

Rahoittajat mahdollistivat tämän työn



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin

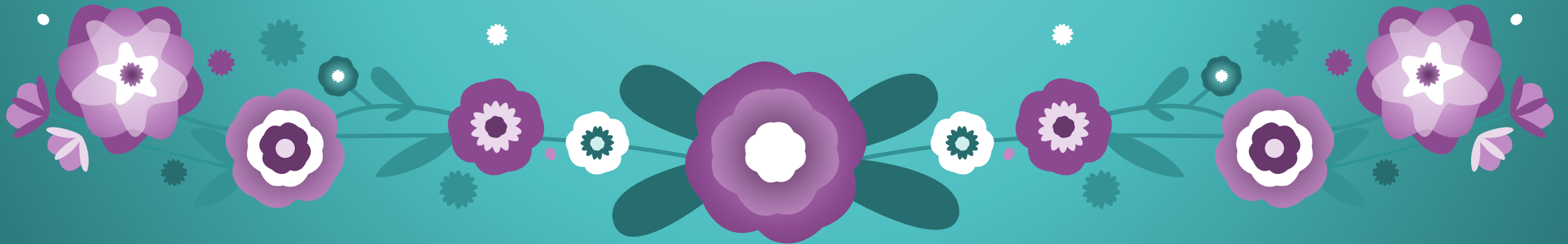


MAASEUTU 2020

Valotuksen ja muun sähkön käytön kustannus kerrosviljelyssä

Mika Järvinen

mika.jarvinen@hamk.fi



Fotosynteettisesti aktiivisen valon mittaaminen, 400 – 700 nm

PPF = Photosynthetic photon flux

- PPF:n yksikkö on $\mu\text{mol/s}$ eli mikromoolia sekunnissa
- Valaisinten tehokuutta yhteyttämisvalotuksessa voi verrata kuinka paljon valoa saadaan yhden W:n teholla
- Valaisimen valoteho $\mu\text{mol/s}$ jaetaan valaisimen valoteholla W = $\mu\text{mol/s/W}$

PPFD = Photosynthetic photon flux density

- PPFD:n yksikkö on $\mu\text{mol/s/m}^2$ eli mikromoolia sekunnissa per neliömetri

DIL Daily light integral

- $DIL \text{ mol/m}^2/\text{d} = 0,0036 \text{ PPFD} \times \mu\text{mol/m}^2/\text{s} \times \text{Light hours}$
- “In growth chambers, values between 10 and 30 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ are most common.”
https://en.wikipedia.org/wiki/Daily_light_integral

Asennusteho ja sähkön kulutus 1,2 · 3,0 m:n viljelyalalla, tavoitevalotas 150 μmol/m²/s

- Valaisimia on asennettu 10 kpl ja yksittäisen valaisimen teho on 27 W, eli yhden pöydän tehontarve on 270 W
- Yhden pöydän pinta-ala on 3,6 m²
- Asennusteho on $270 \text{ W} \div 3,6 \text{ m}^2 = 75 \text{ W/m}^2$
- Salaatin valotusaika vaihtelee kerrosviljelyssä tyypillisesti 16 – 20 h/vrk välillä, kasvihuoneviljelyssä on salaatilla käytetty myös 24 h/vrk valotusta
- Vuodessa tarvitaan sähköä; $75 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 16 \frac{\text{h}}{\text{vrk}} \times 365 \frac{\text{vrk}}{\text{v}} = 438\,000 \frac{\text{Wh}}{\text{v}} = 438 \frac{\text{kWh}}{\text{v}}$ tai $75 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 20 \frac{\text{h}}{\text{vrk}} \times 365 \frac{\text{vrk}}{\text{v}} = 547\,500 \frac{\text{Wh}}{\text{v}} = 547,5 \text{ kWh/v}$ tai $75 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{vrk}} \times 365 \frac{\text{vrk}}{\text{v}} = 657\,000 \frac{\text{Wh}}{\text{v}} = 657 \text{ kWh/v}$
- Esimerkin luvulla valotussähkön tarve vaihtelee 438 – 657 kWh/m²/v valotusajasta riippuen

