

Jyrki Kataja • Petri Kapuinen • Titta Kotilainen  
Janne Keränen • Ville Korpelainen



# Energiantuotannon ja -käytön tulevaisuus maatiloilla (eTU)

Loppuraportti

# **Energiantuotannon ja -käytön tulevaisuus maataloilla (eTU)**

JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULUN RAPORTTEJA 37

JYRKI KATAJA  
PETRI KAPUINEN  
TITTA KOTILAINEN  
JANNE KERÄNEN  
VILLE KORPELAINEN

# Energiantuotannon ja -käytön tulevaisuus maatiloilla (eTU)

LOPPURAPORTTI



**JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULUN**  
**RAPORTEJA -SARJA**

Jyrki Kataja | Petri Kapuinen | Titta Kotilainen  
Janne Keränen | Ville Korpelainen

**ENERGIANTUOTANNON JA -KÄYTÖN TULEVAISUUS**  
**MAATILOILLA (ETU)**  
Loppuraportti

Kannen kuva • Emma Kataja  
Ulkoasu • Jamk / Pekka Salminen  
Taitto • Punamusta Oy • 2022

ISBN 978-951-830-659-0 (PDF)  
ISSN 1795-3766

**JAKELU**

Jyväskylän ammattikorkeakoulun kirjasto  
PL 207, 40101 Jyväskylä  
Rajakatu 35, 40200 Jyväskylä  
Puh. 040 552 6541  
Sähköposti: [julkaisut@jamk.fi](mailto:julkaisut@jamk.fi)  
[www.jamk.fi/julkaisut](http://www.jamk.fi/julkaisut)



Tämä teos on lisensoitu Creative Commons  
Nimeä-EiMuutoksia 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä

# SISÄLLYS

<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>7</b>
<b>1 ENERGIANTUOTANNON JA -KÄYTÖN TULEVAISUUS MAATILOILLA HANKKEEN TAVOITTEET</b> .....	<b>8</b>
1.1 Hankkeen taustaoletukset ja havaintojen niihin liittyen hankkeen aikana.....	8
1.2 Hankkeen tavoitteet .....	9
<b>2 OSAPUOLET JA YHTEISTYÖ</b> .....	<b>11</b>
2.1 eTU-hankkeen toteuttajat.....	11
2.2 Yhteistyö eTU-hankkeessa.....	11
<b>3 TULOKSET</b> .....	<b>13</b>
3.1 Menetelmät ja aineistot .....	13
3.2 eTU-hankkeen tuloksia .....	13
3.3 arviointi .....	27
3.4 Julkaisut .....	27
<b>4 TULOSTEN ARVIOINTI</b> .....	<b>29</b>
4.1 Tulosten käytännön sovelluskelpoisuus.....	29
4.2 Tulosten tieteellinen merkitys.....	29
<b>5 TOIMINTASUOSITUKSET</b> .....	<b>31</b>
5.1 Tiivistelmä.....	31
5.2 Toimintasuositukset .....	31
<b>KIRJOITTAJAT</b> .....	<b>34</b>

# TIIVISTELMÄ

**Jyrki Kataja, Petri Kapuinen, Titta Kotilainen, Janne Keränen  
& Ville Korpelainen**

**Energiantuotannon ja -käytön tulevaisuus maataloilla (eTU)**

**Loppuraportti**

**Jyväskylän ammattikorkeakoulun raportteja, 37**

Sekä mautilojen että puutarhojen riippuvuus ostoenergiasta on lisääntynyt viime vuosikymmeninä systemaattisesti. Vastaava kehitys näyttää jatkuvan yksikkökokojen kasvun sekä digitalisaation ja automaation nopean kehittymisen seurauksena Tämä tarkoittaa sähköenergian merkityksen korostumista entisestään.

Mautilojen ja puutarhojen kyky vastata 2020-luvun sähkömarkkinoiden muuttuviin haasteisiin toiminnallisesti ja taloudellisesti järkevillä tavoilla perustuu siihen, että tilatasolla tunnettava sähkön kokonaiskulutuksen lisäksi yksittäisten laitteiden ja koneiden käytöstä syntyvä sähkökuorma ja sen vaihtelut vähintäänkin voimassa olevan sähkösopimuksen mukaisen energiankulutuksen mittaustavan tarkkuudella. Tämä mahdollistaa mautiloille ja puutarhoille sähkömarkkinoiden kulutus- ja tuotantojoustojen suunnitelmallisen hyödyntämisen sekä oman hajautetun sähköntuotannon ja -varastoinnin mitoittamisen optimoinnin.

Energiantuotannon ja -käytön tulevaisuus maataloilla hankkeen tutkimusaineisto kerättiin kolmelta kotieläintilalta sekä yhdeltä opetusmaatilalta. Lisäksi yksittäisten tuotto prosessien ja niiden vaiheiden osalta tehtiin mittaussarjoja kontrolloiduissa testausympäristöissä. Hankkeen toteutusajankautana tunnistettiin energiajärjestelmä toimintatapojen muuttuessa tarve riippumattomalla ja kumuloituvalla tiedolla hajautetusta energiantuotannosta, -varastoinnista ja -kulutuksesta energiatehokkuuden ja -omavaraisuuden parantamiseksi hyödyntäen AgriHubin viestinnällisiä palveluita.

Avainsanat; energiankulutus, sähkökuorma, energiaomavaraisuus, maatalo, puutarha, kulutusjousto, tuotantojousto

# ABSTRACT

**Jyrki Kataja, Petri Kapuinen, Titta Kotilainen, Janne Keränen  
& Ville Korpelainen**

**The future of energy production and use on farms (ETU)**

**Final report**

**Reports from Jamk University of Applied Sciences, 37**

The dependence of farms and gardens on purchasing energy has increased systematically in recent decades. This development will continue because of the increase farm sizes and the rapid development of digitalization, which is why the importance of electric energy will become more pronounced.

The ability of farms and gardens to respond to the changing challenges of the 2020s electricity market in operationally and economically sound ways is since, in addition to total electricity consumption at the farm level, the electrical load generated using individual appliances and machinery and its fluctuations with sufficient accuracy. This enables farms and gardens to utilize methodically the consumption and production flexibility of the electricity market and optimize the dimensioning from their own distributed electricity generation and storing.

The data of study were collected as field measurements from three livestock farms as well as one teaching farm. In addition, measurement kits were carried out for individual yield processes and their phases in controlled testing environments. During the project's implementation accentuated the need for independent and cumulative information on decentralized energy generation, storage, and consumption to improve energy efficiency and self-sufficiency, utilizing communicative services on AgriHub.

Keywords; energy consumption, electric load, energy self-sufficiency, farm, garden, abrasion elasticity, production elasticity

# 1 ENERGIANTUOTANNON JA -KÄYTÖN TULEVAISUUS MAATILOILLA HANKKEEN TAVOITTEET

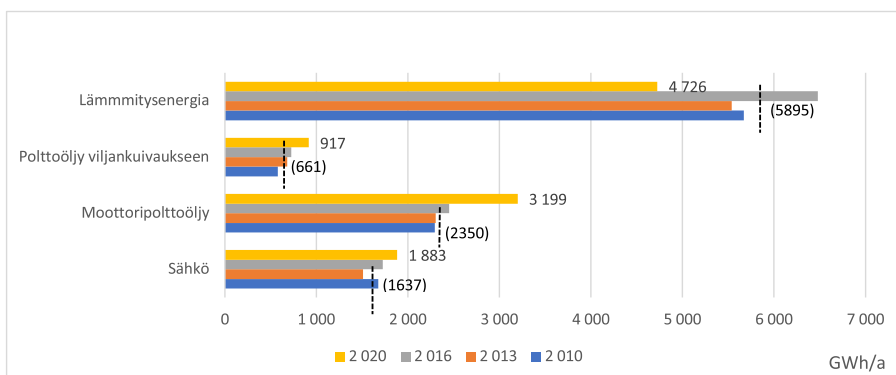
Tämä on hankkeen ”Energiantuotannon ja -käytön tulevaisuus maatiloilla (eTU)” loppuraportti. Hanke toteutettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun, Luonnonvarakeskuksen, Vtt:n ja Peimarin koulutuskuntayhtymä yhteistyönä vuosina 2018–2021. Hankkeen rahoittajana toimi maa- ja metsätalousministeriö ja se kuului Maatalouden ympäristövaikutusten tutkimusohjelmaan (MATO) (<https://mmm.fi/mato>).

