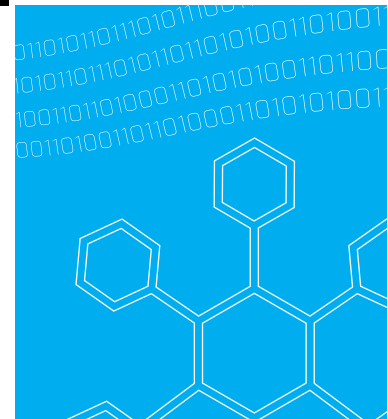




Tulisijojen lämmönluovutus ja hyötysuhteet erilaisissa käyttötapauksissa

Pekka Tuomaala | Ari Laitinen | Mikko Virtanen



Tulisijojen lämmönluovutus ja hyötysuhteet erilaisissa käyttötapauksissa

Pekka Tuomaala, Ari Laitinen & Mikko Virtanen



ISBN 978-951-38-8182-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

VTT Technology 191

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)

Copyright © VTT 2014

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT

PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT

PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)

FI-02044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland

P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Esipuhe

Energiankulutuksen vähentämiseksi vuoteen 2020 mennessä on EU-tasolla tehty ja tekeillä toimenpiteitä, jotka vaikuttavat rakennussektorilla kokonaisvaltaisesti sekä rakennustuotteisiin että rakentamiseen. Lähivuosina tulisijoja koskevia määräyksiä on tulossa ekosuunnitteluun ja tuotemerkintään sekä uusiutuvien energialähteiden käytön edistämiseen liittyen. Lisäksi valmisteilla on tulisijojakin koskevat vaatimukset mm. hyötysuhteen ja päästöjen sekä energialuokituksen osalta (Ecodesign and Labelling LOT 20, alustavasti käyttöön vuonna 2018).

Kansallisten rakentamismääräysten kehitystyön pohjaksi tarvitaan yhdessä tulisija-alan toimijoiden kanssa tutkimushanke, jossa arvioidaan luotettavilla menetelmillä kytkettyjen tulisijojen toimivuutta erityisesti pientaloissa. Tämän projektin tavoitteina on ollut selvittää varaavien tulisijojen mahdollisuuksia hyödyntää uusiutuvaa energiaa pientaloissa ja määrittää reunaehdot tälle hyödyntämiselle. Projektissa on selvitetty varaavien tulisijojen käytön ja energiatehokkuudeltaan eritasoisten rakenteiden vaikutusta tulisijan lämmitystehokkuuteen ja lämmityshyötysuhteeseen niin, että tulisijat voidaan huomioida aikaisempaa paremmin ja luotettavammin tulevaisuudessa kansallisissa energiamääräyksissä.

Projektin on rahoittanut Tekes (EAKR-rahoitus) sekä Tulisija- ja savupiippuyhdistys TSY ry, Turun Uunisepät Oy, Tulikivi Oyj, Suomen Tiiliteollisuusliitto r.y. ja Nunnauuni Oy. Projektin toteutuksesta on vastannut Teknologian tutkimuskeskus VTT, ja ohjausryhmätyöskentelyyn ovat osallistuneet Onni Ovaskainen (pj., Tulikivi Oyj), Pekka Kalliomäki (ympäristöministeriö), Johannes Uusitalo (Nunnauuni Oy), Mervi Sihvonen (Turun Uunisepät Oy), Juhani Jyrkiäinen (Tulisija- ja savupiippuyhdistys TSY ry) ja Raimo Pohjola (Suomen Tiiliteollisuusliitto).

Espoo, 30.9.2014

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
Symboliluettelo	6
1. Projektin tausta ja tavoitteet	8
2. Tulisijojen määritelmiä	10
2.1 Varaava tulisija	10
2.2 Kamiina.....	10
1.1 Tulisijojen luokittelu.....	11
3. Tulisijojen hyötysuhde	12
3.1 Tulisijan lämmöntuotto	12
3.2 Tulisijan kokonaishyötysuhde.....	13
3.2.1 Kokonaishyötysuhteen yksinkertainen laskentamenetelmä	13
3.2.2 Kokonaishyötysuhteen määrittäminen simuloimalla	14
3.2.3 Lämpöolosuhteet	15
4. Käytetyt menetelmät	17
4.1 Analyyseissä käytetty laskentatyökalu	17
4.2 Laskennassa tarvittavat lähtötiedot.....	17
4.3 Laskentatyökalun verifiointi	17
5. Laskentatapausten reunaehtojen kuvaus	19
5.1 Tulisijat.....	19
5.2 Rakennukset	24
5.2.1 Erillinen pientalo, uudisrakennus	25
5.3 Rakennuksen lämmitysenergian tarve	27
5.3.1 Erillinen pientalo, korjauskohde	27
5.4 Rakennuksen lämmitysenergian tarve	30
5.5 Muut laskennassa käytetyt reunaehdot.....	30
6. Keskeiset tulokset	32
6.1 1-kerroksinen vanha rakennus	33
6.1.1 Lämpöolosuhteet	33

6.1.2	Tulisijojen nettolämmöntuotto, osuus lämmöntarpeesta ja puunkäyttö.....	35
6.1.3	Tulisijojen käyttökerrat ja panoskoot	38
6.2	1-kerroksinen peruskorjattu rakennus.....	40
6.2.1	Lämpöolosuhteet	41
6.2.2	Tulisijojen nettolämmöntuotto, osuus lämmöntarpeesta ja puunkäyttö.....	43
6.2.3	Tulisijojen käyttökerrat ja panoskoot	46
6.3	2-kerroksinen uusi rakennus	48
6.3.1	Lämpöolosuhteet	49
6.3.2	Tulisijojen nettolämmöntuotto, osuus lämmöntarpeesta ja puunkäyttö.....	50
6.3.3	Tulisijojen käyttökerrat ja panoskoot	53
6.4	2-kerroksinen passiivirakennus	56
6.4.1	Lämpöolosuhteet	56
6.4.2	Tulisijojen nettolämmöntuotto, osuus lämmöntarpeesta ja puunkäyttö.....	58
6.4.3	Tulisijojen käyttökerrat ja panoskoot	62
6.4.4	Yhteenveto nettotuotoista, lämmönluovutuksen hyötysuhteista ja puunkäytöstä.....	65
7.	Päätelmät.....	69
8.	Tulosten soveltaminen.....	72
	Lähdeluettelo.....	73

Liitteet:

Liite A: Lämpöolosuhteet

Liite B: Lämmityksen kokonaisenergiankulutukset ja tulisijojen nettotuotot

Liite C: Tulisijojen lämmönjaon hyötysuhteet

Liite D: Lämmön leviäminen

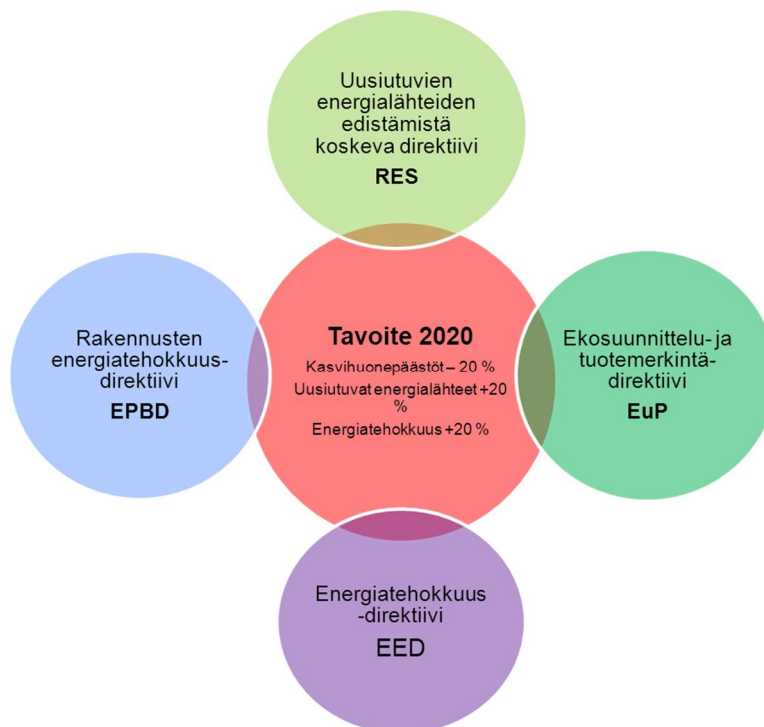
Symboliluettelo

q	Logaritmi-normaali-jakauman avulla estimoitu dimensioton lämmitysteho [-]
t	Logaritmi-normaali-jakauman ajanhetki polton alusta [h]
t_{50}	Logaritmi-normaali-jakauman parametri, joka kuvaa sitä aikaa minkä kuluessa tulisija on luovuttanut ympäröivään tilaan puolet poltetun puupanoksen sisältämästä nettolämpöenergiasta [h]
σ	Logaritmi-normaali-jakauman parametri, joka kuvaa jakauman hajontaa [-]
$t_{100\%}$	Se aika puupanoksen polton alusta, jolloin tulisijan tilaan luovuttama lämmitysteho on suurimmillaan [h]
$t_{50\%}$	Se aika puupanoksen polton alusta, jolloin tulisijan tilaan luovuttama lämmitysteho on puolet maksimista [h]
$t_{25\%}$	Se aika puupanoksen polton alusta, jolloin tulisijan tilaan luovuttama lämmitysteho on neljäsosa maksimista [h]
$Q_{\text{muu tuotto}}$	Tulisijalla tuotettu lämpöenergia [kWh/a]
$Q_{\text{tulisija,pa}}$	Tulisijaan polttoaineena viety energia [kWh/a]
η_{tulisija}	Tulisijan kokonaishyötysuhde [-]
$\eta_{\text{palaminen}}$	Tulisijan palamishyötysuhde [-]
$\eta_{\text{lämmönlouutus}}$	Tulisijan lämmönlouutuksen hyötysuhde [-]
$\eta_{\text{palaminen}}$	Tulisijan CE-merkinnän mukainen hyötysuhde [-]

$\eta_{\text{lämmitys}}$	Lämmityksen hyötysuhde, joka ottaa huomioon huoneen lämpötilanousun aiheuttaman lämpöhäviön [-]
$\eta_{\text{kerrostuma}}$	Hyötysuhde, joka ottaa huomioon huoneilman pystysuuntaisen kerrostuman aiheuttaman lämpöhäviön [-]
η_{rakenne}	Hyötysuhde, joka ottaa huomioon rakennuksen vaipan läpi suoraan ulos suuntautuvat lämpöhäviöt [-]
$\eta_{\text{lämmitys}}$	Tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhde [-]
Q_{ref}	Rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus ilman tulisijaa [kWh]
Q_{tulisija}	Rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus tulisijan kanssa [kWh]
$Q_{\text{polttoaine}}$	Tulisijaan viety puun lämpömäärä [kWh]
$\eta_{\text{palaminen}}$	Tulisijan palamishyötysuhde [-]

1. Projektin tausta ja tavoitteet

Energiankulutuksen vähentämiseksi vuoteen 2020 mennessä on EU-tasolla tehty ja tekeillä toimenpiteitä, jotka vaikuttavat rakennussektorilla kokonaisvaltaisesti sekä rakennustuotteisiin että rakentamiseen (kuva 1). Lähivuosina tulisi koskevia määräyksiä on tulossa ekosuunnitteluun ja tuotemerkintään sekä uusiutuvien energialähteiden käytön edistämiseen liittyen. Lisäksi valmisteilla on tulisi koskevat vaatimukset mm. hyötysuhteen ja päästöjen sekä energialuokituksen osalta (Ecodesign and Labelling LOT 20, alustavasti käyttöön vuonna 2018).



Kuva 1. Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen ja uusiutuvien energialähteiden edistämistoimet EU:ssa.

Vuoden 2012 kesällä voimaan tulleessa Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 Rakennusten energiatehokkuus määräyksissä rakennuksen vaatimuksen mukaisuuden osoittamisessa laskettaessa rakennuksen kokonaisenergiälukua (E-luku) on määritelty varaavien tulisijojen tilaan saatavaksi lämmitysenergiaksi korkeintaan 2000 kWh vuodessa tulisijaa kohden (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3, 2012). Vastaavasti Rakentamismääräyskokoelman D5 varaavien tulisijojen kokonaisvuosihyötysuhteena luovutuksesta ostoenergiaan ohjeistetaan käyttämään arvoa 0,60 ellei tarkempia tietoja ole (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5, 2012).

Varaaville tulisijoille on olemassa standardi (SFS-EN 15250), jossa esitetään vähimmäisvaatimukset ja testaus- sekä laskentamenetelmät mm. palamishyötysuhteelle ja lämmönluovutustehon aikakuvaajan määrittämiselle. Lämmitysjärjestelmään kytkettyjen tulisijojen tuoton ja hyötysuhteen määrittämiseen on olemassa revisioehdotus standardista EN 15250, jonka pohjalta on mahdollista käsitellä lämmitysjärjestelmiin kytkettyjä tulisijoja rajatusti E-luvun laskennan osalta.

Vaikka polttopuuta käytetään vuosittain pientaloissa 6,7 miljoonaa kuutiometriä, mikä on 15 TWh ja noin 40 % pientalojen lämmitysenergian tarpeesta (Torvelainen 2009), ei varaavien tulisijojen rakennustason käytettävyydestä ole tehty systemaattisia analyysejä. Tämän takia kansallisten rakentamismääräysten kehitystyön pohjaksi tarvitaan tutkimushanke yhdessä tulisija-alan toimijoiden kanssa, jossa arvioidaan luotettavilla menetelmillä kytkettyjen tulisijojen toimivuutta erityisesti pientaloissa.

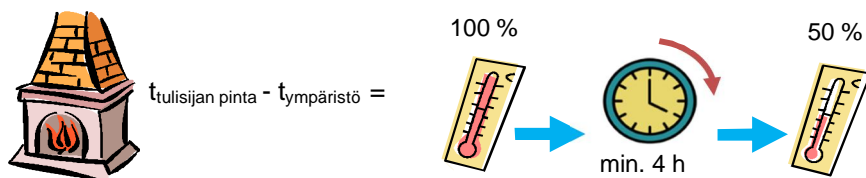
Projektin tavoitteina on ollut selvittää varaavien tulisijojen mahdollisuuksia hyödyntää uusiutuvaa energiaa pientaloissa ja määrittää reunaehdotja tälle hyödyntämiselle. Projektissa on selvitetty varaavuudeltaan kolmen erilaisen tulisijan käytön vaikutuksia tulisijan lämmitystehokkuuteen ja lämmityshyötysuhteeseen energiatehokkuudeltaan eritasoisissa korjaus- ja uudisrakennuksissa niin, että tulisijat voidaan huomioida aikaisempaa paremmin ja luotettavammin tulevaisuudessa kansallisissa energiamääräyksissä.

2. Tulisijojen määritelmiä

2.1 Varaava tulisija

Varaava tulisija on jaksottaislämmiteinen tulisija, jolla on kyky varata lämpöä massaansa siten, että se pystyy tulen sammumisen jälkeen luovuttamaan lämpöä valmistajan määrittelyn mukaisten tuntien ajan täyttäen standardin SFS-EN 15250 mukaisen vähimmäisvaatimuksen lämmönvarauskyvyn suhteen.

Tulisijasta voidaan käyttää nimitystä varaava tulisija, jos se täyttää edellytyksen varaavan tulisijan lämmönvarauskyvystä. Standardin SFS-EN 15250 mukaisesti varaavalla tulisijalla on oltava lämmönvarauskyky, jonka ansiosta tulisijan pinnan ja ympäristön lämpötilojen erotuksen laskeminen suurimmasta arvosta 50 %:iin kestää käyttötestissä vähintään neljä tuntia (kuva 2). Huomioitavaa on, että vaatimuksen neljän tunnin aikajakso alkaa tulisijan pinnan ja ympäristön lämpötilojen erotuksen ollessa suurimmassa arvossaan (ei tulen sammumisesta). Lämmönvarauskyvyn osoittaminen tehdään käyttötestillä, jossa tulisijaa käytetään standardin SFS-EN 15250 kohdan A.4.6 normaalin käytön testin mukaisesti.



Kuva 2. Varaavan tulisijan pinnan ja ympäristön lämpötilojen erotuksen laskeminen suurimmasta arvosta 50 %:iin tulee kestää vähintään neljä tuntia.

2.2 Kamiina

Kamiinalla tarkoitetaan tulisijaa, jonka lämmönluovutus tilaan on nopeampaa kuin varaavilla tulisijoilla eli tulisijan pinnan ja ympäristön lämpötilojen erotuksen laskeminen suurimmasta arvosta 50 %:iin kestää alle neljä tuntia.

Kamiinan lämmöntuotto ja hyötysuhde CE-merkintää varten määritetään standardin SFS-EN 13240 mukaan.

1.1 Tulisijojen luokittelu

Tässä hankkeessa on päädytty luokittelemaan tulisijat lämmönvarauskykyyn perustuen seuraavasti:

1. nopeasti lämpöä luovuttavat tulisijat eli kamiinat
2. hitaasti lämpöä luovuttavat tulisijat $4 \text{ h} < \text{aika } 50 \% \text{ huipusta} < 15 \text{ h}$
3. erittäin hitaasti lämpöä luovuttavat tulisijat $\text{aika } 50 \% \text{ huipusta} \geq 15 \text{ h}$.

Aika 50 % huipusta ilmoitetaan varaavan tulisijan CE-merkinnässä.

3. Tulisijojen hyötysuhde

3.1 Tulisijan lämmöntuotto

Tulisija poikkeaa muusta lämmitysjärjestelmästä kahdella tavalla: ensinnäkin sen lämpövaikutus tulee säätämättömänä tilaan, johon se on asennettu ja toisaalta lämmitysvaikutus on tilakohtainen. Tilakohtainen ja säätämätön lämmitys tarkoittaa, että tulisija yllilämmittää tilaa, johon se on asennettu, ja yllilämpö saa aikaan ilman tiheyseroista johtuvia ilmavirtauksia eri tilojen välillä, jolloin lämmitysvaikutus siirtyy myös muihin tiloihin. Tilojen yllilämpö aiheuttaa seinien, katon ja lattian johtumislämpöhäviöiden, vuotoilmanvaihdon ja ilmanvaihdon lämpöhäviöiden kasvua. Ilmanvaihdon lämpöhäviö riippuu poistoilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhteesta. D5-laskennassa varaavalla tulisijalla tuotettu lämpöenergia lasketaan tulisijaan polttoaineena (puuklapi) viedyn energian ja tulisijan kokonaishyötysuhteen avulla, kaava 1.

$$Q_{\text{muu tuotto}} = Q_{\text{tulisija, pa}} \eta_{\text{tulisija}} \quad (1)$$

jossa

$Q_{\text{muu tuotto}}$	on tulisijalla tuotettu lämpöenergia, kWh/a
$Q_{\text{tulisija, pa}}$	on tulisijaan polttoaineena viety energia, kWh/a
η_{tulisija}	on tulisijan kokonaishyötysuhde, kWh/a.

Varaavan tulisijan kokonaishyötysuhde sisältää tulisijan palamishyötysuhteen ja lämmönluovutuksen hyötysuhteen. Kokonaishyötysuhteen oletusarvona käytetään D5/2012:ssä arvoa 0,6. Parempaa arvoa voidaan käyttää esimerkiksi tässä julkaisussa esitetyllä laskentatavalla määritettynä.

Rakennuksen määräysten mukaisuuden osoittamisessa D3:n mukaan on lisäksi rajoitettu varaavan tulisijan nettotuotoksi $Q_{\text{muu tuotto}} = 2000$ kWh.

Oletusarvoilla laskettuna saadaan varaavan tulisijan polttoaineen kulutuksiksi taulukon 1 mukaiset puumäärät.

Taulukko 1. D3:n mukaista varaavan tulisijan nettoenergiantuotantoa (2000 kWh/a) vastaavat vuotuiset puumäärät eri puulajeilla laskettuna D5:n mukaisella tulisijan kokonaishyötysuhteella ($\eta_{\text{tulisija}}=0,6$).

Puulaji	Puumäärä kg/a	Puumäärä pino-m ³ /a
Koivu	803	2,0
Mänty	803	2,5
Kuusi	813	2,5
Leppä	823	2,7
Haapa	833	2,5

3.2 Tulisijan kokonaishyötysuhde

Tulisijan kokonaishyötysuhde ottaa huomioon sekä palamisen häviöt että lämmönluovutukseen liittyvät lämpöhäviöt. Tulisijan kokonaishyötysuhde lasketaan kaavalla (2).

$$\eta_{\text{tulisija}} = \eta_{\text{palaminen}} \cdot \eta_{\text{lämmönluovutus}} \quad (2)$$

jossa

- η_{tulisija} on varaavan tulisijan kokonaishyötysuhde
- $\eta_{\text{palaminen}}$ on varaavan tulisijan palamishyötysuhde
- $\eta_{\text{lämmönluovutus}}$ on varaavan tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhde.

Palamishyötysuhde saadaan suoraan tulisijavalmistajan ilmoittamasta (CE-merkintä) ja standardin SFS-EN 15250 mukaan määritetystä arvosta.

3.2.1 Kokonaishyötysuhteen yksinkertainen laskentamenetelmä

Yksinkertaisen laskentamenetelmän lähtökohtana on RakMk:n osassa D5/2012 taulukon 6.2 kohdassa muut lämmityslaitteet annettu lämmityksen hyötysuhde $\eta_{\text{lämmitys,tilat}} = 0,8$. Tässä hyötysuhteessa on otettu huomioon lämmönluovutuksen häviöt sekä säädön ja huoneilman lämpötilakerrostuman vaikutukset. Toinen lähtökohta on tulisijojen CE-merkintää varten määritettävä palamishyötysuhde, joka on tulisijakohtainen. Näistä lähtökohdista tulisijan kokonaishyötysuhde voidaan laskea seuraavasti:

$$\eta_{\text{tulisija}} = \eta_{\text{palaminen}} \times 0,8 \quad (3)$$

jossa

- η_{tulisija} on varaavan tulisijan kokonaishyötysuhde
- $\eta_{\text{palaminen}}$ on varaavan tulisijan CE-merkinnän mukainen hyötysuhde
- 0,8 on varaavan tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhde (RakMk osa D5/2012 taulukko 6.2 kohta muut lämmityslaitteet).

Näin ollen tulisijoille, joiden CE-merkinnän mukainen hyötysuhde on korkeampi kuin 0,75, voidaan E-lukulaskelmissa käyttää parempaa kokonaishyötysuhdetta kuin 0,60 (RakMk osa D5/2012).

3.2.2 Kokonaishyötysuhteen määrittäminen simuloimalla

On selvää, että monimutkaisten fysikaalisten ilmiöiden selvittäminen edellyttää kehittyneiden simulointiohjelmien käyttöä, joilla kaikki edellä kuvatut vaikutussuhteet voidaan mallintaa.

Tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhteen määrittämiseksi ei ole standardeja, ja hyötysuhde täytyy määrittää tapauskohtaisesti erikseen. Lämmönluovutuksen hyötysuhteeseen vaikuttavat tarkasteltavan tulisijan lämmönluovutusominaisuudet sekä tarkasteltavan rakennuksen ominaisuudet. Tulisijan lämmönluovutusominaisuuksiin vaikuttaa ennen kaikkea tulisijan varaavuus. Rakennuksen ominaisuuksista vaikuttavat tilojen massoitelu ja tulisijahuoneen avoimuus rakennuksen muihin tiloihin sekä tulisijan vaikutuspiiriin kuuluvien tilojen lämmöntarpeen suhde tulisijan lämmönluovutukseen nähden.

Lämmönluovutuksen hyötysuhde sisältää tulisijan käytön aiheuttaman lämpötilanousun ja huoneen lämpötilakerrostuman aiheuttamat lisääntyneet johtumislämpöhäviöt vaipan kautta, kasvaneet vuotoilmahäviöt sekä muuttuneet ilmanvaihdon lämmitystarpeet. Poistoilman lämmöntalteenotolla varustetussa rakennuksessa varaavan tulisijan käyttö pienentää tuloilman lämmitystarvetta. Lämmönluovutuksen hyötysuhteessa ei oteta huomioon hormin kylmäsiltahäviöitä eikä mahdollisen palamisilmakanavan aiheuttamia lämpöhäviöitä, jotka on tarkasteltava erikseen.

Tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhde lasketaan kaavalla (4), joka on analoginen varsinaisten lämmönluovuttimien käsittelyn kanssa (Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi – laskentaopas, 2011).

$$\eta_{\text{lämmönluovutus}} = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{\text{lämmitys}}} + \frac{1}{\eta_{\text{kerrostuma}}} + \frac{1}{\eta_{\text{rakenne}}} - 2} \quad (4)$$

jossa

$\eta_{\text{lämmönluovutus}}$ on varaavan tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhde

$\eta_{\text{lämmitys}}$ ottaa huomioon huoneen lämpötilanousun aiheuttaman lämpöhäviön

$\eta_{\text{kerrostuma}}$ ottaa huomioon huoneilman pystysuuntaisen kerrostuman aiheuttaman lämpöhäviön

η_{rakenne} ottaa huomioon rakennuksen vaipan läpi suoraan ulos suuntautuvat lämpöhäviöt.

Simulointiohjelmia käyttäen varaavan tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhde määritetään alla olevan menettelyn mukaisesti. Laskenta voidaan tehdä joko niin,

että lämmönjakojärjestelmä säätimiseen on mukana tai ilman lämmönjakojärjestelmää, jolloin säädön hyötysuhde on arvioitava erikseen. Siinä tapauksessa, että simulointiohjelma ei ota huomioon ilman lämpötilakerrostumista aiheutuvaa lisälämpöhäviötä, on tämä häviö otettava huomioon erikseen samoin kuin rakenteisiin integroidun tulisijan lisälämpöhäviöt.

1. Lasketaan tarkasteltavan rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus halutulla jaksolla ilman tulisijaa (Q_{ref}).
2. Mallinnetaan tarkasteltavan tulisijan aikariippuva lämmönluovutusprofiili (ks. luku 5.).
3. Sijoitetaan tulisija haluttuun tilaan ja asetetaan sille käyttöprofiili, jossa määritetään panosmäärät ja käyttöiheys (päivittäinen / viikoittainen).
4. Lasketaan rakennuksen tilojen lämmönkulutus tulisijakäytöllä ($Q_{tulisija}$).
5. Lasketaan lämmityksen hyötysuhde kaavalla

$$\eta_{lämmitys} = \frac{Q_{ref} - Q_{tulisija}}{Q_{polttoaine} \eta_{palaminen}} \quad (5)$$

jossa

$\eta_{lämmitys}$	on varaavan tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhde
Q_{ref}	on rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus ilman tulisijaa, kWh
$Q_{tulisija}$	on rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus tulisijan kanssa, kWh
$Q_{polttoaine}$	on tulisijaan viety puun lämpömäärä, kWh
$\eta_{palaminen}$	on tulisijan palamishyötysuhde.

Jos simulointiohjelma ei sisällä ilman lämpötilakerrostuman aiheuttamaa lisälämpöhäviötä, on lämpötilakerrostuman hyötysuhde huomioitava erikseen. Lämpötilakerrostuman hyötysuhteen määrittäminen on esitetty Ympäristöministeriön opassa Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi – laskentaopas (2011).

Jos simulointi ei sisällä tulisijan sijoituksen aiheuttamaa mahdollista lisälämpöhäviötä suoraan rakenteiden kautta, on tämä huomioitava erikseen. Tämä tulee kyseeseen esimerkiksi silloin kun tulisija on integroitu ulkovaipparakenteeseen.

3.2.3 Lämpöolosuhteet

Laskennassa on pidettävä huoli siitä, että lämpöolosuhteet eivät nouse liian korkeiksi tilassa, johon tulisija on sijoitettu. Lämpötilan nousu johtuu siitä, että tulisijan lämmöntuotto on suurempi kuin tilan lämmöntarve, jolloin huonelämpötila nousee vaikka lämmityksen säätöjärjestelmä sulkee tilan lämmityksen. Tämä rajoittaa tulisijassa poltettavan puun määrää ja myös tulisijalla tuotettavaa nettolämpö-

tysenergiaa. Sosiaali- ja terveysministeriön ohjeissa sanotaan: huoneilman lämpötila ei saa kohota yli 26 °C, ellei lämpötilan kohoaminen johdu ulkoilman lämpimyydestä. Lämmityskaudella huoneilman lämpötilan ei tulisi ylittää 23–24 °C. Tätä voidaan tulkita siten, että hetkellisesti lämpötilan on sallittua kohota lämmityskaudella +26 °C:seen mutta pidemmän jakson keskilämpötilan tulee jäädä alle +24 °C:n.

4. Käytetyt menetelmät

4.1 Analyyseissä käytetty laskentatyökalu

Tässä projektissa tehdyissä analyyseissä on käytetty VTT:llä kehitettyä rakennusten simulointityökalua VTT Talo. Tämä laskentasovellus huomioi eri lämmönsiirtomekanismit (konvektio, johtuminen ja säteily), ja se ratkaisee määritetyn laskentaverkon aikariippuvat massa-, liikemäärä- ja energiataseet PCG-harvamatriisimenetelmällä. Työkalun luotettavuutta on arvioitu osana aikaisemmin tehtyä väitöskirjatyötä (Tuomaala, 2002), ja sitä on käytetty lukuisissa eri tutkimus- ja tuotekehityshankkeissa (mm. COMBI, Thermal Comfort, Hot and cold, NEMUS, Hattivatti, Virtual Space 4D, RYM Oy:n Sisäympäristö-tutkimusohjelma, EU/SME Airlog).

4.2 Laskennassa tarvittavat lähtötiedot

Käytettäessä tarkkoja laskennallisia lämpödynaamisen käyttäytymisen arviointimenetelmiä tarvitaan lähtötietoina rakenteiden geometriatiedot ja aineominaisuudet, talotekniikkajärjestelmien lämpö- ja virtaustekniset ominaisuustiedot, säätiedot sekä käyttöaikataulut. Tulisijojen lämpöteknistä hyödyntämispotentiaalia arvioitaessa tarvitaan tarkasteltavien rakennusten rakenteiden lämpötekniset ominaisuudet (mitat ja materiaalikerrokset), tulisijan lämpödynaamista käyttäytymistä kuvaavan logaritmi-normaali-jakauman parametrit (keskiarvo ja hajonta), polton puupanosten koot ja lisäysajat (ohjelmallinen tarkistus niin ettei puiden lisäystä esimerkiksi asetetun huoneen maksimilämpötilan ylittyessä), tarkasteltavan rakennuksen muut talotekniikkalaitteet ja näiden säätö sekä tarkasteltavien paikkakuntien säätiedot (Helsinki ja Sodankylä).

4.3 Laskentatyökalun verifiointi

Tähän projektiin valittu VTT Talo -laskentatyökalu mahdollistaa rakennuksen rakenteiden ja tulisijan lämpöteknisen vuorovaikutuksen laskennallisen arvioinnin erilaisilla käyttö- ja säätiedoilla. Rakenteiden lämpödynaamisen käyttäytymisen ja rakennuksen sisäisten ilmavirtojen laskenta verifiointiin tämän projektin alussa vertaamalla VTT Talon antamia tuloksia IDA/ICE-laskentatyökalun antamiin tuloksiin.

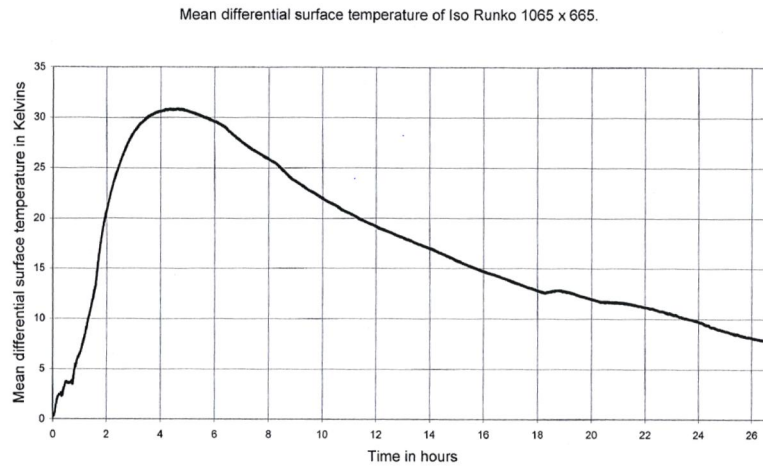
Rakennusten teho- ja energiatulokset olivat eri sovellusohjelmilla laskettuna yhteneviä sen jälkeen, kun erityisesti kaksikerroksisen uudisrakennuksen portaikon ilmavirtojen laskentaparametrit valittiin VTT Talon laskelmissa oikein.

5. Laskentatapausten reunaehtojen kuvaus

Tulisijoilla on tunnetusti toisistaan poikkeavia lämmitysominaisuuksia erityisesti niiden varaavuus- ja lämmönluovutusominaisuuksien mukaan, ja näiden erilaisten ominaisuuksien vaikutusten arvioimiseksi tässä projektissa on analysoitu kolmen varaavuudeltaan erilaisen tulisijan lämpödynaamista käyttäytymistä erilaisissa lämmitys- ja käyttöolosuhteissa. Erilaisten tulisijojen vaikutuksia lämmitystehokkuuteen ja lämmityshyötysuhteisiin on arvioitu korjaus- ja uudisrakennuksissa. Korjaus- ja uudisrakennuksiksi on valittu tulosten yleisen vertailtavuuden parantamiseksi aikaisemmin Costoptimal-projektissa (Energiatehokkuutta) määritetyt kohteet, ja molemmissa rakennuksissa on analysoitu tulisijojen lämpödynaamista käyttäytymistä kahdella eri energiatehokkuustasolla: perustaso ja energiatehokas rakennus. Tehdyissä simuloinneissa on käytetty Helsingin säätietoja, joita käytetään yleisesti rakennusten energiatehokkuuden kelpoisuuden osoittamisessa (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3, 2012).

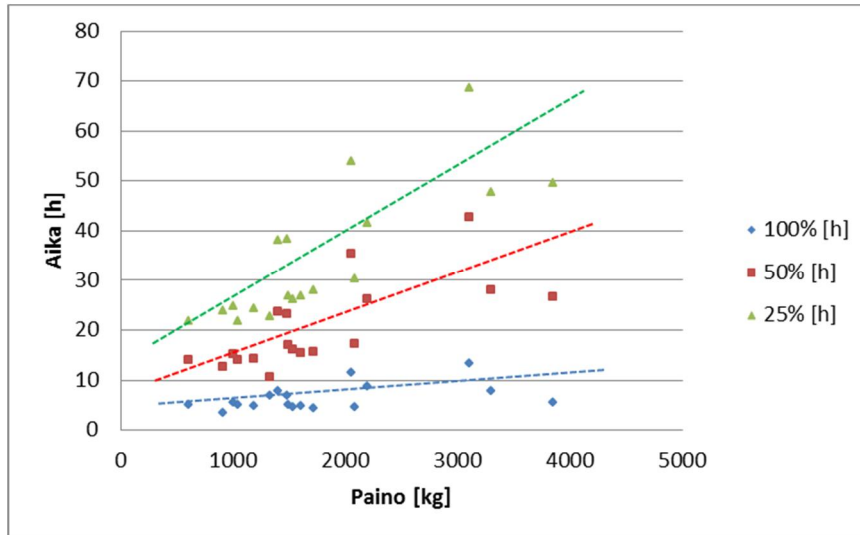
5.1 Tulisijat

Kuvassa 3 on tyypillinen mitattu tulisijan lämmönluovutus ajan funktiona. Tulisijan ympäröivään tilaan luovuttama lämpöteho nousee aluksi sitä mukaa kuin tulisijarakenteet lämpenevät. Lämmitystehon maksimi saavutetaan tulisijan rakenteiden ja massiivisuuden mukaan tyypillisesti muutaman ensimmäisen tunnin aikana (alla kuvatulla tuotteella t (100 %) on 4,5 tuntia polton alusta). Tämän jälkeen tulisijan rakenteiden lämpötilat, ja tätä kautta myös lämmitysteho, laskevat kullekin tulisijalle yksilöllisellä tavalla.



Kuva 3. Esimerkki tulisijoille tehtävien laboriomiittausten antamista lämmönluovutustehoista polttokokeen aikana.

Kuvassa 4 on esitetty eri tulisijoille CE-merkintöjä varten tehtyjen virallisten mittausten tuloksia. Vaaka-akselilla on esitetty kunkin tulisijatuotteen paino, ja yksittäisille tulisijoille mittauksissa määritetyt suureet 100 % (so. aika polttokokeen alusta, jolloin tulisijan lämmönluovutus on suurimmillaan), 50 % (so. aika polttokokeen alusta, jolloin tulisijan lämmönluovutus on puolet maksimista) ja 25 % (so. aika polttokokeen alusta, jolloin tulisijan lämmönluovutus on neljännes maksimista). Kuvaajassa on lisäksi esitetty katkoviivoilla mitatuille suureille lineaariset sovitteet. Erityisesti painavien yksittäisten tulisijojen parametriarvot saattavat poiketa melko paljonkin lineaarisovitteista, mikä johtuu eri tuotteiden välisistä materiaali- ja rakenteellisista eroista. Sovitteiden yleinen trendi on kuitenkin varsin selkeä ja looginen: mitä enemmän tuotteella on termistä massaa niin sitä hitaammin se luovuttaa poltetun puupanoksen sisältämän lämpöenergian lämmitettävään tilaan.



Kuva 4. CE-merkintöjä varten tehtyjen eripainoisten tulisijojen lämmönluovutusmittausten tuloksia.

