\_tutustuminen/lammityksen\\_saatokayra\\_ja\\_lampiman\\_kayttoveden\\_oikea\\_lampotila](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/lammityksen_saatokayra_ja_lampiman_kayttoveden_oikea_lampotila)>. Päivitetty 4.9.2018. Luettu 25.9.2020.

Lääveri, Harri. 2018. Aurinkovoimalan älykkäät ohjaukset. Opinnäytetyö (ylempi AMK). Lahden ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.



- Malin, Risto. 2019. Lämpöpumput Suomessa hurjiin kasvulukuihin – erityisesti ilmalämpöpumput, yhdestä syystä. Verkkoaineisto. Talouselämä. <<https://www.talouselama.fi/uutiset/lampopumput-suomessa-hurjiin-kasvulukuihin-erityisesti-ilmalampopumput-yhdesta-syysta/b3141f18-fb9e-3290-965c-f8ab5e567277>>. Päivitetty 22.1.2019. Luettu 22.9.2020.
- Neches, Russell. 2008. Kuva erään invertterin rakenteesta. Katsottavissa osoitteessa: <<https://www.flickr.com/photos/rneches/2541181118/>>.
- Salonen, Kalle. 2.11.2020. Haastattelu Rasol Oy:n edustajan kanssa.
- SELEKTA 170 top3. 2020. Verkkoaineisto. Theben AG. <<https://www.theben.fi/fi/selekta-170-top3-1700130>>. Luettu 11.10.2020.
- Sillanpää, Jouni. 1.9.2020. Aloituskokous Rasol Oy:n konttorilla.
- SMARTFOX Light: Die clevere Lösung Ihre Solarenergie zu nutzen! 2017. Verkkoaineisto. DaFi GmbH. <<http://www.smartfox.at/en/smartfox-light.html>>. Luettu 6.10.2020.
- Smartfox Pro energy manager (including current transformer 80A closed). 2020. Verkkoaineisto. Next Level Energy GmbH. <<https://www.nic-e.shop/en/produkt/smartfox-pro-energiemanager/>>. Luettu 6.10.2020.
- SMARTFOX Pro, The High-End Energy Management System. 2017. Verkkoaineisto. DaFi GmbH. <<http://www.smartfox.at/en/smartfox-pro.html>>. Luettu 5.10.2020.
- The SOLARWATT Energymanager – Use Solar Power Intelligently. 2020. Verkkoaineisto. SOLARWATT. <<https://www.solarwatt.com/energy-management/energymanager>>. Luettu 5.10.2020.
- Tohka, Antti & Salmi, Kari. 2018. Renewable Energy: Solar Power. Luentodiaesitys.
- What is the Best Battery for a Solar Panel System? 2020. Verkkoaineisto. Energysage. <<https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/what-are-the-best-batteries-for-solar-panels/>>. Luettu 12.11.2020.
- Yritys. 2020. Verkkosivu. Rasol Oy. <<https://www.rasol.fi/yritys>>. Luettu 1.9.2020.