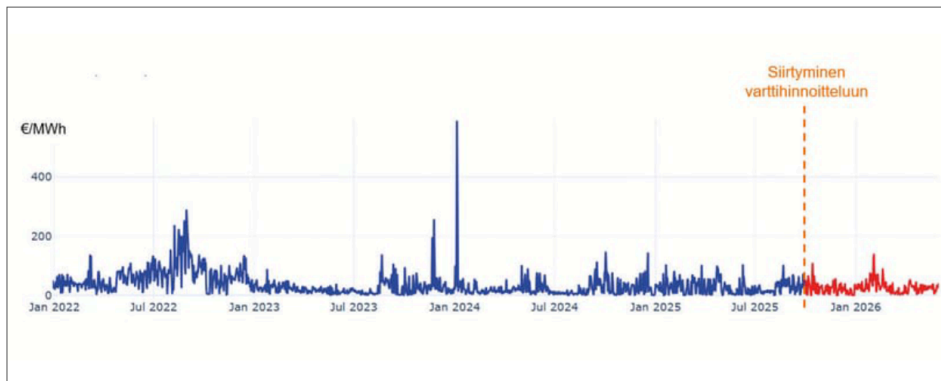




Päivittäinen hinnantvaihtelu ennen ja jälkeen varttihinnoittelua.



Fluorpen-mittari Lepadon tomaattikasvihuoneella.

Varttihinnoittelu avaa valotukseen uusia optimointivaihtoehtoja

Varttihinnoitteluun siirtyminen on muuttanut sähkömarkkinoita aiempaa hienojakoisemmiksi ja tuonut kasvihuonetuotantoon uusia optimointimahdollisuuksia. Luonnonvarakeskuksen ja VTT:n VarttiValo-hanke yhdistää sähkömarkkinadatan, kasvitieteen ja tekoälyn, jotta energian käyttöä voidaan ohjata entistä tarkemmin ilman, että kasvien hyvinvointi vaarantuu.

TEKSTI: ALEXEY SHAPIGUZOV, JONNE POHJANKUKKA, SATU ENGSTRÖM, TUOMO LAINE, TITTA KOTILAINEN, ANNI NIEMI, LUUKAS PERÄKYLÄ JA MATTI ARO

Luonnonvarakeskuksen ja VTT:n yhdessä toteuttaman VarttiValo-projektin tavoitteena on tuottaa uutta tietoa ja työkaluja kasvihuonetuotannon ja joustavien energiajärjestelmien yhteistoiminnan optimoimiseksi. Projektissa yhdistetään sähkömarkkinoiden, kasvitieteellisen tutkimuksen ja tekoälyteknologioiden osaaminen, jotta voidaan vastata sekä kasvihuonetuotannon että modernin sähköjärjestelmän haasteisiin.

Vartti- eli 15 minuutin hinnoitteluun siirtymisen taustalla lokakuussa 2025 on sähköjärjestelmän tarve ylläpitää jatkuvaa tasapainoa sähkön tuotannon ja kulutuksen välillä. Hinnoittelun muutos ei kuitenkaan ole muuttanut sähkön hinnan muodostumisen perusdynamikkaa. Sähkön hintaan vaikuttavat edelleen samat tekijät kuin aiemmin, kuten sääolosuhteet, sähkön kysyntä, tuotantorakenne sekä siirtoyhteyksien käyttöaste.

Lyhyet hintavaihtelut tukevat kasvien tarpeita

Vaikka tilastollinen kokonaisvoilatiteetti ei ole kasvanut vart-

thinnoitteluun siirtymisen jälkeen, markkina on muuttunut aiempaa hienojakoisemmaksi. Tämä tarkoittaa, että aiemmin yhden tuntihinnan alle piiloutunut lyhyen aikavälin hintavaihtelu on nyt näkyvässä, mikä lisää säädettävien kulutuskohdeiden optimointimahdollisuuksia.

Kasvien näkökulmasta nykyisen varttihinnoittelu voi olla jopa aiempaa tuntihinnoittelua parempi, koska siten poikkeamat optimiolosuhteista eivät välttämättä ole niin pitkäkestoisia.