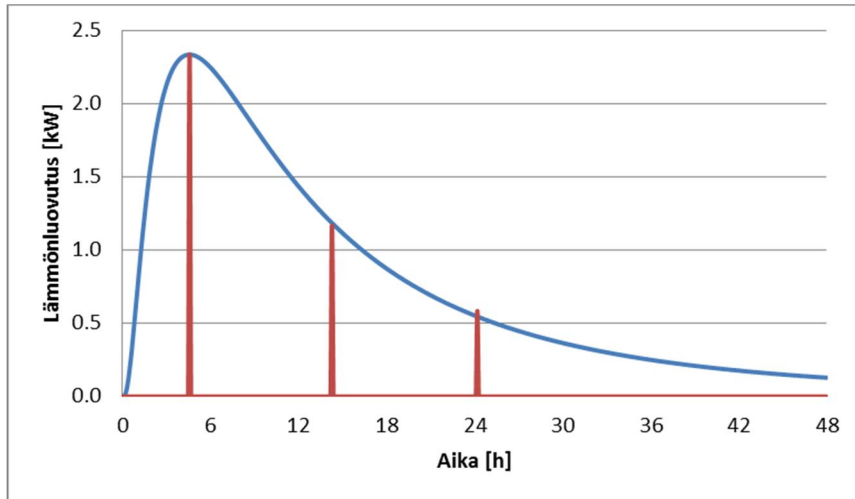
Tulisijoilla on tehtyjen CE-mittausten perusteella keskenään hyvinkin erilaisia aikariippuvia lämmönluovutusominaisuuksia. Eri tulisijojen lämmönluovutusta ympäröivään tilaan on tässä selvityksessä arvioitu alla esitetyn logaritmi-normaali-jakauman avulla.

$$q(t) = \frac{1}{t(\ln \sigma)\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(t/t_{50})}{\ln \sigma}\right)^2\right] \quad (6)$$

missä

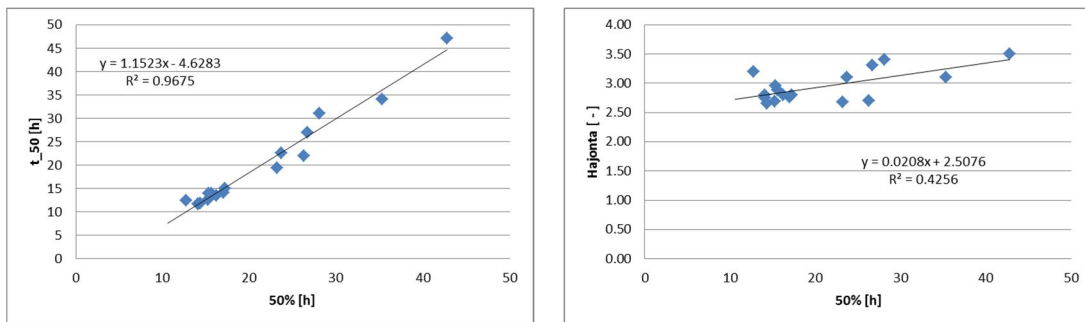
- q on jakauman avulla estimoitu dimensioton lämmitysteho
- t on ajanhetki polton alusta, h
- t_{50} on keskiarvoaika, h
- σ on hajonta.

Tällä menetelmällä voidaan arvioida luotettavasti eri tulisijojen lämmönluovutuksen tehoa mielivaltaisella ajanhetkellä ja mielivaltaisilla polttomäärillä sen jälkeen, kun kullekin tulisijalle on määritetty jakauman kaksi parametriä: keskiarvoaika (t_{50}) ja hajonta (σ). Nämä parametrit on määritetty käyttäen hyväksi tulisijoille tehtyjä CE-merkintöjen edellyttämiä mittauksia, ja kuvassa 5 on yksittäinen esimerkkituote, jolle tehdyissä mittauksissa saatujen tulosten perusteella on määritetty logaritmi-normaali-jakauman parametrit.



Kuva 5. Esimerkki tulisijasta jonka CE-merkintää varten tehdyissä mittauksissa on saatu tulokset: lämmönluovutus 100 % = 4,6 h; 50 % = 14,3 h ja 25 % = 24,2 h (punaiset pylväät), ja näiden perusteella on määritetty logaritmi-normaali-jakauman parametrit $t_{50} = 11,9$ h ja $\sigma = 2,65$ (sininen tehokäyrä, kun tulisijan luovuttama energiamäärä on 42,1 kWh).

Kuvassa 6 on esitetty 17 eri tulisijoille määritetyt logaritmi-normaali-jakauman parametrien arvot CE-mittauksista saatavien 50 %-aikojen funktioina. Tuloksista voidaan todeta, että t_{50} ja 50 %-aikojen välillä on hyvinkin vahva riippuvuus ($R^2 = 0.97$), mutta hajonnan ja 50 %-ajan välinen korrelaatio on selvästi heikompi.



Kuva 6. Yksittäisille tulisijoille määritettyjen logaritmi-normaali-jakauman parametrien (vasemmalla keskiarvoaika t_{50} ja oikealla hajonta) sekä CE-todistuksia varten tehdyistä mittauksista saatujen 50 %-aikojen väliset riippuvuudet.

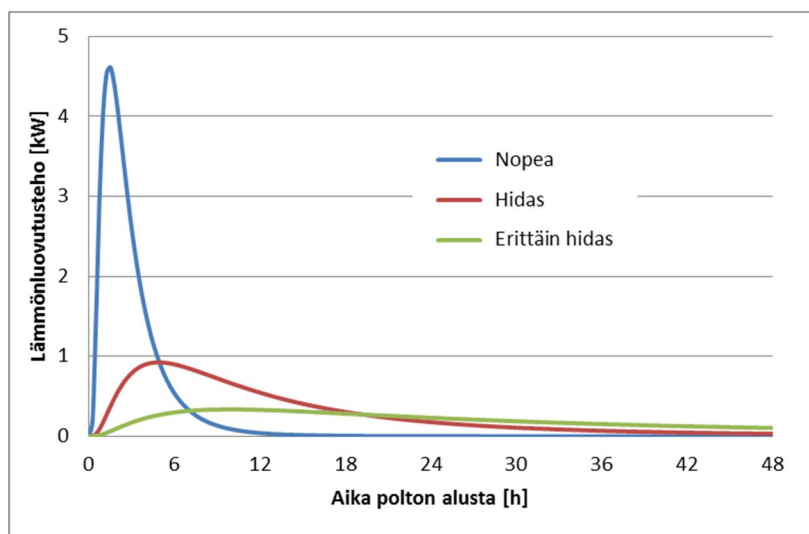
Lämmönvaraavuudeltaan ja -luovutukseltaan tulisijojen erilaisten ominaisuuksien huomioimiseksi tässä selvityksessä tehtiin analyysiin valittiin kolme erilaista

tulisijatyyppejä: nopeasti, hitaasti ja erittäin hitaasti lämpöä luovuttava tulisija. Näille valituille tulisijatyypeille käytetyt logaritmi-normaali-jakauman parametrien arvot on esitetty taulukossa 2, ja ne ovat linjassa yksittäisille tulisijoille määritettyjen parametrien kanssa.

Taulukko 2. Erityyppisille tulisijoille käytetyt logaritmi-normaali-jakauman parametrit sekä tulisijan varaavuutta arvioiva 50–100 % -aika (so. aika jona mittauksen aikainen maksimi lämmönluovutusteho putoaa puoleen; varaaville tulisijoille tämä suure on > 4 h).

Tulisijatyyppi	t_{50} [h]	σ [-]	100 % [h]	50 % [h]	25 % [h]	50–100 % [h]
Nopea	2,30	2,50	1,5	3,25	4,5	1,8
Hidas	10,52	2,68	5,0	13,75	21,0	8,8
Erittäin hidas	28,52	3,05	10,0	33,25	55,0	23,3

Kuvassa 7 on esitetty tarkempiin analyyseihin valittujen varaavuudeltaan erilaisten tulisijojen logaritmi-normaali-jakauman lämmönluovutustehot, kun niissä poltetaan samansuuruinen (4 kg) puupanos. Eri tulisijojen varaavuus- ja lämmönluovutusominaisuudet tulevat selvästi esille, vaikka kaikkien kolmen eri käyrän alapuoliset pinta-alat ovat poltetun puumäärän nettoenergiamäärän, 14,5 kWh, suuruiset.

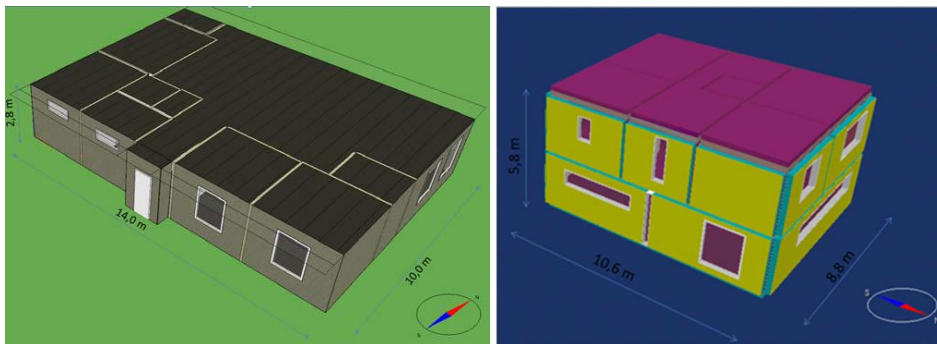


Kuva 7. Valittujen varaavuudeltaan erilaisten tulisijojen logaritmi-normaali-jakauman lämmönluovutustehot 48 h:n aikana puupanoksen sytyttämisestä, kun niissä poltetaan 4 kg:n puupanos.

5.2 Rakennukset

Dynaamiset tuntitaso simuloinnit on tehty kahdella erilaisella rakennusmallilla (kuva 8). Uudisrakennusta simuloitiin kaksikerroksisena erillisenä pientalona. Uudisrakennuksen simuloinnissa rakennuksen energiatehokkuuden suhteen tehtiin kaksi erilaista tapausta: nykynormien mukainen rakennus sekä erittäin energiatehokas rakennus, jonka energiatehokkuus on hyvin lähellä passiivitasoa. Uudisrakennuksen lämpötekniistä toimintaa simuloitiin Helsingin sääoloissa sekä tulosten herkkyystarkastelun vuoksi Sodankylän sääoloissa.

Korjauskohteen simuloinnissa käytettiin yksikerroksista erillisen pientalon mallia. Korjauskohteen simuloinnit tehtiin uudisrakennuksen tapaan luoden kaksi erilaista tapausta: alkuperäisin rakennus sekä rakennus, johon tehdään energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä.



Kuva 8. Analyseissä käytetyt rakennukset: vasemmalla korjausrakennus- ja oikealla uudisrakennuskohde.

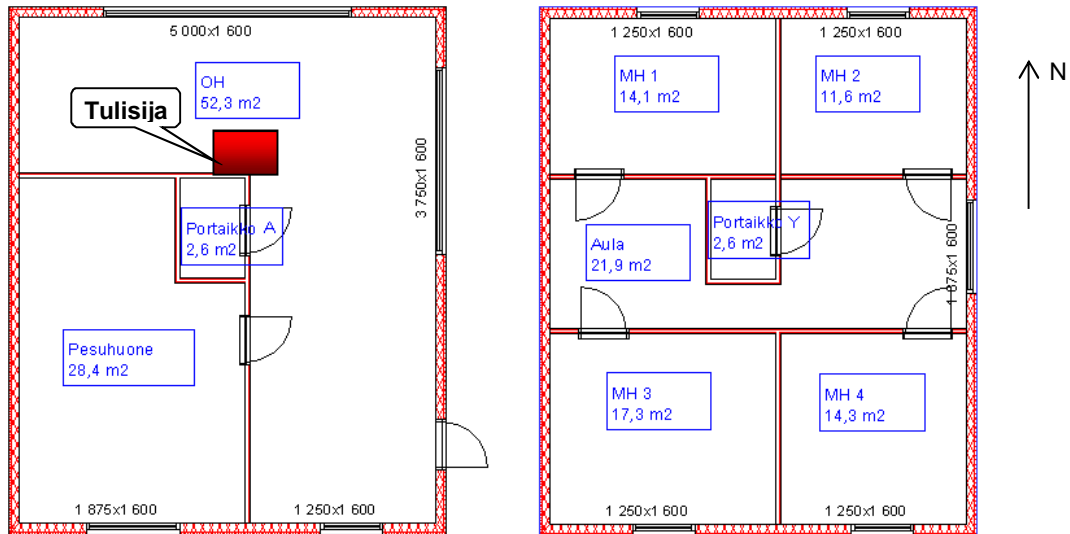
Simuloinnin lähtöoletukset ja simuloinnissa käytetyt rakennukset on kuvattu luvuissa 5.2.1 ja 5.3.1. Molemmissa rakennuksissa on oletettu asuvan nelihenkinen perhe, kaksi aikuista ja kaksi lasta.

Simuloinneissa kaikkien makuuhuoneiden ovet ja kaksikerroksisessa rakennuksessa myös portaikon ovet on pidetty avoinna. Sen sijaan vessojen, kylpyhuoneiden ja vaatehuoneiden ovet on pidetty laskennassa kiinni. Tulisijojen lämmön leviäminen rakennuksissa on esitetty esimerkein liitteessä D.

Simuloituja laskentatapauksia oli yhteensä 83. Valtaosa laskentatapauksista, 72, koostui eri tulisijatyyppien, käytetyn panoskoon, rakennuksen energiatehokkuustason sekä polton aloitushetken sisälämpötilan variaatioista. Kunkin rakennuksen lämpötekniistä käyttäytymistä simuloitiin myös ilman tulisijaa. Lisäksi suoritettiin herkkyystarkastelu simuloimalla kuutta laskentatapausta Sodankylän olosuhteissa.

5.2.1 Erillinen pientalo, uudisrakennus

Uudisrakennuksen mallina käytettiin kaksikerroksisen erillisen pientalon mallia, jonka pohjapiirustus on esitetty Kuva 9. Tulisija on sijoitettu mahdollisimman avoimeen tilaan, joka tässä tapauksessa on olohuone.



Kuva 9. Kaksikerroksisen tyyppipientalon pohjapiirustus ja tulisijan sijoitus.

Rakennuksen tärkeimmät laajuustiedot on esitetty seuraavissa taulukoissa (Taulukko 3 ja Taulukko 4).

Taulukko 3. Tyyppipientalon keskeisimmät laajuustiedot.

Rakennustilavuus	468 m ³
Lattiapinta-ala	165,2 m ²
Ulkovaipan pinta-ala	363 m ²

Taulukko 4. Tyyppipientalon rakenneosien pinta-ala suuntauksittain.

Ilmansuunta	Ulkoseinä m ²	Ikkuna m ²	Ulko-ovi m ²
Pohjoinen	32,4	12,0	-
Länsi	53,4	0,0	-
Etelä	35,4	9,0	-
Itä	44,4	9,0	2,2
Yhteensä	165,6	30,0	2,2

Muiden rakenteiden laajuudet ovat seuraavat:

- Yläpohjan pinta-ala 81,9 m²
- Alapohjan pinta-ala 83,3 m²
- Väliseinien pinta-ala 105,2 m²
- Väliovien pinta-ala on yhteensä 14,6 m².

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 5) esitetään tyyppiöntalon simuloinnissa käytettyjen rakenteiden U-arvot, sekä normitapaukselle että erittäin energiatehokkaalle rakennukselle. Tyyppiöntalo on varustettu koneellisella tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmällä, jossa on poistoilman lämmöntalteenotto (LTO). LTO:n vuosihyötysuhteen oletettiin normitasolla olevan 45 % ja energiatehokkuutta parantavien toimenpiteiden jälkeen 80 %. Simuloinnissa on oletettu, että keittiön ilmavirtoja voidaan tehostaa erillisellä liesituulettimella. Liesituulettimen poistoilma johdetaan suoraan katolle eikä siitä siis oteta lämpöä talteen. Huonekohtaiset tulo- ja poistoilmavirrat esitetään alla olevassa taulukossa (Taulukko 6).

Taulukko 5. Rakenteiden U-arvot.

Rakennusosa	U-arvo, W/m ² K	
	Normitaso	Erittäin energiatehokas
Ulkoseinä	0,17	0,08
Yläpohja	0,09	0,05
Alapohja	0,16	0,10
Ikkunat	1,0	0,8
Ulko-ovet	1,0	0,8

Taulukko 6. Ilmanvaihdon ilmavirrat. Käyntiaika jatkuva 24 h/vrk ja 7 vrk/vko.

Tila	Tuloilmavirta dm ³ /s	Poistoilmavirta dm ³ /s	Tehostus dm ³ /s
OH	26	-	25 *)
PH	-	33	-
Portaikko	2	7	-
MH1	7	-	-
MH2	6	-	-
MH3	9	-	-
MH4	7	-	-
Aula	9	29	-
Yhteensä	66	69	

*) Käyntiaika 2 h/vrk

5.3 Rakennuksen lämmitysenergian tarve

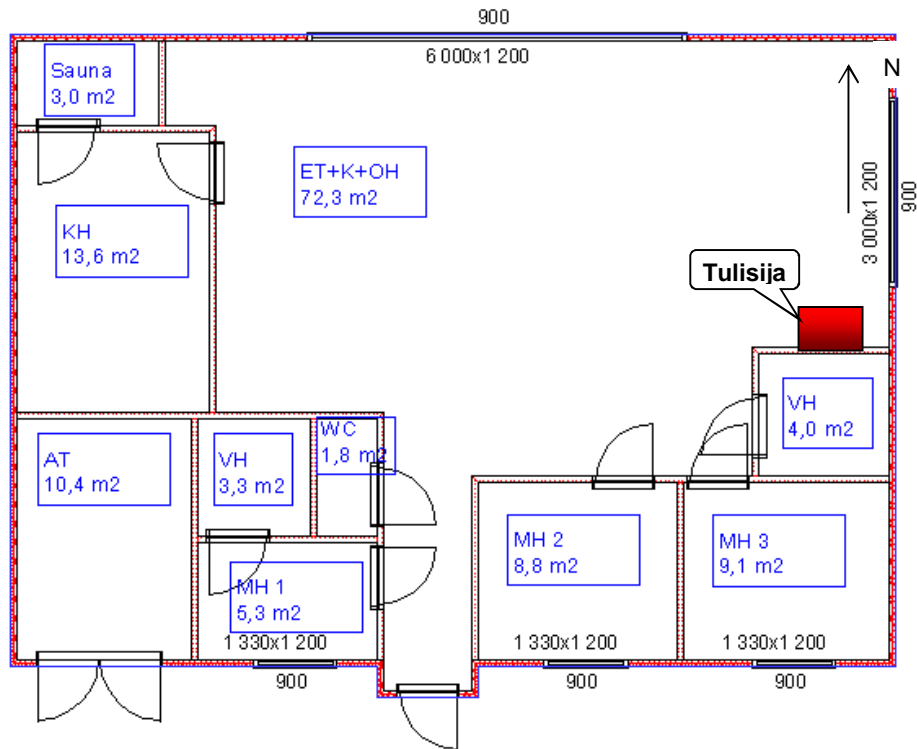
Dynaamisen vuosisimuloinnin tuloksena saatu tilojen kuukausittainen lämmitysenergiankulutus eri laskentatapauksille ilman tulisijaa on esitetty Taulukko 7.

Taulukko 7. Pientaloesimerkin kuukausittaiset tilojen lämmitysenergian nettotarpeet ilman tulisijaa.

	Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergiatarve, kWh		
Kuukausi	Normitaso, Helsinki	Erittäin energiatehokas, Helsinki	Erittäin energiatehokas, Sodankylä
Tammi	2 320	1 127	1 701
Helmi	2 096	975	1 383
Maalis	1 374	463	848
Huhti	865	149	358
Touko	307	53	70
Kesä	0	0	0
Heinä	12	0	0
Elo	0	0	0
Syys	304	0	136
Loka	1 047	313	802
Marras	1 378	596	952
Joulu	1 933	907	1 264
Vuosi	11 638	4 583	7 514

5.3.1 Erillinen pientalo, korjauskohde

Korjauskohteen mallina käytettiin yksikerroksisen erillisen pientalon mallia, jonka pohjapiirustus on esitetty Kuva 10. Tulisija on sijoitettu mahdollisimman avoimeen tilaan, joka tässä tapauksessa on olohuone.



Kuva 10. Yksikerroksisen tyyppipientalon pohjapiirustus ja tulisijan sijoitus.

Rakennuksen tärkeimmät laajuustiedot on esitetty Taulukko 8 ja Taulukko 9.

Taulukko 8. Tyyppipientalon keskeisimmät laajuustiedot.

Rakennustilavuus	352 m ³
Lattiapinta-ala	132 m ²
Ulkovaipan pinta-ala	392 m ²

Taulukko 9. Tyyppipientalon rakenneosien pinta-ala suuntauksittain. Pinta-alat on laskettu kokonaissämitoilla.

Ilmansuunta	Ulkoseinä m ²	Ikkuna m ²	Ulko-ovi m ²
Pohjoinen	45,9	7,2	-
Länsi	33,9	0,0	-
Etelä	48,3	4,8	6,9
Itä	37,5	3,6	-
Yhteensä	165,6	15,6	6,9

Muiden rakenteiden laajuudet ovat seuraavat:

- Ylä- ja alapohjan pinta-alat sama kuin lattiapinta-ala eli 132 m².
- Väliseinien pinta-ala 97,0 m².
- Väliovien pinta-ala on yhteensä = 16,8 m².

Taulukko 10 esitetään tyypipientalon simuloinnissa käytettyjen rakenteiden U-arvot sekä normitapaukselle että erittäin energiatehokkaalle rakennukselle.

Taulukko 10. Rakenteiden U-arvot.

Rakennusosa	U-arvo W/m ² K	
	Korjaamaton	Korjattu
Ulkoseinä	0,50	0,17
Yläpohja	0,27	0,09
Alapohja	0,38	0,38
Ikkunat	2,5	2,5
Ulko-ovet	1,1	1,1

Ilmanvaihtoratkaisuna alkuperäisessä sekä korjatussa tyypipientalomallissa on koneellinen poistoilmanvaihto. Alkuperäistä yksikerroksista tyypipientaloa on laskennassa oletettu korjattavan vain ulkovaipan lämmöneristävyyden osalta. Huonekohtaiset tulo- ja poistoilmavirrat esitetään Taulukko 11. Simuloinnissa on oletettu, että keittiön ilmavirtoja voidaan tehostaa erillisellä liesituulettimella.

Taulukko 11. Ilmanvaihdon ilmavirrat. Käyntiaika jatkuva 24 h/vrk ja 7 vrk/vko.

Tila	Tuloilmavirta dm ³ /s	Poistoilmavirta dm ³ /s	Tehostus dm ³ /s
AT	-	3	-
ET+K+OH	-	7	25 *)
KH	-	10	-
MH1	-	3	-
MH2	-	3	-
MH3	-	3	-
Sauna	-	10	-
WC	-	7	-
VH 3,3 m ²	-	3	-
VH 4,0 m ²	-	3	-
Yhteensä		52	

*) Käyntiaika 2 h/vrk

5.4 Rakennuksen lämmitysenergian tarve

Esimerkkipientalon tilojen kuukausittainen lämmitysenergiankulutus eri laskenta-tapauksille ilman tulisijaa on esitetty Taulukko 12. Simuloinnissa rakennuksen lämmitysjärjestelmän oletettiin olevan suora sähkölämmitys, joka on varustettu tarkalla elektronisella huonekohtaisella lämpötilansäädöllä.

Taulukko 12. Pientaloesimerkin kuukausittaiset tilojen lämmitysenergian nettotarpeet ilman tulisijaa.

Kuukausi	Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergiatarve, kWh	
	Alkuperäinen	Korjattu
Tammi	4 140	2 989
Helmi	3 837	2 744
Maalis	2 896	2 076
Huhti	2 163	1 530
Touko	1 049	740
Kesä	328	201
Heinä	533	392
Elo	355	215
Syys	1 274	860
Loka	2 314	1 638
Marras	2 683	1 948
Joulu	3 582	2 575
Vuosi	25 154	17 908

5.5 Muut laskennassa käytetyt reunaehdot

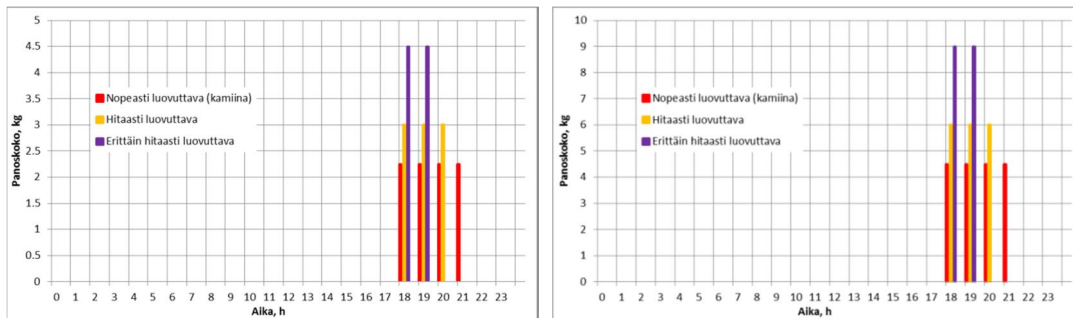
Tulisijan vuotuinen käyttöaika määriteltiin siten, että lämmityskauden ulkopuolella ajanjaksolla 1.6–31.8. tulisijaa ei käytetä. Simuloinneissa tulisijoja pyrittiin käyttämään jokaisena viikonpäivänä, ja tulisijojen käyttöä ohjattiin siten, että uutta panosta tulisijaan laitettaessa tarkastettiin, että takkahuoneen lämpötila ei ylittänyt asetettua maksimilämpötilaa. Jos lämpötila ylitti tämän rajan, niin uutta panosta tulisijaan ei laitettu, vaan odotettiin seuraavaan panostushetkeen. Simuloinnit tehtiin jokaiselle tapaukselle käyttäen kolmea maksimilämpötilaa: 21,5 °C, 22 °C ja 25 °C.

Yhden päivän aika käytettävän puumäärään osalta simuloitiin kunkin tulisijatyyppin osalta kahta tapausta. Puumäärinä käytettiin 9 ja 18 kg:aa, joka jaettiin tunnin välein lisättäviin panoksiin. Panosten lukumäärä määräytyi simuloitavan tulisijan tyypistä. Polton oletettiin alkavan joka päivä kello 18. Päivittäinen polton aikatauluus sekä panosten suuruudet on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 13) ja kuvassa (Kuva 11).

Simuloinneissa tulisijojen palamishyötysuhteina käytettiin arvoa 100 %, jolloin todellinen panoskoko saadaan jakamalla simuloinneissa käytetty panos tulisijan CE-merkinnän mukaisella palamishyötysuhteella.

Taulukko 13. Eri tulisijatyyppien panoskoot ja polton aikataulutus.

Tulisija	Panoskoko	Polttorytmi	Polttoaika	Polton aloitus
Nopeasti luovuttava (kamiina)	9 kg/päivä	2,25 kg tunnin välein	4 h	klo 18:00
	18 kg/päivä	4,50 kg tunnin välein	4 h	klo 18:00
Hitaasti luovuttava	9 kg/päivä	3 kg tunnin välein	3 h	klo 18:00
	18 kg/päivä	6 kg tunnin välein	3 h	klo 18:00
Erittäin hitaasti luovuttava	9 kg/päivä	4,5 kg tunnin välein	2 h	klo 18:00
	18 kg/päivä	9,0 kg tunnin välein	2 h	klo 18:00



Kuva 11. Tulisijojen vuorokautinen käyttöprofiili. Vasemmalla 9 kg:n päivittäisellä puumäärällä, oikealla 18 kg:n päivittäisellä puumäärällä.

Dynaamisissa tuntitason simuloinneissa käytettiin Ilmatieteen laitoksen testivuoden tuntitason säätietoja Helsingille ja Sodankylälle.

6. Keskeiset tulokset

Laskennalliset tarkastelut suoritettiin erilaisen lämmönkulutustason ja erilaisen massoittelun omaaville pientaloille: yksikerroksinen ja kaksikerroksinen rakennus. Yksikerroksinen rakennus edustaa vanhaa rakennuskantaa ja kaksikerroksinen uutta rakennuskantaa. Kummastakin rakennuksesta analysoinneissa käytettiin vielä kahden eri lämmönkulutustason versioita: yksikerroksisessa rakennuksessa käytettiin toisessa ratkaisussa alkuperäisiä rakenteiden lämmöneristävyksiä, jolloin tilojen lämmöntarve oli erityisen suuri, sekä toisessa ratkaisussa peruskorjatun rakennuksen lämmöneristävyksiä, jolloin lämmöntarve oli huomattavasti pienempi. Kaksikerroksisessa rakennuksessa käytettiin toisessa ratkaisussa nykymääräysten (2013) mukaisia rakenteita ja toisessa ratkaisussa passiivitaso rakenteita.

Rakennukset poikkesivat merkittävästi toisistaan paitsi tilojen lämmöntarpeen suhteen, niin myös pohjaratkaisun suhteen. Yksikerroksisen rakennuksen pohjaratkaisu on varsin avara, jolloin tulisijan lämpö pääsee helposti leviämään sangen laajalle alueelle. Kaksikerroksisen rakennuksen pohjaratkaisu on tulisijan kannalta paljon suljetumpi, ja tulisijan lämpö leviää ensisijaisesti huomattavasti pienemmälle alueelle kuin yksikerroksisessa rakennuksessa.

Tulisijoina rakennuksissa käytettiin kaikkia kolmea eri tulisijatyyppeä: nopea, hidas ja erittäin hidas. Lisäksi tulisijojen panostuksessa käytettiin kahta eri panoskokoa, 9 kg/panos ja 18 kg/panos. Tulisijojen käyttö pyrittiin maksimoimaan kuitenkin niin, että käyttöä rajoitettiin huonelämpötilan perusteella. Huonelämpötilalle annettiin simuloinneissa maksimitaso, jonka ylittyessä tulisijaa ei sytytetty sytytysketkellä. Sytytysketki oli määritelty kaikissa tapauksissa jokaiselle päivälle kello 18.00. Kaikki laskennat suoritettiin kolmella eri huonelämpötilan raja-arvolla: 21,5 °C, 22 °C ja 25 °C.

Lisäksi simuloinnit suoritettiin nopealla tulisijalla ja kaksikerroksisella passiivitalolla Sodankylän säässä. Näillä laskelmilla haluttiin selvittää säävyöhykkeen vaikutusta tulisijan käyttöön.

Seuraavassa esitetään tulokset rakennuksittain tiivistetysti, yksityiskohtaisemmat tulokset on esitetty liitteissä. Tulokset on esitetty vain niille tulisijojen käyttötapauksille ja käyttöjaksoille, joille olohuoneen lämpöolosuhteet ovat vielä hyväksyttävissä: hetkellisesti ei juuri ylitetä lämpötilaa + 26 °C eikä pidempijaksoisesti olla yli + 24 °C:n. Koska pidempijaksoista + 24 °C:n ylitystä ei ole tarkemmin määritelty (Asumisterveysohje, 2003) eikä sitä ole myöskään simuloinneissa ollut mahdollista tarkemmin käsitellä, on tuloksia jouduttu arvioimaan tältä osin suurpiirteisesti.

Tulisijojen nettolämmöntuotot on laskettu seuraavasti: vertailukohtana on rakennuksen lämmitysenergian kulutus (tilojen lämmitys + ilmanvaihdon LTO:n jälkeinen lämmitys) ilman tulisijaa, josta tulisijan nettotuotto on saatu vähentämällä lämmitysenergiankulutus kulloisellakin tulisijan laskentatapauksella.

Lämmönluovutuksen hyötysuhteet on määritetty luvun 3.2.2 mukaisesti kaavoilla (4) ja (5). Kerrostuman hyötysuhteena on kaikissa tapauksissa käytetty vakioarvoa $\eta_{\text{kerrostuma}}=0,95$.

Puunkulutusta laskettaessa on oletettu kaikkien tulisijojen palamishyötysuhteeksi 80 % ja puun energiasisällöksi 1 330 kWh/p-m³.

6.1 Yksikerroksinen vanha rakennus

Tulisijoina rakennuksessa käytettiin kaikkia kolmea eri tulisijatyyppeä: nopea, hidas ja erittäin hidas. Lisäksi tulisijojen panostuksessa käytettiin kahta eri maksimi-panoskokoa, 9 kg/panos ja 18 kg/panos. Tulisijojen käyttö pyrittiin maksimoimaan kuitenkin niin, että käyttöä rajoitettiin huonelämpötilan perusteella. Huonelämpötilalle annettiin simuloinneissa maksimitaso, jonka ylittyessä tulisijaa ei sytytetty sytytyshetkellä, tai maksimitason ylittyessä tulisijan polton aikana seuraavaa panosta ei lisätty. Sytytyshetki oli määritelty kaikissa tapauksissa jokaiselle päivälle kello 18.00. Kaikki laskennat suoritettiin kolmella eri huonelämpötilan raja-arvolla (maksimitaso): 21,5 °C, 22 °C ja 25 °C.

6.1.1 Lämpöolosuhteet

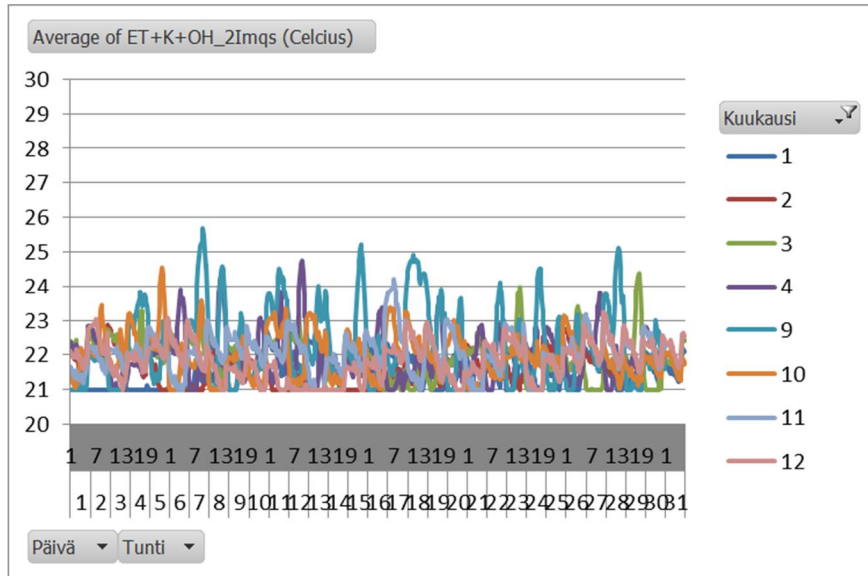
Lämpöolosuhteiltaan hyväksyttäviä simulointitapauksia löytyi erittäin hitaalla ja hitaalla tulisijalla kummallakin viisi kappaletta ja nopealla tulisijalla kaksi (Taulukko 14).

Taulukko 14. Olohuoneen lämpöolosuhteiltaan hyväksyttävät simulointitapaukset.

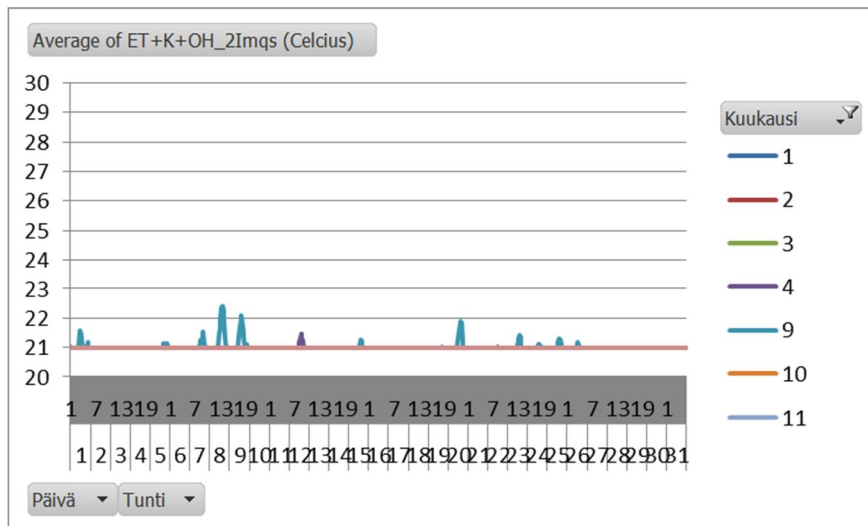
Tulisija	Panostus	Olohuoneen lämpötilan raja-arvo		
		21,5 °C	22 °C	25 °C
Erittäin hidas	9 kg	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä
	18 kg	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	X
Hidas	9 kg	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä
	18 kg	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	X
Nopea	9 kg	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	X
	18 kg	X	X	X

Kuvassa 12 on esitetty esimerkkinä olohuoneen lämpötilan käyttäytyminen tulisijan käyttökuukausina tapaukselle, jonka nettolämmöntuotto yksikerroksisessa vanhassa talossa oli kaikkein suurin (erittäin hidas tulisija, panos 18 kg, huonelämpötilan raja-arvo 22 °C). Vertailun vuoksi on esitetty myös tilanne ilman tulisijaa (kuva 13).

Tarkemmin lämpöolosuhteet on esitetty liitteessä A, josta löytyy olohuoneen lämpötilat kuukausittain kaikille tulisijoille useammalla laskentatapauksella.



Kuva 12. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 18 kg.