## 1.1 HANKKEEN TAUSTAOLETUKSET JA HAVAINTOJEN NIIHIN LIITTYEN HANKKEEN AIKANA

Energiantuotannon ja -käytön tulevaisuus maatiloilla hankkeen (eTU-hanke) alkuperäisensä ydinajatuksena oli tutkia ja kehittää uusiutuvan energiantuotantoa ja -käyttöä ohjaavia järjestelmiä, joilla maatiloilla ja puutarhoilla voidaan parantaa energiaomavaraisuusastetta uusiutuviin energialähteisiin pohjautuen sekä tunnistaa energian tuotantoa ja kulutusta tasapainottavia toimialaan liittyviä tekijöitä. Maatilojen ja puutarhojen sekä koko ruokaketjun riippuvuus ostoenergiasta on lisääntynyt viime vuosikymmeninä. Tämä kehitys näyttää jatkuvan yksikkökokojen kasvun sekä digitalisaation ja automaation nopean kehittymisen seurauksena, vaikka samalla energiatehokkuus paraneekin ja ilmastovaikutukset pienenevät.

eTU-hanketta valmisteltaessa maataloustilastojen (2010, 2013, 2016) mukaan maa- ja puutarhatalouden toimialalla käytettiin vuosittain keskimäärin 10,54 TWh energiaa. Toimialan kokonaisenergiankulutuksesta 55,9 % käytettiin lämmitykseen, 22,3 % liikennepolttoaineisiin (moottoripolttoöljy) ja 15,5 % sähkönä. Viljakuivauksen polttoöljyn kulutus oli keskimäärin 6,3 % kokonaiskulutuksesta. Varsinkin viljankuivauksen ja rakennusten lämmitysenergiainkin kulutus vaihtelee vuosittaisten sääolosuhteiden mukaan. Kuvioon 1 on lisätty mukaan Maatalouslaskenta 2020 ennakkotietoja vuoden 2020 osalta kuvamaan eTU-hankkeen toiminnan ajalta tilastointitavan esiin nostamia asioita.<sup>1</sup>





Kuvio 1. Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus vuosina 2010, 2013, 2016 (keskiarvo) ja 2020<sup>1</sup>.

eTU-hankkeen loppuessa Maatalouslaskenta 2020 mukaan maa- ja puutarhatalouden kokonaisenergiankulutus oli 10,72 TWh. Vaikka kokonaisenergiankulutuksen kasvu aikaisempien kolmen tilastointikertojen keskiarvoon verrattuna on ollut vain 1,7 %, niin huomioitavaa on sähköenergiankulutuksen 15,1 %:n ja moottoripolttoaineiden 36,1 %:n kokonaiskulutuksen kasvu. Maatilojen lukumäärä on 2010-luvun aikana vähentynyt 23 %. Aktiivisten maatilojen määrän väheneminen yhdessä tilastoidun sähköenergian ja moottoripolttoaineiden kulutuksen kasvun kanssa kuvaavat eTU-hankkeen ydinajatuksen ajankohtaisuutta niin tutkimusaikana kuin sen tulosten soveltamisvaiheessakin tutkimuksen valmistuttua. Tarkasteltaessa Maatalouslaskenta 2020 tilastoinnissa lämmitysenergian kulutuksen merkittävää alentumista on huomioitava, että merkittävä osa muutoksesta selittyy sillä, että lämmitysenergian yhden osakomponentin Puu (halot, pilkkeet, muu kokopuu) osalta oli tapahtunut 1,05 TWh pienentyminen.<sup>1</sup>

## 1.2 HANKKEEN TAVOITTEET

eTU-hankkeen tavoitteet oli jaettu neljään työpakettiin, jotka olivat energiaomavaraistarkastelu, tarkentavan tutkimustiedon hankinta, käytännön tutkimustoiminta sekä tulosten popularisointi. Kolme ensimmäistä työpakettia

<sup>1</sup>Maatalouslaskenta 2020: Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus 2020 (ennakko). 2021. Tilastojulkistus 18.5.2021 Luonnonvarakeskuksen verkkosivuilla. Suomen virallinen tilasto. Viitattu 25.8.2021. [https://stat.luke.fi/maatalouslaskenta-2020-maa-ja-puutarhatalouden-energiankulutus-2020-ennakko\\_fi](https://stat.luke.fi/maatalouslaskenta-2020-maa-ja-puutarhatalouden-energiankulutus-2020-ennakko_fi)

etenivät kronologisessa järjestyksessä siten, että edellisen työpaketin tulosten pohjalta tehtiin valintoja seuraavan työpaketin tavoiteisiin ja menetelmiin. Tällä menettelyllä pyrittiin varmistamaan toteutettavan tutkimustoiminnan ajantasaisuus nopeasti kehittyvän tutkimusalueen tarpeiden mukaan. Neljättä työpakettia, joka keskittyi tutkimushankkeen tulosten popularisointiin, toteutettiin koko hankeajan.

Ensimmäisessä vaiheessa oli tavoitteena tehdä mautilojen tarpeisiin pohjautuva nykytilatarkastelu, jossa yhdistetään eri lähteissä olemassa olevaa tutkimustietoa niin mautilojen kuin puutarhojen energiantuotannosta ja -kulutuksesta. Tavoitteena oli luoda sellainen kokonaiskuva, joka mahdollistaisi yksittäisen mautilan, puutarhan tai maaseudun pienalueen energiaomavaraisuustarkastelun.

Toisessa vaiheessa oli tavoitteena tarkentavan tutkimustiedon hankinta niihin kehittämistarpeisiin, jotka tunnistettiin ensimmäisen vaiheen energiaomavaraisuustarkastelun perusteella. Tavoitteena oli kerätä ja tuottaa uutta, täydentävää tutkimustietoa aikaisempiin tutkimusmateriaaleihin tukeutuen. Tavoitteena oli myös tarkastella sitä millaisia mittaus- ja koejärjestelyjä pitäisi toteuttaa, jos tarvittavaa tietoa ei olisi riittävästi saatavilla joistakin energiajärjestelmistä tai niiden osista. Toisessa vaiheessa oli myös tavoitteena tunnistaa tulevaisuudessa käyttöön tulevia energiantuotanto-, -jakeluun ja -käyttöön liittyvien mittaus- ja ohjausjärjestelmiä sekä niiden hankinta-, asennus- ja muutostöihin liittyviä erityispiirteitä.

Kolmannessa vaiheessa tavoitteena oli tehdä tutkimustoimintaa mautiloilla ja puutarhoilla. Tavoitteena oli kerätyn tutkimusdatan analysointi mautilan ja puutarhan sekä maaseutuyhteisön näkökulmasta. Simuloida erilaisia käyttötilanteita demonstraatioympäristöjen ja hankkeessa mukana olevien mautilojen tilus- ja tilarakenteiden energiantuotannon ja -kulutusten puitteissa energiaomavaraisuuden ja huoltovarmuuden näkökulmasta. Tavoitteena oli myös tarkastella mautilojen, puutarhojen ja maaseudun yhteisöjen energiantuotannon ja -käytön integrointia sekä erilaisten hybridienergiaratkaisujen hyödyntämistä perustuen aikaisempien vaiheiden valintoihin.

eTU-hankkeen tulosten popularisoinnin tavoitteena oli luoda tutkimushankkeen sekä käynnissä olevien toimialan hankkeiden välille vuorovaikutussuhde, joka mahdollistaisi tuotetun tiedon nopean jalkautumisen käytännön tarpeisiin. Hankkeella ei ollut tavoitteena perustaa omaa tiedonlevittämisportaalia vaan heti hankkeen alusta alkaen hyödyntää sekä alueellisia että valtakunnallisia käynnissä olleita teemaan liittyviä kehittämishankkeita ja niiden tiedonlevitystapoja sekä toimialan yleisiä tilaisuuksia.

## 2 OSAPUOLET JA YHTEISTYÖ

### 2.1 ETU-HANKKEEN TOTEUTTAJAT

eTU-hanke toteutettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun (JAMK), Luonnonvarakeskuksen (Luke), Teknologian tutkimuskeskus VTT:n ja Ammattiopisto Livian yhteishankkeena. Luken, VTT:n ja JAMK:n henkilöstö osallistuivat kaikkien neljän työpaketin toteutukseen. Ammattiopisto Livian henkilöstö osallistui työpakettien 3 ja 4 toteutukseen. Hankkeen koordinaatiosta vastasi JAMK ja vastaavana tutkijana toimi asiantuntija Jyrki Kataja (energiatehokkuus, energiaomavaraisuus, sähkökuormat, lypsykarjatilan ja kanatilan energiamittaukset). Hankkeen tutkimustoimintaan osallistui JAMKista myös asiantuntija Jarno Liimatainen (energiatehokkuusmittaukset). Luken asiantuntijoista hankkeen tutkimustoimintaan osallistuivat tutkija Petri Kapuinen (energiatehokkuus, sähkökuormat, sikatilan energiamittaukset), erikoistutkija Titta Kotilainen (energiatehokkuus, sähkökuormat, puutarhan energiamittaukset). VTT:n asiantuntijoista hankkeessa olivat mukana erikoistutkija Janne Keränen (energiajärjestelmät, energiatehokkuus, energian varastointi), erikoistutkija Eemeli Tsupari (aurinkosähköjärjestelmät), erikoistutkija Jyrki Raitila (energian varastointi), tutkija Kirsi Kiviranta (aurinkosähköjärjestelmät). LIVIA:n edustajana tuntiopettaja Ville Korpelainen 13.2.2020 – , lehtori Jenna Ekman –13.2.2020 (koulutilaympäristön energiamittaukset, aurinkosähköjärjestelmät).

