

# **IKKUNASUUNNITTELUN VAIKUTUS RAKENNUKSEN ENERGIANKULUTUKSEEN**

Arkkitehti, projektipäällikkö Tapio Kaasalainen  
Tampereen yliopisto  
24.1.2019

# Esityksen sisältö

---

## Taustaa ja tavoitteet

Tutkitut ominaisuudet

## Tarkastelumenetelmä

Tarkastelumalli

Laskentamenetelmä

## Yksittäisten suunnitteluvalintojen vaikutus

Ikkunan pinta-ala

Ikkunan mittasuhteet

Ikkunan vaakasijainti

Ikkunan varjostus

Ikkunalasin ominaisuudet

Tilan mittasuhteet

Julkisivun suuntaus

## Yhteenveto

# Taustaa ja tavoitteet

Ikkuna-aukotuksen optimointi on perinteisesti keskeisessä roolissa energiatehokkuutta tavoittelevassa arkkitehtisuunnittelussa.

Suunnitteluongelma on monitahoinen:

- Energiankulutuksellisia etuja:
  - Auringon lämpöenergia,
  - luonnonvalo.
- ...ja haittoja:
  - Liikalämpö,
  - lämpöhäviöt.
- Lisäksi muun muassa häikäisy, näkymät, yksityisyys, kalustettavuus, estetiikka.

# Tutkitut ominaisuudet

<b>Ilmasto</b>	Helsinki	Jyväskylä	Sodankylä	
<b>Ikkunan pinta-ala</b>	2,0 m <sup>2</sup>	4,0 m <sup>2</sup>	6,0 m <sup>2</sup>	
<b>Ikkunan mittasuhteet</b>	Kapea	Keskiverto	Leveä	
<b>Ikkunan vaakasijainti (sisältä katsoen)</b>	Vasen	Keski	Oikea	
<b>Ikkunan varjostus (lippa, ikkunan korkeudesta)</b>	0 %	50 %	100 %	
<b>Ikkunalasin ominaisuudet (U-arvo; g-arvo)</b>	1,0; 0,4	0,6; 0,3	0,6; 0,5	
<b>Tilan mittasuhteet</b>	Kapea	Keskiverto	Leveä	
<b>Julkisivun suuntaus</b>	Etelä	Länsi	Pohjoinen	Itä

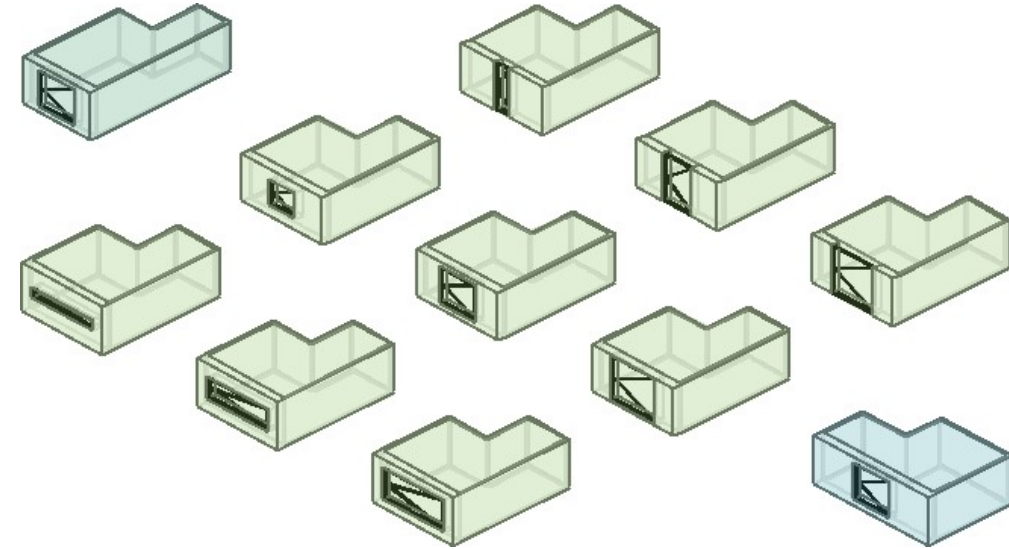
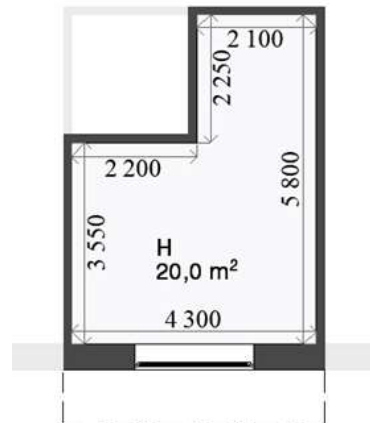
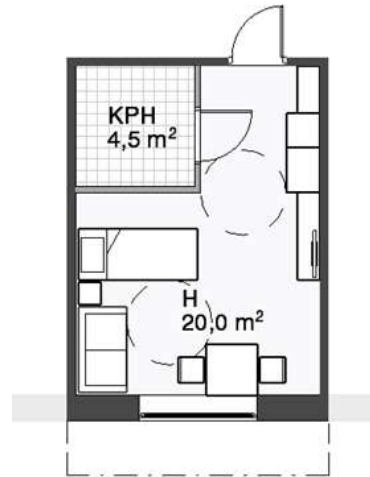
# Tutkitut ominaisuudet