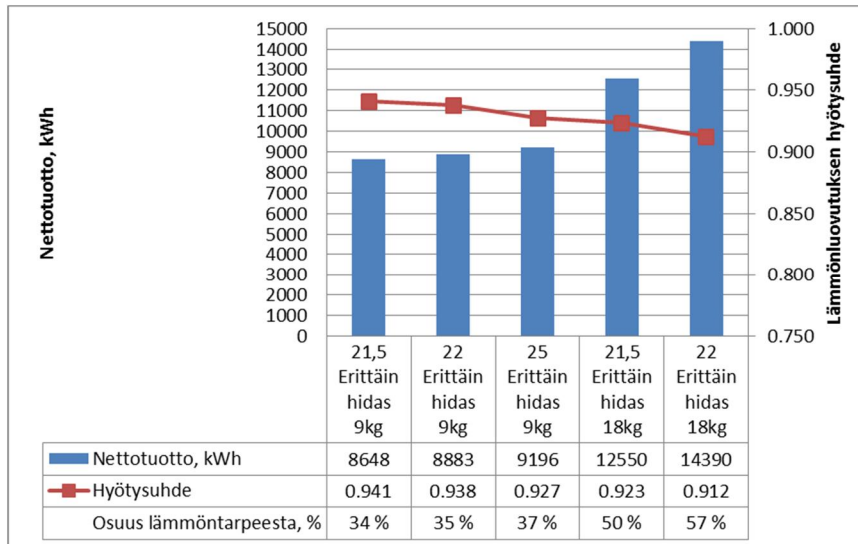


Kuva 13. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), ilman tulisijaa.

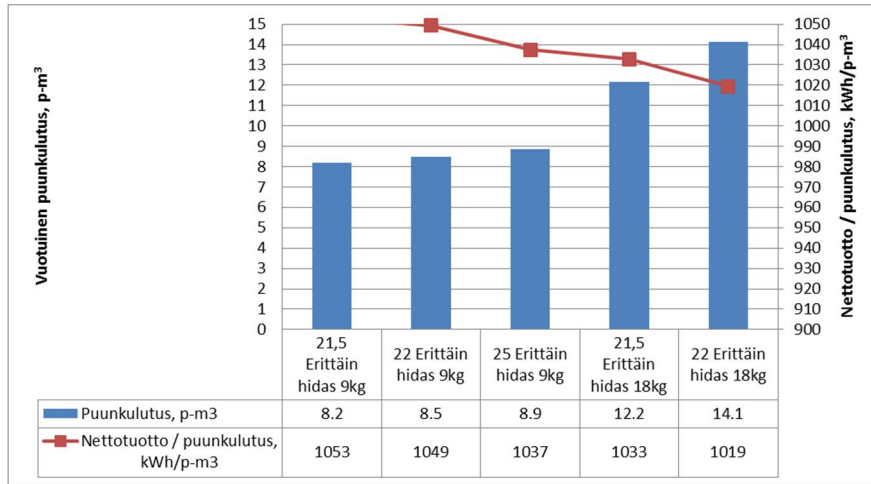
6.1.2 Tulisijojen nettolämmöntuotto, osuus lämmöntarpeesta ja puunkäyttö

Erittäin hitaalla (kuva 14) ja hitaalla tulisijalla (kuva 16) lämmitysenergian vuotuisen nettolämmöntuotto on parhaimmillaan runsaat 14 000 kWh/vuosi, joka saavutetaan noin 90 %:n lämmönluovutuksen hyötysuhteella. Nopealla tulisijalla (kuva 18) nettolämmöntuotto on vain vajaa kolmannes erittäin hitaan ja hitaan tulisijan nettolämmöntuotoista ja parhaimmillaan hieman runsaat 4 000 kWh/vuosi lämmönluovutuksen hyötysuhteella noin 90 %.

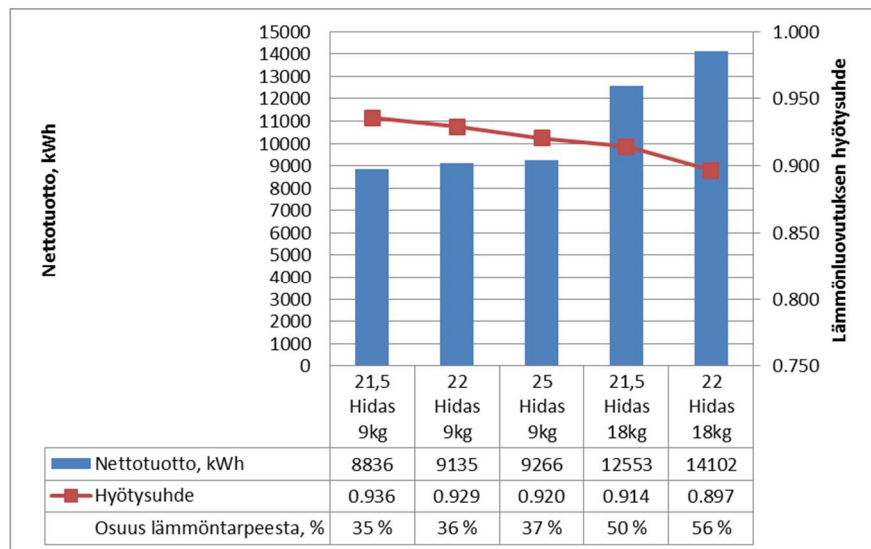
Erittäin hitaalla (kuva 14) ja hitaalla tulisijalla (kuva 16) nettotuoton osuus tilojen lämmöntarpeesta on parhaimmillaan runsaat 55 %, kun nopealla tulisijalla (kuva 18) jäädyään runsaaseen 15 %:iin. Kuvissa 15, 17 ja 19 esitetään tulisijojen puunkulutukset.



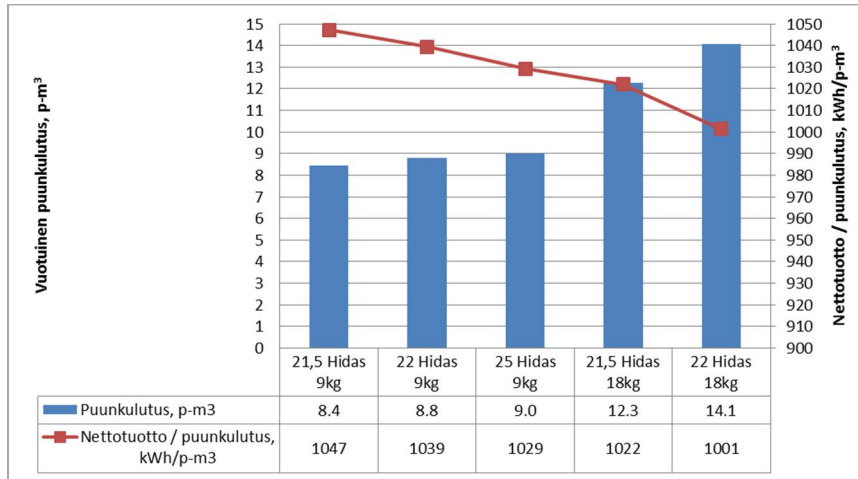
Kuva 14. Lämmitysenergian nettotuotto, lämmönluovutuksen hyötysuhde ja nettotuoton osuus tilojen lämmöntarpeesta, erittäin hitas tulisija.



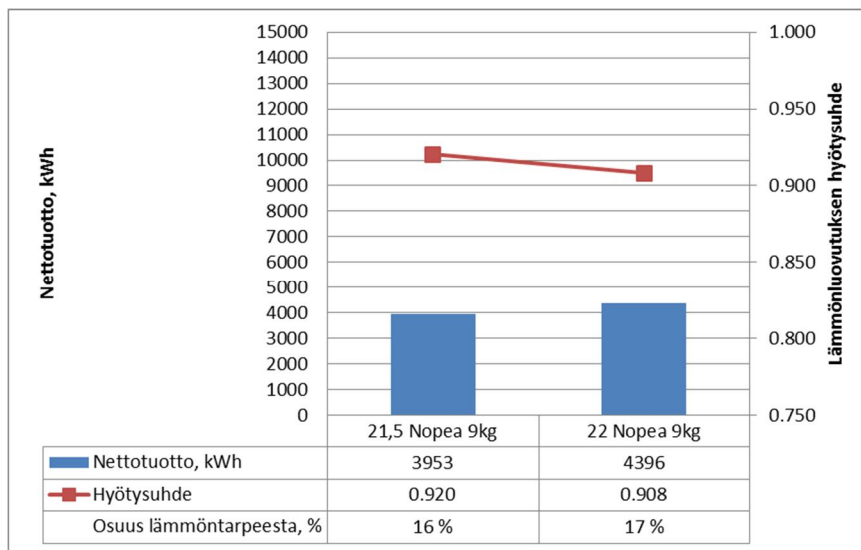
Kuva 15. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), erittäin hidas tulisija. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasältö 1 330 kWh/p-m³.



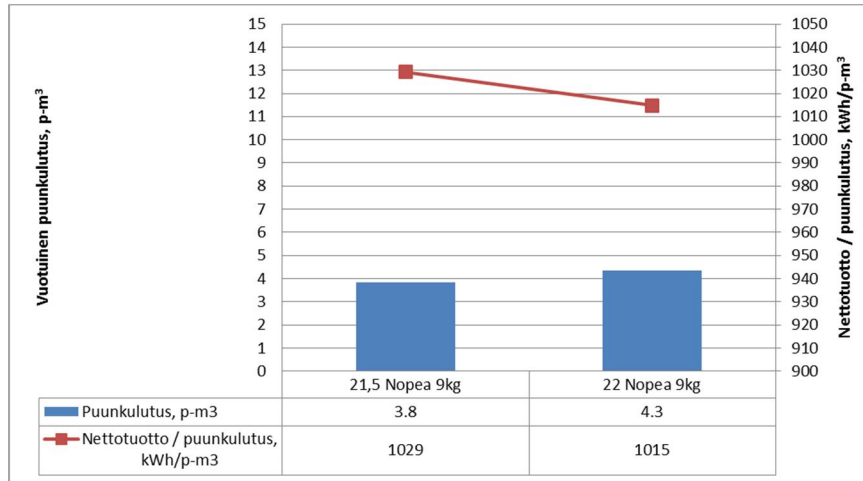
Kuva 16. Lämmitysenergian nettotuotto ja lämmönluovutuksen hyötysuhde, hidas tulisija.



Kuva 17. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), hidas tulisija. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasisältö 1 330 kWh/p-m³.



Kuva 18. Lämmitysenergian nettotuotto ja lämmönluovutuksen hyötysuhde, nopea tulisija.



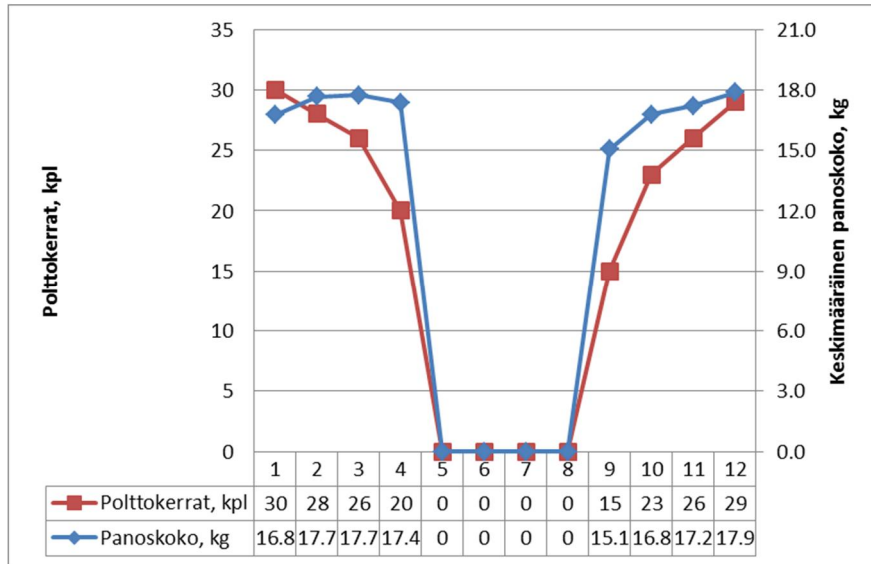
Kuva 19. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), nopea tulisija. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasisältö 1 330 kWh/p-m³.

6.1.3 Tulisijojen käyttökerrat ja panoskoot

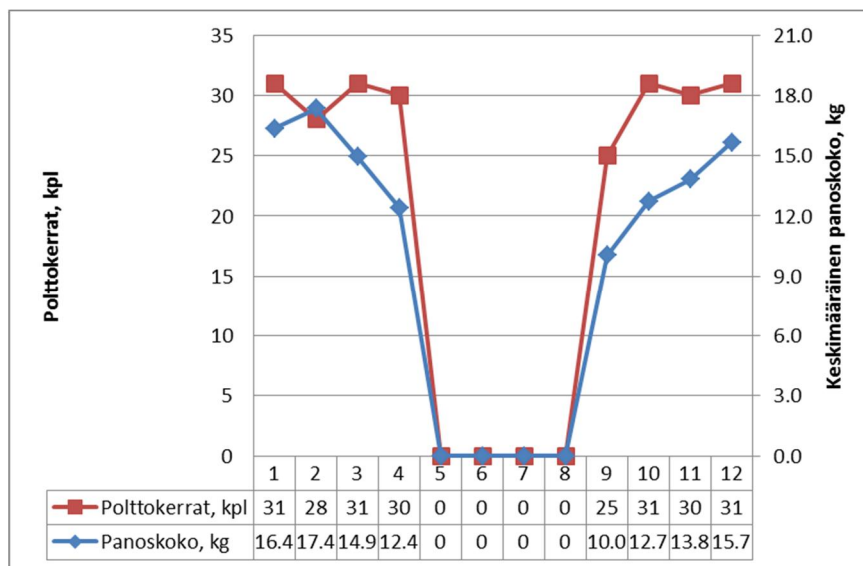
Seuraavassa on esitetty kuukausittaiset tulisijojen käyttökerrat ja käyttökertaa kohti keskimääräiset panoskoot laskentatapaukselle, jolla saavutettiin kunkin tulisijan suurin nettotuotto (kuvat 20–22). Nettotuotot on esitetty edellisessä luvussa.

Keskimääräiset panoskoot ovat useissa tapauksissa pienempiä kuin maksimi panoskoko. Tämä johtuu siitä, että simuloinneissa maksimi panoskoko on jaettu kahteen tai useampaan latauskertaan: erittäin hitaalla kahteen, hitaalla kolmeen ja nopealla neljään osaan (tarkemmin Taulukko 13). Jos olohuoneen lämpötila latauskertojen välissä on ehtinyt nousta yli asetetun rajalämpötilan, seuraavaa panosta ei ole enää ladattu tulisijaan.

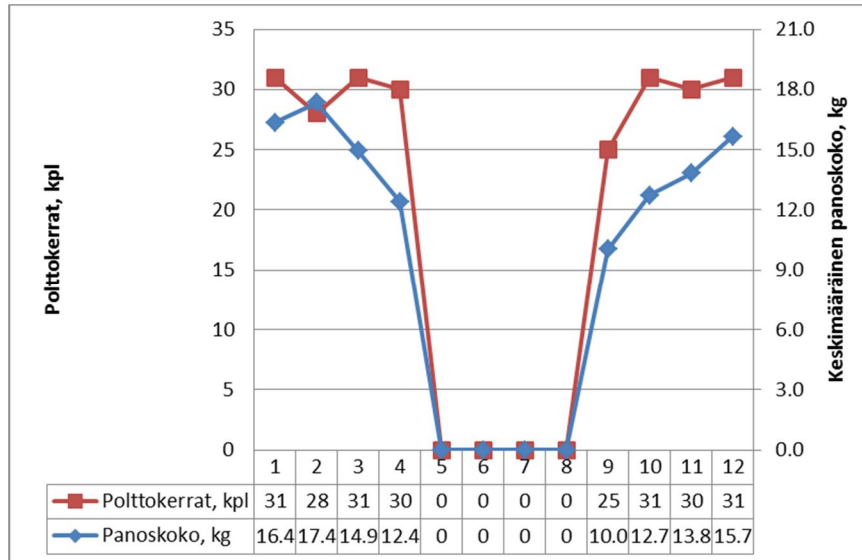
Yksikerroksisen vanhan rakennuksen lämmöntarve on niin suuri, että kaikkia tulisijoja on käytetty usein. Yleisenä havaintona tuloksista on, että mitä hitaampi tulisija on, sitä harvemmin tulisijaa käytetään ja sitä suurempi on polttokertaa kohti käytetty panoskoko.



Kuva 20. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +22 °C, panos 18 kg.



Kuva 21. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +22 °C, panos 18 kg.



Kuva 22. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +22 °C, maksimi panos 9 kg.

Vuotuiset käyttökerrat ja vuotuiset keskimääräiset panoskoot on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 15).

Taulukko 15. Vuotuiset käyttökerrat ja keskimääräiset panoskoot.

Tulisija	Keskimääräinen panoskoko kg	Keskimääräiset käyttökerrat kpl/vuosi
Erittäin hidas	17,2	197
Hidas	14,2	237
Nopea	4,3	242

6.2 Yksikerroksinen peruskorjattu rakennus

Tulisijoina rakennuksessa käytettiin kaikkia kolmea eri tulisijatyyppeä: nopea, hidas ja erittäin hidas. Lisäksi tulisijojen panostuksessa käytettiin kahta eri maksimipanoskokoa, 9 kg/panos ja 18 kg/panos.

Tulisijojen käyttö pyrittiin maksimoimaan kuitenkin niin, että käyttöä rajoitettiin huonelämpötilan perusteella. Huonelämpötilalle annettiin simuloinneissa maksimitaso, jonka ylittyessä tulisijaa ei sytytetty sytytysketkellä tai maksimitason ylityessä tulisijan polton aikana, seuraavaa panosta ei lisätty. Sytytysketki oli määritelty kaikissa tapauksissa jokaiselle päivälle kello 18.00. Kaikki laskennat suoritettiin kolmella eri huonelämpötilan raja-arvolla (maksimitaso): 21,5 °C, 22 °C ja 25 °C.

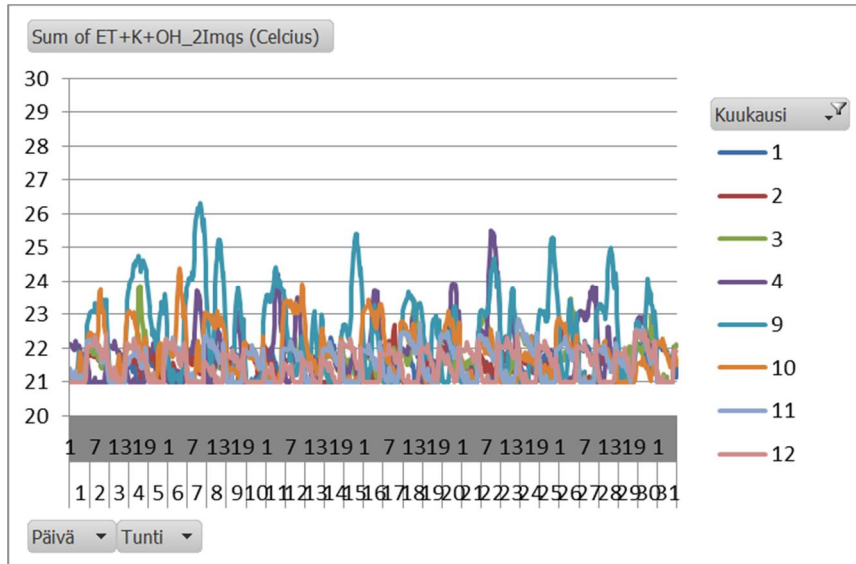
6.2.1 Lämpöolosuhteet

Lämpöolosuhteiltaan hyväksyttäviä simulointitapauksia löytyi erittäin hitaalla ja hitaalla tulisijalla kummallakin kolme kappaletta ja nopealla tulisijalla kaksi (Taulukko 16).

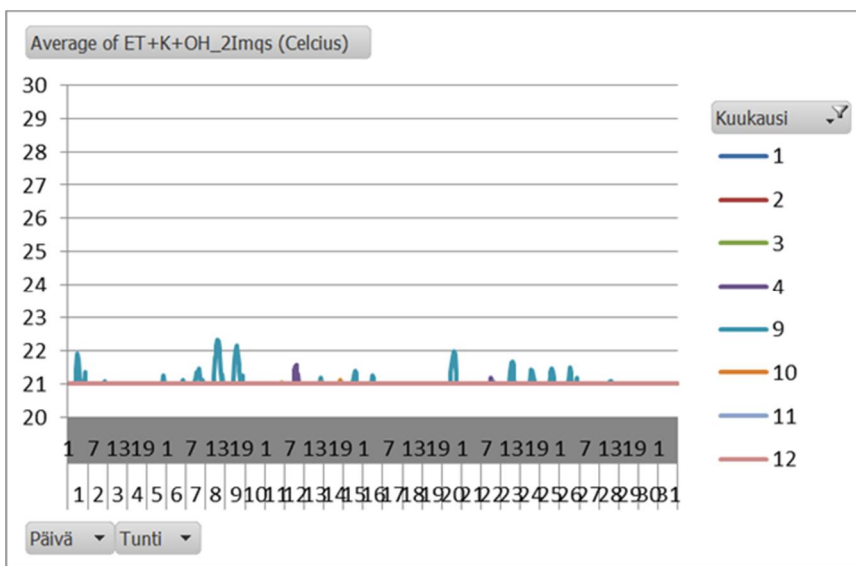
Taulukko 16. Olohuoneen lämpöolosuhteiltaan hyväksyttävät simulointitapaukset.

Tulisija	Panostus	Olohuoneen lämpötilan raja-arvo		
		21,5 °C	22 °C	25 °C
Erittäin hidas	9 kg	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	X
	18 kg	Hyväksyttävä	X	X
Hidas	9 kg	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	X
	18 kg	Hyväksyttävä	X	X
Nopea	9 kg	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	X
	18 kg	X	X	X

Kuvassa 23 on esitetty esimerkkinä olohuoneen lämpötilan käyttäytyminen tulisijan käyttökuukausina tapaukselle, jonka nettolämmöntuotto yksikerroksisessa peruskorjatussa talossa oli kaikkein suurin (erittäin hidas tulisija, panos 18 kg, huonelämpötilan raja-arvo 21,5 °C). Vertailun vuoksi on esitetty myös tilanne ilman tulisijaa (kuva 24). Tarkemmin lämpöolosuhteet on esitetty liitteessä A, josta löytyy olohuoneen lämpötilat kuukausittain kaikille tulisijoille useammalla laskentatapauksella.



Kuva 23. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 18 kg.



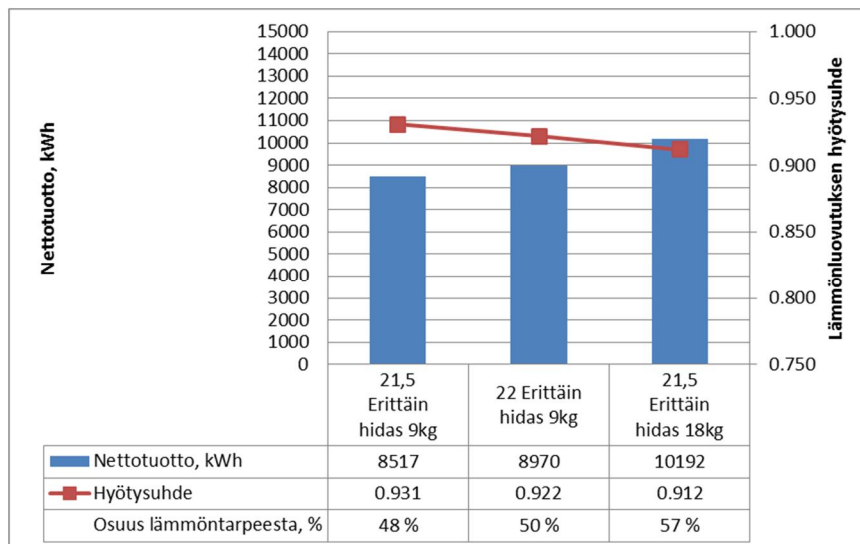
Kuva 24. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), ilman tulisijaa.

6.2.2 Tulisijojen nettolämmöntuotto, osuus lämmöntarpeesta ja puunkäyttö

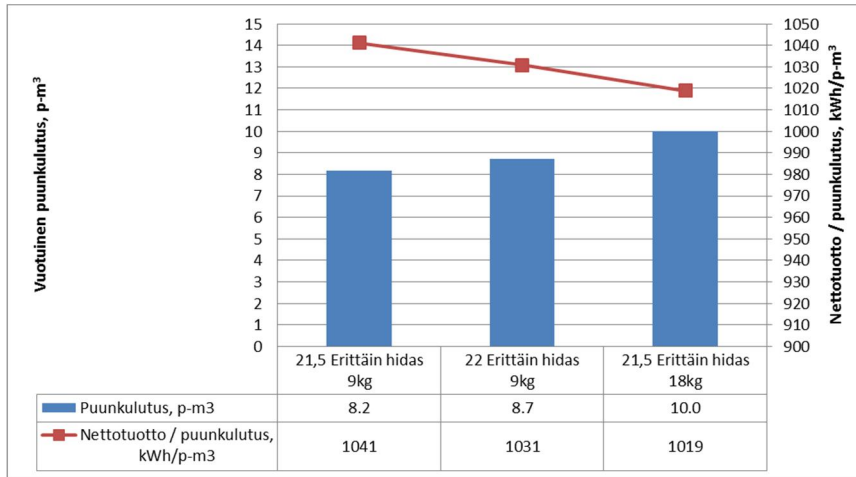
Erittäin hitaalla (kuva 25) ja hitaalla tulisijalla (kuva 26) lämmitysenergian vuotuisen nettolämmöntuotto on parhaimmillaan noin 10 000 kWh/vuosi, joka saavutetaan noin 90 %:n lämmönluovutuksen hyötysuhteella. Nopealla tulisijalla (kuva 27) nettolämmöntuotto on runsas kolmannes erittäin hitaan ja hitaan tulisijan nettolämmöntuotoista ja parhaimmillaan lähes 3 500 kWh/vuosi lämmönluovutuksen hyötysuhteen ollessa noin 90 %.

Erittäin hitaalla (kuva 25) ja hitaalla tulisijalla (kuva 26) nettotuoton osuus tilojen lämmöntarpeesta on parhaimmillaan noin 55 %, kun nopealla tulisijalla (kuva 27) jäädyään vajaaseen 20 %:iin.

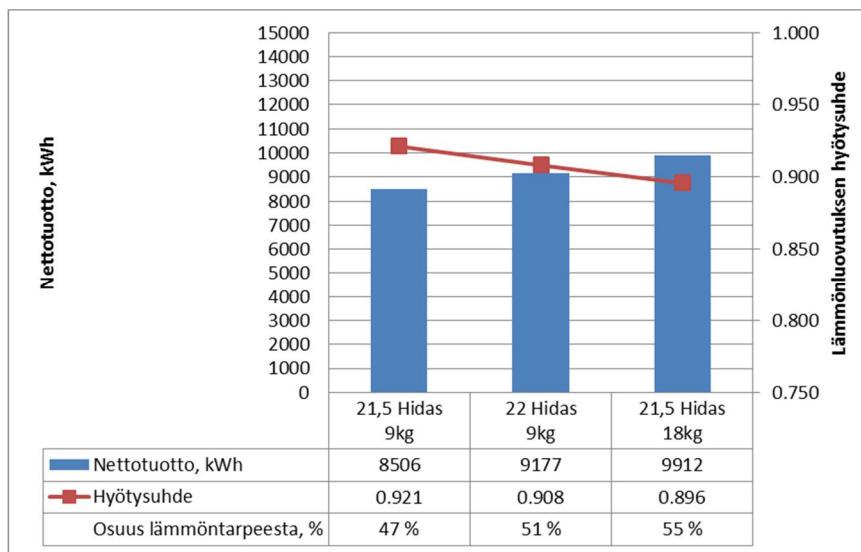
Tulisijojen nettotuottoa vastaavat puunkulutukset esitetään kuvissa 26, 28 ja 30.



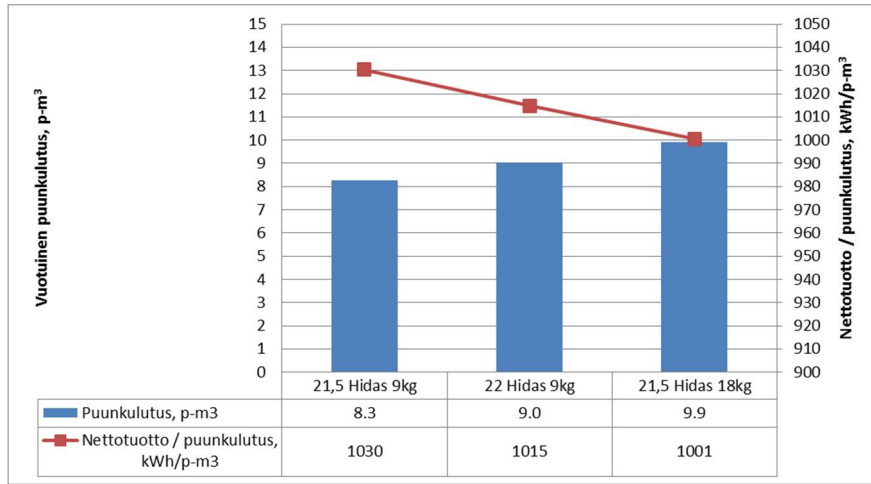
Kuva 25. Lämmitysenergian nettotuotto, lämmönluovutuksen hyötysuhde ja nettotuoton osuus tilojen lämmöntarpeesta, erittäin hitas tulisija.



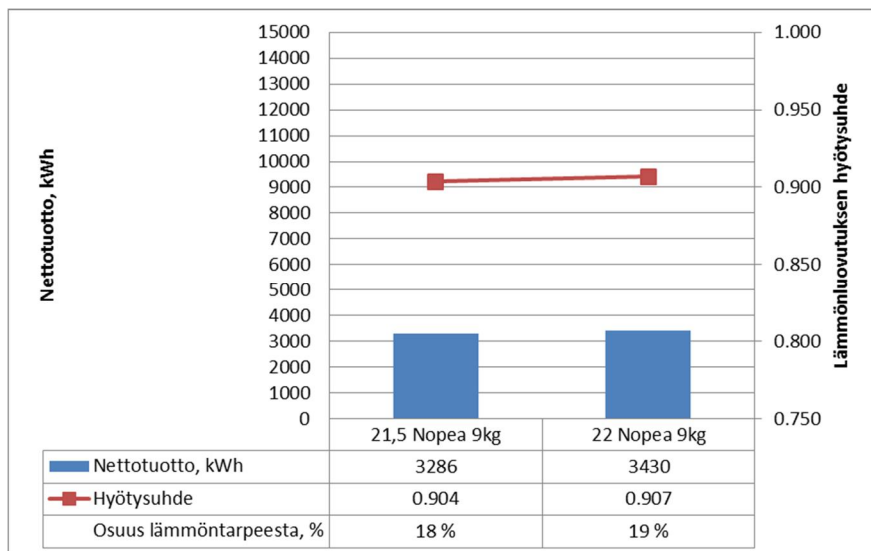
Kuva 26. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), erittäin hidas tulisija. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasisältö 1 330 kWh/p-m³.



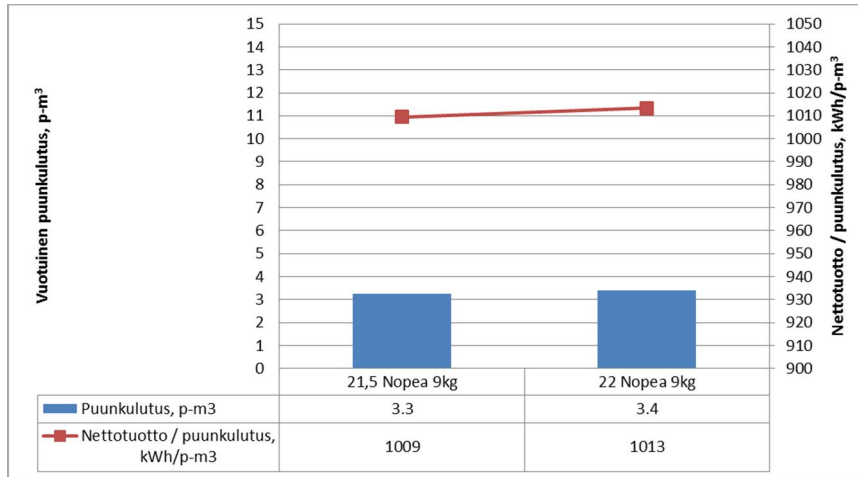
Kuva 27. Lämmitysenergian nettotuotto ja lämmönluovutuksen hyötysuhde, hidas tulisija.



Kuva 28. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), hidas tulisija. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasisältö 1 330 kWh/p-m³.



Kuva 29. Lämmitysenergian nettotuotto ja lämmönluovutuksen hyötysuhde, nopea tulisija.



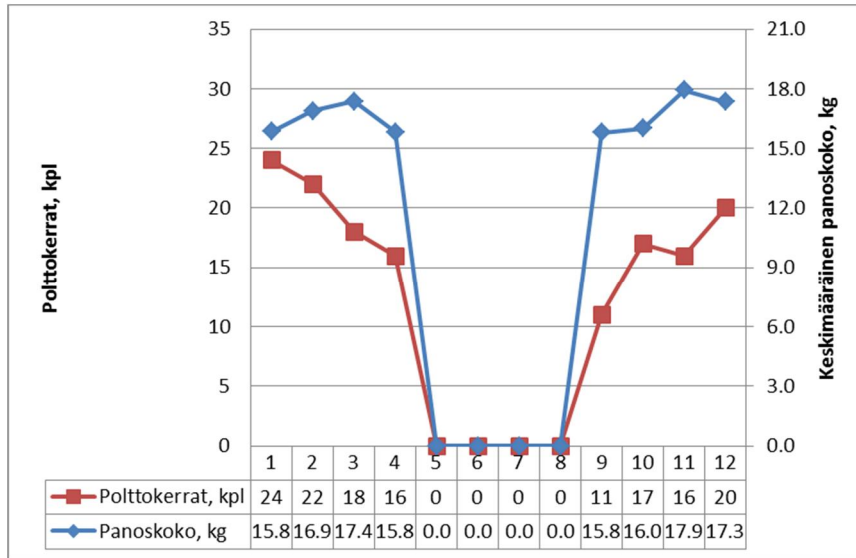
Kuva 30. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), nopea tulisija. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasisältö 1 330 kWh/p-m³.

6.2.3 Tulisijojen käyttökerrat ja panoskoot

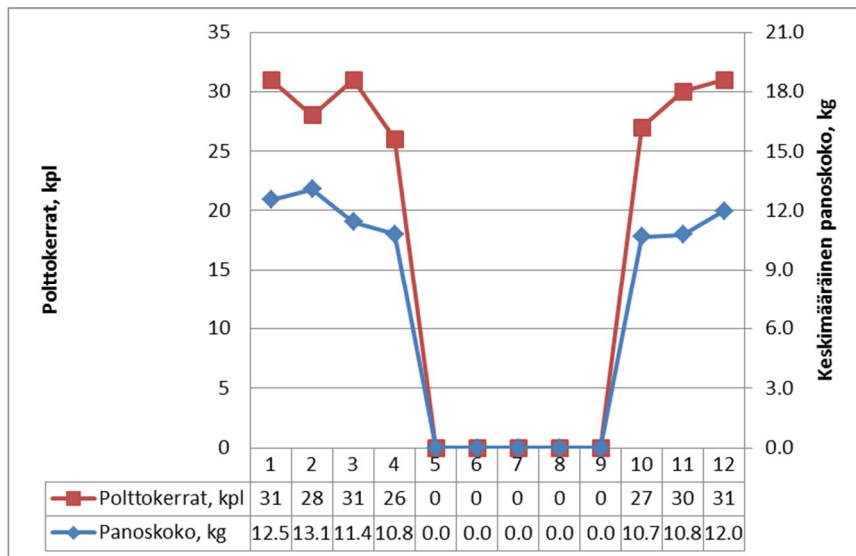
Tässä luvussa on esitetty kuukausittaiset tulisijojen käyttökerrat ja käyttökertaa kohti keskimääräiset panoskoot laskentatapaukselle, jolla saavutettiin kunkin tulisijan suurin nettotuotto (kuvat 31–33). Nettotuotot on esitetty edellisessä luvussa.

Keskimääräiset panoskoot ovat useissa tapauksissa pienempiä kuin maksimi panoskoko. Tämä johtuu siitä, että simuloinneissa maksimi panoskoko on jaettu kahteen tai useampaan latauskertaan: erittäin hitaalla kahteen, hitaalla kolmeen ja nopealla neljään osaan (tarkemmin Taulukko 13). Jos olohuoneen lämpötila latauskertojen välissä on ehtinyt nousta yli asetetun rajalämpötilan, seuraavaa panosta ei ole enää ladattu tulisijaan.

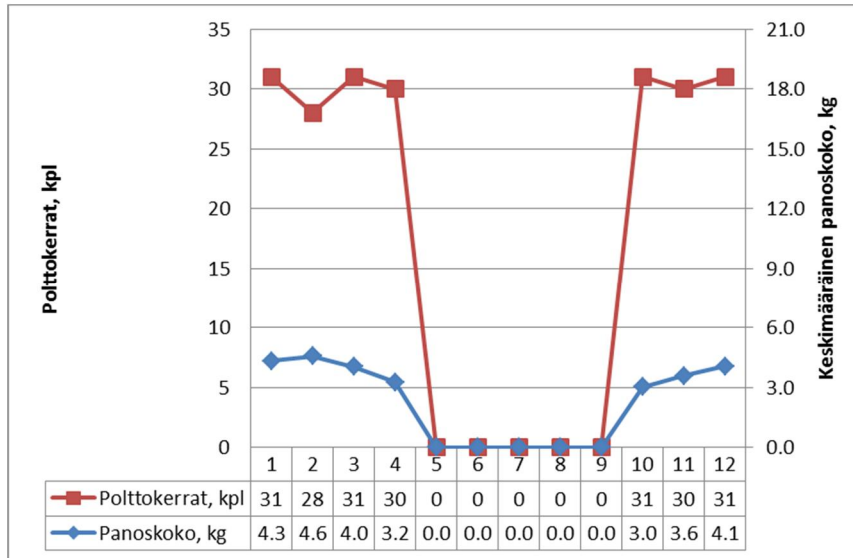
Yksikerroksisen peruskorjatun rakennuksen lämmöntarve on niin suuri, että kaikkia tulisijoja on käytetty usein. Yleisenä havaintona tuloksista on, että mitä hitaampi tulisija on, sitä harvemmin tulisijaa käytetään ja sitä suurempi on polttokertaa kohti oleva panoskoko.