### 2.2 YHTEISTYÖ ETU-HANKKEESSA

eTU-hankkeen toteuttajat pitivät pääsääntöisesti kerran kuussa työkokouksen, jossa ajankohtaisia asioita käytiin läpi. Toteuttajien välinen yhteistyö keskittyi ennen kaikkea tiedon hankintaan ja energiamittauksiin liittyvien haasteiden ratkomiseen sekä niihin liittyvien hyvien käytänteiden levittämiseen. Myös tulosten popularisoinnin osalta tehtiin yhteistyötä sekä webinaarin pitämiseen että niiden julkaisemiseen liittyen. Varsinaisen tietojen keruun, mittausjärjestelyjen toteutuksen ja tulosten analysoinnin osatoteuttajat suorittivat itsenäisesti. eTU-hankkeen tyylisissä hankkeissa on yleensä kaikilla toimijoilla useita tutkimusprojekteja sekä muita työsitoumuksia käynnissä yhtä aikaa. Tämä yhdistettynä vaihteleviin kasvukauden sääoloihin sekä käytännön olosuhteissa tehtäviin mittausjärjestelyihin ympäri vuoden voisi tulevaisuudessa tarvita tarkem-

min tehtyä ajoitus suunnitelmaa yksittäisille tutkimustoimenpiteille. Käytännön kohteissa tehtävässä tutkimustoiminnassa tulee aina varautua olosuhteissa sekä tuotantotilanteissa tapahtuviin muutoksiin, jotka voivat vaatia yksittäisen tutkimustoimenpiteen uudelleen organisoimista tai jopa siitä kokonaan luopumista. Tämä edellyttää projektin johtamiselta kokonaisuuden hallintaa ja kykyä arvioida muutoksien vaikutusta tutkimusprojektin päätavoitteisiin. Ohjausryhmän kokoukset mahdollistivat hankkeen toteutuksen edistyessä esiin nousseiden strategisten muutostarpeiden käsittelyn, joka oli tärkeää varsinkin eTU-hankkeen alkuvaiheessa tutkimustoiminnan suuntaamiseksi ajankohtaisiin asioihin. Kuukausittain toteutuneet toimijoiden työkokoukset olivat hyvä työtapa operatiivisten tutkimustyön haasteiden käsittelyyn ja vertaiskeskusteluun

## 3 TULOKSET

### 3.1 MENETELMÄT JA AINEISTOT

Ensimmäisen työpaketin aineistot kerättiin sekä kirjallisuustutkimuksilla että hyödyntäen Luken ja VTT:n aikaisempia tutkimusaineistoja. Työpaketissa hyödynnettiin myös aihepiiriä sivuavien käynnissä olevien kotimaisten hankkeiden keräämiä tietoja, kuten Digitomkku-hanke sekä Lähienergialla omavaraisuuteen kehittämishanke.

Toisessa työpaketissa toteutettiin energiatoimialan nykytilanteen ja muutosprosessien yleistarkastelu kirjallisuutta ja sähköistä mediaa hyödyntäen. Tavoitteena oli tunnistaa tarvittavia energiantuotanto-, -jakeluun ja -käyttöön liittyviä mittaus- ja ohjauksjärjestelmiä sekä niiden edellyttämiä energijärjestelmien hankinta-, asennus- ja muutostöitä.

Hankkeen kolmannen työpaketin muodostivat energiantuotanto- ja -käyttöjärjestelmien erilaisten yhdistelmien tutkimukset ja mittaukset laboratorio- ja kenttäolosuhteissa. Tavoitteena oli kerätä tietoaineistoa demonstraatioympäristöjen ja hankkeessa mukana olleiden maatilojen energiantuotannosta ja -kulutuksesta erilaisista käyttötilanteista energiaomavaraisuuden ja huoltovarmuuden näkökulmasta.

### 3.2 ETU-HANKKEEN TULOKSIA

#### 3.2.1 HAVAINTOJA MAATILAN JA PUUTARHAN ENERGIOMAVARAISUUSTA

Maatilan tai puutarhan energiaomavaraisuus voidaan määritellä tilanteeksi, jossa ne tuottavat yhtä paljon energiaa kuin kuluttavat. Tätä energiantuotannon ja -kulutuksen välistä riippuvuutta voidaan tarkastella joko jatkuvana tasapainona tai sitten viikon, kuukauden tai vuoden mittaisiin jaksoihin jaoteltuina tase-laskelmina. eTU-hankkeen tuloksina muodostunutta nykytilakuvausta maatilojen ja puutarhojen energiantuotannosta, -kulutuksesta ja -sääätöpotentiaalista uudesta, energiaomavaraisen maatilan / maaseutuyhteisön näkökulmasta esiteltiin Maataloustieteen päivillä 2020 esitelmässä *Energiaomavaraisuus maatilan ja maatalouden kehityshaasteena*.

## Energiaomavaraisuus maatalan ja maatalouden kehityshaasteena

Energiantuotannon ja -kulutuksen välistä riippuvuutta voidaan tarkastella joko jatkuvana tasapainona tai sitten viikon, kuukauden tai vuoden mittaisiin jaksoihin jaoteltuina taselaskelmina

**Investoinnit energiaomavaraisuuteen pyrkimiseksi – Strategisia valintoja - Aikajänne**



Kuvio 2. Energiaomavaraisuus maatalan ja maatalouden kehityshaasteena

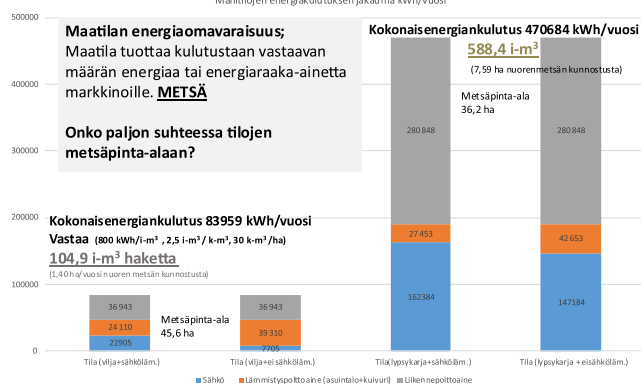
Maatalouslaskentojen<sup>1</sup> mukaan maa- ja puutarhatalouden kokonaisenergiankulutus oli kasvanut 11,4 % vuodesta 2010 vuoteen 2016 mennessä. Energialähteittäin tarkasteluna sähkön käyttö oli kasvanut 3,2 % ja moottoripolttoöljyn vastaavasti 6,8 %. Merkittävä muutos energiaomavaraisuus tarkasteluun liittyen oli lämmityskäyttöön raportoidun polttoöljyn käytön pienentyminen 61,9 % (489 GWh) tarkastelujakson aikana. Puupohjaisille energialähteille ja peltoenergialle raportoitiin vastaavasti 18,5 % kasvu (785 GWh). Kasvukauden olosuhteista johtuva viljankuivaustarve ja talven pakkasjaksoista johtuva vuosittainen lämmitysenergiantarve vaikuttavat merkittävästi vuosittaiseen kokonaisenergiankulutukseen, mutta vuosien 2010–2016 tarkastelu osoitti, että merkittävät muutokset maatalojen energiankäytön rakenteissa olivat mahdollisia. eTU-hankkeessa sekä Lähienergialla omavaraisuuteen kehittämishankkeessa tutkittiin maatalojen edellytyksiä vastata energiaomavaraisuushaasteeseen kolmen lähestymistavan kautta.

- Tasetarkasteluna, jossa maatila tuottaisi kulutustaan vastaavan määrän energiaa tai energiaraaka-ainetta markkinoille, jolloin merkittäviä tekijöitä olisivat maatalan metsien energiapuujakeiden potentiaali sekä peltoenergian käyttömahdollisuudet.

- Tasapainotilanteena, jossa maatila tuottaisi kulutustaan vastaavan määrän energiaa, jolloin energian hetkellisen kulutuksen ja tuotannon mittaaminen ja tasapainottaminen sekä varastointikapasiteetin kehittäminen nousivat merkittäviksi kehittämiskohteiksi.
- Tasetarkasteluna, jossa maatila tuottaisi osan kuluttamastaan energiasta itse ja myy ostamaansa energiaa vastaavan määrän energiaa tai energiatuotteita.

#### Energiaomavaraisuus maatilan ja maatalouderkehityshaasteena

Maaltiltojen energiakulutuksen jakautuma kWh/vuosi



19.1.2020  
 MITP 2020 / Energiantuotannon ja -käytön tulevaisuus  
 maataloililla tutkimushanke / Jyrkö Katja



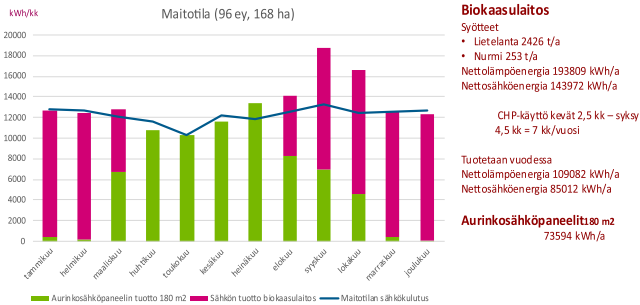
Kuvio 3. Energiaomavaraisuus maatilan kokonaisenergiakulutuksen ja tuotetun metsähakkeen tasetarkasteluna.