VarttiValo-hankkeessa analysoidun markkinadatan perusteella varttihinnoitteluun siirtymisen jälkeen tunnin sisäinen hintavaihtelu on ollut keskimäärin noin 16 euroa megawattitunnilta. Yli puolessa tunneista tunnin sisäinen hintaero ylitti viisi euroa megawattitunnilta. Tämä voi mahdollistaa valaistuksen aiempaa joustavamman optimoinnin ilman pitkiä poikkeamia kasvien tavoiteolosuhteista.

Pitkät korkean hinnan jaksot yhä haaste

Pitkään kestävät kalliit jaksot, joita koettiin varsinkin alkuvuodes-

ta 2026, ovat sen sijaan erityisen haasteellisia kasvihuonetuottajille. Vaikka varttihinnoittelu tuo uusia mahdollisuuksia kulutuksen ajoittamiseen, lyhytaikainen optimointi ei yksin ratkaise tilannetta, jos korkea hintataso jatkuu useita päiviä peräkkäin.

Vesivarannot ja ydinvoima muovaavat hintatasoa

Suomessa sähkön yleiseen hintatasoon vaikuttaa tuulivoimatuotannon lisäksi pohjoismaisten vesivarantojen tilanne, joka on pitkään jatkuneiden vähäisten sademäärien vuoksi alhaisimmillaan vuosikymmenen. Tämän voidaan olettaa nostavan yleistä hintatasoa tulevana talvena.

Toisaalta Suomessa on paljon toimitusvarmaa ydinvoimatuotantoa, joka hillitsee yleisen hintatason nousua ja vähentää sähkön hintavaihtelua myös päivän sisällä.

Reservimarkkinat tuovat lisätuloja – mutta myös riskejä

Sähkön hintaoptimoinnin lisäksi kasvihuoneet voivat osallistua kantaverkkoyhtiö Fingridin ylläpitämille reservimarkkinoil-

le, joilla viime kädessä varmistetaan välttämätön sähkön tuotannon ja kulutuksen tehotasapaino. Reserveihin osallistuminen mahdollistaa merkittävän lisätulon kasvihuonetuottajille, mutta niihin osallistumalla kasvihuonetuottajat altistavat kasvit äkillisille muutoksille, joiden vaikutusta kasvien hyvinvointiin ei vielä täysin tunneta.

Valjelijöiden valmiudet vaihtelevat

VarttiValo-hankkeen aikana on toteutettu suomalaisille kasvihuonetuottajille suunnattu kysely, jossa muun muassa kerättiin kokemuksia sähkön vaihtelevista hinnoista ja reservimarkkinoille osallistumisesta. Kyselyn perusteella sähkön vaihtelevat hinnat koettiin yleisesti merkittäväksi haasteeksi, mutta vastauksissa oli myös huomattavaa hajontaa – riippuen käytössä olevasta sähkösopimustyylistä sekä siitä, hyödynnettiinkö kasvihuoneautomaation tai kolmansien osapuolten tarjoamia optimointipalveluita.

Mielenkiintoisesti myös näkemykset ”korkeasta” ja ”matalas-

ta” sähkön hinnasta vaihtelivat selvästi toimijoiden välillä, mikä kertoo siitä, että tuotantorakenne, teknologia ja riskinsietokyky vaikuttavat merkittävästi siihen, miten hintavaihtelut koetaan ja miten niihin reagoidaan.

Kyselyn perusteella kasvihuone-etuottajien toimintaympäristö ja valmiudet hyödyntää sähkön hintavaihtelua vaihtelevat merkittävästi, ja kasvihuoneiden joustopotentialiaali on hyvin tapauskohtaista. Sitä ei voida arvioida yksinkertaisilla tunnusluvulla, kuten tuotantopinta-alalla tai asennetulla sähköteholla, vaan se riippuu esimerkiksi viljeltävistä kasveista, käytössä olevasta teknologiasta, tuotannon ohjaustavasta sekä tuottajan vakiintuneista käytännöistä.

Reservimarkkinoille osallistuminen nähtiin vastaajien keskuudessa pääosin vaivattomana ja taloudellisesti kannattavana, mutta viime vuosina laskeneet korvaustasot herättivät epävarmuutta.

Kilpailukyky syntyy myös sähkömarkkinaosaamisesta
Samalla tulokset antavat positiivisen viestin: ala on kiinnostunut kehittämään toimintaansa ja osallistumaan aktiivisesti sähkömarkkinoille. Useat toimijat ovat valmiita pilotoimaan uusia ratkaisuja ja jakamaan dataa tutkimuksen tueksi.