Kuva 31. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +21,5 °C, panos 18 kg.



Kuva 32. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +21,5 °C, panos 18 kg.



Kuva 33. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +22 °C, maksimi panos 9 kg.

Vuotuiset käyttökerrat ja vuotuiset keskimääräiset panoskoot on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 17).

Taulukko 17. Vuotuiset käyttökerrat ja keskimääräiset panoskoot.

Tulisija	Keskimääräinen panoskoko kg	Keskimääräiset käyttökerrat kpl/vuosi
Erittäin hidas	16,6	144
Hidas	11,6	204
Nopea	3,8	212

6.3 Kaksikerroksinen uusi rakennus

Tulisijoina rakennuksessa käytettiin kaikkia kolmea eri tulisijatyyppeä: nopea, hidas ja erittäin hidas. Lisäksi tulisijojen panostuksessa käytettiin kahta eri maksimi-panoskokoa, 9 kg/panos ja 18 kg/panos.

Tulisijojen käyttö pyrittiin maksimoimaan kuitenkin niin, että käyttöä rajoitettiin huonelämpötilan perusteella. Huonelämpötilalle annettiin simuloinneissa maksimitaso, jonka ylittyessä tulisijaa ei sytytetty sytytysshetkellä. Jos maksimitaso ylittyi tulisijan polton aikana, seuraavaa panosta ei lisätty. Sytytysshetki oli määritelty kaikissa tapauksissa jokaiselle päivälle kello 18.00. Kaikki laskennat suoritettiin kolmella eri huonelämpötilan raja-arvolla (maksimitaso): 21,5 °C, 22 °C ja 25 °C.

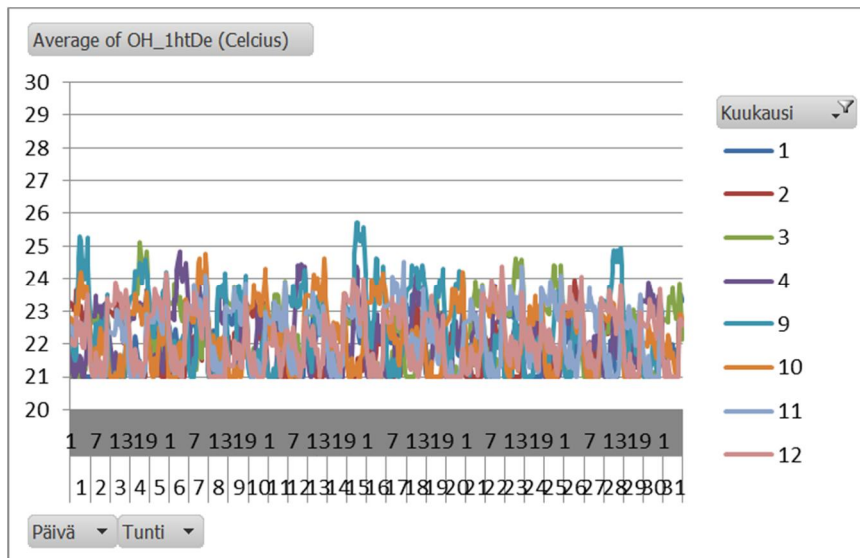
6.3.1 Lämpöolosuhteet

Lämpöolosuhteiltaan hyväksyttäviä simulointitapauksia löytyi erittäin hitaalla kaksi ja hitaalla sekä nopealla tulisijalla kummallakin vain yksi (Taulukko 18).

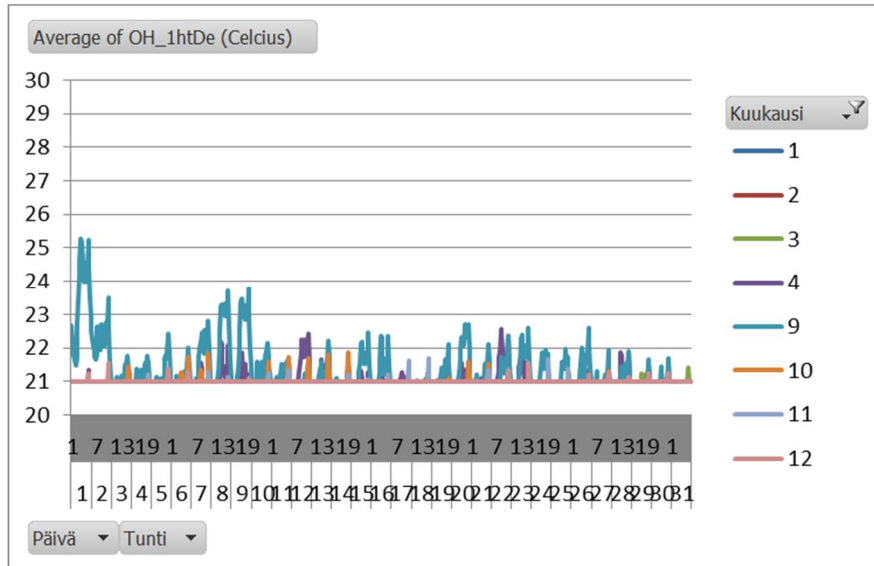
Taulukko 18. Olohuoneen lämpöolosuhteiltaan hyväksyttävät simulointitapaukset.

Tulisija	Panostus	Olohuoneen lämpötilan raja-arvo		
		21,5 °C	22 °C	25 °C
Erittäin hidas	9 kg	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	X
	18 kg	X	X	X
Hidas	9 kg	Hyväksyttävä	X	X
	18 kg	X	X	X
Nopea	9 kg	Hyväksyttävä	X	X
	18 kg	X	X	X

Kuvassa 34 on esitetty esimerkkinä olohuoneen lämpötilan käyttäytyminen tulisijan käyttökuukausina tapaukselle, jonka nettolämmöntuotto kaksikerroksisessa uudessa talossa oli kaikkein suurin (erittäin hidas tulisija, panos 9 kg, huonelämpötilan raja-arvo 22 °C). Vertailun vuoksi on esitetty myös tilanne ilman tulisijaa (kuva 35). Tarkemmin lämpöolosuhteet on esitetty liitteessä A, josta löytyy olohuoneen lämpötilat kuukausittain kaikille tulisijoille useammalla laskentatapauksella.



Kuva 34. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 9 kg.



Kuva 35. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), ilman tulisijaa.

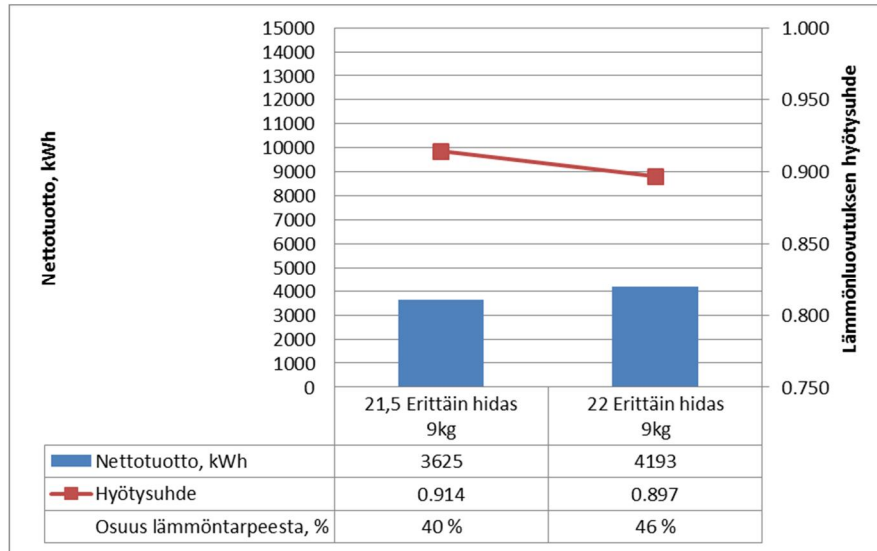
6.3.2 Tulisijojen nettolämmöntuotto, osuus lämmöntarpeesta ja puunkäyttö

Erittäin hitaalla (kuva 36) ja hitaalla tulisijalla (kuva 38) lämmitysenergian vuotuisen nettolämmöntuotto on parhaimmillaan 4 000 kWh/vuosi, joka saavutetaan noin 90 %:n lämmönluovutuksen hyötysuhteella. Nopealla tulisijalla (kuva 40) nettolämmöntuotto on alle neljännes erittäin hitaan ja hitaan tulisijan nettolämmöntuotoista ja parhaimmillaan alle 900 kWh/vuosi lämmönluovutuksen hyötysuhteen ollessa noin 90 %.

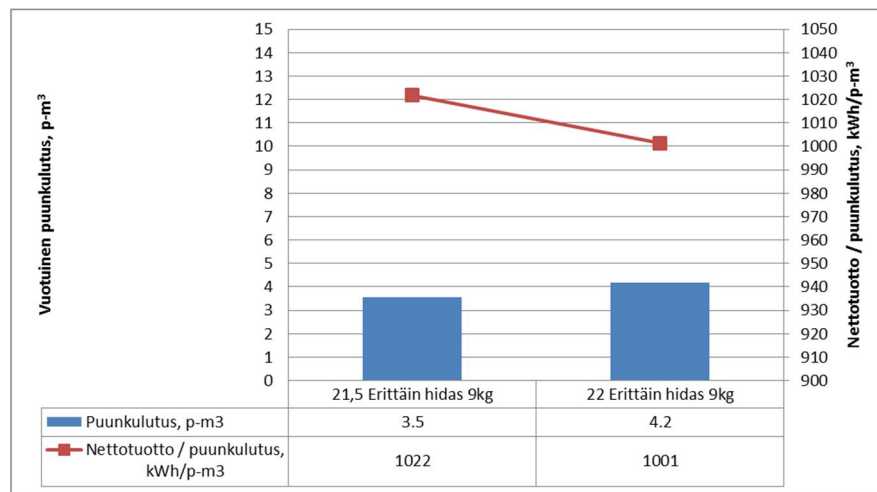
Erittäin hitaalla (kuva 36) ja hitaalla tulisijalla (kuva 38) nettotuoton osuus tilojen lämmöntarpeesta on parhaimmillaan runsaat 40 %, kun nopealla tulisijalla (kuva 40) jäädään vain vajaaseen 10 %:iin.

Tulisijan käyttökausi erittäin hitaalla tulisijalla on syyskuusta huhtikuuhun, samoin kuin hitaalla tulisijalla, sen sijaan nopealla tulisijalla käyttökausi on enää kolme kuukautta joulukuusta helmikuuhun.

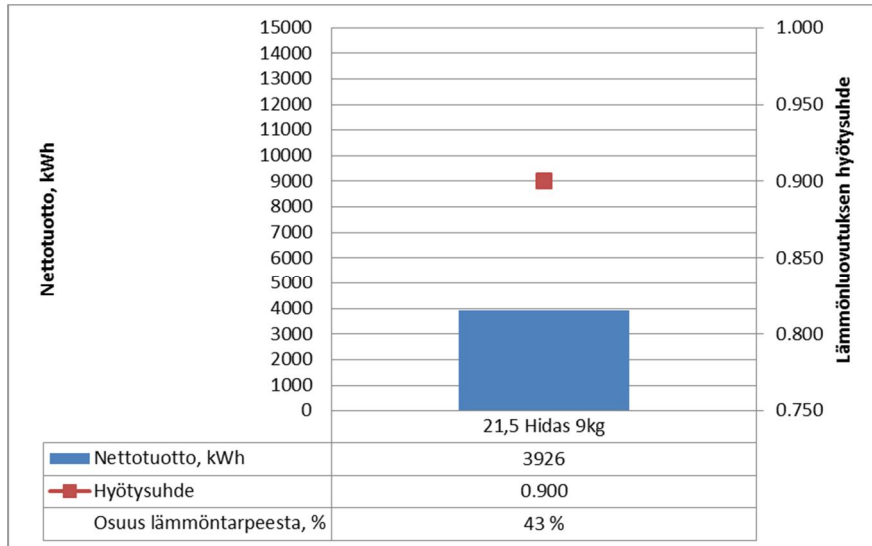
Tulisijojen nettotuottoa vastaavat puunkulutukset on esitetty kuvissa 37, 39 ja 41.



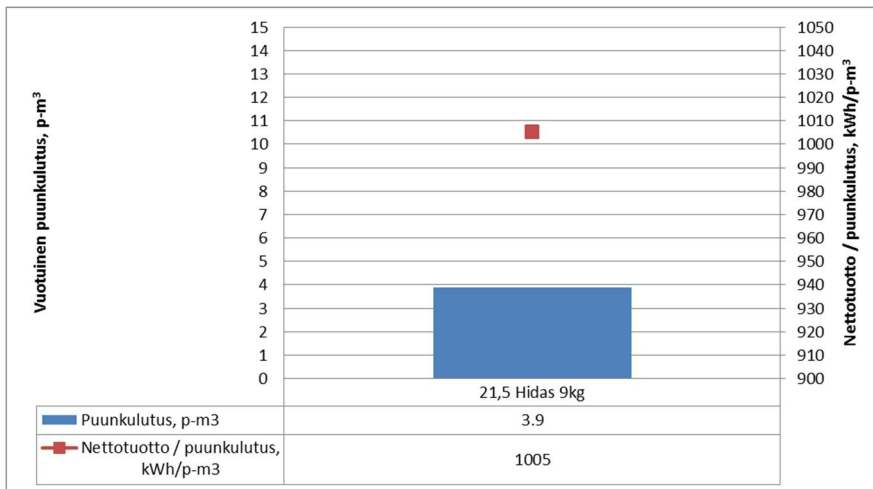
Kuva 36. Lämmitysenergian nettotuotto, lämmönluovutuksen hyötysuhde ja nettotuoton osuus tilojen lämmöntarpeesta, erittäin hidas tulisija.



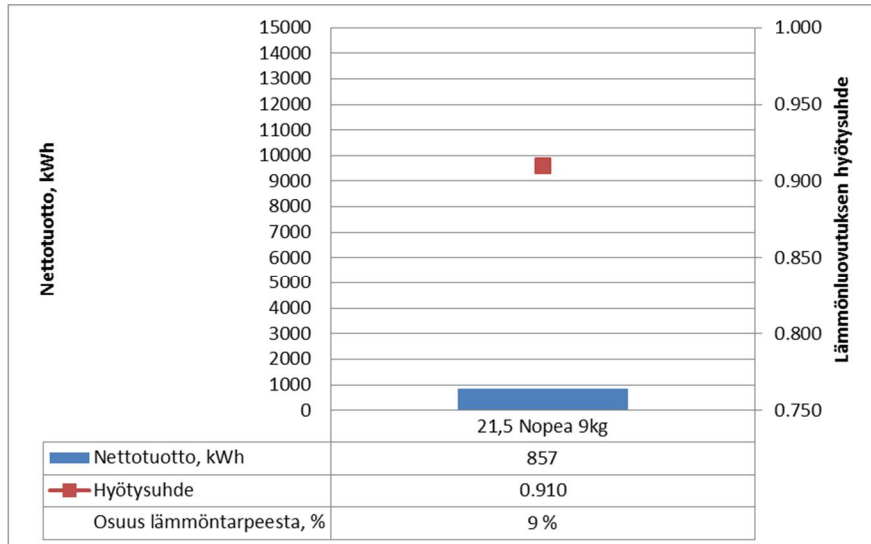
Kuva 37. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), erittäin hidas tulisija. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasisältö 1 330 kWh/p-m³.



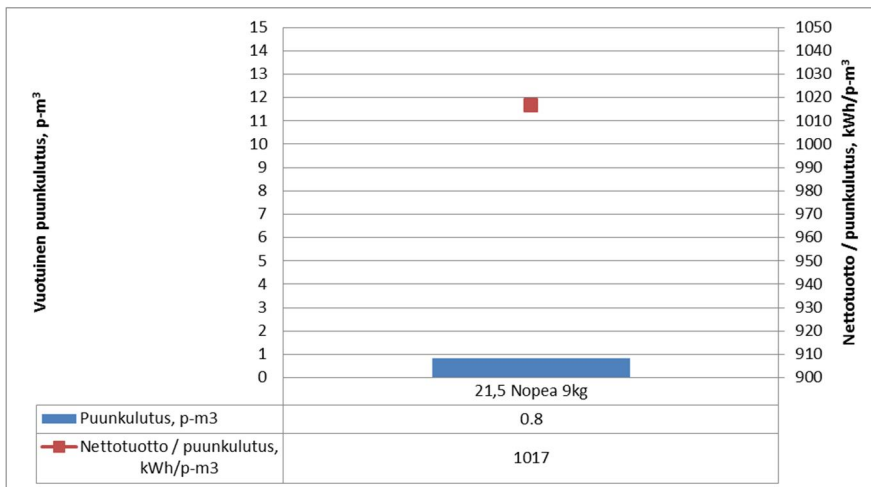
Kuva 38. Lämmitysenergian nettotuotto ja lämmönluvutuksen hyötysuhde, hidas tulisija.



Kuva 39. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), hidas tulisija. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasisältö 1 330 kWh/p-m³.



Kuva 40. Lämmitysenergian nettotuotto ja lämmönluovutuksen hyötysuhde, nopea tulisija.



Kuva 41. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), nopea tulisija. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasisältö 1 330 kWh/p-m³.

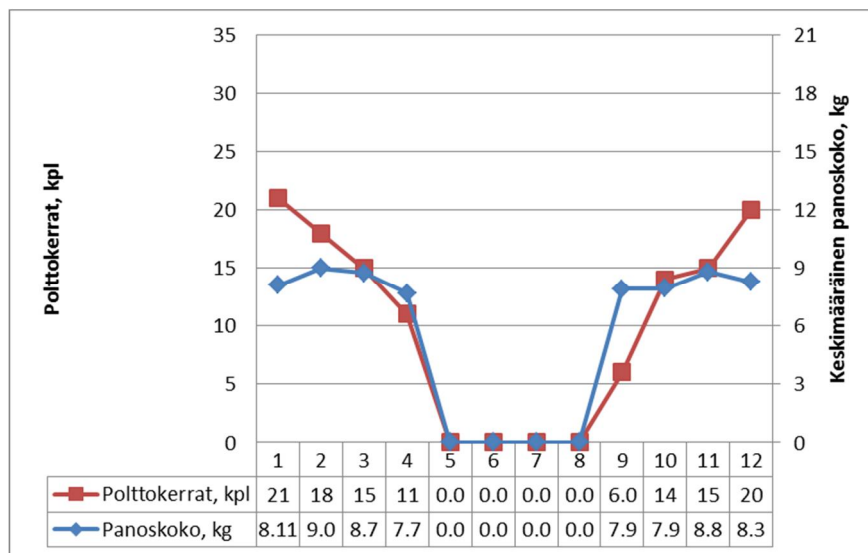
6.3.3 Tulisijojen käyttökerrat ja panoskoot

Tässä luvussa on esitetty kuukausittaiset tulisijojen käyttökerrat ja käyttökertaa kohti keskimääräiset panoskoot laskentatapaukselle, jolla saavutettiin kunkin tulisijan suurin nettotuotto (kuvat 42–44). Nettotuotot on esitetty edellisessä luvussa.

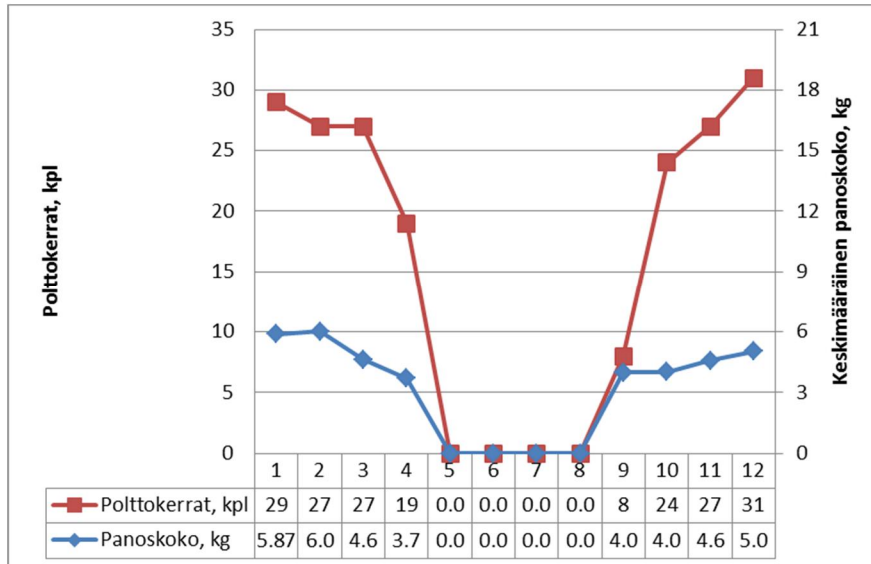
Keskimääräiset panoskoot ovat useissa tapauksissa pienempiä kuin maksimi-panoskoko. Tämä johtuu siitä, että simuloinneissa maksimi panoskoko on jaettu kahteen tai useampaan latauskertaan: erittäin hitaalla tulisijalla kahteen, hitaalla kolmeen ja nopealla neljään osaan (tarkemmin Taulukko 13). Jos olohuoneen lämpötila latauskertojen välissä on ehtinyt nousta yli asetetun rajalämpötilan, seuraavaa panosta ei ole enää ladattu tulisijaan.

Kaksikerroksisen uuden rakennuksen lämmöntarve on huomattavasti pienempi kuin yksikerroksisten vanhojen rakennusten. Silti kaikkia tulisijoja on käytetty usein, mutta panoskoot ovat hitaalla ja nopealla tulisijalla jääneet huomattavasti pienemmiksi kuin maksimipanoskoot. Yleisenä havaintona tuloksista on, että mitä hitaampi tulisija on, sitä harvemmin tulisijaa käytetään ja sitä suurempi on polttokertaa kohti oleva panoskoko.

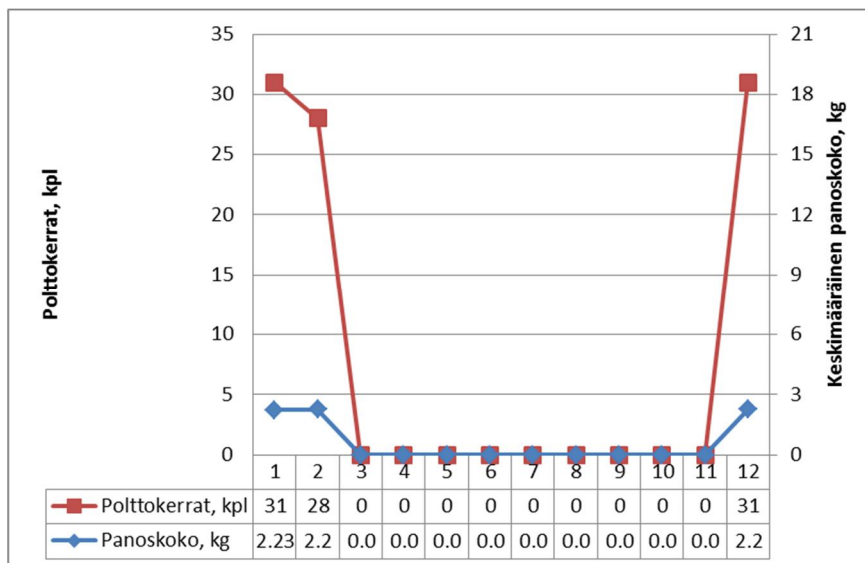
On myös hyvä huomata, että tulisijojen käyttöjaksot eroavat toisistaan: erittäin hitaalla ja hitaalla tulisijalla käyttö alkaa syyskuusta ja loppuu huhtikuuhun ja nopeaa tulisijaa käytetään ainoastaan kolmen kuukauden ajan joulukuusta helmikuuhun.



Kuva 42. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +22 °C, maksimipanos 9 kg.



Kuva 43. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +21,5 °C, maksimipanos 9 kg.



Kuva 44. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +21,5 °C, maksimipanos 9 kg.

Vuotuiset käyttökerrat ja vuotuiset keskimääräiset panoskoot on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 19).

Taulukko 19. Vuotuiset käyttökerrat ja keskimääräiset panoskoot.

Tulisija	Keskimääräinen panoskoko kg	Keskimääräiset käyttökerrat kpl/vuosi
Erittäin hidas	8,7	120
Hidas	4,9	192
Nopea	2,2	90

6.4 Kaksikerroksinen passiivirakennus

Tulisijoina rakennuksessa käytettiin kaikkia kolmea eri tulisijatyyppiä: nopea, hidas ja erittäin hidas. Lisäksi tulisijojen panostuksessa käytettiin kahta eri maksimipanoskokoja, 9 kg/panos ja 18 kg/panos.

Tulisijojen käyttö pyrittiin maksimoimaan kuitenkin niin, että käyttöä rajoitettiin huonelämpötilan perusteella. Huonelämpötilalle annettiin simuloinneissa maksimitaso, jonka ylittyessä tulisijaa ei sytytetty sytytysshetkellä. Jos maksimitaso ylittyi tulisijan polton aikana, seuraavaa panosta ei lisätty. Sytytysshetki oli määritelty kaikissa tapauksissa jokaiselle päivälle kello 18.00. Kaikki laskennat suoritettiin kolmella eri huonelämpötilan raja-arvolla (maksimitaso): 21,5 °C, 22 °C ja 25 °C.

6.4.1 Lämpöolosuhteet

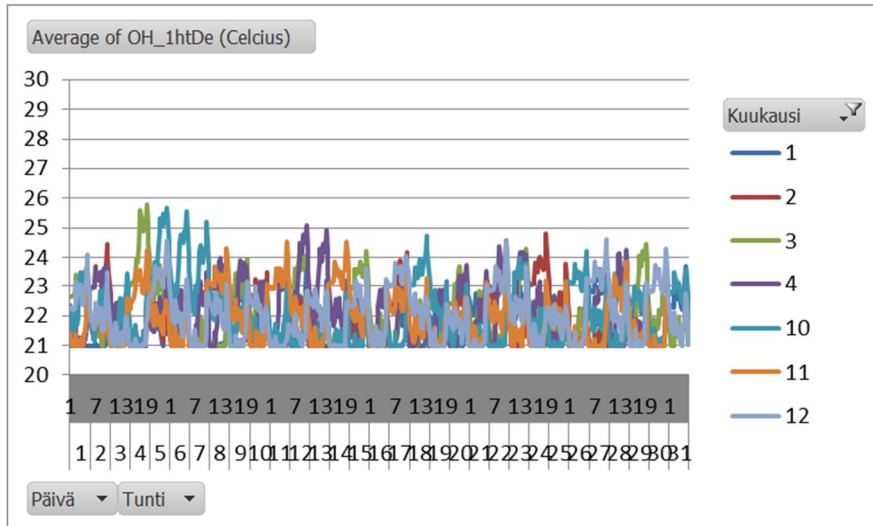
Lämpöolosuhteiltaan hyväksyttäviä simulointitapauksia löytyi kaikilla tulisijoilla enää vain yksi (Taulukko 20).

Taulukko 20. Olohuoneen lämpöolosuhteiltaan hyväksyttävät simulointitapaukset.

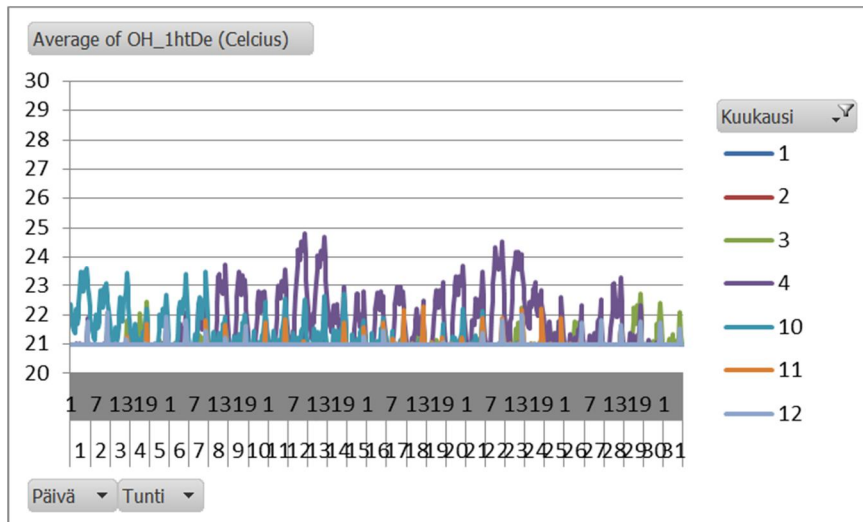
Tulisija	Panostus	Olohuoneen lämpötilan raja-arvo		
		21,5 °C	22 °C	25 °C
Erittäin hidas	9 kg	Hyväksyttävä	X	X
	18 kg	X	X	X
Hidas	9 kg	Hyväksyttävä	X	X
	18 kg	X	X	X
Nopea	9 kg	Hyväksyttävä	X	X
	18 kg	X	X	X

Kuvassa 45 on esitetty esimerkkinä olohuoneen lämpötilan käyttäytyminen tulisijan käyttökuukausina tapaukselle, jonka nettolämmöntuotto kaksikerroksisessa passiivirakennuksessa oli kaikkein suurin (erittäin hidas tulisija, panos 9 kg, huonelämpötilan raja-arvo 21,5 °C). Vertailun vuoksi on esitetty myös tilanne ilman tulisijaa (kuva 46). Tarkemmin lämpöolosuhteet on esitetty liitteessä A, josta löytyy olo-

huoneen lämpötilat kuukausittain kaikille tulisijoille useammalla laskentatapauksella.



Kuva 45. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 9 kg.



Kuva 46. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), ilman tulisijaa.

6.4.2 Tulisijojen nettolämmöntuotto, osuus lämmöntarpeesta ja puunkäyttö

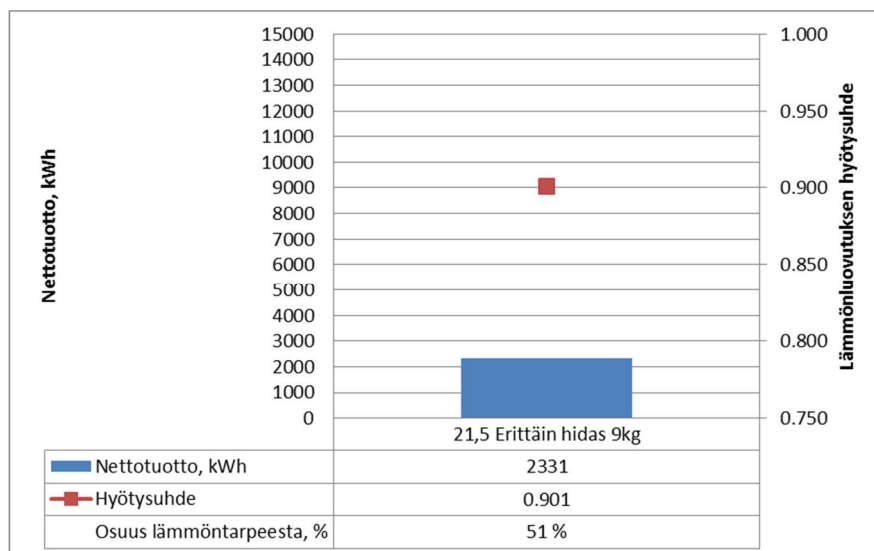
Erittäin hitaalla (kuva 47) ja hitaalla tulisijalla (kuva 49) lämmitysenergian vuotuisen nettolämmöntuotto on parhaimmillaan noin 2 300 kWh/vuosi, joka saavutetaan noin 90 %:n lämmönluovutuksen hyötysuhteella. Nopealla tulisijalla (kuva 51) nettolämmöntuotto on alle neljännes erittäin hitaan ja hitaan tulisijan nettolämmöntuotoista ja parhaimmillaan runsaat 500 kWh/vuosi lämmönluovutuksen hyötysuhteen jäädessä alle 90 %.

Erittäin hitaalla (kuva 47) ja hitaalla tulisijalla (kuva 49) nettotuoton osuus tilojen lämmöntarpeesta on parhaimmillaan runsaat 50 %, kun nopealla tulisijalla (kuva 51) jäädyään vain runsaaseen 10 %:iin.

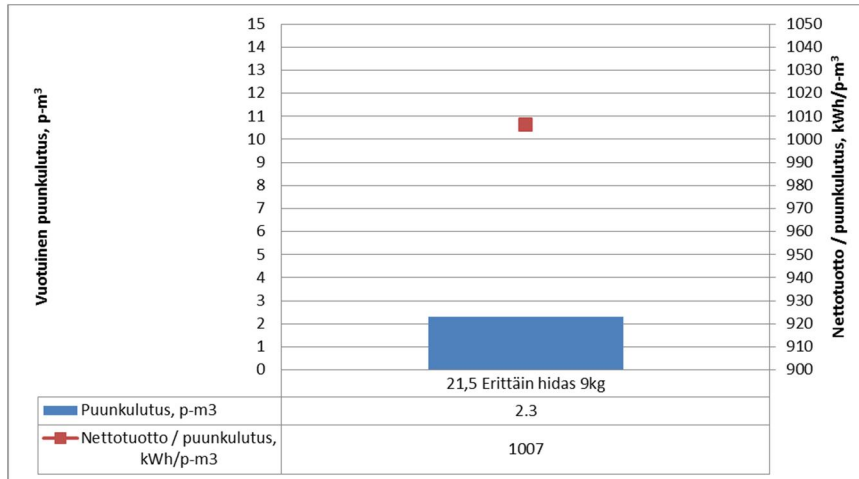
Tulisijan käyttökausi erittäin hitaalla ja hitaalla tulisijalla on lokakuusta huhtikuuhun ja nopealla tulisijalla vain kaksi kuukautta tammikuusta helmikuuhun.

Passiivirakennuksen käyttäytymistä tutkittiin hitaalla tulisijalla Sodankylän sääolosuhteissa. Sodankylään sijoitettuna tulisijan nettotuotto (kuva 53) on suurempi kuin Helsingin säässä (kuva 49) mutta nettotuoton suhde tilojen lämmöntarpeeseen on samaa suuruusluokkaa kuin Helsingin säässäkin. Myös lämmönluovutuksen hyötysuhde on linjassa Helsingin sään tuloksen kanssa.

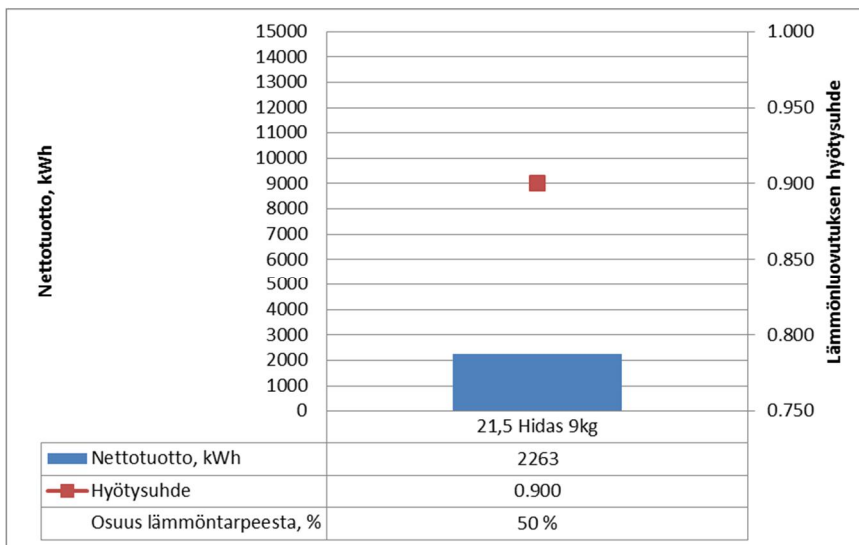
Tulisijojen nettotuottoa vastaavat puunkulutukset on esitetty Helsingin säässä kuvissa 48, 50 ja 52 ja Sodankylän säässä kuvassa 54.



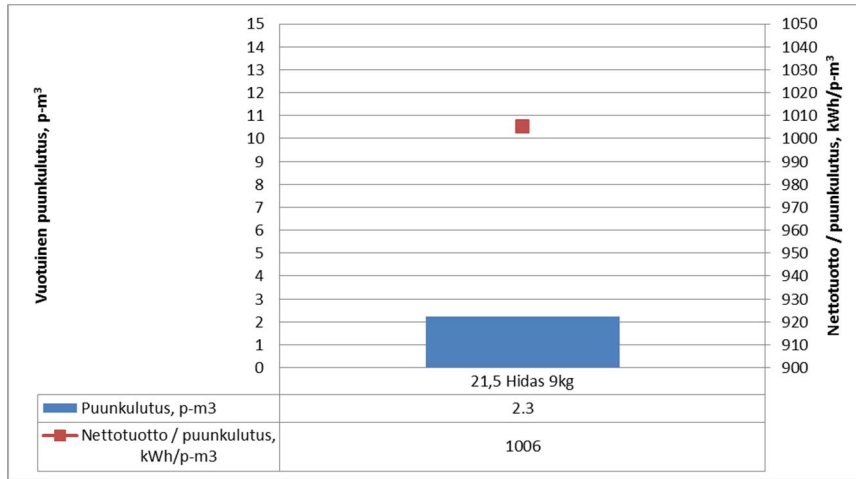
Kuva 47. Lämmitysenergian nettotuotto, lämmönluovutuksen hyötysuhde ja nettotuoton osuus tilojen lämmöntarpeesta, erittäin hidas tulisija.