Energiaomavaraisuutta tarkasteltiin viljatilaa (69,6 ha peltoa, 45,6 ha metsää) ja lypsykarjatilan (167,9 ha peltoa, 36,2 ha metsää, kotieläinmäärä 96 ey) näkökulmista. Tapaustutkimuksessa viljatilaa osalta käytössä oleva metsäala riittäisi takaamaan energiaomavaraisuuden tasetarkastelussa (Kuvio 3). Lypsykarjatilan metsäalaa sitä vastoin tulisi olla huomattavasti suurempi energiaomavaraisuuden saavuttamiseksi tasetarkasteluna. Maataloustieteen päivillä 2020 pidetyssä esitelmässä pohdittiin myös lypsykarjatilan energiaomavaraisuusmahdollisuuksia biokaasulaitosta ja aurinkosähkövoimalaa hyödyntäen.

Energiaomavaraisuus maatilalla ja maataloudekehityshaasteena

**Maatilan energiaomavaraisuus;**  
Maatila tuottaa kulutustaan vastaavan määrän energiaa. (hetkellinen kulutus, varastointikapasiteetti)

Kokonais sähköenergiankulutus 147184 kWh/vuosi



Kuvio 4. Lypsykarjatilan energiaomavaraisuus kokonaisenergiakulutuksen ja optimoitujen biokaasulaitoksen sekä aurinkosähkövoimalan tasetarkasteluna sähköenergian näkökulmasta.

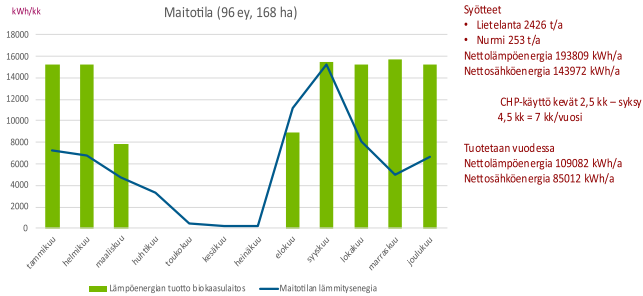
Lypsykarjatilan tapaustutkimuksessa sekä biokaasulaitos että aurinkosähkövoimala voitiin mitoittaa siten, että jaksottamalla biokaasulaitoksen CHP-käyttö seitsemälle kuukaudelle vuodessa, sähköenergian kulutus lypsykarjatilalla voitaisiin kattaa omalla tuotannolla. Tarkastelussa ei huomioitu aurinkosähkövoimalan tuotannon sääriippuvuutta ja siitä muodostuvia ajoittaisia sähkön tuotantovajauksia kesäaikaan. Mutta tämä tekijä muodosti yhden lähtökohdan eTU-hankkeen seuraaviin vaiheisiin sähköenergian varastoinnin ja kauppatajien tutkimiseksi.

Maatilan energiaomavaraisuuteen, kuten kaikkeen omavaraisuustarkasteeluun, liittyy aina tehottomuuden riski. Kun maatilan talvikauden lämmitysenergia tuotetaan omalla metsähakkeella tai kesäkauden sähköenergia aurinkosähköpaneelilla, voi oma ylimääräinen tuotanto johtaa ratkaisuihin, joiden seurauksena varsinaisen tuotannon energiatehokkuus heikkenee. Tämä riski nostettiin esiin lypsykarjatilan lämpöenergian tasetarkastelun avulla. Syksyn viljakuivausaikaa lukuun ottamatta biokaasulaitoksen CHP-tuotanto tuottaa lypsykarjatilan tarvetta enemmän lämpöenergiaa (Kuvio 5). Tämä energiaylijäämä joko hukataan tai sitten se voidaan kohdentaa tuotantoon, vaikka sille ei olisi välttämätöntä tarvetta, esimerkkinä tuotantotilojen lämmittämien ja kuivaaminen.



**Maatilan energiaomavaraisuus;**  
Maatila tuottaa kulutustaan vastaavan määrän energiaa. (hetkellinen kulutus, varastointikapasiteetti)

Kokonaislämpöenergiankulutus 69361 kWh/vuosi



Jos kesäajan biokaasulaitoksen metaanituotto voitaisiin jalostaa liikennepolttoaineeksi, se kattaisi 57,5 % maitotilan ko. kulutuksesta. (Varastointi?)

19.1.2020  
MTP 2020 / Energiantuotannon ja -käytön tulevaisuus maataloilta tutkimushanke / Jyrki Kataja



jamk.fi

Kuvio 5. Lypsykarjatilan energiaomavaraisuus kokonaisenergiakulutuksen ja optimoitujen biokaasulaitoksen sekä aurinkosähkövoimalan tasetarkasteluna lämpöenergian näkökulmasta.

Maatilan energiaomavaraisuuden saavuttaminen siten, että tilalla tuotettaisiin sen kulutusta vastaavan määrän energiaa tai energiaraaka-ainetta markkinoille, on riippuvainen siitä, miten paljon energiantuotantoon kohdennettavaa biomassaa tilan metsissä ja pelloilla on käytettävissä. Energiaomavaraisuus siten, että maatila tuottaa osan kuluttamastaan energiasta itse ja myy ostamaansa energiaa vastaavan määrän energiaa tai energiatuotteita, täytyy olla strategisena suunnittelutavoitteena investointiprosessien alusta lähtien. Tällöin esimerkiksi lypsykarjatilojen lanta, ylijäämärehu sekä osa hyvin satovuosien toisesta ja kolmannelta säilörehunurmesta voivat muodostaa merkittävän energiatasejakeen osana biokaasulaitosyhteistyötä. Energiaomavaraisuus vaihtoehto siten, että maatila tuottaa kulutustaan vastaavan määrän energiaa, edellyttää tarkkaa tuotannon erivaiheiden hetkellisen energiakulutuksen tuntemista sekä energia varastointikapasiteetin kehittymistä. Tähän pääsemiseksi tarvitaan paljon pitkäjännitteistä tutkimus- ja kehittämistyötä.

### 3.2.2 ENERGIATEHOKKUUDEN JA –OMAVARAISUUDEN KEHITTÄMISKOhteita

eTU-hankkeen ensimmäisen vaiheen perusteella tutkimustoimintaa suunnattiin ensisijaisesti mautilojen ja puutarhojen sähköenergian kulutukseen ja tuotantoon. Valinnan perusteluina olivat;

- 1 uuden sähkömarkkinalainsäädännön valmisteluprosessi uusine toiminnallisine haasteineen ja mahdollisuuksineen,
- 2 voimakkaasti kehittyvä aurinkosähkövoimaloiden kauppa ja yleinen uusiutuvan sähköntuotannon lisääntyminen,
- 3 sähkönjakeluverkon muutostarpeet tulevaisuudessa sekä sähkönjakelun keskeytysten merkitys sähkön saatavuuteen ja laatuun mautilojen ja puutarhojen näkökulmasta,
- 4 kehittyvien mautilojen ja puutarhojen entistä voimakkaampi riippuvuus sähkön toimitusvarmuudesta ja laadusta digitalisaation ja uuden tuotantoteknologian myötä.

#### 3.2.2.1 Säteilyennusteiden ja mittausjärjestelmien käyttö kasvihuoneiden lisävalotuksen käytön optimoinnissa

Maataloustieteen päivillä 2020 oli Titta Kotilaisen pitämä posteriesitys *Säteilyennusteiden ja mittausjärjestelmien käyttö kasvihuoneiden lisävalotuksen käytön optimoinnissa*. Sähkön osuus kasvihuoneyrityksen energiankulutuksesta on ollut 30–70 % ja kaikista yrityksen tuotantokustannuksista jopa 40 %. Ympärivuotisessa kasvihuoneviljelyssä lisävalotuksen säätö tapahtuu mitatun auringonvalon intensiteetin mukaan. Anturit sijaitsevat kasvihuoneen ulkopuolella ja lisäksi nämä säätöjärjestelmien osaksi asennetut anturit ovat usein vanhoja ja jopa likaantuneita. Tämän vuoksi viljelijät eivät tiedä kasvihuoneeseen tullutta kokonaisvalon määrää ja valotuksen käyttö ei välttämättä ole optimaalisella tasolla etenkin luonnonvalon määrän vaihdellessa. Ensimmäisessä vaiheessa tavoitteena oli kehittää edullisiin ja modulaarisiin komponentteihin perustuva mittausjärjestelmä, jonka avulla saataisiin mitat-

tua todellinen vaihtelu ja kokonaisvalokertymä kasvihuoneen sisällä. Lisäksi valotuksen ohjausta oli tarpeen kehittää hetkellisen tilanteen mukaan reagoivasta ennusteperusteiseen suuntaan. Valotuksen ohjaamista voitaisiin siten optimoida käyttämällä satelliittitietoja hyödyntävää, Ilmatieteen laitoksen kehittämää säämalliin pohjautuvaa auringonsäteilyennustetta.

Pilottikokeissa Luke Piikkiön tutkimuskasvihuoneilla testattiin toisessa vaiheessa säteilyennusteisiin pohjautuvaa valotuksen ohjausta. Tavoitteena oli ennusteen ja mittausjärjestelmän avulla optimoida lisävalotuksen käyttö ottaen huomioon energiankulutus sähkönkulutus ja valotuksen vaikutukset satoon. Valotuksen ohjaaminen puutteellisen mittaustiedon perusteella ei ole optimaalista ja valokertymä on tarpeen ottaa nykyistä paremmin huomioon valotuksen suunnittelussa. Lisäksi valotuksen ohjausta olisi tarpeen kehittää hetkellisen tilanteen mukaan reagoivasta ennusteperusteiseen suuntaan, mikä mahdollistaa valotuksen optimaalisemman käytön, energiansäästön ja lisää myös mahdollisuuksia osallistua nykyiseen kansallisen sähköverkon häiriö-reservin turvaamiseen sekä tuleviin kulutusjoustotuotteisiin.