Jatkossa keskeiseksi kysymykseksi nousee, miten monimutkaisesta sähkömarkkinaympäristöstä voidaan tehdä kasvihuone-etuottajille hallittava. Tämä edellyttää paitsi teknologisia ratkaisuja, myös selkeitä palveluita ja työkaluja, joiden avulla päätöksiä voidaan tehdä nopeasti ilman, että kasvien hyvinvointi vaarantuu. Kilpailukyky ei jatkossa synny pelkästään tuotannosta, vaan myös kyvystä toimia osana sähköjärjestelmää ja hyödyntää sen tarjoamia mahdollisuuksia.

Koneoppiminen tuo kasvit mukaan ohjaukseen

Entäpä ne kasvit sitten, miten niiden toimintaa voisi seurata reaaliaikaisesti? Olemme yhdistäneet koneoppimis- ja tekoälyteknikat dataan, jota kerätään kasvien suorituskyvystä ja kasvihuoneilmaston dynamiikasta. Tavoitteena on kehittää valotus- ja ilmastostrategioita energiankäytön ja sadontuotannon optimoimiseksi.

Klorofyllifluoresenssi paljastaa kasvin tilan

Kasvien toiminnan seuraaminen tässä hankkeessa tehtävissä kokeissa ja mittauksissa perustuu keskeisesti klorofyllifluorometriin. Kasvien fotosynteesikoneisto kerää valoenergiaa elektroninsiirtoreaktioita varten, mikä tuottaa biokemiallista energiaa kasville. Osa talteenotetusta valoenergiasta ”vuotaa ulos” klorofyllin fluoresenssina, jonka dynamiikkaa mittaamalla voidaan päätellä fotosynteesitien elektroninsiirtoreaktioiden tehokkuutta.

Yksi lähestymistapamme on niin sanottu nopeasti indusoitu fluorometria, jossa fluoresenssi laukaistaan lyhyillä, noin 1–3 sekunnin valopulsseilla ja tallennetaan erittäin korkealla aikaresoluutiolla, mikrosekunneista millisekunneihin. Tuloksena syntyy vä fluoresenssikuvio, joka tunnetaan nimellä OJIP-kinetiikka, tarjoaa lähes välittömän ”sormenjäljen” useista fotosynteesistä prosesseista. OJIP-kinetiikkaa on tutkittu erilaisissa tutkimusympäristöissä, mutta vastaavia mittauksia suoraan tuotanto-olosuhteissa ei ole juurikaan tutkittu.

Kohti reaaliaikaista optimointia

Teimme HAMK Lepaan tomaattikasvihuoneessa konseptin toimivuuden osoittavia mittauksia. Fluoresenssivastetta mitattiin kuudella OJIP-mittauslaitteella 20 minuutin välein, ja kasvihuoneen ilmastomuuttujia viiden minuutin välein, noin kaksi viikkoa loka- ja joulukuussa 2025 sekä huhtikuussa 2026.

Keskeinen tutkimuskysymys on, pystymmekö koneoppimismenetelmiä soveltamalla tunnistamaan, selittämään ja ennustamaan kasvihuoneen olosuhteiden ja kasvien välistä vuorovaikutusta. Kasvien fluoresenssivaste ja kasvihuoneen ilmastodata (ilmeisesti) korreloivat todennäköisesti jollakin tavalla keskenään.

Ensitulokset paljastavat vuodenaikojen erot

Mutta miten, paljonko ja missä kohdin, on kysymys, johon pyrimme vastaamaan dataan pohjautuvan korrelaatioanalyysin avulla. Lokakuussa myöhäisillan suurempi kokonaisvalomäärä näyttäisi olevan yhteydessä heikompaan yhteyttämisen tehok-

kuuteen. Joulukuussa yhteys havaittiin päinvastaisena: samaan vuorokaudenaikaan suurempi valon määrä oli yhteydessä parempaan yhteyttämisen tehokkuuteen. Lokakuussa kasvit olivat saaneet ”tarpeeksi” valoa jo iltapäivällä-alkuillasta, joten ne käynnistivät fotosynteesin negatiivisen takaisinkytkennän – yksinkertaisesti siksi, että ne olivat tuottaneet tarpeeksi sokereita kyseiselle päivälle. Joulukuussa, luonnonvalon ollessa olematon, kasvit tarvitsivat lisää valoa, mikä teki sen käytöstä päivän lopussa tehokkaampaa.