<b>Ilmasto</b>	Helsinki	Jyväskylä	Sodankylä	3	
<b>Ikkunan pinta-ala</b>	2,0 m <sup>2</sup>	4,0 m <sup>2</sup>	6,0 m <sup>2</sup>	3	
<b>Ikkunan mittasuhteet</b>	Kapea	Keskiverto	Leveä	3	
<b>Ikkunan vaakasijainti (sisältä katsoen)</b>	Vasen	Keski	Oikea	3	
<b>Ikkunan varjostus (lippa, ikkunan korkeudesta)</b>	0 %	50 %	100 %	3	
<b>Ikkunalasin ominaisuudet (U-arvo; g-arvo)</b>	1,0; 0,4	0,6; 0,3	0,6; 0,5	3	
<b>Tilan mittasuhteet</b>	Kapea	Keskiverto	Leveä	3	
<b>Julkisivun suuntaus</b>	Etelä	Länsi	Pohjoinen	Itä	4
				=	
Kaikki ominaisuusyhdistelmät sisältävä simulaatiotarkastelu.					8748 yhdistelmää

# Tarkastelumalli

COMBI:ssa tarkasteltujen palveluasumiskohteiden pohjalta muodostettu keskiarvoinen ryhmäkotiasunto.

- Taustalla 28 palveluasumiskohdetta, joista 108 ryhmäkotiyksikköä, joista 1421 yhden hengen asuntoa.



Vasen: Tarkastelumallin perustapauksen kalustettu havainnepohja ja laskennassa käytetty versio.

Yllä: Laskennassa käytetyt ikkunan muotovariantit perustapauksen pohjamuodolla sekä poiminnat tilan mittasuhteiden varianteista.

# Laskentamenetelmä

IDA Indoor Climate and Energy  
(IDA ICE) 4.8 -simulaatiot

- Lämmityksen, jäähdytyksen ja valaistuksen energiantarpeet huomioitu erikseen.
  - Tarkasteltu energiantarpeita, rajauksena yksittäinen asuinhuone.
- Lämpökuormat laitteista ja ihmisistä.
- Lämmitysraja/jäähdytysraja 21/25 °C.
- Tavoitevalaistus tasainen 300 lux.
- Tarpeenmukainen valaistus automaattisella säädöllä.
- Johtumishäviöt ikkunan, ulkoseinän sekä ylä- ja alapohjan kautta.

<b>Asukas läsnä</b>	0:00 – 8:00					18:00 – 24:00
<b>Asukas valveilla</b>			6:00 – 22:00			
<b>Valot päällä</b>		6:00 – 8:00				18:00 – 22:00
		6:00	8:00		18:00	22:00