Yhtenä esimerkkinä tähän tavoitteeseen pyrkimisessä selvitettiin säteilyennusteiden ja mittausjärjestelmien käyttöä kasvihuoneiden lisävalotuksen käytön optimoinnissa. Tavoitteena oli viljelijöiden tietämyksen lisääminen valotuksen optimaalisesta käytöstä, ja ennen kaikkea kohottaa kotimaisen kasvihuonetuotannon energiatehokkuutta.

Ympärivuotinen, kannattava ja kilpailukykyinen kasvihuonetuotanto on Suomessa mahdollista ainoastaan teknologisten ratkaisujen tehokkaalla hyödyntämisellä ja riittävällä lisävalon käytöllä. Valon kokonaismäärän eli vuorokauden valokertymän (tekovalo + auringonvalo) vasteesta tuotannon kannalta on hyvin vähän tietoa Suomessa, joten valotuksen käyttö ei välttämättä ole optimaalisella tasolla sadon määrän ja laadun osalta. Tuotannon tehostaminen ja energiankäytön vähentäminen vaatii jo olemassa olevan, tuotantoon liittyvän datan parempaa hyödyntämistä. Kerättyä dataa täytyy jalostaa, jotta päästään kiinni hyödylliseen informaatioon ja malleihin. Viljelmillä käytetty lisävalon määrä ja siihen liittyvä sähkönkulutus saadaan viljelmien säätöohjelmistoista. Luonnonvalon määrä saadaan kasvihuoneiden katolla olevista säteilymittareista ja kasveille tärkeän valosumman laskeminen tehdään tästä aineistosta. Valotuksen ohjauksen optimoinnin kannalta olisi kuitenkin ensiarvoisen tärkeää, että kokonaisvalokertymää mitattaisiin kasvien tasolta.

Vuonna 2017 tehdyn pienimuotoisen laskuharjoituksen perusteella (Ilmatieteen laitoksen data + yhdeltä salaattiviljelmältä saadut tiedot) voitiin nähdä, että syyskuussa 2017 kyseisessä salaattikasvihuoneessa oli 12 päivää, jolloin keinovalo ei olisi tarvinnut laittaa päälle ollenkaan, sillä aurinko paistoi päivien

aikana niin että laskennallinen kokonaisvalokertymä (daily light integral, DLI) täyttyi, mutta pilvisyyden vaihteluiden vuoksi automatiikka räpsytteli valoja päälle näidenkin päivien aikana. Valosummakertymien huomioiminen mahdollistaisi energiankulutuksen pienentymisen ja toisi kustannussäästöjä.

Käyttämällä Ilmatieteen laitoksen tuottamaa satelliittitietoja hyödyntävää, säämalliin pohjautuvaa auringonsäteilyennustetta voidaan laskea, kuinka paljon lisävalotusta itse asiassa olisi ollut tarpeen käyttää ja mitkä olisivat olleet mahdollisuudet optimoida valotuksen käyttöä. Keväällä 2019 Luke Piikkiön kasvihuoneilla toteutetussa pilottikokeessa testattiin sekä nykyisin käytössä olevaa että Ilmatieteen laitoksen, aurinkoenergian tuotantoa varten tuottamiin säteilyennusteisiin pohjautuvaa valotuksen ohjausta jääsalaatin kasvatuksessa. Lisäksi käytimme edullisiin ja modulaarisiin komponentteihin perustuva mittaussäätöjärjestelmää, jonka avulla saatiin mitattua todellinen kokonaisvalokertymä kasvihuoneen sisällä. Tavoitteena oli ennusteen ja mittaussäätöjärjestelmän avulla optimoida lisävalotuksen käyttö ottaen huomioon sähkönkulutus ja valotuksen vaikutukset satoon. Tämä parantaisi kasvatusprosessin hallintaa ja pienentäisi energiankulutusta.

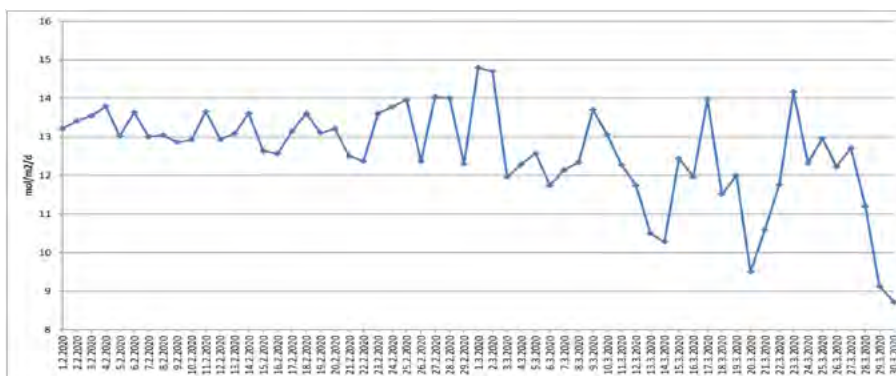
Toteutunut valomäärä kasvien tasolla (ilman lisävalotuksen osuutta) oli 24–38 % ulkona mitatusta tasosta. Säteilyennusteen, toteutuneen kokonaisvalokertymän sekä biomassan tuotantotavoitteiden sovittamisessa riittää vielä kehitettävää, mutta sähkönkulutuksen säästöpotentiaali pystyttiin kokeen aikana todentamaan.

Toisena esimerkkinä on tehty yhteistyö Närpiön seudulla toimineen Digitomkku-hankkeen kanssa. Tämän hankkeen tavoitteena oli yhdistää viljelmien säätöjärjestelmien keräämää mittaustietoa sadon korjuussa saataviin sato- ja laatutietoihin, mikä on haasteellista perinteisillä analyysimenetelmillä. Hankkeessa testattiin digitaalisia anturi- ja datansiirtoteknologioita hyödyntäviä olosuhde- ja kasvien vastemittauksia ja mittaustulosten käsittelyä esineiden internetin (IoT) ja data-analytiikan avulla.

Kuviossa 6 on esitetty esimerkkilaskelma, joka osoittaa yhdeltä tomaattiviljelmältä saadun datan perusteella tehtyjen laskelmien avulla, kuinka valon määrä vaihtelee kasvihuoneessa. Kasvihuonetuotannossa tärkeä yksikkö on valosumma, eli daily light integral (DLI), yksikkö on mol/m<sup>2</sup>/d. Tuotannon määrän ja laadun optimoiminen hyötyisi siitä, että valosumma pysyisi tasaisempana ajankohdasta riippumatta. Tässä tarkastellussa ajanjaksossa, 1.2.–30.3.2020 huomataan selvästi, kuinka helmikuussa auringonvalon määrän ollessa vähäinen, tekovalotuksen vallitessa, valosumma pysyy tasaisempana. Maaliskuussa auringonvalon määrän lisääntyessä vaihtelu kasvaa. Tämän vaihtelun tasoittamiseksi olisi hyödynnettävä enemmän valosumman mittaa-

mista kasvien tasalla sekä säteilyennusteita, kuten edellä esitetystä salaattilla tehdyssä kokeessa esitettiin.

Rajapinnat ovat jatkuva haaste datan laajemmalle hyödyntämiselle. Eri laite- ja ohjelmistovalmistajat suojelevat omia ratkaisujaan, ja työmäärä ja hinta datojen yhdistämisestä voi olla melkoinen. Dataperusteisen tuotannon kehittämiseksi ja energiankulutuksen optimoimiseksi täytyy tehdä vielä paljon töitä eri toimijoiden välillä.



Kuvio 6. Valosumman ( $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d.}$ ) vaihtelu tomaattiviljelmällä.

Mittausjärjestelmän ja ennusteen avulla voidaan optimoida lisävalotuksen käyttö ottaen huomioon sähkönkulutus ja valotuksen vaikutukset satoon. Tämä parantaa kasvatustuotannon hallintaa ja pienentää energiankulutusta.

eTU-hankkeessa tuotettujen tietokorttien avulla on avattu maatilojen ja puutarhojen energiakysymysten taustoja käyttäjälähtöisestä näkökulmasta. Aiheina on esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmien hankinta sekä maa- ja puutarhatalouden energiansäästöpotentiaalit. Tarkasteltaessa maatilojen ja puutarhojen sähkön käyttöä, vuonna 2016 kokonaiskulutus oli 1727 GWh. Tästä valaistukseen käytettiin arviolta 650 GWh. Kasvihuoneviljelyn osuus oli 547 GWh, maito-, nauta-, sika- ja siipikarjatilojen valaistuksen 75 GWh sekä viljailijoiden 27 GWh. Valaistuksen tarvitseman energian tekninen säästöpotentiaali arviottiin 335 GWh vuodessa. Tarkastelussa hyödynnettiin yleisiä valaistuksen säästömahdollisuuksia, luonnonvaloa (ikkunat, valoharjat, valokatteet), valaistuksen automatisointia (läsnäolo, kello/hämäräkytkin, auringon säteilyintensiteetti) sekä siirtymisellä LED-valaistukseen (hehkulamput tai halogeenit 60–75% ja korkeapainenaatriumvalaistus 50%).