Tulokset paljastivat dynaamisia, vuodenaikojen riippuvia suhteita päivä–yö-sykleissä ja tuke-

vat nopean valopulssin ja klorofyllifluoresenssin vastemittauksen käyttöä kasvien reaaliaikaiseen fysiologiseen seurantaan. Tulosten analysointi ja tarkentavat mittaukset Luken Piikkiön kasvihuoneilla jatkuvat.

Shapiguzov, Pohjankukka, Engström, Laine ja Kotilainen työskentelevät Luonnonvarakeskuksessa, Niemi, Peräkyliä ja Aro VTT:llä.

Hankkeen päärahoittaja on Business Finland. Yrityksistä mukana hankkeessa ovat Kaukora, Nanea, Summa Energy (Meriaura Energy), Sympower sekä Valoya. Hanketta tukevat lisäksi Puutarhasäätiö ja Sähköteknikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus STEK ry. Mittauskampanjat Lepaalla, kiitos hienosta yhteistyöstä: Eija Lankinen, Craig Brelsford, Thao Vu ja Keijo Juntunen.

Dynaaminen valaistus tuo säästöjä kasvihuoneeseen

Metropolia amk:n UrbanFarmLab-tutkimusallustalla toteutettiin dynaamisen valotuksen ohjaamiseen järjestelmä, joka optimoi vuorokauden aikana annettavan valotuksen mahdollisimman kustannustehokkaaksi.

Järjestelmä koostuu optimointialgoritista, laskentalaitteesta ja Siemensin logiikkaohjaimesta, joka ohjaa haluttua määrää valaistusryhmiä. Jokaiselle ryhmälle voidaan asettaa omat parametrinsa, kuten toivottu päivittäinen valokertymä tai vähimmäisvalotasot. Järjestelmässä voidaan myös asettaa lähes rajaton määrä omia valaistusasetuksia jokaiselle LED-valaisimen kanavalle suoraan Excel-taulukosta. Sille on myös kehitetty oma käyttöliittymänsä, joka toimii kosketusnäytön kautta.

Optimointialgoritmi noutaa sähkön hintatiedot NordPool-sähköpörssistä, jonka ohjelmointirajapintaa (API) algoritmi käyttää sähkön spotihintojen hakemiseen seuraavan 24 tunnin ajalle. Tämän jälkeen algoritmi laskee optimaalisen valotusaiakataulun huomioiden käyttäjän määrittämät raja-arvot. Käyttäjän tehtäväksi jää määrittää tavoitellun valosäteilyn vuorokausittainen kokonaismäärä (DLI, daily light integral), valotustehon minimi- ja maksimi-arvot sekä valojakson pituus.

Käyttäjän määrittämiä parametreja hallitaan suoraan tietokoneelta. Käyttäjän ja logiikkaohjaimen välillä toimii laskentalaitte, joka laskee jokaiselle päivälle valoreseptin algoritmin ja asetettujen rajojen mukaisesti ja välittää sen logiikkaohjaimelle. Ohjaimeen liitetyt analogiamoduulit ja digitaaliset DALI-moduulit puolestaan ohjaavat LED-valaisimien omien virtalähteiden himmennystä sekä käynnistystä ja sammutusta.

Ohjausjärjestelmä on nyt tutkimuskäytössä Luonnonvarakeskuksen Piikkiön toimipisteessä sekä VTT:n Älykkään energian laboratoriossa Otaniemessä. Lukessa järjestelmää käytetään tutkimuksessa, jossa selvitetään dynaamisen valotuksen vaikutuksia kasvihuonevihannesten kasvuun ja kehitykseen. Ohjausjärjestelmää on tarkoitus vielä kehittää edelleen esimerkiksi liittämällä optimointialgoritmin lähtötietoihin tiedot historiallisesti toteutuneesta valosummasta, tulevasta sääennusteesta ja pörssisähkön hinnan pidemmän aikavälin hintaennusteesta.

ANTTI TAPONEN, ANDREA PATANÉ JA ELLI KOSKELA

Taponen toimii Metropolia AMK:n UrbanFarmLab-tutkimusallustan IT-insinöörinä ja toteutti ohjausjärjestelmän osana opinnäytetyötään. Patané on ympäristötekniikan insinööri ja toimii UrbanFarmLab-allustalla projektipäällikkönä. Koskela toimii UrbanFarmLabin tutkijatohtorina.