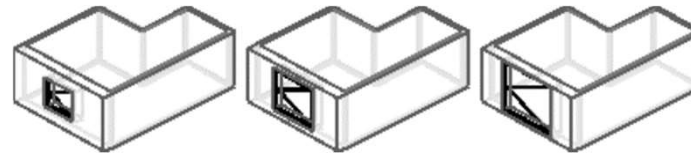
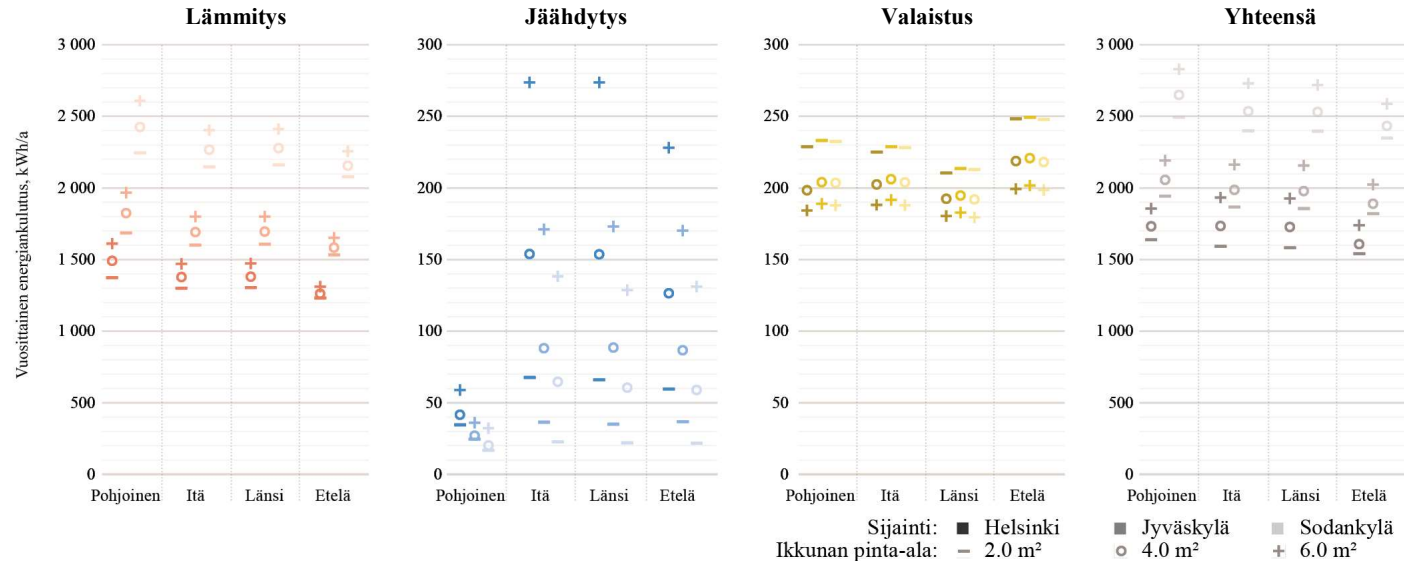
Laskennassa käytetty läsnäolon aikataulu.

# Ikkunan pinta-ala

Mitä kylmempi ilmasto ja suuntaus, sitä enemmän ikkunapinta-alan kasvattaminen lisää lämmitystarvetta.

Jäähdytystarve kasvaa ikkunan koon myötä kaikilla suuntauksilla, mutta vaihtelevassa määrin.

Vaikutus valaistustarpeeseen on lähes sama riippumatta sijainnista.



**Poiminta ikkunan pinta-alavarianteista.**  
Huom. esimerkkikuvassa muut ominaisuudet vakioarvoilla, varjostusta ei ole esitetty.