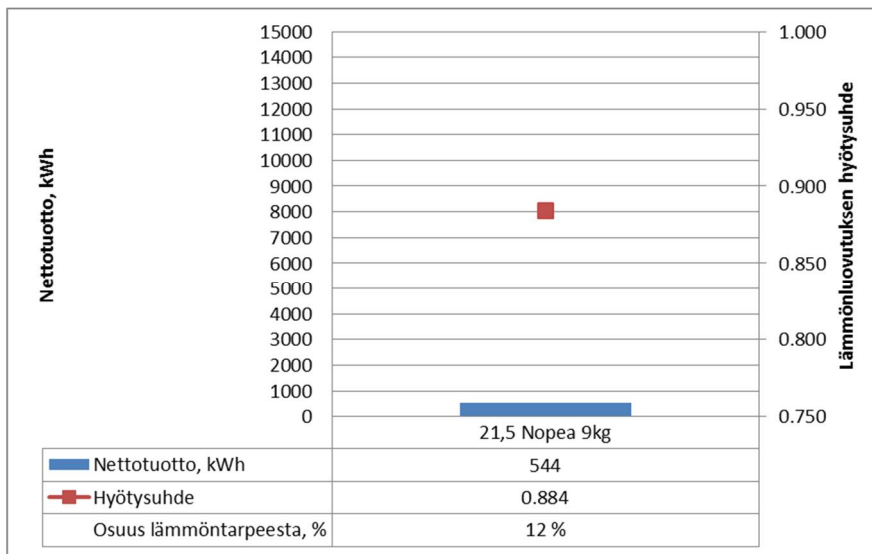
Kuva 48. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), erittäin hidas tulisija. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasisältö 1 330 kWh/p-m³.



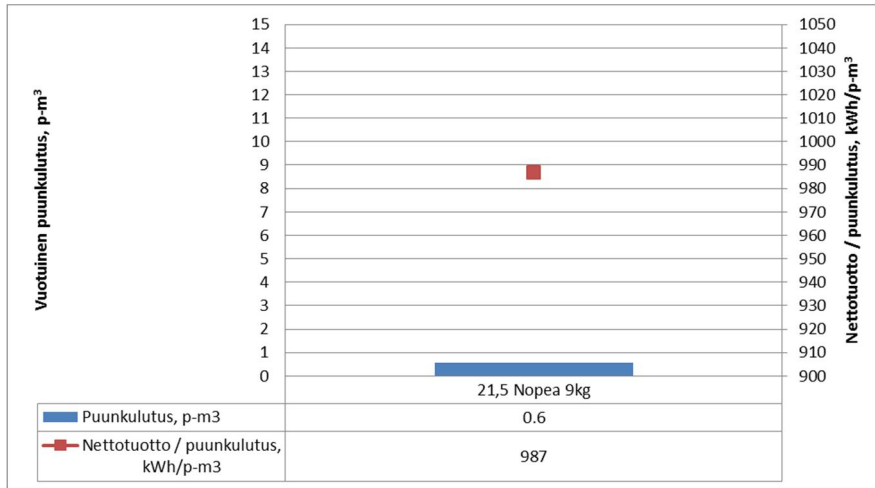
Kuva 49. Lämmitysenergian nettotuotto ja lämmönluvutuksen hyötysuhde, hidas tulisija.



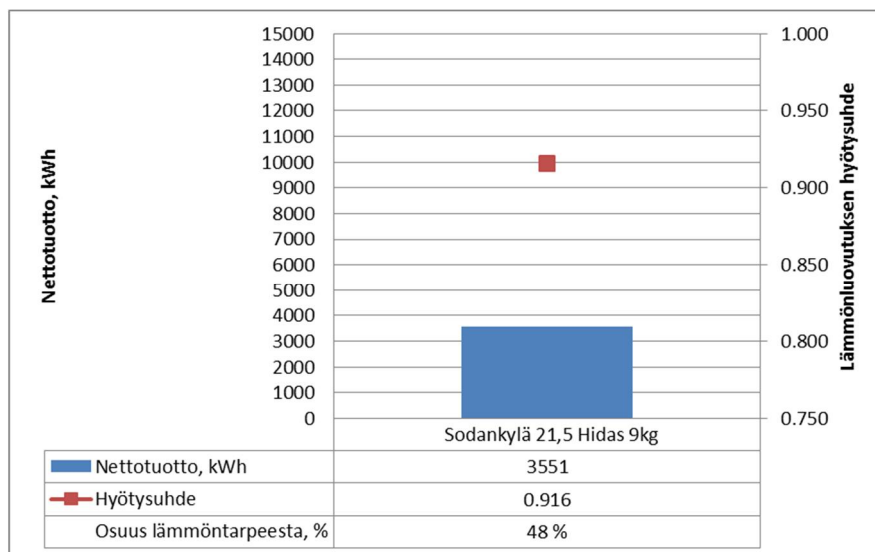
Kuva 50. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), hidas tulisija. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasisältö 1 330 kWh/p-m³.



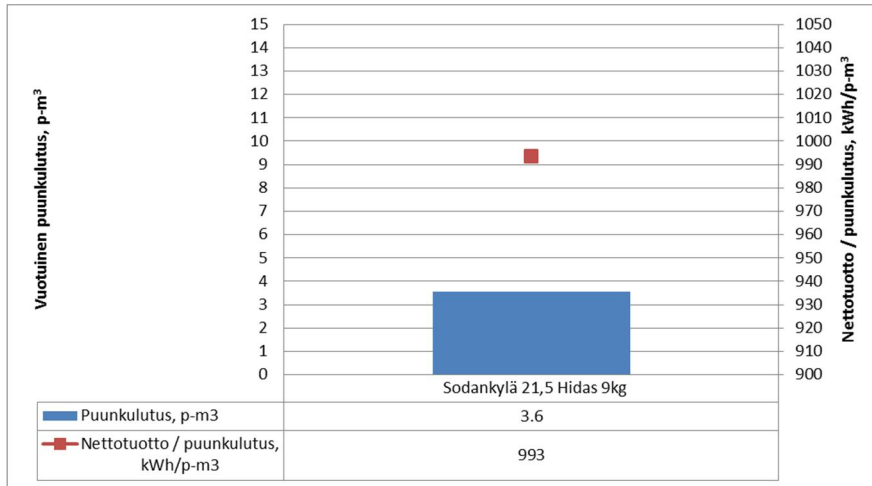
Kuva 51. Lämmitysenergian nettotuotto ja lämmönluovutuksen hyötysuhde, nopea tulisija.



Kuva 52. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), nopea tulisija. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasisältö 1 330 kWh/p-m³.



Kuva 53. Lämmitysenergian nettotuotto ja lämmönluvutuksen hyötysuhde, hidas tulisija, Sodankylän sää.



Kuva 54. Puunkulutus ja ominaisnettotuotto (nettotuotto/puunkulutus), hidas tulisija, Sodankylän sää. Tulisijan palamishyötysuhde 80 % ja puun energiasisältö 1 330 kWh/p-m³.

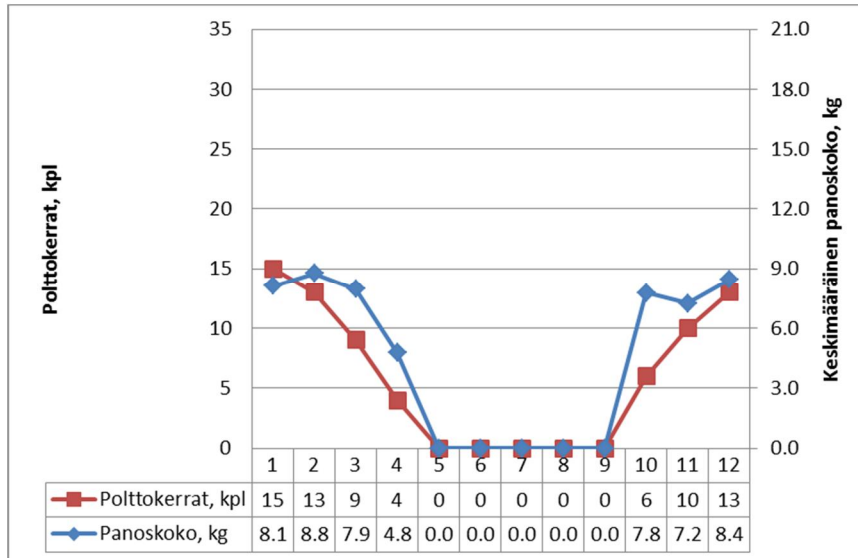
6.4.3 Tulisijojen käyttökerrat ja panoskoot

Tässä luvussa on esitetty kuukausittaiset tulisijojen käyttökerrat ja käyttökertaa kohti keskimääräiset panoskoot laskentatapaukselle, jolla saavutettiin kunkin tulisijan suurin nettotuotto (kuvat 55–58). Nettotuotot on esitetty edellisessä luvussa.

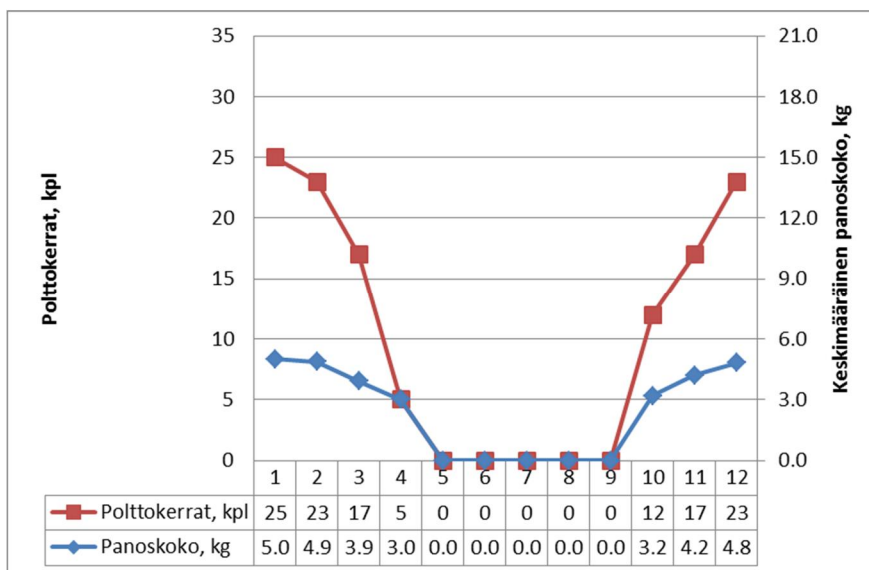
Keskimääräiset panoskoot ovat useissa tapauksissa pienempiä kuin maksimipanoskoko. Tämä johtuu siitä, että simuloinneissa maksimi panoskoko on jaettu kahteen tai useampaan latauskertaan: erittäin hitaalla tulisijalla kahteen, hitaalla kolmeen ja nopealla neljään osaan (tarkemmin Taulukko 13). Jos olohuoneen lämpötila latauskertojen välissä on ehtinyt nousta yli asetetun rajalämpötilan, seuraavaa panosta ei ole enää ladattu tulisijaan.

Kaksikerroksisen passiivirakennuksen lämmöntarve on huomattavasti pienempi kuin yksikerroksisten vanhojen rakennusten. Silti kaikkia tulisijoja on käytetty usein, mutta panoskoot ovat hitaalla ja nopealla tulisijalla jääneet huomattavasti pienemmiksi kuin maksimipanoskoot. Yleisenä havaintona tuloksista on, että mitä hitaampi tulisija on, sitä harvemmin tulisijaa käytetään ja sitä suurempi on polttokertaa kohti oleva panoskoko.

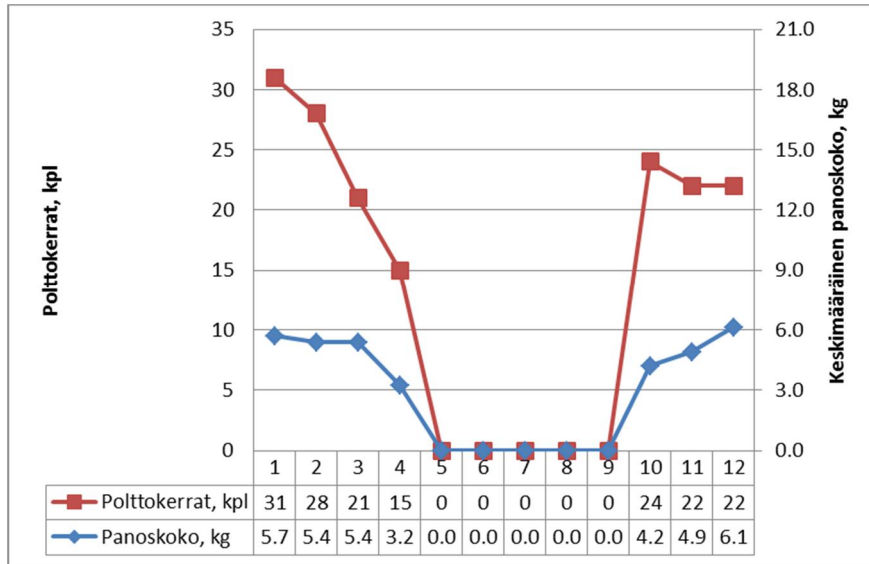
On myös hyvä huomata, että tulisijojen käyttöjaksot eroavat toisistaan: erittäin hitaalla ja hitaalla tulisijalla käyttö alkaa lokakuusta ja loppuu huhtikuuhun, nopeaa tulisijaa käytetään ainoastaan kahden kuukauden ajan tammikuusta helmikuuhun.



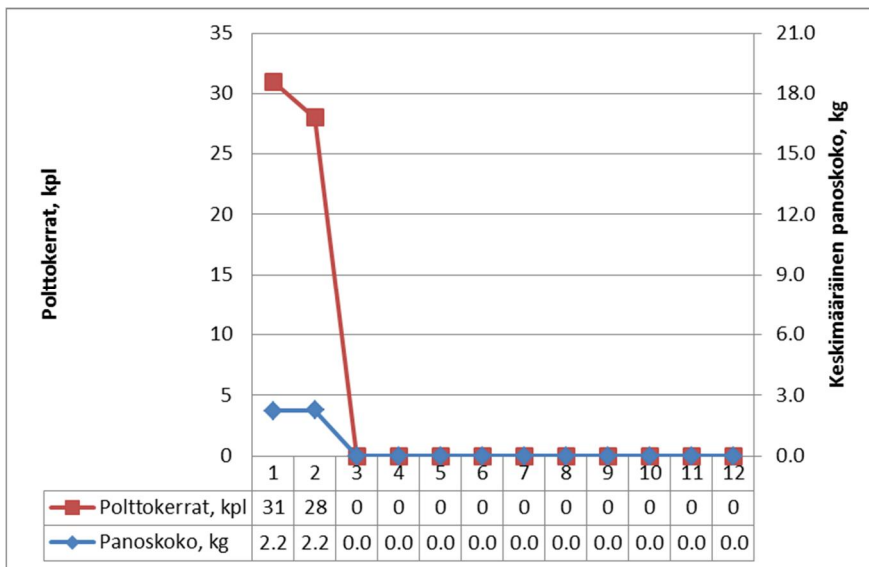
Kuva 55. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +21,5 °C, maksimipanos 9 kg.



Kuva 56. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +21,5 °C, maksimipanos 9 kg.



Kuva 57. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +21,5 °C, maksimipanos 9 kg, So-dankylän sää.



Kuva 58. Kuukausittaiset polttokerrat ja keskimääräiset panoskoot polttokertaa kohti, nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvo +21,5 °C, maksimipanos 9 kg.

Vuotuiset käyttökerrat ja vuotuiset keskimääräiset panoskoot on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 21). Sodankylän säässä laskettiin vain hitaalla tulisijalla.

Taulukko 21. Vuotuiset käyttökerrat ja keskimääräiset panoskoot. Säävaikutusta tutkittiin vain hitaalla tulisijalla.

Tulisija	Keskimääräinen panoskoko Helsinki / Sodankylä kg	Keskimääräiset käyttökerrat Helsinki / Sodankylä kpl/vuosi
Erittäin hidas	7,9	70
Hidas	4,4 / 5,1	122 / 163
Nopea	2,2	59

6.4.4 Yhteenveto nettotuotoista, lämmönluovutuksen hyötysuhteista ja puunkäytöstä

Projektin keskeisenä tavoitteena oli määrittää tulisijojen suurimmat mahdolliset lämmitysenergian nettotuotot ja niitä vastaavat tulisijojen lämmönluovutuksen hyötysuhteet. Seuraavissa taulukoissa (Taulukot 22–24) on esitetty yhteenveto projektissa lasketuista tuloksista. Taulukoissa esitetyt maksimaaliset lämmitysenergian nettotuotot on saavutettavissa kaikissa tapauksissa aktiivisella tulisijan käytöllä.

Nopealla tulisijalla kaksikerroksisissa rakennuksissa, joissa tilojen lämmitysenergian tarve on vähäinen verrattuna yksikerroksisiin rakennuksiin, lämpöolosuhteet olohuoneessa nousivat pienimmillään käytetyillä puupanoksilla herkästi liian korkeiksi tulisijaa käytettäessä. Tästä syystä nopealle tulisijalle on annettu kaksikerroksisille rakennuksille suuntaa antavat luvut, jotka on määritetty vain muutamalle talvikaudelle.

Taulukko 22. Erittäin hitaan tulisijan maksimaalinen lämmitysenergian nettotuotto, nettotuoton osuus tilojen lämmitysenergian tarpeesta, lämmönluovutuksen hyötysuhde ja vuotuinen puunkulutus. Puunkulutusta laskettaessa on oletettu tulisijan palamishyötysuhteeksi 80 % ja puun energiasisällöksi 1 330 kWh/p-m³.

	1-kerroksinen vanha	1-kerroksinen peruskorjattu	2-kerroksinen uusi	2-kerroksinen passiivi
Tulisijan nettotuotto	14 400 kWh/a	10 200 kWh/a	4 200 kWh/a	2 300 kWh/a
Nettotuoton osuus tilojen lämmöntarpeesta	57 %	57 %	46 %	51 %
Lämmönluovutuksen hyötysuhde	91 %	91 %	90 %	90 %
Puunkulutus	14,1 p-m ³ /a	10,0 p-m ³ /a	4,2 p-m ³ /a	2,3 p-m ³ /a
Tulisijan vuotuiset käyttökerrat	197 kpl/a	144 kpl/a	114 kpl/a	70 kpl/a

Taulukko 23. Hitaan tulisijan maksimaalinen lämmitysenergian nettotuotto, nettotuoton osuus tilojen lämmitysenergiatarpeesta, lämmönluovutuksen hyötysuhde ja vuotuinen puunkulutus. Puunkulutusta laskettaessa on oletettu tulisijan palamishyötysuhteeksi 80 % ja puun energiasisällöksi 1 330 kWh/p-m³.

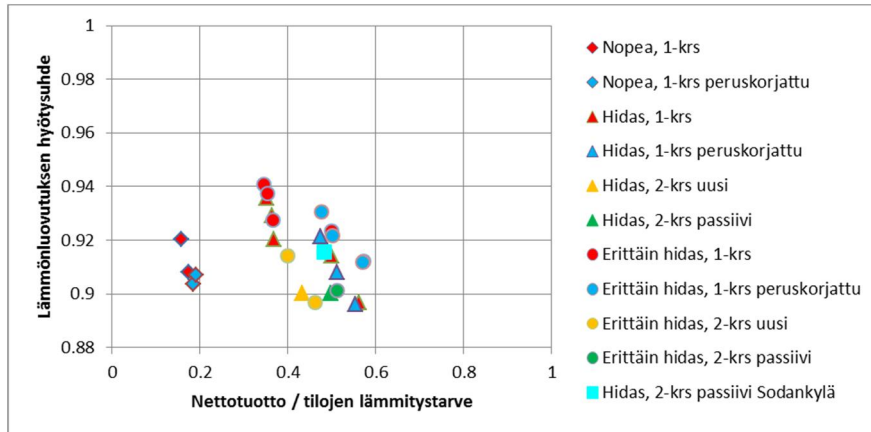
	1-kerroksinen vanha	1-kerroksinen peruskorjattu	2-kerroksinen uusi	2-kerroksinen passiivi
Tulisijan nettotuotto	14 100 kWh/a	9 900 kWh/a	3 900 kWh/a	2 200 kWh/a
Nettotuoton osuus tilojen lämmön- tarpeesta	56 %	55 %	43 %	50 %
Lämmönluovutuksen hyötysuhde	90 %	90 %	90 %	90 %
Puunkulutus	14,1 p-m ³ /a	9,9 p-m ³ /a	3,9 p-m ³ /a	2,3 p-m ³ /a
Tulisijan vuotuiset käyttökerrat	237 kpl/a	204 kpl/a	192 kpl/a	122 kpl/a

Taulukko 24. Nopean tulisijan maksimaalinen lämmitysenergian nettotuotto, nettotuoton osuus tilojen lämmitysenergiatarpeesta, lämmönluovutuksen hyötysuhde ja vuotuinen puunkulutus. Puunkulutusta laskettaessa on oletettu tulisijan palamishyötysuhteeksi 80 % ja puun energiasisällöksi 1 330 kWh/p-m³.

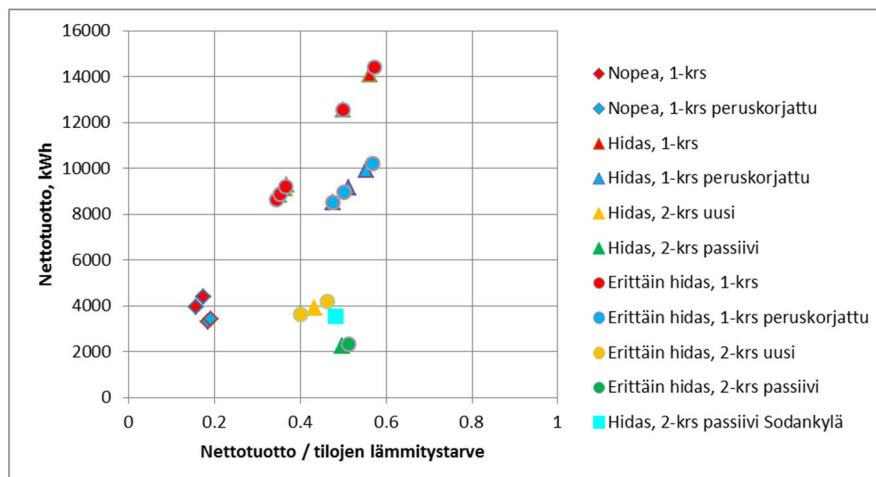
	1-kerroksinen vanha	1-kerroksinen peruskorjattu	2-kerroksinen uusi	2-kerroksinen passiivi
Tulisijan nettotuotto	4 400 kWh/a	3 400 kWh/a	850 kWh/a	550 kWh/a
Nettotuoton osuus tilojen lämmön- tarpeesta	17 %	19 %	9 %	12 %
Lämmönluovutuksen hyötysuhde	91 %	91 %	91 %	88 %
Puunkulutus	4,3 p-m ³ /a	3,4 p-m ³ /a	0,8 p-m ³ /a	0,6 p-m ³ /a
Tulisijan vuotuiset käyttökerrat	242 kpl/a	212 kpl/a	90 kpl/a	59 kpl/a

Alla olevissa kuvissa on esitetty yhteenveto kaikista lämpöolosuhteiltaan hyväksytyistä laskentatapauksista. Kuvissa on esitetty tulisijojen lämmönluovutuksen hyötysuhde (Kuva 59) ja lämmitysenergian nettotuotto (Kuva 60) riippuvana suhteellisesta lämmitysenergian tuotosta. Tulisijan lämmitysenergian tuotto sisältää sekä tilojen lämmitysenergiantuoton että ilmanvaihdon jälkilämmityksen lämmitysenergian säästön. Ilmanvaihdon jälkilämmitystä on vain kaksikerroksisissa rakennuksissa. Suhteellinen lämmitysenergian tuotto on laskettu tulisijan nettotuoton (tulisija käytössä) ja tilojen lämmitystarpeen (ilman tulisijaa) suhteena.

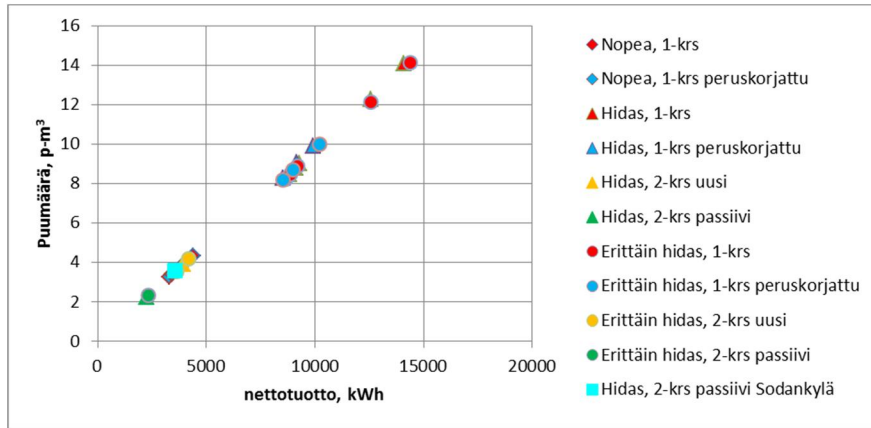
Kuvassa (Kuva 61) on esitetty tulisijojen nettotuottoa vastaava tarvittava puumäärä, kun tulisijan palamishyötysuhteeksi on oletettu 80 % ja puun energiasisällöksi 1 330 kWh/p-m³.



Kuva 59. Lämmönluovutuksen hyötysuhde suhteellisen tuoton funktiona. Suhteellinen tuotto on laskettu tulisijan nettotuoton (tulisija käytössä) suhteena tilojen lämmitystarpeeseen (ilman tulisijaa).



Kuva 60. Tulisijojen nettotuottojen riippuvuus suhteellisesta tuotosta. Suhteellinen tuotto on laskettu tulisijan nettotuoton (tulisija käytössä) suhteena tilojen lämmitystarpeeseen (ilman tulisijaa).



Kuva 61. Tarvittavan puumäärän riippuvuus tulisijan nettotuotosta. Laskennassa on oletettu tulisijan palamishyötysuhteeksi 80 % ja puun lämpösisällöksi 1 330 kWh/p-m³.

7. Päätelmät

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin laskennallisesti lämmönluovutusominaisuuksiltaan erilaisilla tulisijoilla rakennukseen saatavissa olevaa maksimaalista lämmitysenergiaa eri kulutustason ja massoittelun omaavissa pientaloissa. Maksimaalisen saatavissa olevan lämmitysenergian reunaehtona pidettiin olohuoneen (tila johon tulisija on sijoitettuna) lämpöolosuhdetta, joka ei saa kohota liian korkeaksi. Lämpöolosuhteiden osalta tukeuduttiin asumisterveysohjeeseen (Asumisterveysohje, 2003) määrittelemiin maksimilämpötiloihin: hetkellisestikään ilman lämpötilan ei tulisi ylittää +26 °C:ta eikä pidempijaksoisesti +24 °C:ta.

Laskennallisen analyysin tuloksena saatiin seuraavat taulukossa 25 esitetyt maksimaaliset tulisijojen lämmöntuotot.

Taulukko 25. Tulisijojen maksimaaliset tilaan saatavissa olevat lämmitysenergiat ja tulisijan tuoton osuus tilojen lämmitystarpeesta.

Tulisijatyyppe	Tulisijoista tilaan saatava lämmitysenergia ja tulisijan tuoton osuus tilojen lämmitystarpeesta							
	1-kerroksinen vanha rakennus		1-kerroksinen peruskorjattu rakennus		2-kerroksinen uusi rakennus		2-kerroksinen passiivirakennus	
	Tuotto kWh	Osuus %	Tuotto kWh	Osuus %	Tuotto kWh	Osuus %	Tuotto kWh	Osuus %
Erittäin hidas tulisija	14 400	57	10 200	57	4 000	44	2 300	51
Hidas tulisija	14 100	56	9 900	55	3 900	43	2 200	50
Nopea tulisija	4 600	18	3 400	19	850 ⁽¹⁾	9	540 ⁽¹⁾	12

⁽¹⁾Laskennassa käytettyjen panoskokojen puitteissa nopeasti lämpöä luovuttavalla tulisijalla huonelämpötila nousi herkästi liian korkeaksi. Tästä syystä kaksikerroksiselle rakennukselle nopean tulisijan lämmöntuotto on laskettu vain talvikuukausille: uudelle rakennukselle kolmelle kuukaudelle joulukuusta helmikuuhun ja passiivirakennukselle kahdelle kuukaudelle tammikuusta helmikuuhun.

Suurimmat saatavissa olevat lämmitysenergiat riippuvat ennen kaikkea rakennuksen lämmöntarpeesta: mitä suurempi lämmöntarve, sitä suurempi tulisijan lämmöntuotto. Myös tulisijan lämpötekniisillä ominaisuuksilla on selvä vaikutuksensa: mitä suurempi lämmönvarauskyky, sitä suurempi tuottopotentiaali, joskin tutkituilla erittäin hitaalla ja hitaalla tulisijalla tuottopotentiaalien erot olivat vähäiset. Toki

tuottoon vaikuttaa myös rakennuksen massoitelu: mitä avarampi on tila, johon tulisija on asennettu, sitä suurempi on tuottopotentiaali.

Nykyisissä rakennusten energiamääräysten (RakMk D3 2012) laskentasäännöissä varaavan tulisijan tilaan saatavissa olevaksi lämmitysenergiaksi on määritelty 2 000 kWh. Laskennassa nykymääräysten mukainen rakennus on kaksikerroksinen uusi rakennus, jolle suurimmat varaavilla tulisijoilla tilaan saatavissa olevat lämmitysenergiat ovat noin kaksinkertaiset. Toki maksimaaliset hyödyt edellyttävät aktiivista tulisijan käyttöä. Taulukossa 26 on esitetty maksimaalista tulisijojen hyödyntämistä vastaavat vuotuiset puumäärät. Kaksikerroksiselle uudelle rakennukselle varaavien tulisijojen vuotuiset puumäärät ovat vuodessa reilusti yli 4 p-m³, jonka suuruiselle määrälle varastotilan järjestäminen taajama-alueilla voi olla haaste. Tulevaisuudessa rakennusten lämmitysenergiantarpeiden yhä pienentyessä myös tarvittava puumäärä vähenee, ja tulisijojen osuus lämmöntuotosta voi olla merkittävä pienemmillä puumäärillä.

Taulukko 26. Maksimaalisia tilaan saatavissa olevia lämmitysenergioita vastaavat vuotuiset puumäärät sekä vuotuiset käyttökerrat.

Tulisijatyyppi	Tarvittava puumäärä, p-m ³ /vuosi ⁽¹⁾			
	1-kerroksinen vanha rakennus	1-kerroksinen peruskorjattu rakennus	2-kerroksinen uusi rakennus	2-kerroksinen passiivirakennus
Erittäin hidas tulisija	14,1	10,0	4,2	2,3
Hidas tulisija	14,1	9,9	3,9	2,3
Nopea tulisija	4,3	3,4	0,8 ⁽²⁾	0,6 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Puumäärät on laskettu tässä hankkeessa määriteltyjen tulisijojen lämmönluovutuksen hyötysuhteiden, oletetun vakiopalamisuhöytysuhteen 80 % ja oletetun puun energiasisällön 1 330 kWh/p-m³ perusteella.

⁽²⁾ Laskennassa käytettyjen panoskokojen puitteissa nopeasti lämpöä luovuttavalla tulisijalla huonelämpötila nousi herkästi liian korkeaksi. Tästä syystä kaksikerroksiselle rakennukselle puumäärät on laskettu vain talvikuukausille: uudelle rakennukselle kolmelle kuukaudelle joulukuusta helmikuuhun ja passiivirakennukselle kahdelle kuukaudelle tammikuusta helmikuuhun.

Vanhoissa paljon kuluttavissa rakennuksissa tulisijojen tuottopotentiaali on huomattavasti suurempi kuin uudistaloissa, ja vastaavasti tarvittava puumäärä on suurempi. Samalla myös käyttäjän täytyy vanhassa talossa lämmittää enemmän kuin uudessa rakennuksessa (Taulukko 27). Lämmityskertojen määrä ei kuitenkaan pienene samassa suhteessa kuin tulisijojen tuotto, vaan pienemmällä tuotolla panoskoot pienenevät, mikä hillitsee polttokertojen vähenemistä.

Taulukko 27. Tulisijojen vuotuiset käyttökerrat.

Tulisijatyyppi	Käyttökerrat, kpl/vuosi			
	1-kerroksinen vanha rakennus	1-kerroksinen peruskorjattu rakennus	2-kerroksinen uusi rakennus	2-kerroksinen passiivirakennus
Erittäin hidas tulisija	197	144	114	70
Hidas tulisija	237	201	192	122
Nopea tulisija	242	212	90	59

Eräänä tämän hankkeen tavoitteena oli määrittää tulisijojen lämmönluovutuksen hyötysuhde. Tulisijojen lämmöntuotto ei ole ideaalista eli tulisijalla lämmittäminen johtaa aina huonelämpötilojen tarpeettomaan kohoamiseen, mikä puolestaan lisää rakenteiden ja ilmanvaihdon kautta ulos kulkeutuvaa hukkalämpöenergiaa. Lisäksi tulisijat vaikuttavat huoneen korkeussuuntaiseen lämpötilajakaumaan epäedullisesti eli kasvattavat huoneen yläosan lämpötilaa aiheuttaen lämpöhäviöiden lisääntymistä huoneen yläosan rakenteiden ja poistoilman kautta. Tässä tutkimuksessa ei tarkasteltu tulisijan vaikutusta huoneen korkeussuuntaisen lämpötilakerrostuman aiheuttamaan lämpöhäviöön, vaan tämä ilmiö otettiin huomioon vakiohyötysuhteella $\eta_{\text{kerrostuma}} = 0,95$. Lämmitysjärjestelmän säätökyky vaikuttaa myös tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhteeseen, joka sisältyy tässä tutkimuksessa ilmoitettuihin tulisijojen lämmönluovutushyötysuhteisiin. Laskennallisissa tarkasteleissa käytettiin huonelämmittimien säädössä tarkkaa PI-säätöä.

Laskennallisesti määritetyt tulisijojen lämmönluovutuksen hyötysuhteet on esitetty taulukossa 28. Lämmönluovutuksen hyötysuhteet ovat samaa suuruusluokkaa riippumatta rakennuksesta ja tulisijatyyppistä. Vanhoissa, paljon kuluttavissa, rakennuksissa hyötysuhteet ovat hieman parempia kuin uusissa, vähän kuluttavissa, rakennuksissa.

Taulukko 28. Tulisijojen lämmönluovutuksen hyötysuhteet. Hyötysuhteet ovat maksimaalisia tilaan saatavissa olevia lämmitysenergioita, vastaavissa tilanteissa määritettyjä.

Tulisijatyyppi	Tulisijoista tilaan saatava lämmitysenergia, kWh/vuosi			
	1-kerroksinen vanha rakennus	1-kerroksinen peruskorjattu rakennus	2-kerroksinen uusi rakennus	2-kerroksinen passiivirakennus
Erittäin hidas tulisija	0,91	0,91	0,90	0,90
Hidas tulisija	0,90	0,90	0,90	0,90
Nopea tulisija	0,91	0,91	0,91 ⁽¹⁾	0,88 ⁽¹⁾

⁽¹⁾Laskennassa käytettyjen panoskokojen puitteissa nopeasti lämpöä luovuttavalla tulisijalla huonelämpötila nousi herkästi liian korkeaksi. Tästä syystä kaksikerroksiselle rakennukselle lämmönluovutuksen hyötysuhteet on määritetty vain talvikuukausille: uudelle rakennukselle kolmelle kuukaudelle joulukuusta helmikuuhun ja passiivirakennukselle kahdelle kuukaudelle tammikuusta helmikuuhun.

8. Tulosten soveltaminen

Tulisijan suurin lämmitysenergian tuottopotentiali rakennuksessa voidaan laskea edellisessä luvussa (Taulukko 25) esitettyjen lämmöntuotto-osuuksien perusteella, kun tiedetään tulisijan ja rakennuksen tyyppi sekä rakennuksen energiatarve. Tulisijan tyyppi saadaan CE-merkinnässä ilmoitettujen aikojen t 100 % ja t 50 % erotuksesta, joka määrittelee tulisijan tyyppin luvussa 2.3 esitetyn määrittelyn mukaisesti (nopea, hidas vai erittäin hidas).

Esimerkki: Tulisija on erittäin hidas ja rakennus on yksikerroksinen ja peruskorjattu, niin tällöin lämmöntuotto-osuus on 0,57 (Taulukko 25). Jos tarkasteltavan talon tilojen lämmitysenergiatarve, joka vastaa peruskorjattua vanhaa rakennusta, on esimerkiksi 22 000 kWh, niin tulisijalla tuotettavan energian maksimimääräksi saadaan $22\ 000\ \text{kWh} \times 0,57 = 12\ 540\ \text{kWh}$.

Rakennukseen valitun tulisijan lämmöntuottokyvyn riittävyys tarkistetaan laskeamalla yhden lämmityskerran energiantuottotarve jakamalla tulisijalla tuotettavan energian määrä edellä (Taulukko 27) annetulla lämmityskerralla, huomioiden myös lämmönluovutuksen hyötysuhde (Taulukko 28). Tulisijan CE-merkinnässä ilmoitettu lämmönluovutus pitää olla suurempi tai yhtä suuri kuin laskettu energiantuottotarve.