Asennusteho ja sähkön kulutus 8,0 · 12,0 m:n viljelyalan, tavoitevalotas 150 μmol/m²/s

- Valaisimia on asennettu 246 kpl ja yksittäisen valaisimen teho on 27 W, eli yhden tason tehontarve on 6 642 W
- Yhden tason pinta-ala on 96 m²
- Asennusteho on $6\,642\text{ W} \div 96\text{ m}^2 = 69\text{ W/m}^2$
- Salaatin valotusaika vaihtelee kerrosviljelyssä tyypillisesti 16 – 20 h/vrk välillä, kasvihuoneviljelyssä on salaatilla käytetty myös 24 h/vrk valotusta
- Vuodessa tarvitaan sähköä; $69 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 16 \frac{\text{h}}{\text{vrk}} \times 365 \frac{\text{vrk}}{\text{v}} = 402\,960 \frac{\text{Wh}}{\text{v}} = 403 \frac{\text{kWh}}{\text{v}}$ tai $69 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 20 \frac{\text{h}}{\text{vrk}} \times 365 \frac{\text{vrk}}{\text{v}} = 503\,700 \frac{\text{Wh}}{\text{v}} = 503,7 \frac{\text{kWh}}{\text{v}}$ tai $69 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{vrk}} \times 365 \frac{\text{vrk}}{\text{v}} = 604\,440 \frac{\text{Wh}}{\text{v}} = 604,4 \frac{\text{kWh}}{\text{v}}$
- Esimerkin luvulla valotussähkön tarve vaihtelee 403 – 604 kWh/m²/v valotusajasta riippuen

Jäähdytykseen tarvittava teho

- Joka tapauksessa $> 95 \%$ viljelmän käyttämästä sähköstä muuttuu lämmöksi
- Ulkovaipan läpi poistuva energian määrä on varsin pieni
- Alankomaiden Venlossa on koelaitoksessa havaittu muun sähkön käytön olevan noin 50% valotuksen sähkön käytöstä
- Jäähdytyksen sähkönkäyttöä voi arvioida myös ESEER:n avulla, [EER & ESEER explainede](#), kyseessä on vain yksi osa arviointia, olosuhteet ovat erilaiset kerrosviljelyssä, kuin ESEER mittauksessa, lisäksi tarvitaan energiaa erilaisten laitteiden käyttöön
- Osakassa muuhun, kuin valotukseen meni energiaa suunnilleen sama määrä, kuin valotukseen (Yokohama, 2019). Tässä esimerkissä kerroin on siis noin kaksi

Tarkennettu esimerkki Osakasta

Yokoyama, R. 2019. Plant Factory Using Artificial Light

| Energian käyttötarkoitus | Kulutus kWh/kerä |
|---------------------------|------------------|
| Valotus | 1,044 |
| Ilmastointi lämpöpumpulla | 0,675 |
| Tuotantolaitos | 0,262 |
| Yhteensä | 1,981 |

- Lähteessä ei ole mainittu tuotetun salaatin kokoa
- Muuta sähköä tarvitaan tässä esimerkissä 89,7 % valaisimien kulutuksesta