### 3.2.2.2 Havaintoja lypsykarjatilán sähköenergian kulutuskohteiden tapaustutkimuksista

eTU-hankkeen yhtenä tapaustutkimuksena tarkasteltiin maitotilan seosrehuruokintaa. Lähtökohtana oli 35 minuutin appeen sekoitusaika 115 kW traktorilla ja 20 m<sup>3</sup> apevaunulla. Appeen sekoitusaikaa lyhennettiin 5 minuutin erissä aina 20 minuutin sekoitusaikaan asti. Vertailuvaihtoehdossa traktori korvattiin 27 kW sähkömoottorilla. Traktorikäytössä pisimmän ja lyhimmän sekoitusajan välinen ero energiakulutuksessa oli 43,4 %. Siirryttäessä sähkömoottorikäyttöön appeen sekoituksessa todettiin saavutettavien energiansäästöä 74,6–85,5 %:n eri sekoitusajoilla lähtökohta oletukseen verrattuna. Energiankäytön tehokkuutta tarkasteltaessa on olennaista tunnistaa tuotannossa tarvittavien teknologisten vaihtoehtojen todelliset energiankulutukset. Kun pyritään optimoimaan tuotannossa kulutettua energiapanosta, joudutaan tunnistamaan energiankäytön muutosten vaikutukset lopputuotteen ominaisuuksiin ja tuotantokustannuksiin. Samalla on pystyttävä määrittelemään, mikä on energiapanoksen tuotantovaste eli tässä tapauksessa seosrehun tasalaatuisuudesta riippuva ruokintavaikutus. Tapaustutkimustilanteessa energianlähteiden energiahinnan ja maidon tuottajahinnan perusteella tehtiin karkea arviointi, että 80 lypsylehmän maitotilalla lehmien keskituotos ei voisi alentua 49–82 litraa (mikä vastasi 0,5–0,9 % kyseisen maitotilan lehmien keskituotoksesta vuodessa) enempää vuodessa, jotta energiatehokkuus toimenpide olisi taloudellisesti järkevä.

Kolmantena esimerkkinä suoritettiin vuoden 2020 aikana tutkimusosio maidon jäädyttämisestä ulkoilman lämpötilaa hyödyntävällä jäädytyskierrolla. Tutkimusaineistosta on valmisteilla energian kulutus mittauksien edustavuutta tarkasteleva Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö, joka ei ole ehtinyt valmistua eTU-hankkeen toteutusaikana.

### 3.2.2.3 Esimerkkejä maatilan ja puutarhan aurinkosähkövoimaloiden tuotannosta ja aurinkoenergianvarastoinnista

Erilaisia energianhallintajärjestelmiä on alettu markkinoimaan niin maataloille kuin puutarhoillekin. eTU-hankkeen yhtenä toimenpiteenä vuokrattiin testattavaksi käytännön tutkimustoiminnassa kaupallinen, kotimainen energianhallintajärjestelmä ja sen kolme mittaus- ja säätöyksikköä. Hankkeen yhtenä tavoitteena oli maatilakokoluokan energiatehokkuuden ja -omavaraisuuden mittaamiseen ja ohjaamiseen soveltuvien laitteiden ja käytäntöjen dokumentointi siten, että tietoa voidaan hyödyntää sekä käytännön esimerkkinä että tieteellisessä tutkimuksessa. Testattavan energiahallintajärjestelmän mit-

taus- ja säätöyksiköt sijoitettiin Tuorlan opetusmaatilalle, maatilalle, jolla oli aurinkosähkövoimala sekä munituskanala ja lypsykarjatilalle, jolla oli aurinkosähkövoimala ja lypsyrobottiin perustuva navetta. Lisäksi testattiin mittauskäytössä erillisen suoraan pilvipalveluun mittatietoa siirtävän mittalaitteiston soveltuvuutta vaativiin kotieläinrakennusolosuhteisiin. Mittalaitteistot sijoitettiin suureen yhdistelmäsikalaan.

Maatilojen sähköverkon energiamittaukset olivat haastavia kuten etukäteen arveltiinkin. Maatilojen rakennuksia on rakennettu vuosikymmenien aikana useissa eri vaiheissa, jolloin sähkötöiden ja kaapelointien toteutustavat voivat vaihdella huomattavasti jopa samassa rakennuksessa tilakeskusalueesta puhumattakaan. Onnistunut antureiden asennus vaatii tilan sähkötöistä vastaavan asentajan käyttöä asennuksiin ja sittenkään ei aina ollut varmuutta siitä tunnettiin kaikki laitteet, jotka kohdistivat sähkökuormansa mitattavaan vaiheeseen. Sikalaan sijoitetut mittalaitteet sekä pilvipalvelu toimivat asianmukaisesti. Energiahallintajärjestelmän mittausjärjestelmän tuottamaan tietoaan jouduttiin tekemään analyysivaiheessa muutamia laskennallisia korjauksia, mutta tietoliikenne ja pilvipalvelu toimivat hyvin.

Kaikissa eTU-hankkeen toisen vaiheen tapaustutkimuksissa nousee esiin energiaomavaraisuusnäkökulman kannalta kaksi merkittävää tutkimushaastetta;

- 1 energiakäytön optimoinnin kannalta sopivimman mittauskohteen ja -järjestelyn löytäminen,
- 2 käytetyn energiapanoksen tuotantovasteen ja olosuhdetekijöiden (vuodenaika, kasvukauden vaihe) riippuvuuden todentaminen.

### 3.2.3 ENERGIARESSIT ENERGIAOMAVARAIUUDEEN NÄKÖKULMASTA

Määrittelimme eTU-hankkeessa energiaomavaraisuuden tilanteeksi, jossa maatila tai puutarha tuottaa yhtä paljon energiaa kuin kuluttaa tarkastelujakson aikana. Tarkasteluajanjakson perusteella energiaomavaraisuuden tavoite voidaan saavuttaa; jatkuvana tuotannon hetkelliseen seurantaan perustuvana tarkasteluna, tuotantovaiheen mittaisena tarkasteluna (sesonkikukkien kasvatusta, lihasian kasvatusta) tai erikseen määriteltynä tarkastelujaksona (kalenterivuosi, investoinnin takaisinmaksuaika).

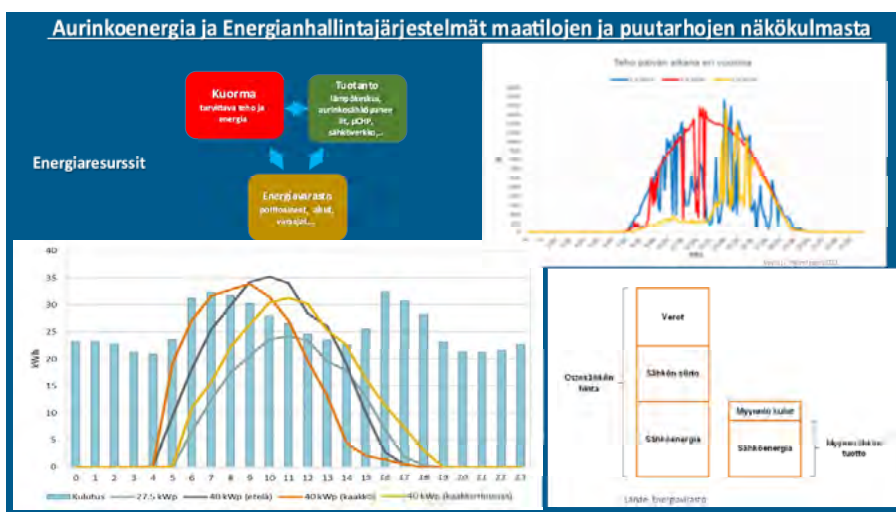
Haasteellisin näistä tarkastelutavoista on hetkelliseen energiakulutuksen ja –tuotannon tasapainoon perustuva energiaomavaraisuustavoite. Energiare-surssit muodostuvat kuormasta, tuotannosta ja energiavarastosta sekä niiden välisistä riippuvuuksista (Kuvio 7). Teoriassa valitsemalla näille kolmelle osa-tekijälle sopivat vaihteluvälit ed. energiaomavaraisuustavoite on mahdollista saavuttaa. Käytännössä niin puutarha- kuin maataloustuotannon järjestäminen tilatasolla on yleensä suunniteltu mahdollisimman halpaan ja varmasti kai-kissa tilanteissa riittävän tehokkaaseen energialähteeseen ja –järjestelmään pohjautuvaksi. Sähköliittymien sulakekoot ja lämmityskattiloiden tehot ovat alun perinkin mitoitettu niin, että ne riittävät suurimmankin kuorman ja ko-vimmankin pakkasen aikaan. Koska kuormien mitoitukseen ja niiden tarpeel-lisuuden arviointiin eri tilanteissa ei ole ollut aikaisemmin merkittävää tarvetta, jatkuvan hetkellisen energiaomavaisuustavoitteen kannalta olennaista oli ensimmäisessä vaiheessa tutkia tuotantoyksikön kokonaisenergiakulutuk-sen jakautumista eri osakuormiin. Nämä osakuormat voisivat mahdollistaa, tuotannon siitä merkittävästi häiriintymättä, tiettyjen toimintojen ajoittamisen uudestaan, jotta energiankulutushuippuja pystytään tasoittamaan ja vastaa-maan sähkömarkkinoiden joustotarpeisiin.