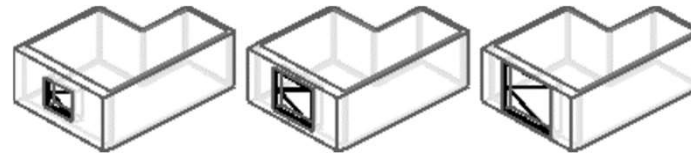
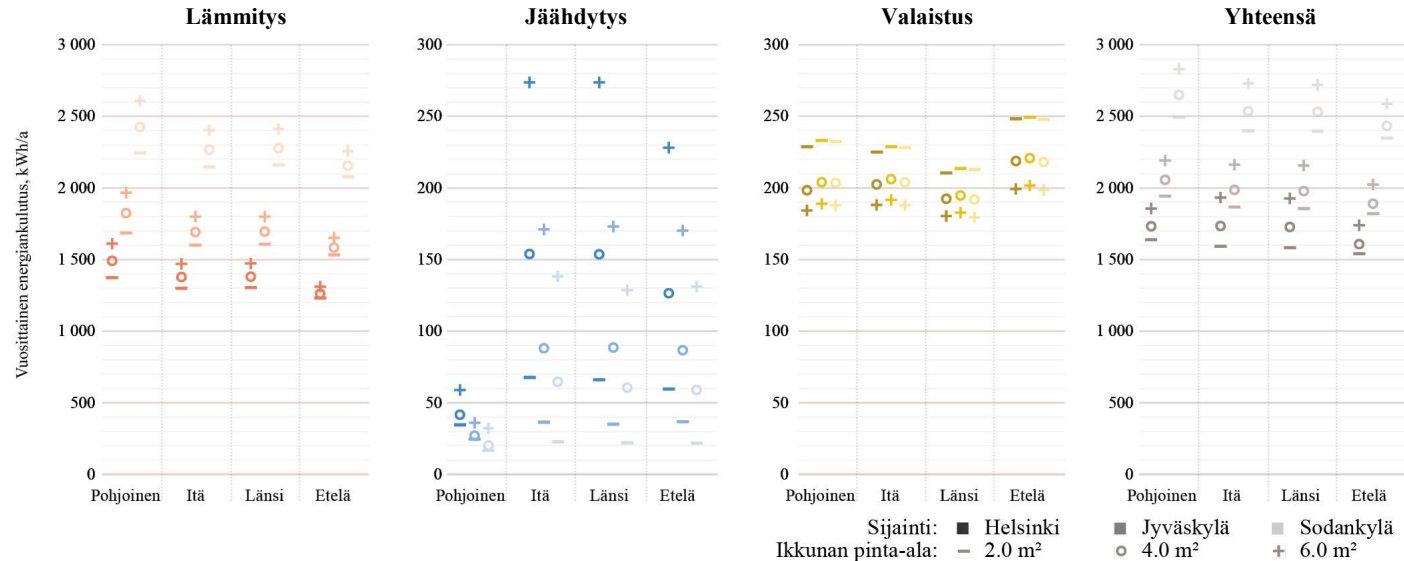
**Odotettu vuosittainen energiankulutus osa-alueittain ominaisuuden eri arvoilla.**  
Huom. eri pystyakselit.

# Ikkunan pinta-ala

Lämmitystarve hallitsee energiankulutusta, joten keskimäärin isomman ikkunan kanssa energiaa kuluu enemmän. **Ei kuitenkaan aina.**

- Pienin lämmitystarve toteutui Helsingissä ja Jyväskylässä keskisuurilla sekä Sodankylässä pienillä ikkunoilla.
- Kokoa suuremmat ikkunat lisäsivät kaikissa sijainneissa lämmitystarvetta vain noin prosenttiin.

→ Energiatehokkuus ei vaadi ikkunapinta-alan minimointia pohjoisissakaan olosuhteissa.



**Poiminta ikkunan pinta-alavarianteista.**  
Huom. esimerkkikuvassa muut ominaisuudet vakioarvoilla, varjostusta ei ole esitetty.

### Muiden muuttujien arvot esitetyissä tapauksissa

Ikkunan mittasuhteet	Keskiverto
Ikkunan vaakasijainti (sisältä katsoen)	Keski
Ikkunan varjostus (lippa, ikkunan korkeudesta)	50 %
Ikkunalasin ominaisuudet (U-arvo; g-arvo)	0,6; 0,3
Tilan mittasuhteet	Keskiverto