Primäärienergian tarve

Yokoyama, R. 2019. Plant Factory Using Artificial Light

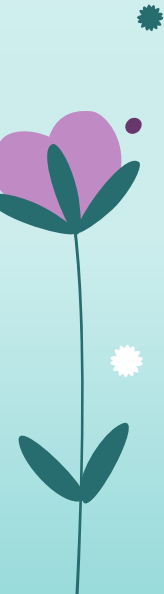
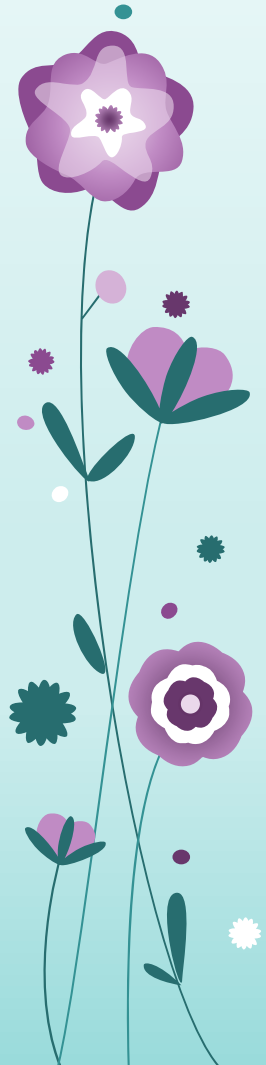
- Ihmisen aineenvaihdunnan taso on 0,112 kWh/h
- Jotta yllä oleva energia saadaan sitoutumaan salaatteihin sähköä tarvitaan 1,670 kWh/h LED valoihin + 1,080 kWh/h + 0,419 kWh/h eli yhteensä 3,169 kWh/h
- Jotta sähköverkkoon saadaan 3,169 kWh/h primäärienergiaa tarvitaan 8,588 kWh/h
- Oletuksena on käytetty sähköverkosta ostettavaa sähköä ja muuntamisen tehokkuus on 0,369 tai vastaavasti sähkön primäärienergiaksi muuntamisen kerroin on 2,71 kWh/kWh
- Kerrosviljelyssä energian tarve on 76 kertaa suurempi kuin ihmisen aineenvaihdunnan taso

Pohdiskelua yllä olevista luvuista

- Ihmisen energian tarve vaihtelee noin 8 – 13 MJ/vrk, iästä, sukupuolesta ja aktiivisuudesta riippuen
- Jos esimerkkilukuna käytetään 10 MJ/vrk, tehon tarve on 0,115 kW/h
- Edellisessä diassa olevilla luvuilla primäärienergian tarve on 8,588 kWh/
- $8,588 \text{ kW} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{vrk}} \times 365 \frac{\text{vrk}}{\text{v}} = 75\,230,88 \text{ kWh}$
- $1,635 \text{ kg} - \frac{\text{CO}_2}{\text{h}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{vrk}} \times 365 \frac{\text{vrk}}{\text{v}} = 14\,322,6 \text{ kg} - \text{CO}_2$
- Suomen sähkön tuotannon rakenne on erilainen ja kylmä ilmasto vähentää jäähdytyksen tarvetta

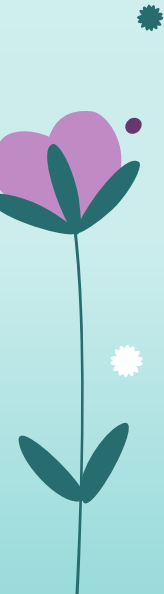
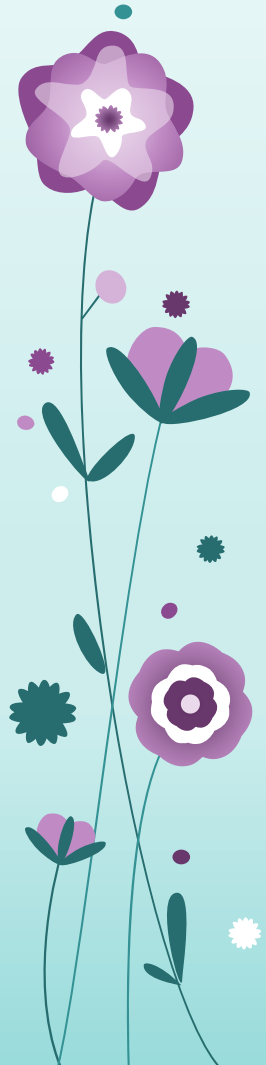
Sähkön tarve vähintään

- Sähköä tarvitaan valotukseen noin $400 \text{ kWh/m}^2/\text{v}$ ja mikäli oletetaan muun käytön olevan 50 % tästä, kokonaiskulutus on noin $600 \text{ kWh/m}^2/\text{v}$
- Tämä siis salaatinviljelyssä varsin maltillisella valotasolla
- Luku on yhdessä kerroksessa olevaa viljelyneliötä kohden, jos kerroksia on 4, luku luonnollisesti kerrotaan neljällä



Sähkön tarve korkeintaan

- Korkeaa valotasoa vaativilla kasveilla kurkku, tomaatti ja vaikkapa hamppu kasvu paranee huomattavasti ainakin yli 400 – 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ asti, saturaatiopiste tomaatilla esim. 800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
<https://www.enlitehorti.com/the-light-intensity-required-for-tomatoes.html>



Aurinkopaneelit, olisiko ratkaisu energiakysymykseen?