Kuvio 7. Energiare-surssit



Pohdittaessa maatilan sähkön käyttöä 2020-luvun alkupuoliskolla kannattaa kiinnittää huomiota kahteen maatalouden ulkopuoliseen asiaan; sähkömarkkinalainsäädännön uudistamiseen vaikutuksiin sähkön hankinta- ja tuotantosopimuksiin liittyen sekä merkittävästi lisääntyvän sääolosuhteista riippuvaisen uusiutuviin energialähteisiin perustuvaan sähköntuotantoon. Jotta maatala pystyisi vastaamaan sähkömarkkinoiden muuttuviin haasteisiin toiminnallisesti ja taloudellisesti järkevillä tavoilla, on tilatasolla tunnettava sähkökokonaiskulutuksen lisäksi laitteiden ja koneiden käytöstä syntyvä kuormitus ja sen vaihtelut vähintään voimassa olevan sähkösopimuksen mukaisen kulutuksen mittaustavan tarkkuudella. Myös aurinkosähkövoimaloiden tuotantoon liittyvien tekijöiden kohdentaminen tilatasolle (Kuvio 8), kuten säätilasta johtuvan vaihtelun merkitys, aurinkopaneelin suuntauksen merkitys sekä sähkön hankinnan ja myynnin hintaerot.



Kuvio 8. Aurinkosähkövoimalan hankintaan liittyviä tekijöitä, esimerkki eTU-hankkeen seminaari- ja tietokorttimateriaaleista.

eTU-hankkeessa tutkittiin maito-, kana- ja sikatilan sähköenergian kulutuksen vaihteluita tuotantovaiheen ja vuodenajan mukaan. Maitotilalla tutkittiin aurinkosähköjärjestelmän tuottaman energiamäärän ja lypsytarjottilan normaalien toimintojen vaatiman energiamäärän suhdetta tilan arjessa sekä itse navetan että koko maatilan näkökulmasta. Mittaustuloksien pohjalta selvitettiin

mahdollisia vaihtoehtoja siihen, miten maitotila voisi hyödyntää energiahallintajärjestelmää sähköenergian varastointiin, ohjaamaan normaalien toimintojensa vaatimaa sähkökuormaa sekä sähköenergian myyntiin ja ostamiseen jakeluverkkojen kuormituksen sekä ennakoitavan uusiutuvan sähköenergian tuotantovolyymien perusteella (Kuvio 9).

**Aurinkoenergia ja Energiahallintajärjestelmät maatalojen ja puutarhojen näkökulmasta**

- eTUN tutkimuskohteet säädettävien kohteiden osalta (valaistus, jäähdytys, yms.) ;
  - Tuotanto ja sen vaihteluvälit
  - Kulutukset / kuormat ja niiden vaihteluvälit
    - Vuorokauden
    - Vuodenajan
    - Säätilan
    - Tuotannon vaiheen mukaan

Uudistunut sähkömarkkinalainsäädäntö  
Uusiutuvaan energiantuotantoon perustuva sähköjärjestelmä (tuulivoima)  
=> Uudentyyppeissä sähköopimukissa  
Kulutus- ja Tuotantojoustot

- Top to Bottom tarkastelu – energiataseet kohdetasolla (energia oston ja energian (kantajajakeiden) myynti)
- Bottom up tarkastelu - Säädettävyyden pienten kuormien / tuotantojen kautta digitalisaatio

Logos: jamk.fi

Kuvio 9. Lypsyrobottilita sähkökulutus lokakuussa 2020 ja huippukuormien tasoittaminen, esimerkki eTU-hankkeen seminaari ja tietokorttimateriaaleista.

Sähköenergian kulutushuiput voidaan tietyissä tilanteissa tunnistaa sellaisiksi, että niiden ajoitusta voidaan säätää, joko sähkön markkinahinnan mukaan tai mahdollisen maksikuormarajan puitteissa. Nämä mahdollisuudet ovat uusi investointeja suunniteltaessa hyvä tunnistaa, koska niiden vaikutukset investointikustannuksiin jäävät pienemmiksi. Tällöin on mahdollista hyödyntää jo olemassa olevia laitteita ja toimintatapoja. Sellaiset sähköenergian kulutushuiput, joiden siirtämien kokonaiskuorman tasoittamiseksi on hankalaa tai jopa mahdotonta, joudutaan ylittämään energiavarastoja eli akustoja hyödyntäen.

### 3.2.4 TULOSTEN TOTEUTUMINEN HANKKEEN ALKUPERÄISIÄ TAVOITTEITA VASTEN

Toteutuneet tulokset toteuttavat eTU-hankkeen alkuperäisiä tavoitteita hankkeen etenemisvaiheiden mukaan tehtyjen rajausten puitteissa. Tehdyistä rajauksista ja tutkimuksen kohdentamisista sovittiin ohjausryhmän kokouksissa. Merkittävin tallainen valinta oli keskittyminen maatalojen ja puutarhojen sähkön tuotantoon ja käyttöön. Kerätty raakadata sekä muokattu ja analysoitu tietoaaineisto yhdessä tuotetun verkkomateriaalin ja pidettyjen seminaari- ja tapahtumaesitysten kanssa vastaavat hankkeen alkuperäisiin tavoitteisiin. Tietokorttimateriaaleista puuttuu kotieläintilojen energian tuotantoon ja käyttöön liittyvät tietokortit, mutta niihin liittyvä materiaali on mukana julkaisuvaiheessa olevien kahden artikkelin sisällöissä.

### 3.3 ARVIOINTI

Käytännön olosuhteissa suoritettavat energiankulutuksien mittaukset ovat haastavia. Maatiloilla sähkön kulutus- ja tuotantomittaukset joudutaan tekemään haasteellisissa ympäristöissä, jolloin mittausjärjestelyt on suunniteltava huolellisesti ja suojauksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Käytännön olosuhteissa lähtökohtana on mittauskohteen sähköpiirustuksien paikkansa pitävyys. eTU-hankkeen tutkimusten aikanakin jouduttiin useassa tilanteessa miettimään, ”*tiedetäänkö varmasti mitä nyt mitattiin*”, koska kaikki vanhat sähköasennukset eivät ole helposti havaittavissa useaan kertaan uudistetuissa tuotantorakennuksissa. Sähköasennukset teetettiin ostopalveluina sähköasentajille, jolloin sähköasentajien ammattitaito, asenne ja kokonaisuuden ymmärtäminen helpottivat mittausjärjestelyjen tarkoitusten ymmärtämistä.

### 3.4 JULKAISUT

Maataloustieteen Päivät 2020 seminaari- ja posteresitykset- SUOMEN MAATALOUSTIETEELLISEN SEURAN TIEDOTE NO 37 Energiaomavaraisuus maatalan ja maatalouden kehityshaasteena Jyrki Kataja, Arttu Laakso. Säteilyennusteiden ja mittausjärjestelmien käyttö kasvihuoneiden lisävalotuksen käytön optimoinnissa Titta Kotilainen, Juha Näkkilä, Anders Lindfors.

Koronatilanteen vuoksi kesäkuulle siirtyneillä Maataloustieteen päivillä 2022 pidetään seminaariesitys aiheesta – Energiajärjestelmien mahdollisuudet tulevaisuuden älytilan näkökulmasta. Suullisen esityksen abstraktiteksti julkaistaan Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote -sarjassa kuten myös

Petri Kapuisen artikkeli Sähköntuotannon ja -kulutuksen yhteensovittaminen sikalassa – case study (<https://doi.org/10.33354/smst.115741>)

eTU-hankkeeseen liittyen on valmistunut kaksi agrologi (AMK) opinnäytetyötä; Laakso Arttu, Appeen sekoituksen energian optimointi (2019) sekä Taina, Lea, Energiatehokas maatila: Case Väliahon tila. Tätä loppuraportti kirjoitettaessa oli valmisteilla kaksi agrologi (Ylempi-AMK) opinnäytetyötä, joiden aiheet käsittelivät energiamittausten ja eteenkin osakuormien toteutusta ja edustavuutta tilaolosuhteissa sekä maatilaperusteisten virtuaalivoimalaitosten muodostamisen edellytyksiä.

Käsikirjoitusvaiheessa on kaksi artikkelia kotieläintilojen sähkönkulutuksen optimoinnista ja aurinkosähkövoimaloiden hyödyntämisestä.