Esimerkki: Erittäin hidasta tulisijaa lämmitetään yksikerroksisessa peruskorjatussa kohteessa 144 kertaa (Taulukko 27) ja tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhde on 0,91 (Taulukko 28). Tällöin tulisijan lämmönluovutukselle saadaan arvo $12\ 540\ \text{kWh} / 144 / 0,91 = 96\ \text{kWh}$.

Arvioitaessa vuotuista polttopuun ja varastoinnin tarvetta voidaan hyödyntää yllä olevaa energian tuoton laskelmaa sekä tulisijan CE-merkin tuotetietoja. Laskeaan vuotuinen tulisijan maksimi lämpöenergian tuotto yllä olevan ohjeen mukaan. Kun tämä tuotto jaetaan tulisijan kokonaishyötysuhteella, tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhteella (taulukko 27) ja edelleen tulisijan CE-merkinnässä ilmoitetulla polton hyötysuhteella, saadaan vuotuinen puun kokonaisenergian tarve. Kun tämä energia jaetaan polttopuun pinokuution sisältämällä energian määrällä, voidaan arvioida vuotuinen puun kulutus ja varaston tarve pinokuutioissa.

Esimerkki: Jos vuotuinen erittäin hitaasti lämpöä luovuttavan tulisijan maksimi lämpöenergian tuotto yksikerroksisissa peruskorjatussa talossa on $22\ 000\ \text{kWh} \times 0,57 = 12\ 540\ \text{kWh}$, on tarvittava polttopuun kokonaisenergia tällöin $12\ 540\ \text{kWh} / 0,91 / 0,8 = 17\ 225\ \text{kWh}$, kun tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhde on 91 % (taulukko 27) ja CE-merkin polton hyötysuhde on 80 %. Tällöin varaston ja polttopuun vuotuinen tarve on $17\ 225\ \text{kWh} / 1\ 330\ \text{kWh/p-m}^3 = 12,95\ \text{p-m}^3$.

Lähdeluettelo

Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriö. Oppaita 2003:1.

Energiatohokkuutta koskevien vähimmäisvaatimusten kustannusoptimaalisten tasojen laskenta. Rakennusten energiatohokkuusdirektiivin (2010/31/EU) 5 artiklan mukainen ilmoitus Euroopan komissiolle. 20.5.2012.

Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi – laskentaopas. Järjestelmien lämpöhäviöiden laskenta ja hyötysuhteiden määrittäminen. Ympäristöministeriö. 15.9.2011.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3 (2012). Rakennusten energiatohokkuus, määräykset ja ohjeet.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5 (2012). Rakennuksen energiankulutuksen ja tehontarpeen laskenta, ohjeet 2012.

Torvelainen, J. Metsätalastiedote. Pientalojen polttopuun käyttö 2007/2008. Metsäntutkimuslaitos, Metsätalastollinen tietopalvelu. 2.7.2009.

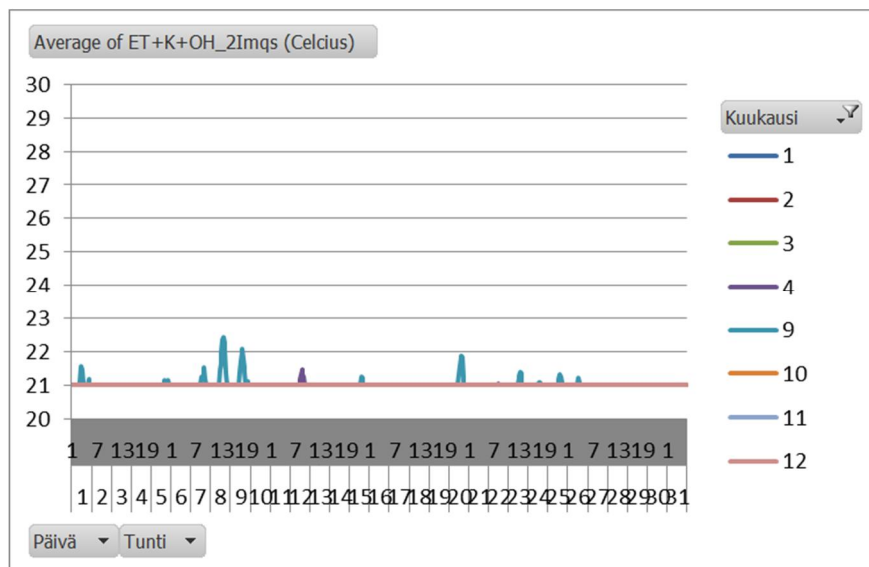
Tuomaala, P. (2002). Implementation and evaluation of air flow and heat transfer routines for building simulation tools. Doctoral dissertation. VTT Publications 471. Espoo. 45 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2002/P471.pdf>.

Liite A: Lämpöolosuhteet

Seuraavassa esitetään kaikkien tarkasteltujen rakennusten osalta olohuoneen lämpötiloja lämmityskaudella kaikilla eri tulisijatyypeillä (erittäin hidas, hidas ja nopea). Tulisija on sijoitettu olohuoneeseen. Lämpöolosuhteita ei esitetä kaikille laskentatapauksille, vaan ainoastaan niille tapauksille, joissa olohuoneen lämpötila on nousemassa liian korkealle tasolle. Lisäksi jokaiselle rakennukselle esitetään ilman tulisijaa lasketut vertailutilanteen olohuoneen lämpötilat.

Yksikerroksinen vanha rakennus

Seuraavassa kuvassa (Kuva A1) on esitetty olohuoneen lämpötila lämmityskausina syyskuusta aina huhtikuuhun ilman tulisijaa. Kuvasta nähdään, että olohuoneen lämpötila pysyy hyvin lähellä asetusravoa +21 °C. Pienet poikkeamat lämpötilassa lähinnä syyskuussa ja huhtikuussa aiheutuvat lämpökuormien (henkilöt, laitteet ja aurinko) ylittäessä lämmöntarpeen.

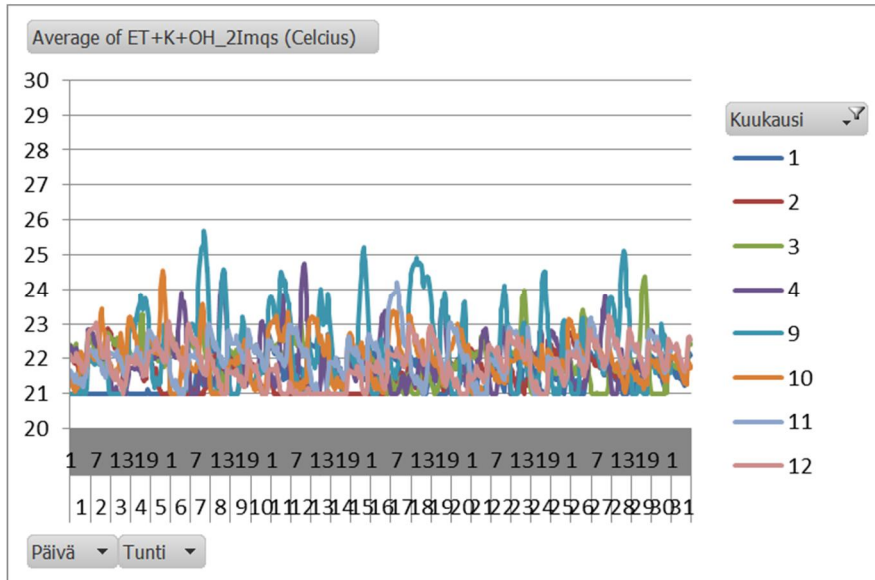


Kuva A1. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), ilman tulisijaa.

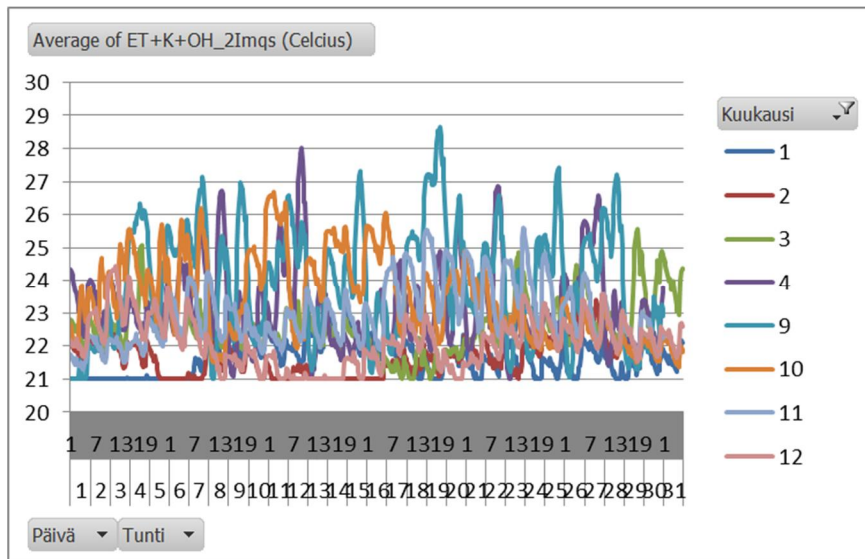
Olohuoneen lämpötilat erittäin hitaalla tulisijalla

Erittäin hitaalla tulisijalla olohuoneen lämpötilat nousevat kriittisen korkealle ainoastaan suuremmalla panostuksella (18 kg puupanos) ja korkeammilla tulisijan käytön raja-arvoilla: kuvassa A2 raja-arvolla +22 °C ja kuvassa A3 raja-arvolla

+25 °C. Erityisesti tulisijan käytön raja-arvolla +25 °C olohuoneen lämpötilat nousivat aivan liian korkealle (yli + 26 °C).



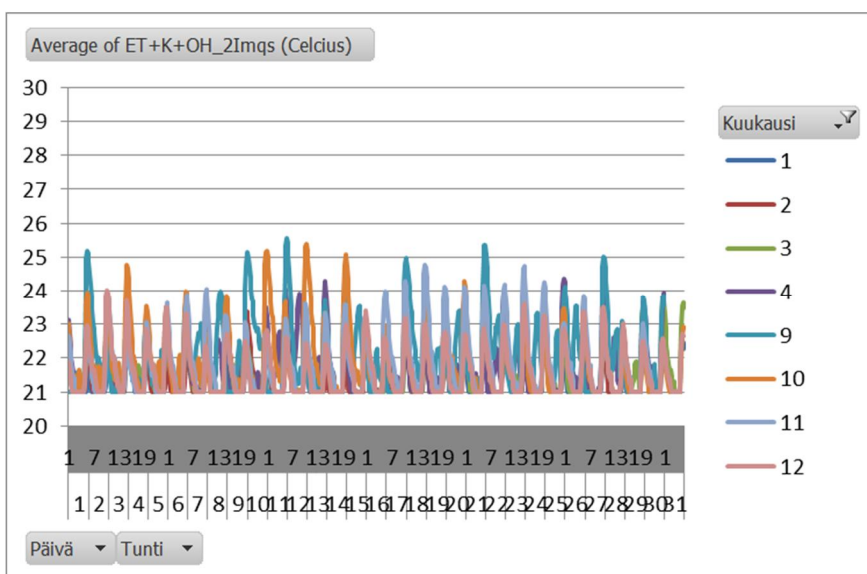
Kuva A2. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 18 kg.



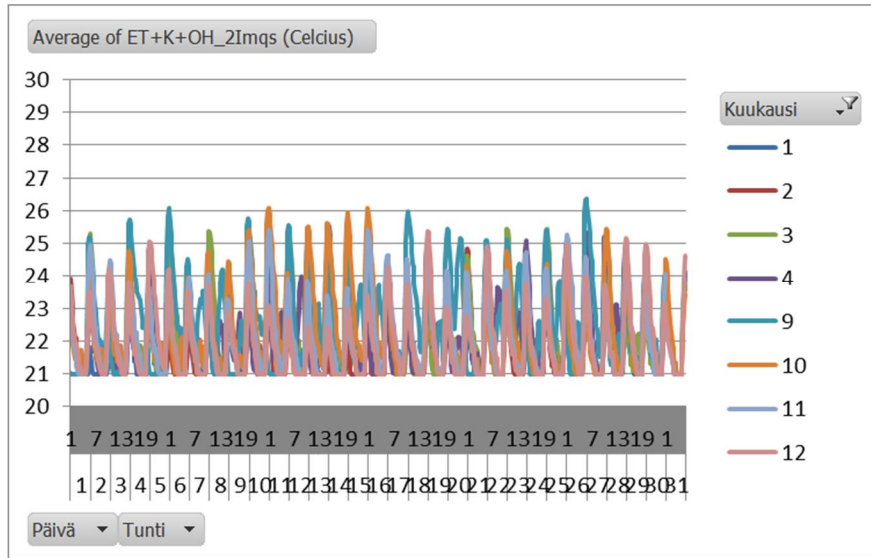
Kuva A3. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 25 °C, panostus 18 kg.

Olohuoneen lämpötilat hitaalla tulisijalla

Hitaalla tulisijalla olohuoneen lämpötilat nousevat, samoin kuin erittäin hitaalla tulisijalla, kriittisen korkealle ainoastaan suuremmalla panostuksella (18 kg:n puupanos) ja korkeammilla tulisijan käytön raja-arvoilla: kuvassa A4 raja-arvolla +22 °C ja kuvassa A5 raja-arvolla +25 °C. Tulisijan käytön raja-arvolla +22 °C olohuoneen lämpötilat nousevat erityisesti syyskuussa ja huhtikuussa muutamana päivänä liian korkealle tasolle (yli + 26 °C).



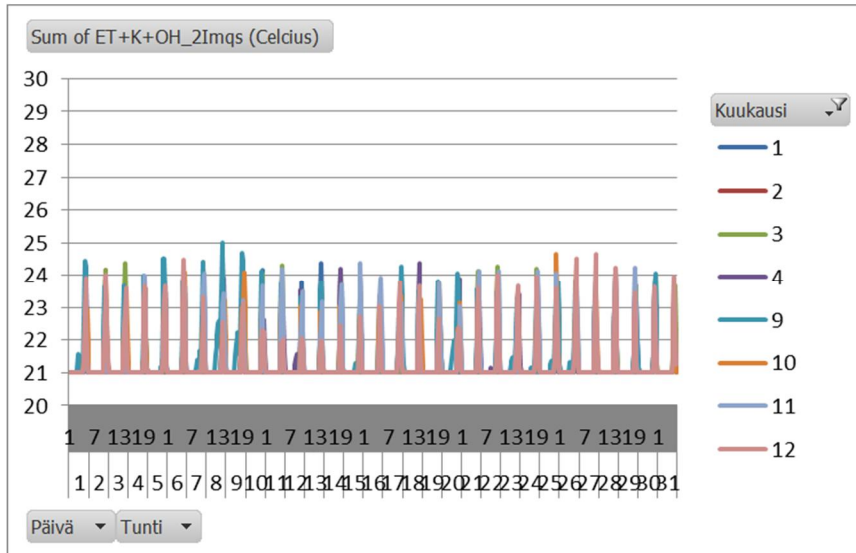
Kuva A4. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 18 kg.



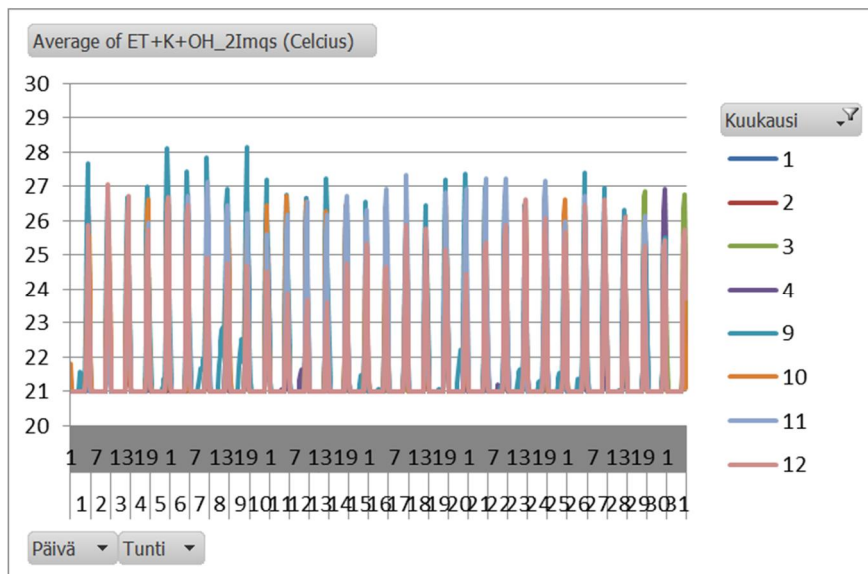
Kuva A5. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 18 kg.

Olohuoneen lämpötilat nopealla tulisijalla

Nopealla tulisijalla olohuoneen lämpötilat nousevat kriittisen korkealle jo pienemmällä panostuksella (9 kg:n puupanos) ja korkeimmalla tulisijan käytön raja-arvoilla (+25 °C, kuva A7). Tulisijan käytön raja-arvolla +25 °C olohuoneen lämpötilat nousevat monena kuukautena ja useana päivänä liian korkealle tasolle (yli +26 °C).



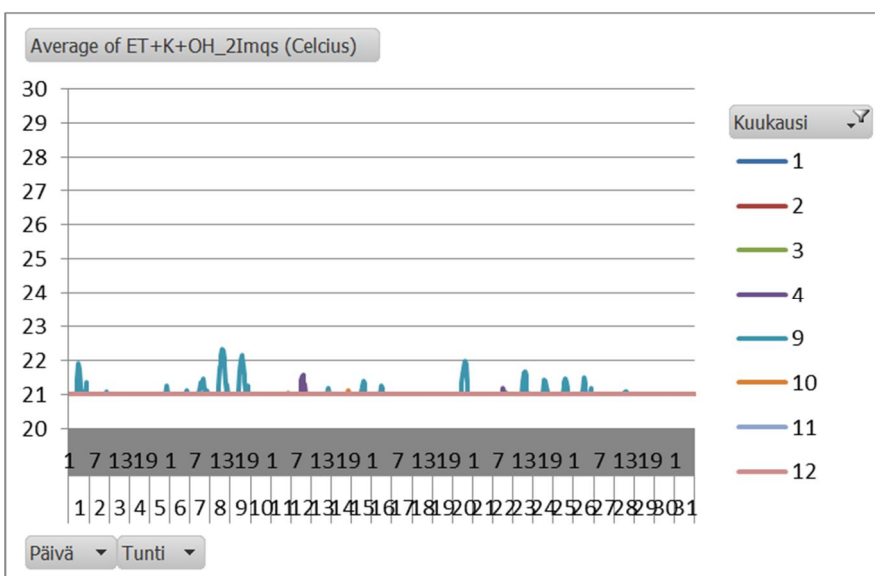
Kuva A6. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 9 kg.



Kuva A7. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 25 °C, panostus 9 kg.

Yksikerroksinen peruskorjattu rakennus

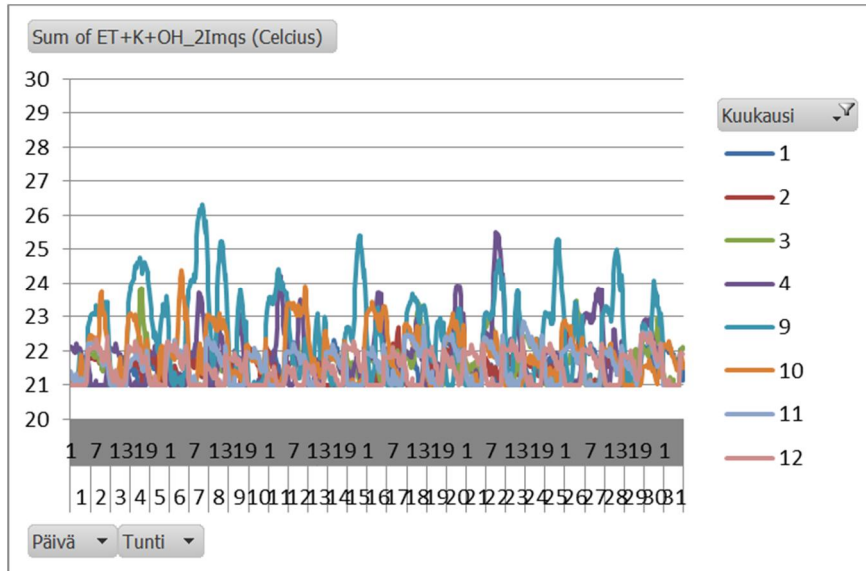
Seuraavassa kuvassa (Kuva A8) on esitetty olohuoneen lämpötila lämmityskausina syyskuusta huhtikuuhun ilman tulisijaa. Kuvasta nähdään, että olohuoneen lämpötila pysyy hyvin lähellä asetusravaa +21 °C, paitsi lähinnä syyskuussa. Poikkeamat lämpötilassa aiheutuvat lämpökuormien (henkilöt, laitteet ja aurinko) ylittäessä lämmöntarpeen. Verrattaessa lämpötiloja peruskorjaamattomaan tapakseen havaitaan lämpötilapoikkeamien lisääntymistä ja lievää voimistumista, mutta lämpötila pysyy edelleen varsin hyvin asetuksessaan.



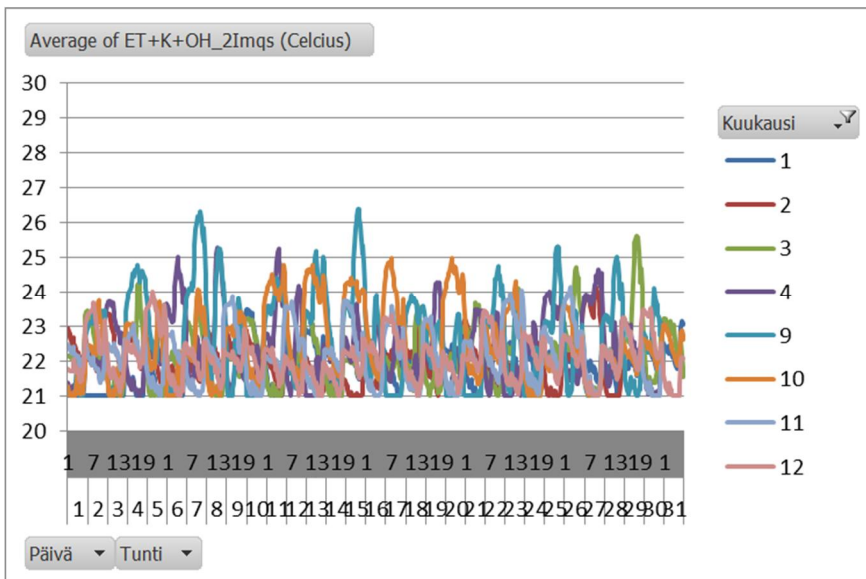
Kuva A8. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), ilman tulisijaa.

Olohuoneen lämpötilat erittäin hitaalla tulisijalla

Erittäin hitaalla tulisijalla olohuoneen lämpötilat nousevat kriittisen korkealle ainoastaan suuremmalla puupanoksella (18 kg:n panos) ja korkeammilla tulisijan käytön raja-arvoilla (kuva A9 +21,5 °C ja kuva A10 +22 °C). Erityisesti tulisijan käytön raja-arvolla +22 °C olohuoneen lämpötilat nousevat useana kuukautena pidemmiksi jaksoiksi yli + 24 °C, mikä ei ole enää hyväksyttävää.



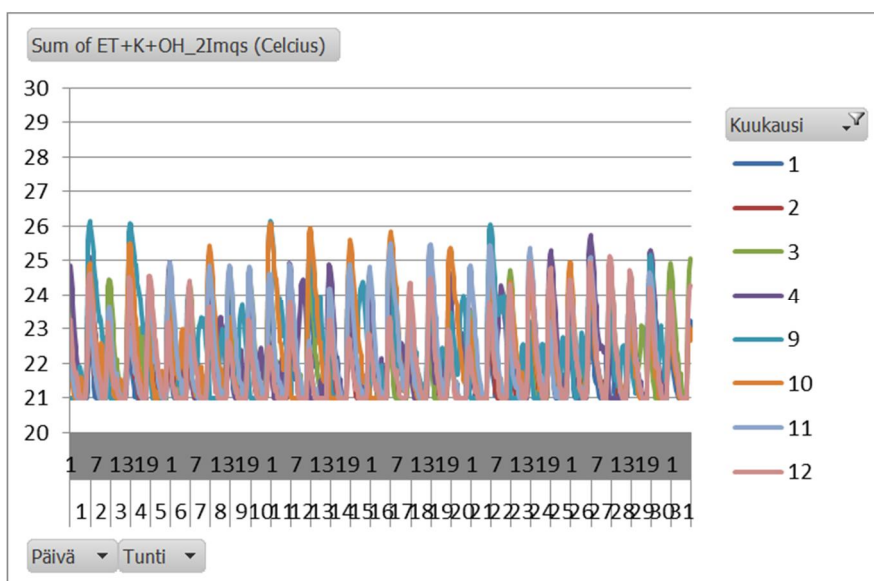
Kuva A9. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 18 kg.



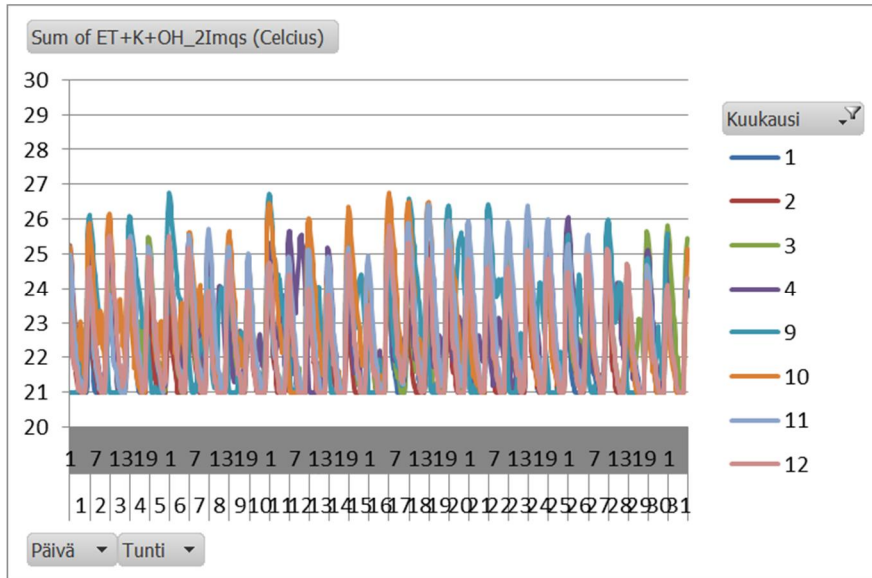
Kuva A10. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 18 kg.

Olohuoneen lämpötilat hitaalla tulisijalla

Hitaalla tulisijalla olohuoneen lämpötilat nousevat, samoin kuin erittäin hitaalla tulisijalla, kriittisen korkealle ainoastaan suuremmalla panostuksella (18 kg:n puupanos) ja jo tulisijan käytön raja-arvoilla +21,5 °C (Kuva A11) ja +22 °C (Kuva A12). Tulisijan käytön raja-arvolla +22 °C olohuoneen lämpötilan huiput nousevat useana kuukautena liian korkealle tasolle (yli + 26 °C) ja useana päivänä pidemmäksi aikaa yli +24 °C, mikä ei ole hyväksyttävää.



Kuva A11. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 18 kg.

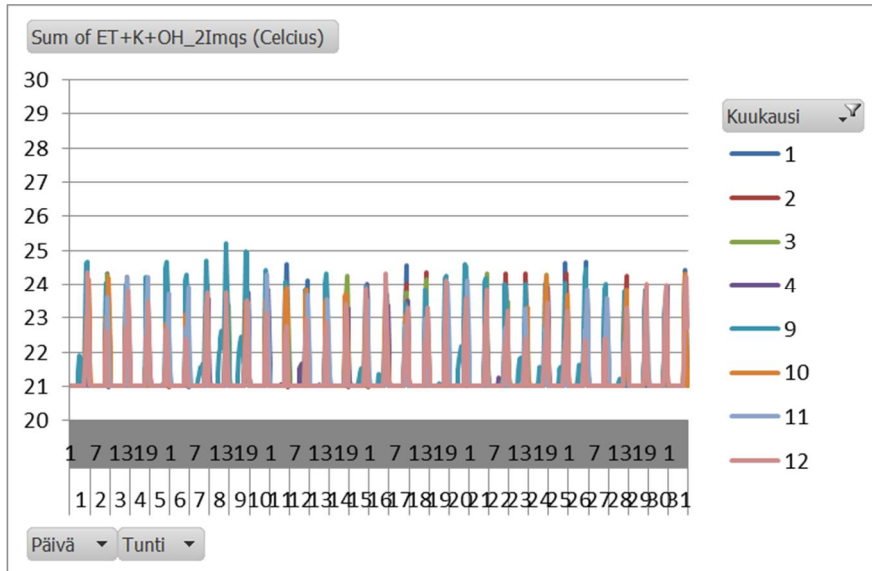


Kuva A12. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 18 kg.

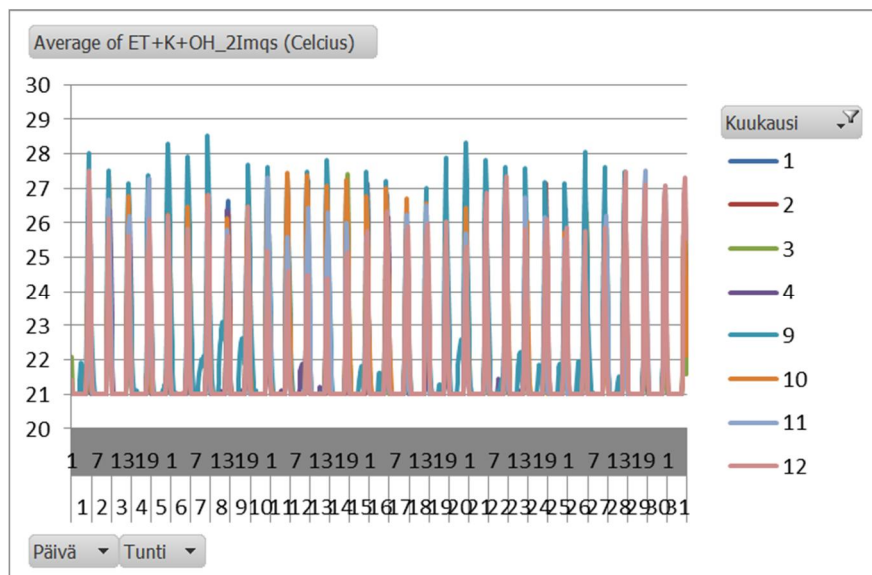
Olohuoneen lämpötilat nopealla tulisijalla

Nopealla tulisijalla olohuoneen lämpötilat nousevat kriittisen korkealle jo pienemmällä panostuksella (9 kg:n puupanos) suurimmalla tulisijan käytön raja-arvoilla (+25 °C), kuva A14. Tällöin olohuoneen lämpötilahuiput nousevat monena kuu-kautena ja useana päivänä liian korkealle tasolle (yli + 26 °C) ja pidemmiksi jak-soiksi yli+ 24 °C, mikä ei ole hyväksyttävää.

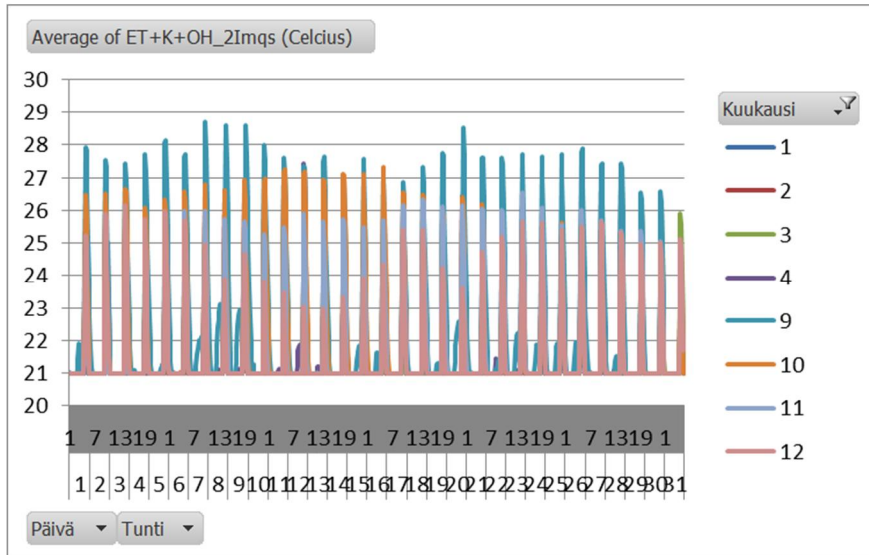
Kuvassa A15 on esitetty olohuoneen lämpötilat suuremmalla puupanoksella (18 kg) ja pienimmällä raja-arvolla (+21,5 °C) , jolloin lämpötilat ovat aivan liian korke-at.



Kuva A13. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 9 kg.



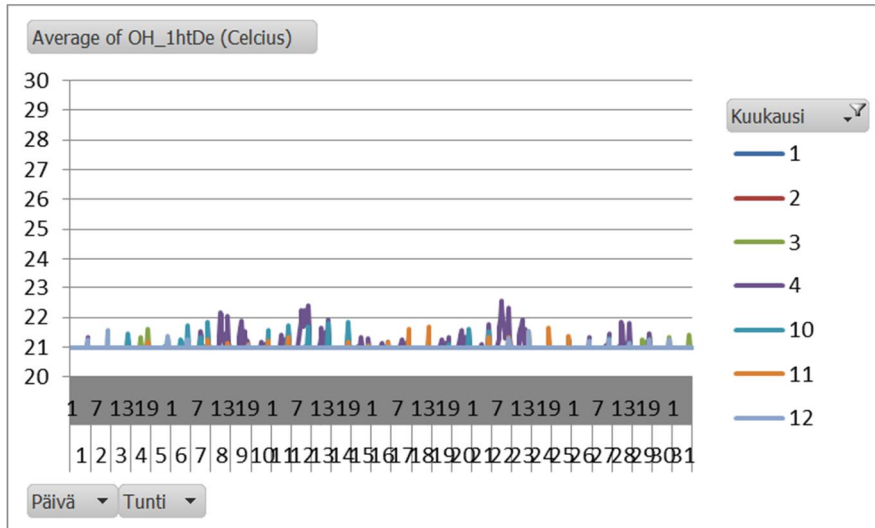
Kuva A14. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 25 °C, panostus 9 kg.



Kuva A15. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (syyskuu–huhtikuu), nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 18 kg.

Kaksikerroksinen uusi rakennus

Seuraavassa kuvassa (Kuva A16) on esitetty olohuoneen lämpötila lämmityskausina lokakuusta huhtikuuhun ilman tulisijaa. Kuvasta nähdään, että olohuoneen lämpötila pysyy kohtuullisen hyvin lähellä asetusrvoa +21 °C. Poikkeamat lämpötilassa aiheutuvat lämpökuormien (henkilöt, laitteet ja aurinko) ylittäessä lämmöntarpeen. Verrattaessa lämpötiloja yksikerroksiseen vanhaan rakennukseen havaitaan lämpötilapoikkeamien selkeää lisääntymistä ja voimistumista, mutta lämpötila pysyy edelleen kohtuullisen hyvin asetuksessaan.

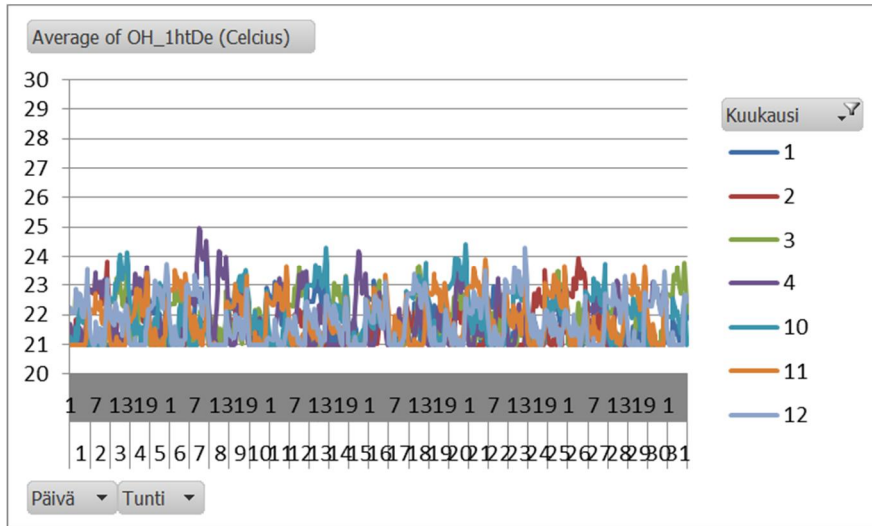


Kuva A16. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), ilman tulisijaa.