Vuosituotannon määrä;

- Seuraavassa muutamia esimerkkejä vuosituotannosta;
- Wp = kuvaa paneelien tuottoa 25 °C lämpötilassa ja auringon säteilyn ollessa 1 kW/m²
- Käytännössä 1 kWp tuottaa Etelä-Suomessa 850 kWh, mikäli paneelit on suunnattu etelään KULUTTAJA
- Aurinkopaneelit Suomessa - Kannattaako?, 12 paneelia, 3,3 kWp, vuosituotanto oli 2679 kWh eli 811 kWh/v/kWp/
- Aurinkosähköjärjestelmien mitoitus ja tuoton arviointi, 700 – 900 kWh/v/kWp

Kuinka paljon paneelipinta-alaa tarvitaan, jotta sähkö saadaan kokonaan paneeleista?

- Yllä olevilla luvuilla sähkön minimitarve näyttäisi olevan 600 kWh/viljelyneliömerti/v
- Mikäli 1 kWp:n paneeleista saadaan sähköä 800 kWh/v yhden neliömetrin viljelyyn tarvitaan $\frac{\frac{600 \text{ kWh}}{v}}{\frac{800}{v} \text{ kWh}} = 0,75 \text{ kWp}$
- Jotta paneeleista saadaan tarvittava sähkömäärä yhdelle viljelyneliömetrille paneeleita tarvitaan vähintään 0,75 kWp
- [Esite](#), linkin aurinkopaneeli teho on 0,38 kWp ja pinta-ala 1,824 m², jotta vuoden koko sähkön tarve saadaan tase tasolla tyydytettyä paneeleita tarvitaan 3,6 m²
- Koska sähkön pitkäaikaiseen varastointiin ei ole taloudellista ratkaisua joudutaan sähkö sekä myymään että ostamaan tilanteesta riippuen

Auringon säteilyn jakautuminen kuukausittain

Lähteenä; [Ilmastollinen vertailukausi 1981 - 20210](#)

| Kuukausi | Kokonaissäteily MJ/m ² Jokioinen | % vuoden kokonaissäteilystä |
|----------|--|--------------------------------|
| 1 | 29 | 0,9 % |
| 2 | 91 | 2,7 % |
| 3 | 234 | 7,1 % |
| 4 | 393 | 11,9 % |
| 5 | 556 | 16,8 % |
| 6 | 582 | 17,5 % |
| 7 | 584 | 17,6 % |
| 8 | 435 | 13,1 % |
| 9 | 252 | 7,6 % |
| 10 | 109 | 3,2 % |
| 11 | 34 | 1,0 % |
| 12 | 16 | 0,5 % |
| Yhteensä | 3 315 | 99,9 % |

Miten aurinkopaneelien tuottamaa sähköä voidaan hyödyntää kerrosviljelyssä ?

- Valotuksen sähkötarve on vuodenajasta ja ulkona vallitsevasta päivänpituudesta riippumaton
- Mitä pienemmällä säteilyn intensiteetillä saavutetaan tarvittava DIL (Daily light integral), sitä pienemmällä investoinnilla LED- valaisimiin päästään, aina pitää huomioida kasvien päivänpituusvaatimukset
- Esimerkiksi salaatin viljelyssä voitaisiin käyttää 16 tunnin valotusaikaa
- Aurinkopaneeleista saatava sähkön tuotantokäyrä ei kohtaa valotuksen sähkön tarvetta joka on sama esimerkiksi 16 tunnin ajan joka päivä vuodenajasta riippumatta
- Jäähdytykseen käytettävää sähköä tarvitaan enemmän aurinkoisina ja lämpiminä päivinä kuin pakkasjaksoilla