## 4 TULOSTEN ARVIOINTI

### 4.1 TULOSTEN KÄYTÄNNÖN SOVELLUTUSKELPOISUUS

eTU-hanke tuotti useita ajankohtaisia webinaareja ja materiaalikokonaisuuksia, joista varsinkin aurinkosähkövoimaloiden osalta kiihtyvässä markkinatilanteessa on hyötyä investointeja suunnitteleville maataloille ja puutarhoille. Materiaalit löytyvät osoitteesta [www.ravennejaenergia.fi](http://www.ravennejaenergia.fi). Aurinkosähkövoimaloiden rakentamiseen liittyen eTU-hankkeen tutkimuskohteissa havaittiin merkittäviä, jopa hengenvaarallisia, puutteita, kun esimerkiksi yhteen kohteeseen ei ollut asennettu erotuskytkintä. Aurinkosähkövoimalakohteissa oli myös havaittavissa merkittäviä eroja vaihejännitteiden välillä, joten eTU-hankkeen tulokset nostavat esiin useita käytännön kannalta olennaisia havaintoja, joita sekä suunnittelijat että investoijat voivat hyödyntää. Tällaisia ovat myös sähkökuormien jaksotukseen liittyvät mahdollisuudet sekä ylijännitesuojauksien tarve maatalouden ja puutarhojen laitteiden ja koneiden ohjauksien digitalisoituessa. eTU-hankkeen yhtenä toimenpiteenä kokeiltiin markkinoille hankeaikana tulleen energiahallintajärjestelmän soveltuvuutta maatalouskohteisiin. Toimenpiteen mittaustulokset ovat hyödynnettävissä seuraavia maataloja ja puutarhojen älykkäitä energianhallintajärjestelmiä arvioitaessa. Hankeen tuloksia voidaan hyödyntää pohjamateriaalina suunniteltaessa yksittäisen yrityksen tai yhteisön energialiiketoiminnan kartoituksia kehittyville energiemarkkinoille.

### 4.2 TULOSTEN TIETEELLINEN MERKITYS

eTU-hankkeen toiminta-aikana sattui monia ääri-ilmiöitä niin yhteiskunnan kehityksen kuin vuodenaikojen säätilojenkin suhteen. eTU-hankkeen tuotama tietoaineisto ja tulokset antavat pohjan suunnatuimmille tutkimushankkeille energiatehokkuuden, energiaomavaraisuuden ja energiemarkkinoiden potentiaalın hyötyjen kohdentamiseksi maataloille ja puutarhoille. Tuotettu tietoaineisto ja tulokset kuvaavat toimialan sopeutumista muutoksiin ja toimintaedellytyksien muuttuessa syntyvän vaihtelun merkityksen ymmärtämistä muutosprosesseissa. Tilastollisten keskiarvojen sijaan tietoaineistossa korostuu operatiivisessa päätöksenteossa tarvittava hetkellisten ääri-ilmiöiden vaikutuksien havainnointi ja niiden suhteuttaminen kokonaisuuteen.

Kasvihuoneen valotuksen ohjauksen tulokset sekä sikalan ja navetan pitkäkestoiset energiankulutuksen mittaustulokset ovat tärkeitä avauksia omilla tutkimusalueillaan. eTU-hankkeen tulosten pohjalta tulisi toteuttaa energian käytön optimointiin liittyviä tutkimushakkeita, joilla pystytään pääsemään kiinni energiapanoksien tuotantovasteisiin. Myös mautilojen ja puutarhojen mahdollisuuksia perustaa energiayhteisöjä ja muodostaa niiden tarvitsemia joustavia kuormia, energiavarastoja ja energian tuotantoa kannattaa tutkia tulevaisuudessa pienten maaseutualueiden energiaomavaraisuuden vahvistamiseksi.

## 5 TOIMINTASUOSITUKSET

### 5.1 TIIVISTELMÄ

Sekä maatalojen että puutarhojen riippuvuus ostoenergiasta on lisääntynyt viime vuosikymmeninä systemaattisesti. Tämä kehitys näyttää jatkuvan yksikkökokojen kasvun sekä digitalisaation ja automaation nopean kehittymisen seurauksena, jolloin sähköenergian merkitys tulee korostumaan entisestään.

Maatalojen ja puutarhojen kyky vastata 2020-luvun sähkömarkkinoiden muuttuviin haasteisiin toiminnallisesti ja taloudellisesti järkevillä tavoilla perustuu siihen, että tilatasolla tunnettava sähkön kokonaiskulutuksen lisäksi yksittäisten laitteiden ja koneiden käytöstä syntyvä sähkökuorma ja sen vaihtelut vähintäänkin voimassa olevan sähkösopimuksen mukaisen energiankulutuksen mittaustavan tarkkuudella. Tämä mahdollistaa maataloille ja puutarhoille sähkömarkkinoiden kulutus- ja tuotantojoustopien suunnitelmallisen hyödyntämisen sekä oman hajautetun sähköntuotannon ja -varastoinnin mitoittamisen optimoinnin.

Tutkimusaineisto kerättiin kenttämittauksina kolmelta kotieläintilalta sekä yhdeltä opetusmaatilalta. Lisäksi yksittäisten tuottoprosessien ja niiden vaiheiden osalta tehtiin mittaussarjoja kontrolloiduissa testausympäristöissä.

### 5.2 TOIMINTASUOSITUKSET

Tulosten perusteella esitetään seuraavat suositukset maatalojen ja puutarhojen energianhallinnan kehittämiseksi:

- Hajautettujen ja paikallisten energiayhteisöjen toimintaedellytyksiä olisi kehitettävä ja varmistettava maatalojen ja puutarhojen mahdollisuudet pilottitoiminnan käynnistämiseen ja kehittämiseen.
- Maatalojen ja puutarhojen osallistumismahdollisuuksien turvaaminen sekä itsenäiseen aggregaattoritoimintaan että älykkäiden mikroverkkojen pilotoimiseksi.
- Tulisi käynnistää maatalojen ja puutarhojen energianhallinnan tutkimus- ja kehittämisohjelma, joka mahdollistaisi riippumattoman tiedon tuottamisen hajautetusta energiantuotannosta, -varastoinnista ja -kulutuksesta energiatehokkuuden ja -omavaraisuuden parantamiseksi hyödyntäen AgriHubin viestinnällisiä palveluita.

- Puutarhojen valotuksen ohjattavuuden edistäminen auringon säteilyintensiteetin ja valotuksen tuotantovasteen perusteella tarjoaa säästöpotentiaalia yhdistettynä uusiin valotusteknologioihin.

**Aggregointi** tarkoittaa pienien säätöön kykenevien sähkön tuotanto-, kulutus- ja varastointikohteiden yhdistämistä suuremmiksi kokonaisuuksiksi sähkömarkkina-paikoille tarjottavaksi.

**Itsenäinen aggregaattori** on toimija, joka yhdistää säätöön kykeneviä sähkön tuotanto-, kulutus- ja varastointikohteita ohi perinteisten sähkön toimitusketjujen.

**Älykäs mikrokerkko** on hajautettua sähkön tuotantoa ja kuormaa sisältävä itsenäinen osa yleistä sähköverkkoa, joka pystyy toimimaan saarekkeena ja tulevaisuudessa tarvittaessa irtaantumaan ja liittymään yleiseen sähköverkkoon automaattisesti.



# Kirjoittajat

# KIRJOITTAJAT

## **Jyrki Kataja**

Asiantuntija

Jyväskylän ammattikorkeakoulu

## **Petri Kapuinen**

Tutkija

Luonnonvarakeskus

## **Titta Kotilainen**

Erikoistutkija

Luonnonvarakeskus

## **Janne Keränen**

Erikoistutkija

VTT

## **Ville Korpelainen**

Tuntiopettaja

Peimarin koulutuskuntayhtymä

JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULUN  
JULKAISUJA



**MYynti JA JAKELU**

Jyväskylän ammattikorkeakoulun kirjasto  
PL 207, 40101 Jyväskylä  
Rajakatu 35, 40200 Jyväskylä  
Puh. 040 552 6541  
Sähköposti: [julkaisut@jamk.fi](mailto:julkaisut@jamk.fi)  
[www.jamk.fi/julkaisut](http://www.jamk.fi/julkaisut)

**VERKKOKAUPPA**

[www.tahtijulkaisut.net](http://www.tahtijulkaisut.net)



## **Jyväskylän ammattikorkeakoulu**

PL 207, 40101 Jyväskylä  
Rajakatu 35,  
40200 Jyväskylä  
Puh. +358 20 743 8100  
Fax. +358 14 449 9694

**jamk.fi**

# Jamkin julkaisut tutkittua tietoa sinulle.

Sekä mautilojen että puutarhojen riippuvuus ostoenergiasta on lisääntynyt viimeisten vuosikymmenien aikana. Kehitys näyttää jatkuvan yksikkökokojen kasvun sekä digitalisaation nopean kehittymisen seurauksena. Tämän johtaa sähköenergian merkitys korostumiseen.

Tutkimusaineistoa kerättiin kolmelta kotieläintilalta sekä yhdeltä opetusmaatilalta. Lisäksi yksittäisten tuottoprosessien ja niiden vaiheiden osalta tehtiin mittaussarjoja kontrolloiduissa testausympäristöissä.

Mautilojen ja puutarhojen kyky vastata 2020-luvun sähkömarkkinoiden haasteisiin toiminnallisesti ja taloudellisesti järkevillä tavoilla perustuu siihen, että tilatasolla tunnetaan sähkön kokonaiskulutuksen lisäksi yksittäisten laitteiden käytöstä syntyvä sähkökuorma ja sen vaihtelut sähkösopimuksen energiankulutuksen mittaustavan tarkkuudella. Tämä mahdollistaa myös sähkömarkkinoiden kulutus- ja tuotantojoustojen suunnitelmallisen hyödyntämisen sekä oman hajutetun sähköntuotannon ja -varastoinnin mitoittamisen optimoinnin.

ISBN 978-951-830-659-0

jamk