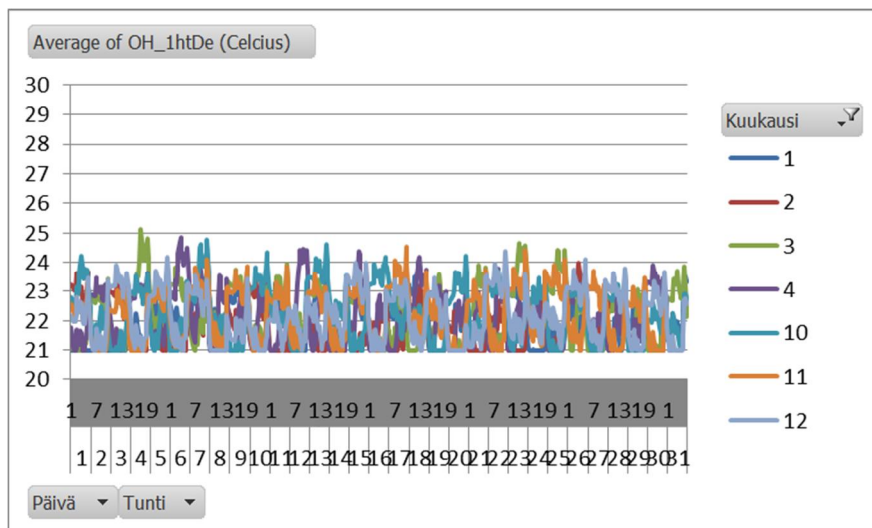
Olohuoneen lämpötilat erittäin hitaalla tulisijalla

Erittäin hitaalla tulisijalla hyväksyttäviä olohuoneen lämpötiloja havaitaan pienemmällä puupanoksella ja pienimmillä tulisijan käytön lämpötilaraja-arvolla (kuvat A17 ja A18).

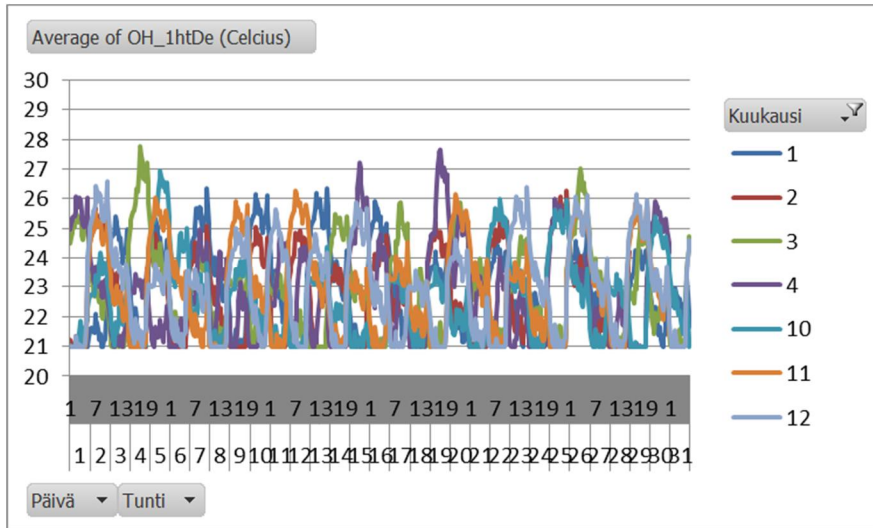
Kriittisen korkeita olohuoneen lämpötiloja havaitaan jo pienemmällä puupanoksella korkeimmalla tulisijan käytön lämpötilaraja-arvolla (9 kg ja +25 °C). Suuremmalla panoksella (18 kg) ja matalimmalla käytön raja-arvolla (+21,5 °C) olohuoneen lämpötila on jo pidempiä jaksoja yli sallitun +24 °C:n rajan (Kuva A19).



Kuva A17. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 9 kg.



Kuva A18. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 9 kg.

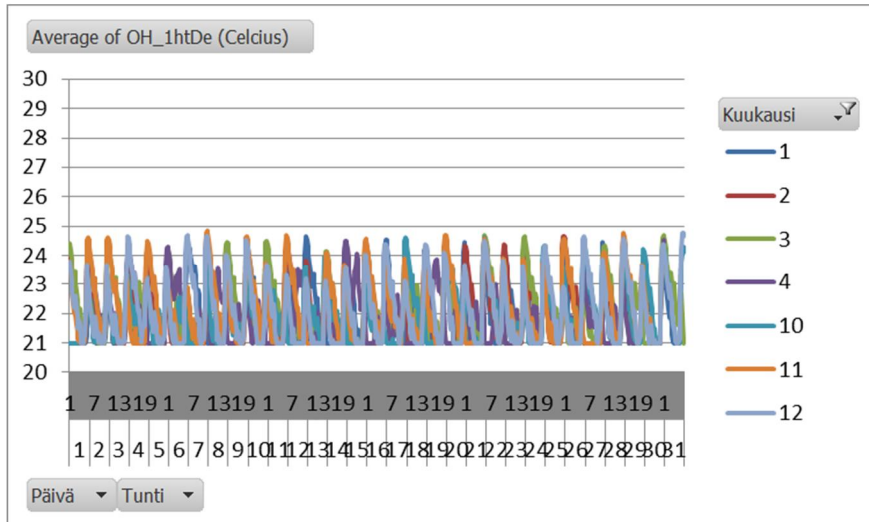


Kuva A19. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 18 kg.

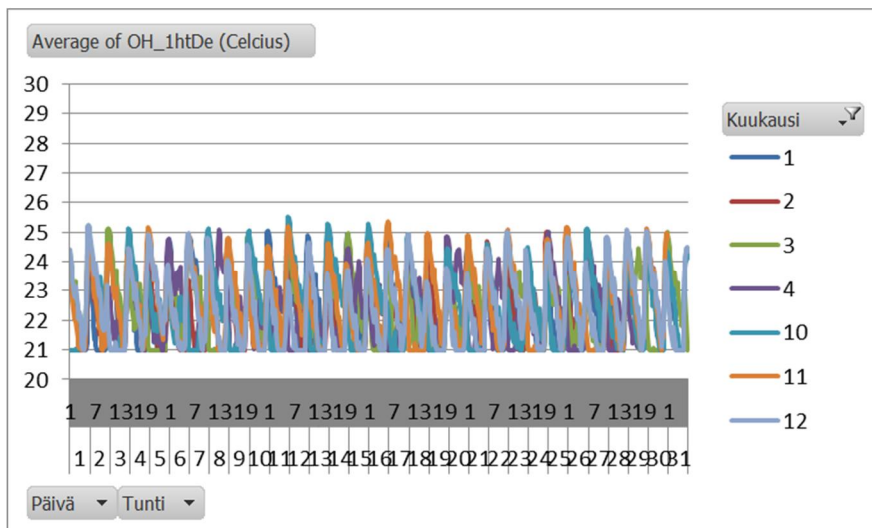
Olohuoneen lämpötilat hitaalla tulisijalla

Hitaalla tulisijalla hyväksyttävät olohuoneen lämpöolosuhteet saavutetaan ainoastaan pienemmällä puupanoksella (9 kg) ja pienimmällä huonelämpötilan raja-arvolla (+21,5 °C), kuva A20.

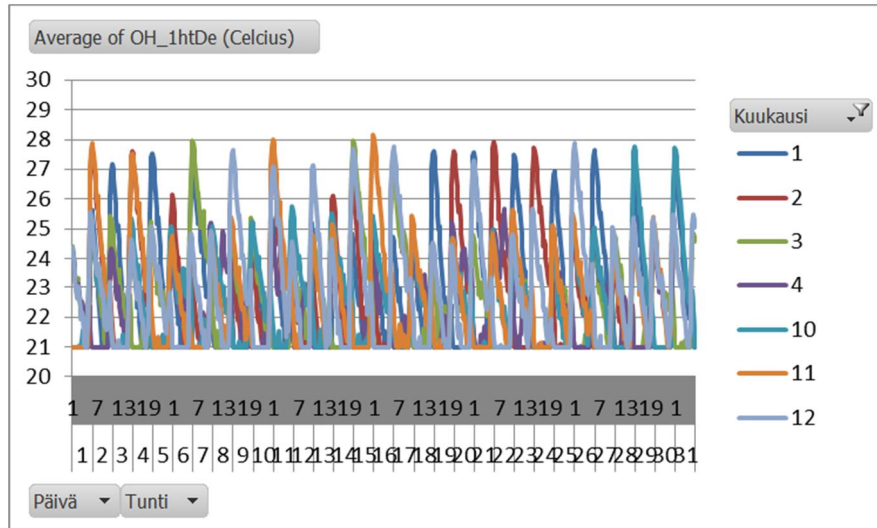
Korkeahkoja olohuoneen lämpötiloja havaitaan jo pienemmällä puupanoksella (9 kg) ja tulisijan käytön lämpötilaraja-arvolla (+22 °C), kuva A21. Suuremmalla panoksella (18 kg) ja matalimmalla käytön raja-arvolla (+21,5 °C) olohuoneen lämpötila on jo pidempiä jaksoja yli sallitun +24 °C:n rajan (Kuva A22).



Kuva A20. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 9 kg.



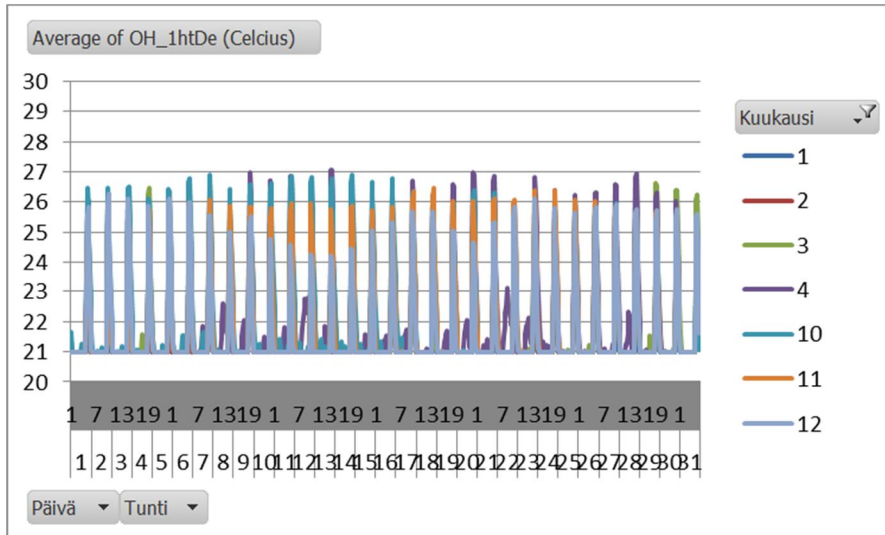
Kuva A21. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 9 kg.



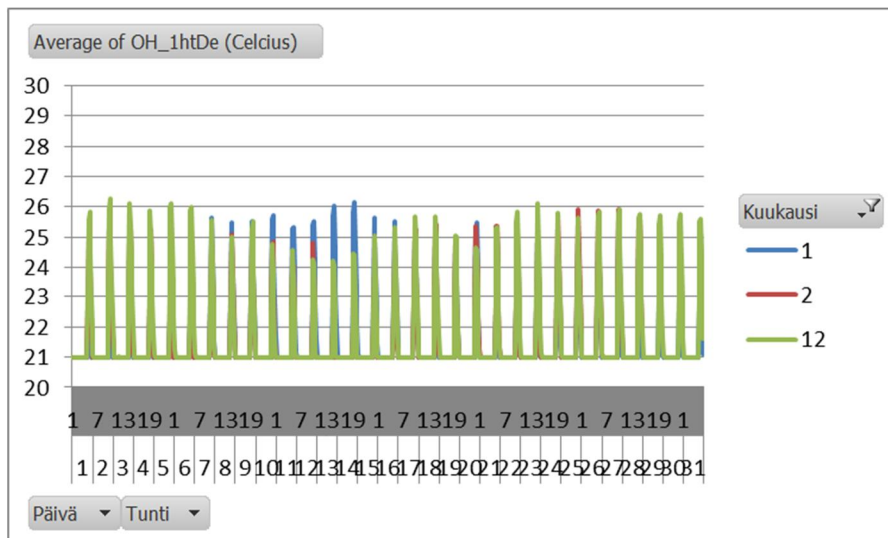
Kuva A22. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 18 kg.

Olohuoneen lämpötilat nopealla tulisijalla

Nopealla tulisijalla kriittisen korkeita olohuoneen lämpötiloja havaitaan kaikilla laskentatapauksilla. Jo pienimmällä panoksella (9 kg) ja matalimmalla käytön raja-arvolla (+21,5 °C) olohuoneen lämpötila on monena kuukautena pidempiä jaksvoja yli sallitun +24 °C:n rajan (Kuva A23). Talvikuukausina joulukuusta helmikuuhun olohuoneen lämpötilat ovat siedettävät useampana päivänä, joskin yllilämpöäkin esiintyy (Kuva A24)



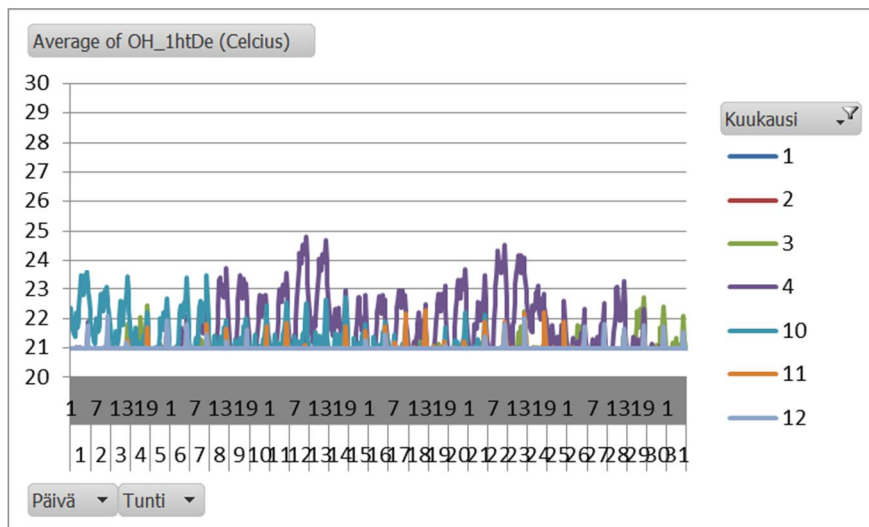
Kuva A23. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 9 kg.



Kuva A24. Olohuoneen lämpötilat talvikuukausina (joulukuu–maaliskuu), nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 9 kg.

Kaksikerroksinen passiivitason rakennus

Seuraavassa kuvassa (Kuva A25) on esitetty olohuoneen lämpötila lämmityskausina lokakuusta huhtikuuhun ilman tulisijaa. Kuvasta nähdään, että olohuoneen lämpötila vaihtelee jo melko paljon etenkin lokakuussa ja huhtikuussa, eikä enää pysy asetusarvossaan +21 °C. Poikkeamat lämpötilassa aiheutuvat lämpökuormien (henkilöt, laitteet ja aurinko) ylittäessä lämmöntarpeen. Verrattaessa lämpötiloja yksikerroksiseen vanhaan rakennukseen ja myös kaksikerroksiseen uuteen rakennukseen havaitaan lämpötilapoikkeamien selkeää lisääntymistä ja voimistumista.

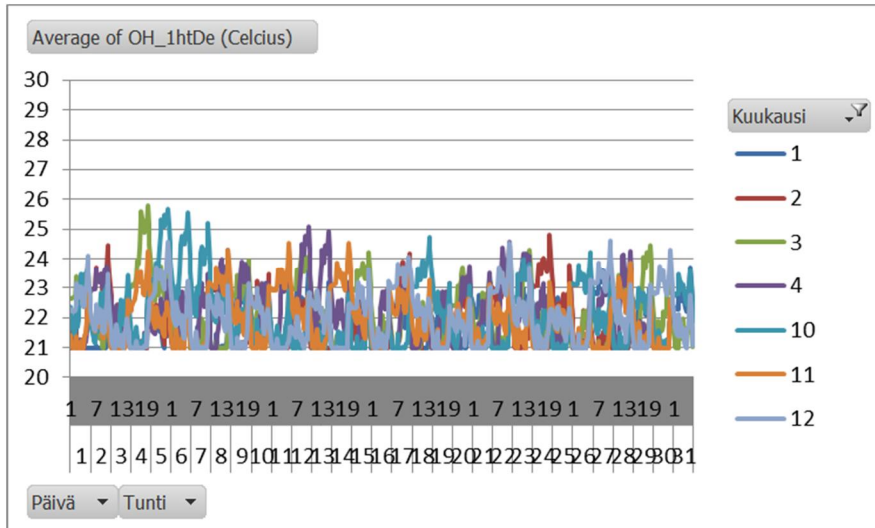


Kuva A25. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), ilman tulisijaa.

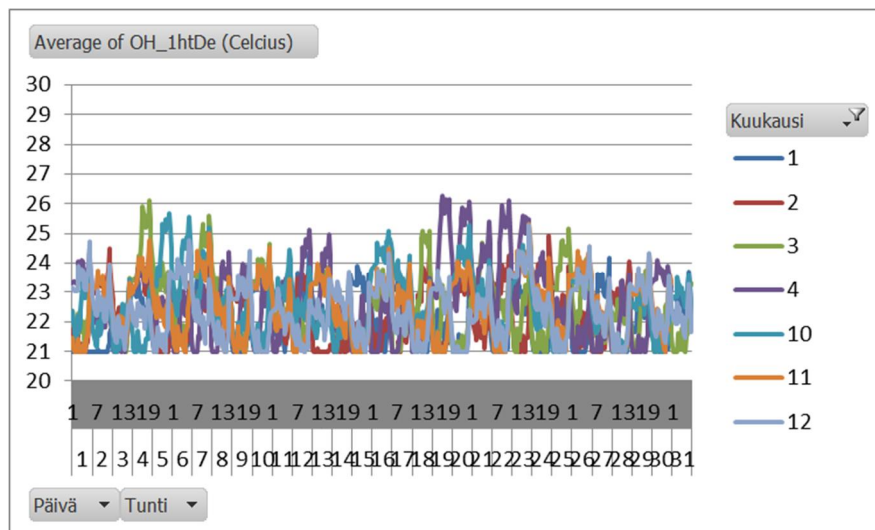
Olohuoneen lämpötilat erittäin hitaalla tulisijalla

Erittäin hitaalla tulisijalla hyväksyttävät olohuoneen lämpöolosuhteet saavutetaan pienemmällä puupanoksella (9 kg) ja pienimmillä huonelämpötilan raja-arvoilla (Kuva A26 ja Kuva A27).

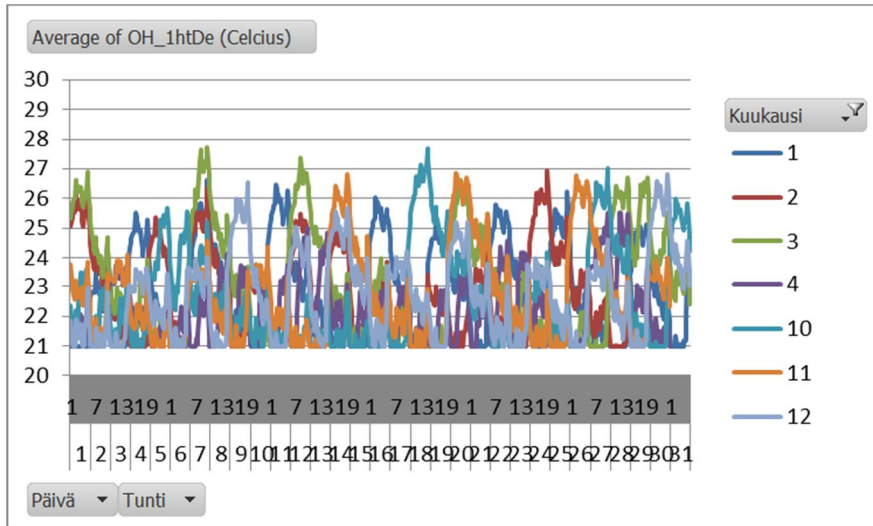
Kriittisen korkeita olohuoneen lämpötiloja havaitaan jo pienemmällä puupanoksella korkeimmalla tulisijan käytön lämpötilaraja-arvolla (9 kg ja +25 °C). Suuremmalla panoksella (18 kg) ja matalimmalla käytön raja-arvolla (+21,5 °C) olohuoneen lämpötila on jo pidempiä jaksoja yli sallitun +24 °C:n rajan (Kuva A28).



Kuva A26. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 9 kg.



Kuva A27. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 9 kg.

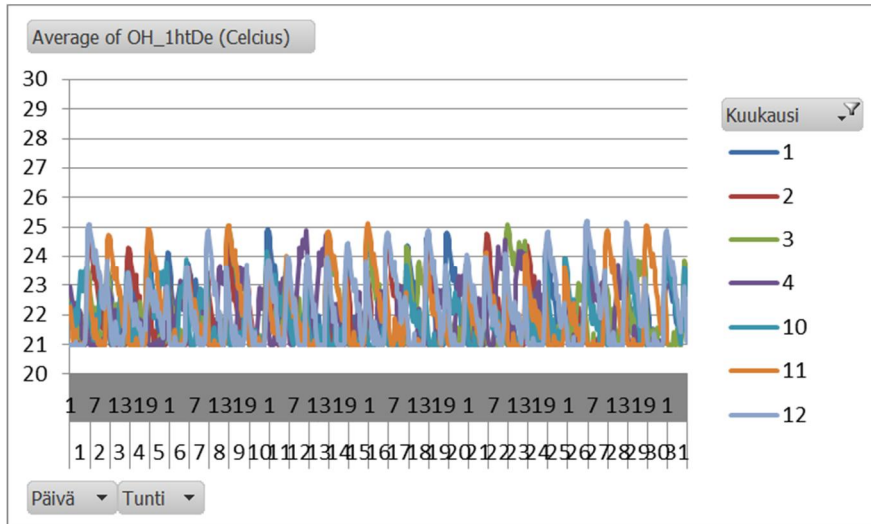


Kuva A28. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), erittäin hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 18 kg.

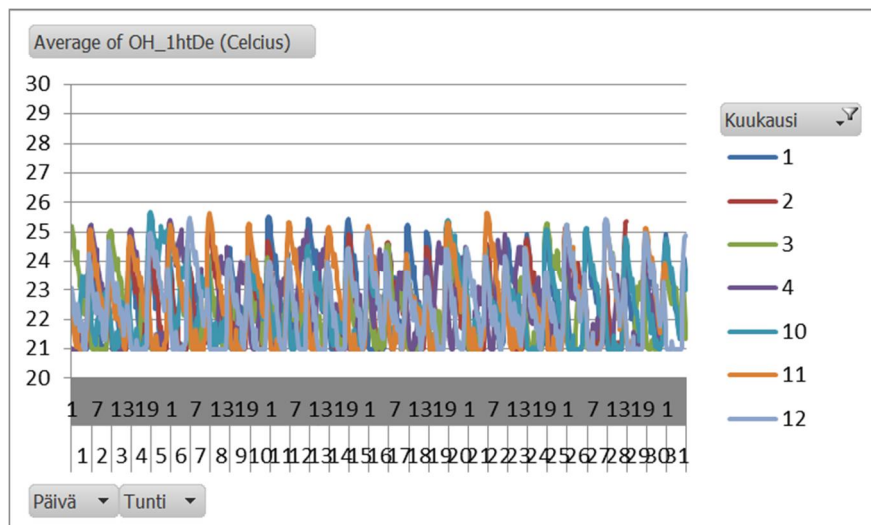
Olohuoneen lämpötilat hitaalla tulisijalla

Hitaalla tulisijalla hyväksyttävät olohuoneen lämpöolosuhteet saavutetaan ainoastaan pienimmällä puupanoksella (9 kg) ja pienimmällä huonelämpötilan raja-arvolla (+21,5 °C), kuva A29.

Kriittisen korkeita olohuoneen lämpötiloja havaitaan jo pienemmällä puupanoksella (9 kg) ja tulisijan käytön lämpötilaraja-arvolla (+22 °C), kuva A30.



Kuva A29. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 9 kg.

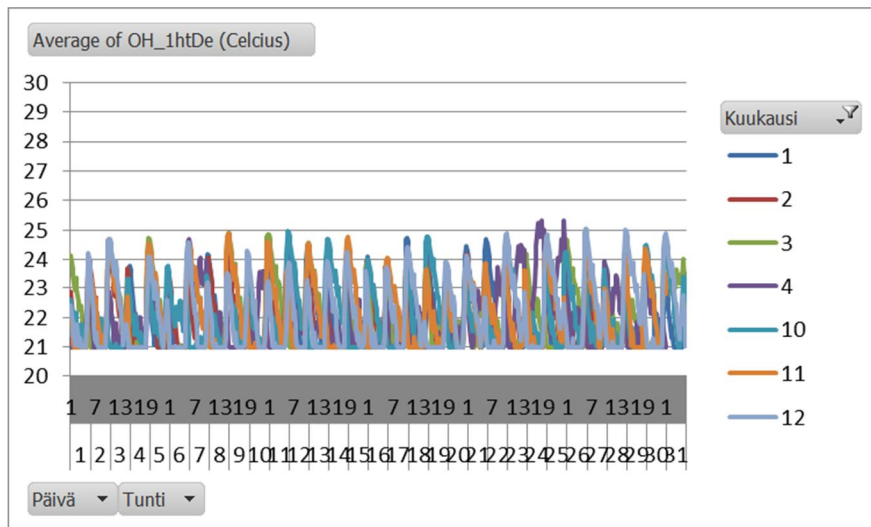


Kuva A30. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 9 kg.

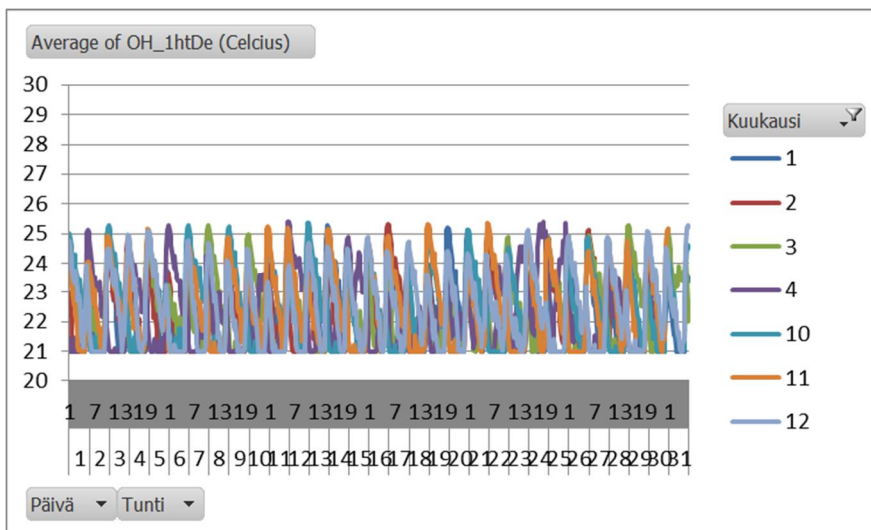
Olohuoneen lämpötilat hitaalla tulisijalla Sodankylän säässä

Sodankylän säässä hitaalla tulisijalla tilanne on samankaltainen kuin Helsingin säässäkin. Hyväksyttävät olosuhteet saavutetaan ainoastaan pienimmällä puu-panoksella (9 kg) ja pienimmällä huonelämpötilan raja-arvolla (+21,5 °C), kuva

A31. Kriittisen korkeita olohuoneen lämpötiloja havaitaan pienemmällä puupanoksella ja tulisijan käytön lämpötilaraja-arvolla (+22 °C) samoin kuin Helsingin säässä (Kuva A32).



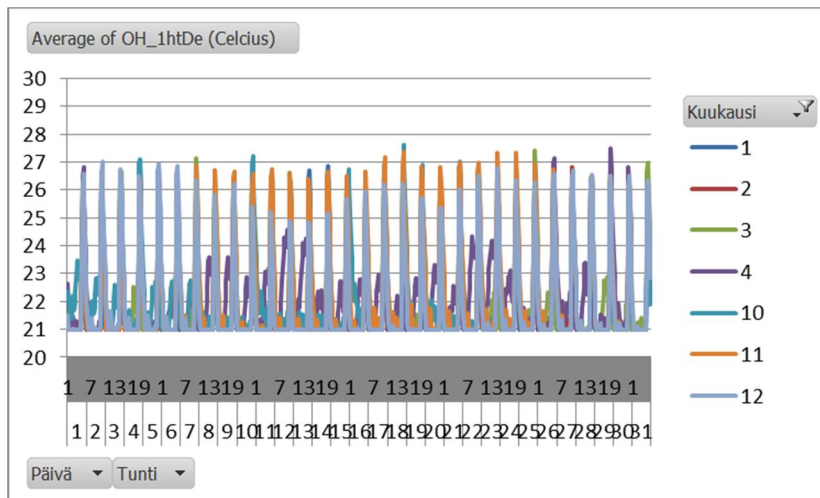
Kuva A31. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 9 kg, Sodankylän sää.



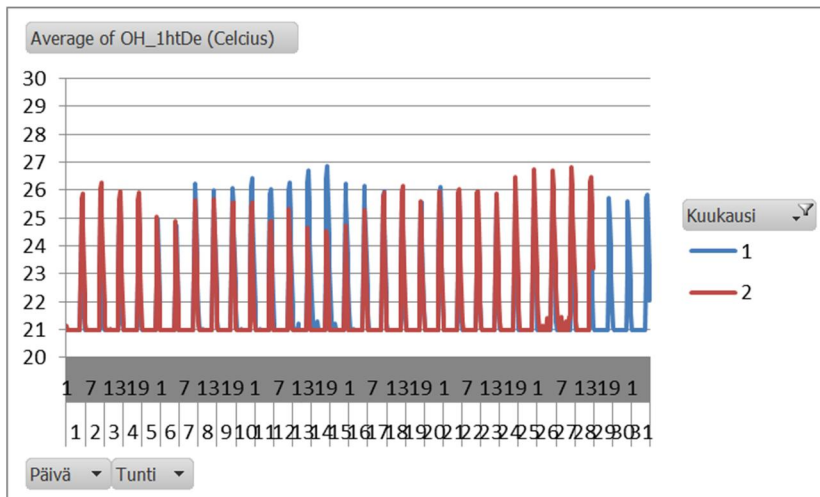
Kuva A32. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), hidas tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 22 °C, panostus 9 kg, Sodankylän sää.

Olohuoneen lämpötilat nopealla tulisijalla

Nopealla tulisijalla kriittisen korkeita olohuoneen lämpötiloja havaitaan kaikilla laskentatapauksilla. Jo pienimmällä panoksella (9 kg) ja matalimmalla käytön raja-arvolla (+21,5 °C) olohuoneen lämpötila on monena kuukautena pidempiä jaksuja yli sallitun +24 °C:n rajan (Kuva A33). Myös talvikuukausina (Kuva A34) lämpötila nousee herkästi tulisijaa käytettäessä.



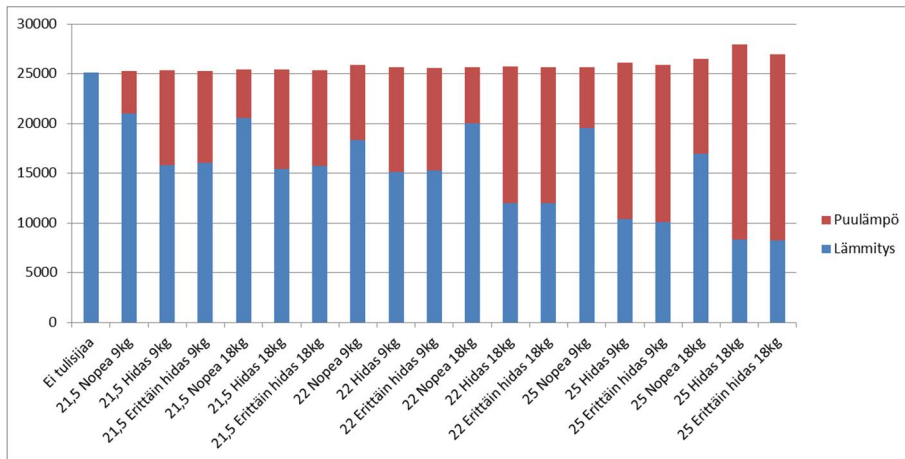
Kuva A33. Olohuoneen lämpötilat lämmityskaudella (lokakuu–huhtikuu), nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 9 kg.



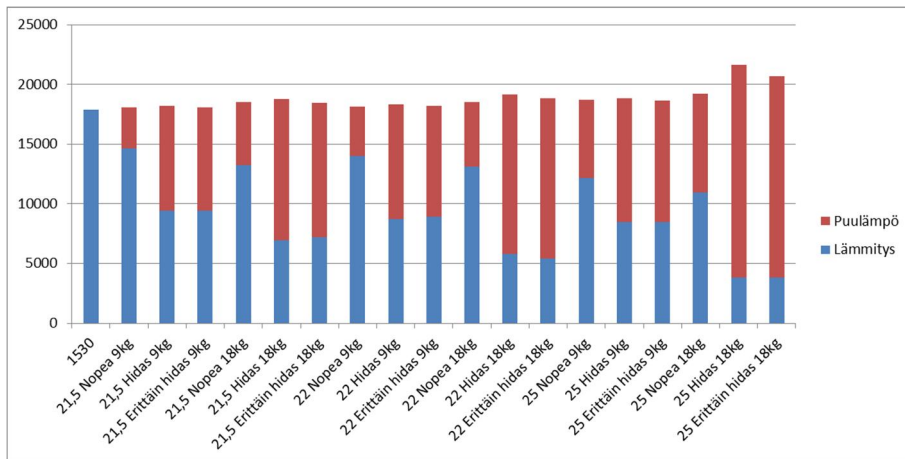
Kuva A34. Olohuoneen lämpötilat talvikuukausina (tammikuu–helmikuu), nopea tulisija, huonelämpötilan raja-arvolla 21,5 °C, panostus 9 kg.

Liite B: Lämmityksen kokonaisenergiankulutukset ja tulisijojen nettotuotot

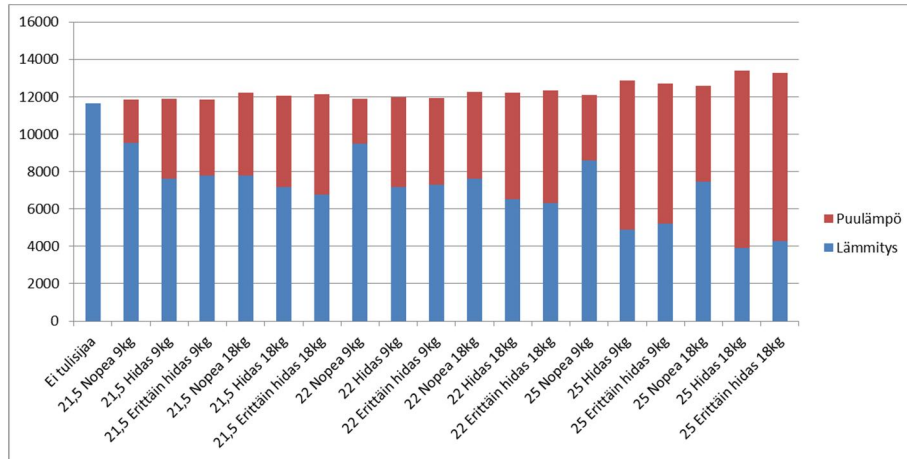
Kaikkien eri laskentatapausten tilojen lämmityksen kokonaisenergian kulutukset on esitetty alla olevissa kuvissa (Kuva B1 – B4.) Kokonaisenergiankulutus tarkoittaa suoran sähkölämmityksen kulutusta ja tulisijan tilaan luovuttamaa lämmitysenergiaa.



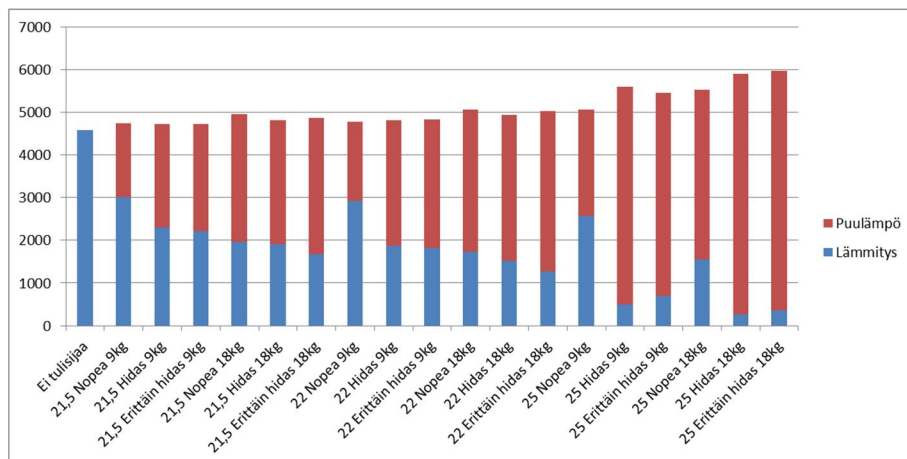
Kuva B1. Tilojen lämmityksen kokonaisenergiankulutukset yksikerroksisessa, alkuperäisillä rakenteilla varustetussa pientalossa.



Kuva B2. Tilojen lämmityksen kokonaisenergiankulutukset yksikerroksisessa, peruskorjatuilla rakenteilla varustetussa pientalossa.