Sähkön hinta

<https://www.nordpoolgroup.com/>

- Nord Pool hinnat **eivät sisällä** välittäjän palkkiota, sähköveroa eikä arvonlisäveroa
- Kuukausihinnat vuodelta 2021 Suomen hinta-alueella ovat; huhtikuu 36,76 €/ MWh, toukokuu 45,96 €/ MWh, kesäkuu, 56,16 €/MWh, 78,76 €/ MWh ja elokuu 68,2 €/ MWh
- Vuonna 2019 Suomen hinta-alueen keskihinta oli 44,04 €/ MWh ja vuonna 2020 28,02 €/ MWh
- Esimerkiksi 7.12. 2021 vuorokausihinta oli 469 €/MWh
- Esimerkiksi 6.9. 2021 eri alueiden välillä on huomattavia hintaeroja, esim. NO3 ja NO4 hinta on 49,80 €/ MWh ja DK1 127,82 €/ MWh
- ELFi, Sähkön hintaan vaikuttaa mm. vesivarastotilanne, tuulivoiman määrä ja polttoaineiden hinta. Parantuvat siirtoyhteydet aiheuttavat sähkön kallistumista Suomessa.

Sähkön käytön kustannukset

HML 100 m² 600 kWh/²/v, Sähkönsiirto Elenia 1.5. 2021 ja,
Sähköenergia Vaasan Sähkö Oy 9/2021

| Kustannus | Käyttömäärä | Yksikköhinta alv 0 % | Yhteensä €/v alv 0 % |
|-------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Sulakemaksu 3 x 25A | 12 kk/v | 15,86 €/kk | 190,32 |
| Siirto | 60 000 kWh/v | 4,2 s/kWh | 2 520,00 |
| Sähkövero | 60 000 kWh/v | 2,253 | 1 351,80 |
| Sähköenergia | 60 000 kWh/v | 4,38 s/kWh | 2 628,00 |
| Sähköenergia perusmaksu | 12 kk/v | 2,82 €/kk | 33,84 |
| Yhteensä | | | 6 723,16 |
| c/kWh keskimäärin | | | 11,2 c/kWh |

Sähkövero

Alempaa veroa (II-veroluokka) maksetaan teollisuudessa, konesaleissa tai ammattimaisessa kasvihuoneviljelyssä käytettävästä sähköstä. (Verohallinto, 2020.)
Kerrosviljelystä joudutaan maksamaan I- veroluokan vero

Yksinkertaistettu taulukko kokonaisluvulla - sähkön hinta 11,6 c/kWh alv 0 %

| $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ | mol/vrk | kWh/v | €/v |
|-------------------------------------|---------|-------|-----|
| 150 | 8 | 600 | 70 |
| 300 | 16 | 1200 | 140 |
| 450 | 32 | 1800 | 210 |
| 600 | 64 | 2400 | 280 |

Yksinkertaistettu taulukko kokonaisluvulla - sähkön hinta 16,7 c/kWh alv 0 %

| $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ | mol/vrk | kWh/v | €/v |
|-------------------------------------|---------|-------|-----|
| 150 | 8 | 600 | 100 |
| 300 | 16 | 1200 | 200 |
| 450 | 32 | 1800 | 300 |
| 600 | 64 | 2400 | 400 |

Pohdiskelu

- Laskennassa aiheuttaa suurta epävarmuutta Nord Pool- hintakehitys, sekä eri lähteissä mainitut hyvinkin toisistaan poikkeavat arvioit muun, kuin valotuskäytön sähkönkäytöstä
- Ulkopuolisen ilmaston vaikutusta kirjallisuudessa esitettyihin lukuihin ei voi suoraan arvioida
- Laskelmat on tehty kulutus maltilliseksi arvioiden ja sähkön hintana on käytetty kohtuulliseen hintatasoon kiinnitettyä sähkön hintaa
- Edellisessä taulukossa sähkön käytön kustannuksena esitetty 70 – 280 €/m²/v on merkittävä viljelykustannus, mikäli kerroksia on useita – esimerkiksi 4 – kustannus pitää kertoa tällä luvulla

KIITOS

mika.jarvinen@hamk.fi



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



MAASEUTU 2020