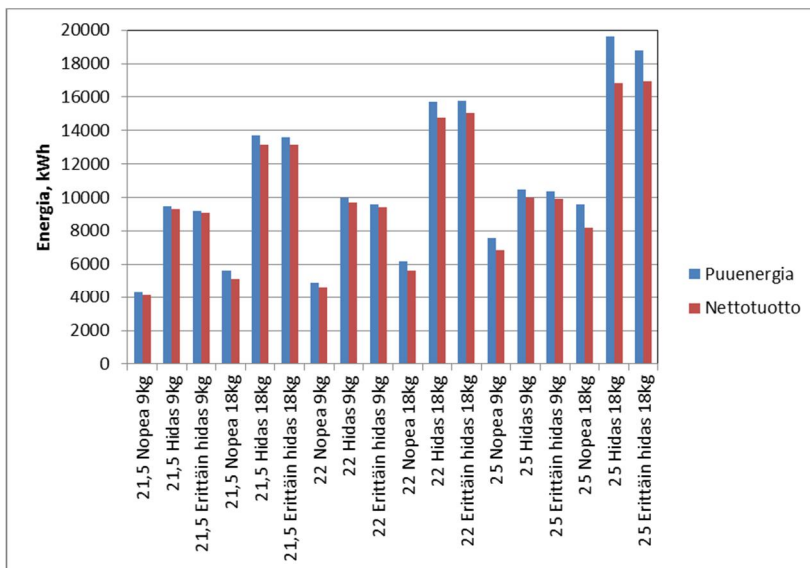
Kuva B3. Tilojen lämmityksen kokonaisenergiankulutukset kaksikerroksisessa, nykymääräysten mukaisilla rakenteilla varustetussa pientalossa.



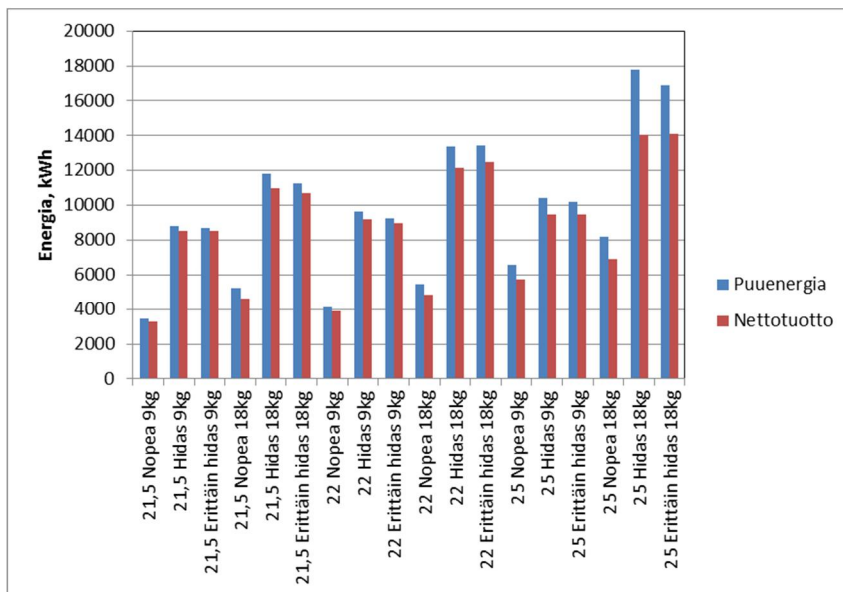
Kuva B4. Tilojen lämmityksen kokonaisenergiankulutukset kaksikerroksisessa, passiivitason mukaisilla rakenteilla varustetussa pientalossa.

Tulisijojen lämmitysenergian tuotot

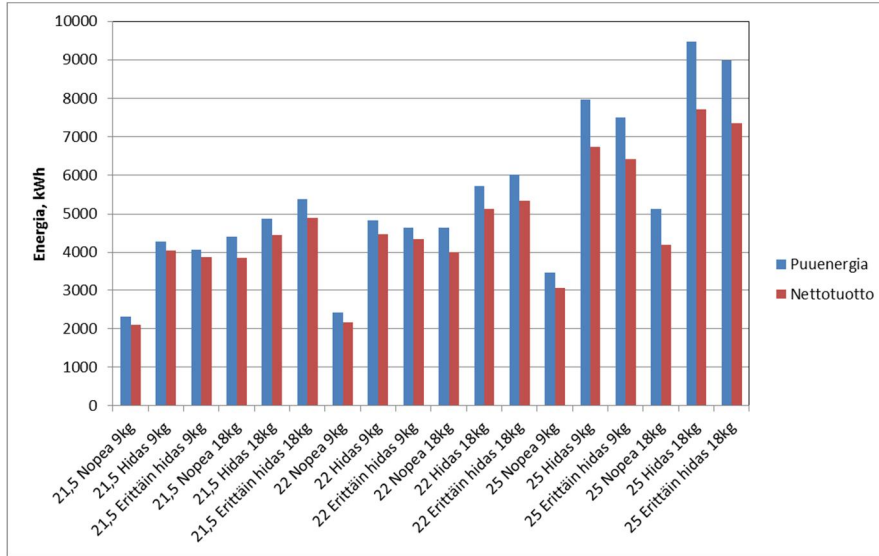
Tulisijoilla lasketut tilojen lämmitysenergian nettotuotot ja tulisijojen tilaan luovuttamat lämpöenergiat on esitetty kuvissa B5–B8. Nettotuotto on laskettu ilman tulisijaa määritetyn lämmitysenergiankulutuksen ja kunkin tulisijalla lasketun lämmitysenergiankulutuksen erotuksena. Puuenergia on tulisijan tilaan luovuttama lämmitysenergia, kun tulisijan palamishyötysuhde on 100 %. Puuenergian ja nettotuoton erotus on tulisijan aiheuttama lisälämpöhäviö korkeamman huonelämpötilan takia.



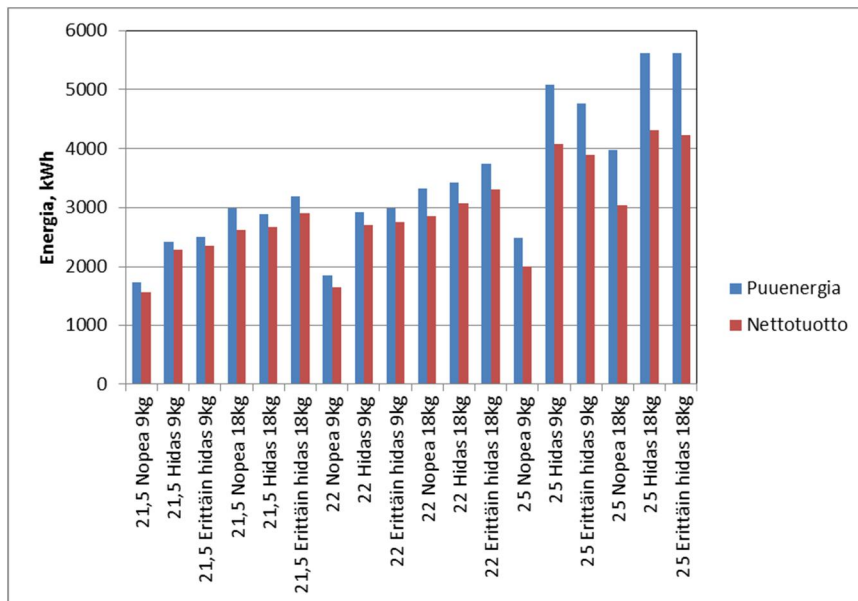
Kuva B5. Lämmitysenergian nettotuotto eri tulisijoilla ja vastaava tulisijan luovuttama lämpöenergia (puuenergia) yksikerroksisessa, alkuperäisillä rakenteilla varustetussa pientalossa. Puuenergian ja nettotuoton erotus edustaa tulisijojen lämmönluovutuksen häviötä.



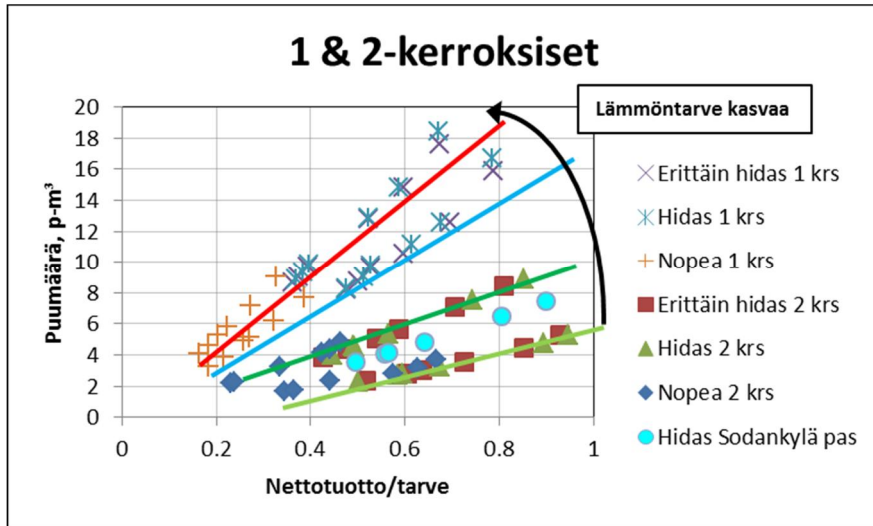
Kuva B6. Lämmitysenergian nettotuotto eri tulisijoilla ja vastaava tulisijan luovuttama lämpöenergia (puuenergia) yksikerroksisessa, peruskorjatuilla rakenteilla varustetussa pientalossa. Puuenergian ja nettotuoton erotus edustaa tulisijojen lämmönluovutuksen häviötä.



Kuva B7. Lämmitysenergian nettotuotto eri tulisijoilla ja vastaava tulisijan luovutama lämpöenergia (puuenergia) kaksikerroksisessa, nykymääräysten mukaisilla rakenteilla varustetussa pientalossa. Puuenergian ja nettotuoton erotus edustaa tulisijojen lämmönluovutuksen häviötä.



Kuva B8. Lämmitysenergian nettotuotto eri tulisijoilla ja vastaava tulisijan luovutama lämpöenergia (puuenergia) kaksikerroksisessa, passiivitaso mukaisilla rakenteilla varustetussa pientalossa. Puuenergian ja nettotuoton erotus edustaa tulisijojen lämmönluovutuksen häviötä.

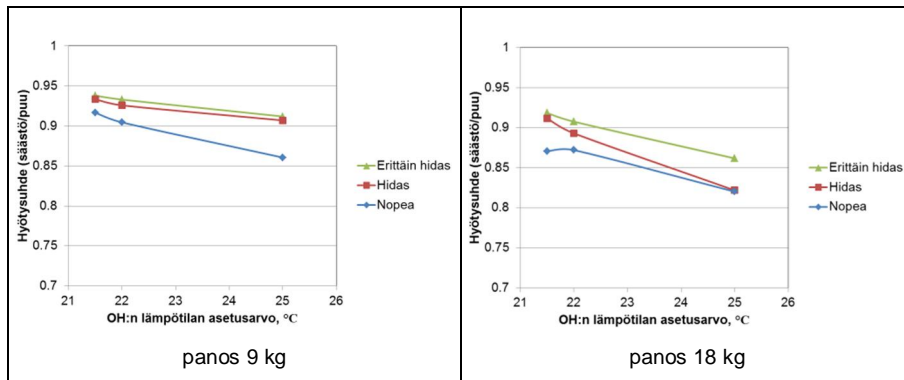


Kuva B9. Suhteellista lämmöntuottoa vastaavat puumäärät kaikissa lasketuissa tapauksissa. Tulisijan palamishyötysuhteeksi on oletettu 80 % ja puun energiasäällöksi 1 330 kWh/p-m³.

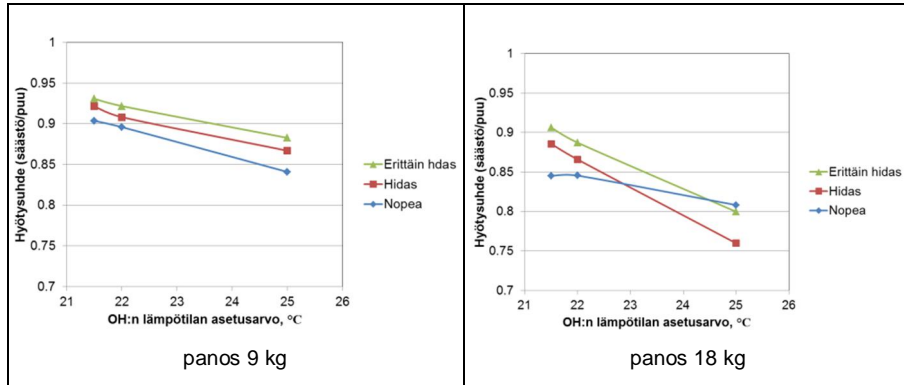
Liite C: Tulisijojen lämmönluovutuksen hyötysuhteet

Tulisijan lämmönluovutuksen hyötysuhde ottaa huomioon huonelämpötilojen kohoamisesta aiheutuvat kasvavat lämpöhäviöt. Lisäksi lämmönluovutuksen hyötysuhteeseen vaikuttavat varsinaisen lämmitysjärjestelmän säätöjärjestelmän hyötysuhde sekä huonelämpötilan pystysuuntaisen lämpötilajakauman hyötysuhde. Tehdyissä simuloinneissa säätöjärjestelmän epäideaalisuudet sisältyivät VTT Talo -laskentaan, ja laskennassa käytettiin varsin tarkkaa PI-säätöä. Pystysuuntaista lämpötilajakaumaa ei VTT Talo -laskelmissa voida simuloida, joten tämä vaikutus otettiin huomioon vakiohyötysuhteella $\eta_{\text{jakauma}} = 0,95$.

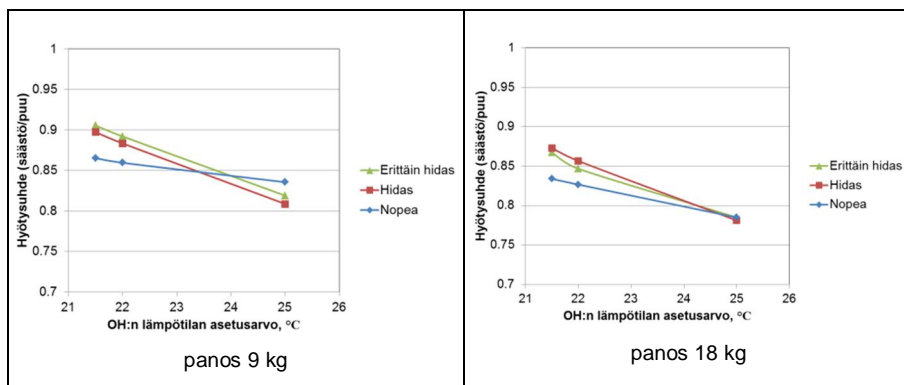
Kuvissa C1–C5 on esitetty tulisijojen lasketut lämmönluovutuksenhyötysuhteet kaikissa simulointitapauksissa.



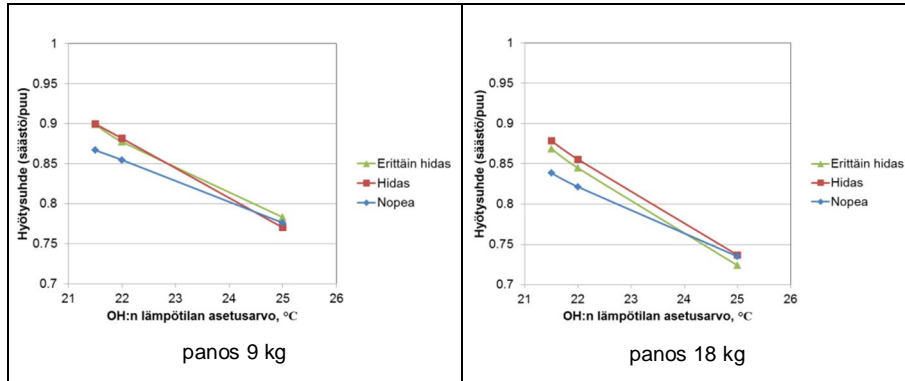
Kuva C1. Lämmönluovutuksen hyötysuhteet yksikerroksisella talolla tulisijan polton rajalämpötilan funktiona. Kuva a) tulisijan puupanos 9 kg ja b) tulisijan puupanos 18 kg.



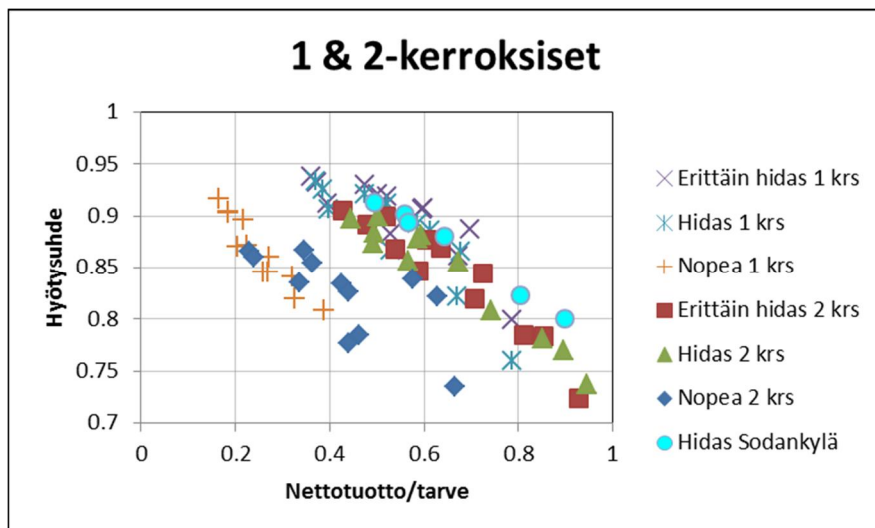
Kuva C2. Lämmönluovutuksen hyötysuhteet yksikerroksisella peruskorjatulla talolla tulisijan polton rajalämpötilan funktiona. Kuva a) tulisijan puupanos 9 kg ja b) tulisijan puupanos 18 kg.



Kuva C3. Lämmönluovutuksen hyötysuhteet kaksikerroksisella nykymääräysten mukaisella talolla tulisijan polton rajalämpötilan funktiona. Kuva a) tulisijan puupanos 9 kg ja b) tulisijan puupanos 18 kg.



Kuva C4. Lämmönluovutuksen hyötysuhteet kaksikerroksisella passiivitasolla talolla tulisijan polton rajalämpötilan funktiona. Kuva a) tulisijan puupanos 9 kg ja b) tulisijan puupanos 18 kg.



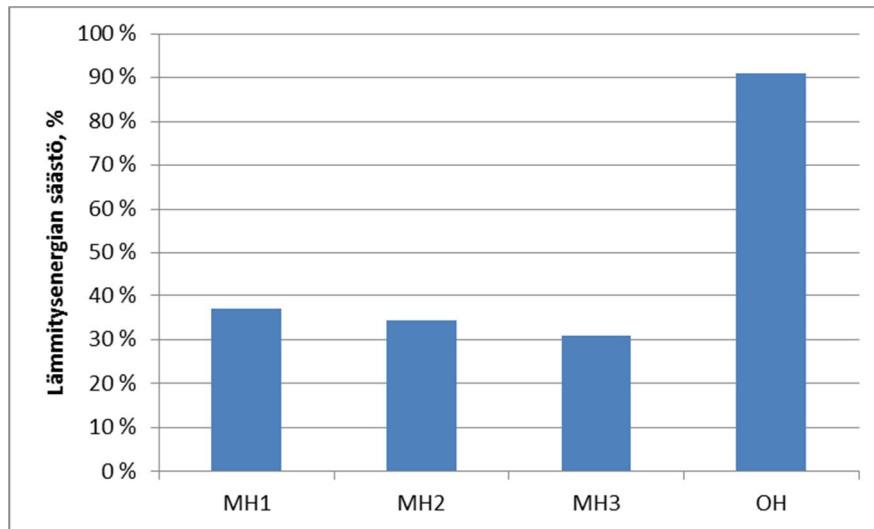
Kuva C5. Lämmönluovutuksen hyötysuhteet kaikista laskentatapauksista.

Liite D: Lämmön leviäminen

Tulisijan käyttö nostaa suoraan sen tilan huonelämpötilaa, johon tulisija on sijoitettu. Lämpötilan noustessa huoneiden väliset ilmavirtaukset voimistuvat huoneiden välisten lämpötilaerojen takia, ja ilmavirtaukset pyrkivät tasoittamaan lämpötilaeroja siirtämällä tulisijan lämpöä läheisiin tiloihin. Tulisijan lämmön siirtyminen muihin tiloihin riippuu rakennuksen arkkitehtuurista eli mm. siitä, onko huoneisto yksi vai useampikerroksinen. Lisäksi lämmön leviäminen riippuu siitä, ovatko huoneiden väliset ovet auki vai kiinni. Seuraavassa tarkastellaan tulisijan lämmön leviämistä esimerkkien valossa laskennassa käytetyillä rakennuksilla ja tulisijoilla.

Yksikerroksinen vanha rakennus

Yksikerroksisessa rakennuksessa tulisija on sijoitettu hyvin avaraan olohuoneen, keittiön ja eteisen muodostamaa tilaan. Lisäksi makuuhuoneiden ovet olivat laskennassa avattuina, joten tulisijan lämpö pääsee hyvin leviämään rakennuksessa. Alla olevassa kuvassa (Kuva D1) on esitetty esimerkkinä yhden laskentatapauksen valossa tulisijan käytön vaikutuksia viereisten tilojen päälämmitysjärjestelmällä tuotettavaan lämmitykseen.



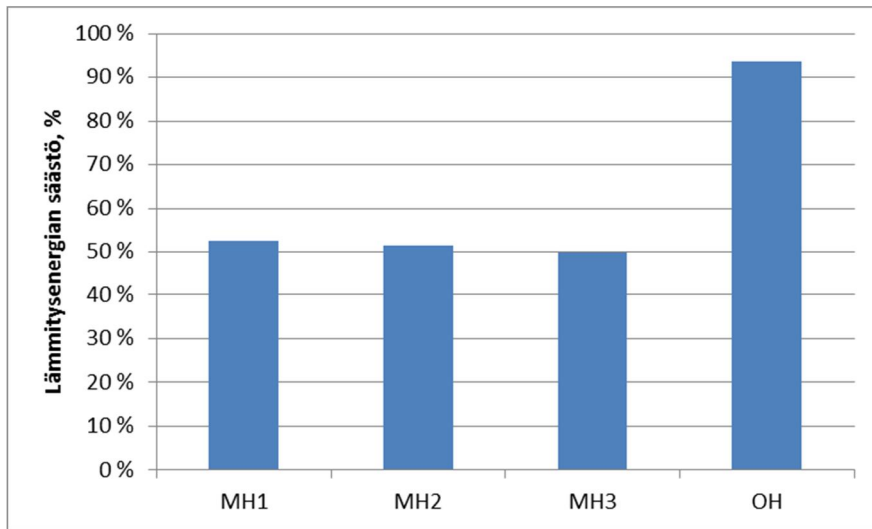
Kuva D1. Päälämmitysjärjestelmällä tuotetun lämmitysenergian muutos eri tiloissa, erittäin hidas tulisija, puupanos 18 kg, olohuoneen rajalämpötila 22 °C.

Tuloksen perusteella tulisijan lämpö leviää hyvin avonaisten ovien kautta olohuoneesta viereisiin makuuhuoneisiin, ja varsinaisella lämmitysjärjestelmällä tuotettu lämmitysenergia vähenee yli 30 % verrattuna ilman tulisijaa vallinneeseen tilanteeseen.

Yksikerroksinen peruskorjattu rakennus

Tässä tapauksessa on sama tilaratkaisu kuin edellisessä tapauksessa ja makuuhuoneiden ovet olivat samoin avoinna koko laskennan ajan.

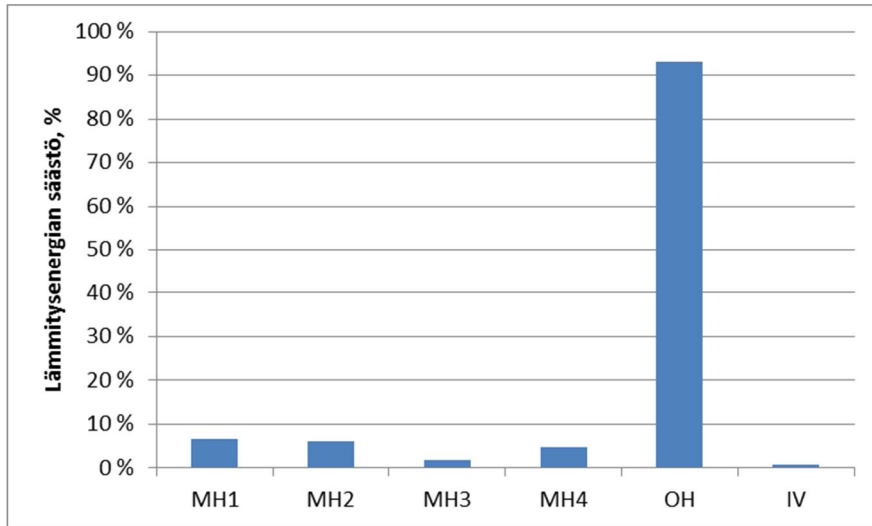
Tässä tilanteessa makuuhuoneiden päälämmitysjärjestelmällä tuotettu lämmitysenergia jopa puolittuu verrattuna tilanteeseen ilman tulisijaa (Kuva D2)



Kuva D2. Päälämmitysjärjestelmän lämmitysenergian väheneminen eri tiloissa, erittäin hidas tulisija, puupanos 18 kg, olohuoneen rajalämpötila 21,5 °C.

Kaksikerroksinen uusi rakennus

Kaksikerroksisessa rakennuksessa makuuhuoneet sijaitsevat yläkerrassa ja tulisija on sijoitettu alakerrassa sijaitsevaan olohuoneeseen. Vaikka makuuhuoneiden ovet ovat tässäkin tapauksessa avoinna, on tulisijan lämmön leviäminen yläkertaan vaikeampaa kuin samassa tasossa sijaitseviin tiloihin. Kaksikerroksisessa rakennuksessa tulisijan käyttö vaikuttaa myös ilmanvaihdon tuloilman jälkilämmitystarpeeseen poistoilman lämmöntalteenottolaitteen välityksellä.

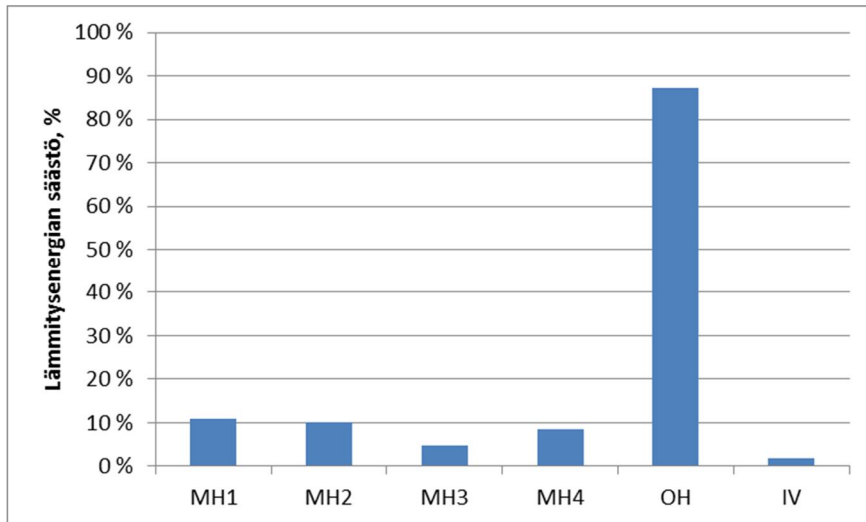


Kuva D3. Päälämmitysjärjestelmän lämmitysenergian väheneminen eri tiloissa ja ilmanvaihdon jälkilämmitystarpeen muutos, erittäin hidas tulisija, puupanos 9 kg, olohuoneen rajalämpötila 22 °C.

Tuloksista (Kuva D3) nähdään, että päälämmitysjärjestelmän tuottama lämmitysenergia vähenee makuuhuoneissa reilusti, vajaat 10 %. Ilmanvaihdon lämmitystarve pienenee marginaalisesti eli vain noin 1 %.

Kaksikerroksinen passiivitason rakennus

Tässäkin tapauksessa makuuhuoneiden ovet olivat laskennassa auki, ja ilmanvaihdossa käytössä oli poistoilman lämmöntalteenotto.

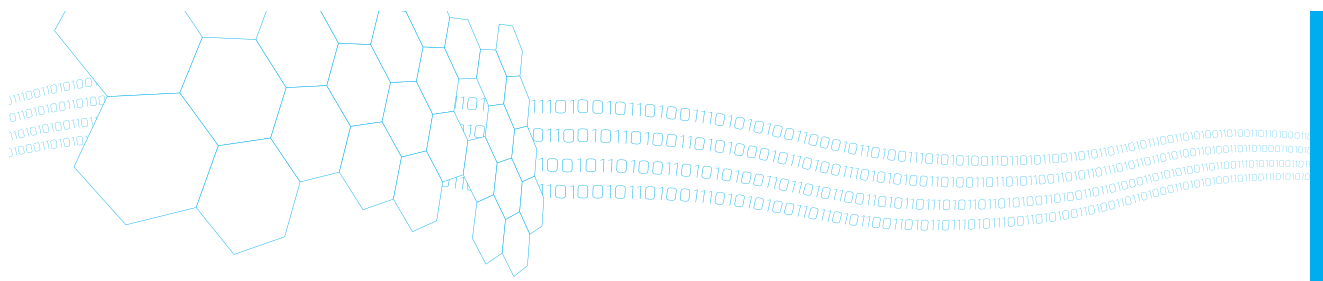


Kuva D4. Päälämmitysjärjestelmän tuotetun lämmitysenergian pieneneminen eri tiloissa ja ilmanvaihdon jälkilämmitystarpeen pieneneminen käytettäessä tulisijaa, erittäin hidas tulisija, puupanos 9 kg, olohuoneen rajalämpötila 21,5 °C.

Tilanne on samankaltainen kuin kaksikerroksisessa uudessa rakennuksessa, ja tulisijan lämpö leviää melko huonosti yläkerran makuuhuoneisiin ja ilmanvaihdon lämmitystarve vähenee noin 2 % (Kuva D4).

Nimeke	Tulisijojen lämmönluovutus ja hyötysuhteet erilaisissa käyttötapauksissa
Tekijä(t)	Pekka Tuomaala, Ari Laitinen & Mikko Virtanen
Tiivistelmä	<p>Energiankulutuksen vähentämiseksi vuoteen 2020 mennessä on EU-tasolla tehty ja tekeillä toimenpiteitä, jotka vaikuttavat rakennussektorilla kokonaisvaltaisesti sekä rakennustuotteisiin että rakentamiseen. Kansallisten rakentamismääräysten kehitystyön pohjaksi tarvittiin yhdessä tulisija-alan toimijoiden kanssa tutkimushanke, jossa arvioitiin luotettavilla menetelmillä tulisijojen toimivuutta erityisesti pientaloissa.</p> <p>Tämän tutkimusprojektin tavoitteena oli selvittää varaavien tulisijojen mahdollisuuksia hyödyntää uusiutuvaa energiaa pientaloissa ja määrittää reunaehdot tälle hyödyntämiselle. Tutkimuksessa selvitettiin laskennallisesti lämmönluovutusominaisuuksiltaan erilaisilla tulisijoilla rakennukseen saatavissa olevaa maksimaalista lämmitysenergiaa erilaisissa pientaloissa. Analyysiin valittiin kolme erilaista tulisijatyyppiä: nopeasti lämpöä luovuttava (kamiina) ja kaksi varaavaa tulisijaa (hitaasti ja erittäin hitaasti lämpöä luovuttava tulisija). Aikariippuvat tuntitason tarkastelut tehtiin kahdella erilaisella rakennustyyppillä. Uudisrakennusta simuloitiin kaksikerroksisena erillisenä pientalona, ja simuloinneissa arvioitiin tulisijojen lämmönluovutusta nykynormien mukaisessa sekä erittäin energiatehokkaassa rakennuksessa. Korjauskohteen simuloinneissa käytettiin yksikerroksista pientalon mallia, ja myös korjauskohteen simuloinnit tehtiin kahdella energiatehokkuustasolla: alkuperäinen rakennus sekä rakennus, johon on tehty energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä.</p> <p>Tehtyjen laskennallisten analyysien perusteella suurimmat erilaisista tulisijoista saatavissa olevat lämmitysenergiat riippuvat ennen kaikkea rakennuksen lämmöntarpeesta: mitä suurempi on lämmöntarve, sitä suurempi on tulisijan lämmöntuottopotentiaali. Myös tulisijan lämpöteknisillä ominaisuuksilla on selvä vaikutus, sillä mitä suurempi on tulisijan lämmönvarauskyky, sitä suurempi on tuottopotentiaali – joskin tutkituilla erittäin hitaalla ja hitaalla tulisijalla tuottopotentiaalien erot olivat vähäiset. Lasketuilla tapauksilla voidaan korjauskohteissa kattaa 55–57 % tilojen lämmitysenergiatarpeesta varaavalla tulisijalla. Kamiinatyyppisellä nopeasti lämpöä luovuttavalla tulisijalla päästiin korjauskohteissa 18–19 %:n tuotto-osuuksiin. Uudisrakennuksessa ja passiivitaso rakennuksessa varaavien tulisijojen tuotto-osuudet olivat noin 43–51 % ja kamiinalla 9–12 % tilojen lämmitystarpeesta.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8182-5 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)
Julkaisu-aika	Marraskuu 2014
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	73 s. + liitt. 35 s.
Projektin nimi	EAKR Tulisija
Rahoittajat	EAKR (Tekes), Tulisija- ja savupiippuyhdistys TSY ry, Turun Uunisevät Oy, Tulikivi Oyj, Suomen Tiiliteollisuusliitto r.y., Nunnauuni Oy
Avainsanat	tulisija, pientalot, uusiutuva energia, vuosihyötysuhde
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Title	Heating capacity and efficiency of fireplaces under different boundary conditions
Author(s)	Pekka Tuomaala, Ari Laitinen & Mikko Virtanen
Abstract	<p>In order to reduce energy consumption by year 2020, EU has and will take such measures that influence on the whole construction sector, both on construction products and processes. Therefore a new research project, in which also fireplace manufacturing sector is involved, was needed in order to evaluate functionality of alternative fireplace solutions especially in residential buildings.</p> <p>The aim of this research project was to analyse true potential of different fireplace solutions to utilise renewable energy sources in residential buildings, and give clear boundaries for this utilisation potential. The maximal annual heating potentials with different fireplace heatstorage capacities in residential buildings were estimated by calculations. Three types of fireplaces were adopted for analysis: a fast heat releasing (a light-weight stove) and two slowly heat releasing fireplaces (slow and very slow heat release). Dynamic (hourly) simulations were performed for two different buildings types. In new building cases, heating potential of fireplaces was estimated in two-storey buildings with both current building code requirement level and very energy efficient (passive house level) building. In existing building cases, one-storey building was assumed, and both an original and a building with energy efficiency improvement were analysed.</p> <p>According to the simulations and analysis, utilisation potentials mainly depend on the space heating demand of the house: the higher the heating demand is, the higher the utilisation potential of the fireplaces is. In addition, thermal storage capacity of the fireplace has a clear impact on the utilisation potential: the higher the thermal storage capacity is the higher the utilisation potential will be. In analysed existing building cases, with slowly heat releasing fireplaces the utilisation potentials were 55–57% of the annual space heating energy demand, and with fast heat releasing fireplace the utilisation potential was 18–19%. In new building cases, utilisation potentials with slowly heat releasing fireplaces were 43–51%, and 9–12% with fast heat releasing fireplace of the annual space heating demand.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8182-5 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Online)
Date	November 2014
Language	Finnish, English abstract
Pages	73 p. + app. 35 p.
Name of the project	EAKR Tulisija
Commissioned by	EAKR (Tekes), Tulisija- ja savupiippuyhdistys TSY ry, Turun Uunisepät Oy, Tulikivi Oyj, Suomen Tiiliteollisuusliitto r.y., Nunnauuni Oy
Keywords	fireplace, residential building, renewable energy, annual efficiency
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111



Tulisijojen lämmönluovutus ja hyötysuhteet erilaisissa käyttötapauksissa

Tämän tutkimusprojektin tavoitteena oli selvittää varaavien tulisijojen mahdollisuuksia hyödyntää uusiutuvaa energiaa pientaloissa ja määrittää reunaehdot tälle hyödyntämiselle. Tutkimuksessa selvitettiin laskennallisesti lämmönluovutusominaisuuksiltaan erilaisilla tulisijoilla rakennukseen saatavissa olevaa maksimaalista lämmitysenergiaa erilaisissa pientaloissa. Analyyseihin valittiin kolme erilaista tulisijatyyppiä: nopeasti lämpöä luovuttava (kamiina) ja kaksi varaavaa tulisijaa (hitaasti ja erittäin hitaasti lämpöä luovuttava tulisija). Aikariippuvat tuntitaso tarkastelut tehtiin kahdella erilaisella rakennustyyppillä. Uudisrakennusta simuloitiin kaksikerroksisena erillisenä pientalona, ja simuloinneissa arvioitiin tulisijojen lämmönluovutusta nykynormien mukaisessa sekä erittäin energiatehokkaassa rakennuksessa. Korjauskohteen simuloinneissa käytettiin yksikerroksista pientalon mallia, ja myös korjauskohteen simuloinnit tehtiin kahdella energiatehokkuustasolla: alkuperäinen rakennus sekä rakennus, johon on tehty energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä.

Tehtyjen laskennallisten analyysien perusteella suurimmat erilaisista tulisijoista saatavissa olevat lämmitysenergiat riippuvat ennen kaikkea rakennuksen lämmöntarpeesta: mitä suurempi on lämmöntarve, sitä suurempi on tulisijan lämmön tuottopotentiaali. Myös tulisijan lämpötekniisillä ominaisuuksilla on selvä vaikutus, sillä mitä suurempi on tulisijan lämmönvarausteho, sitä suurempi on tuottopotentiaali – joskin tutkituilla erittäin hitaalla ja hitaalla tulisijalla tuottopotentiaalierot olivat vähäiset. Lasketuilla tapauksilla voidaan korjauskohteissa

ISBN 978-951-38-8182-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)