**Odotettu vuosittainen energiankulutus osa-alueittain ominaisuuden eri arvoilla.**  
Huom. eri pystyakselit.

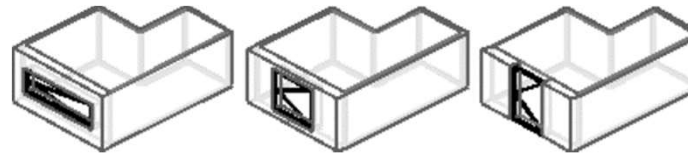
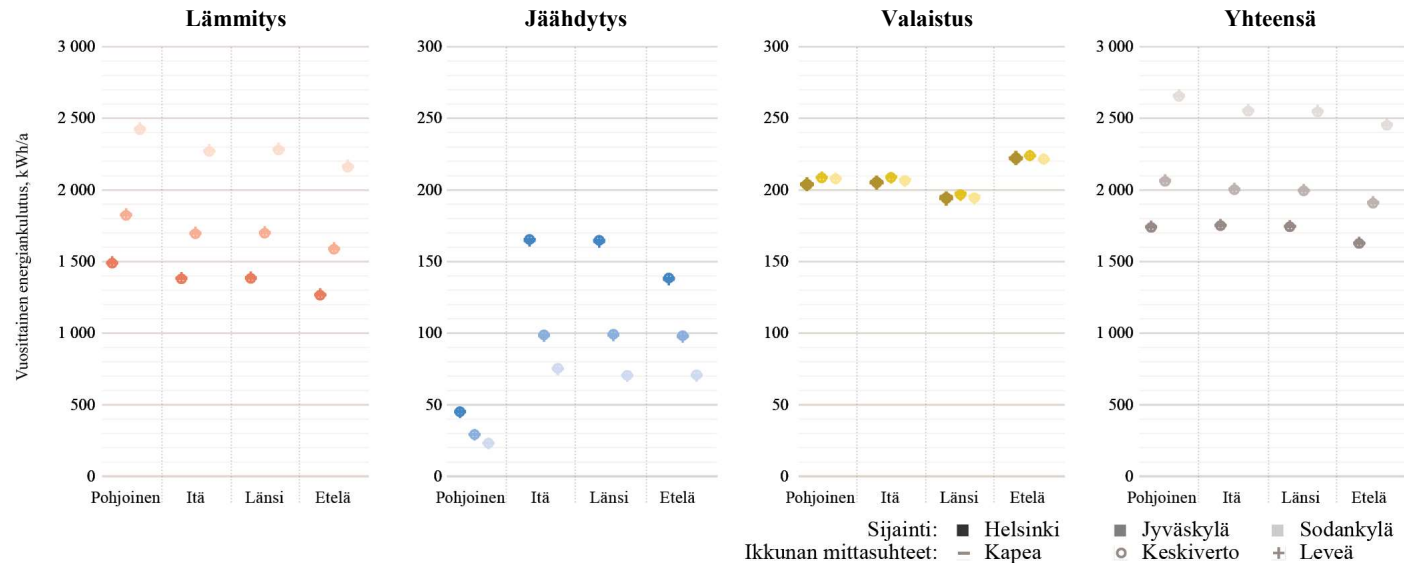
# Ikkunan mittasuhteet

Ikkunan mittasuhteet eivät vaikuta suoraan lähes lainkaan minkään tarkastellun osa-alueen energiankulutukseen.

Välillisiä vaikutuksia syntyy käytännössä riippuen

- valontarpeesta tilan eri osissa,
- operatiivisesta lämpötilasta ikkunan läheisyydessä.

→ Ikkunan mittasuhteet tulee valita toiminnallisin ja esteettisin perustein, tilan todellinen käyttö ja kalustettavuus huomioon ottaen.



**Poiminta mittasuhteista.**  
Huom. esimerkikuvassa muut ominaisuudet vakioarvoilla, varjostusta ei ole esitetty.

**Muiden muuttujien arvot esitetyissä tapauksissa**

Ikkunan pinta-ala	4,0 m <sup>2</sup>
Ikkunan vaakasijainti (sisältä katsoen)	Keski
Ikkunan varjostus (lippa, ikkunan korkeudesta)	50 %
Ikkunalasin ominaisuudet (U-arvo; g-arvo)	0,6; 0,3
Tilan mittasuhteet	Keskiverto

**Odotettu vuosittainen energiankulutus osa-alueittain ominaisuuden eri arvoilla.**  
Huom. eri pystyakselit.

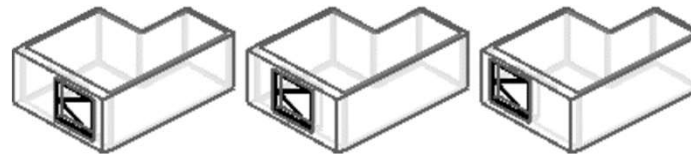
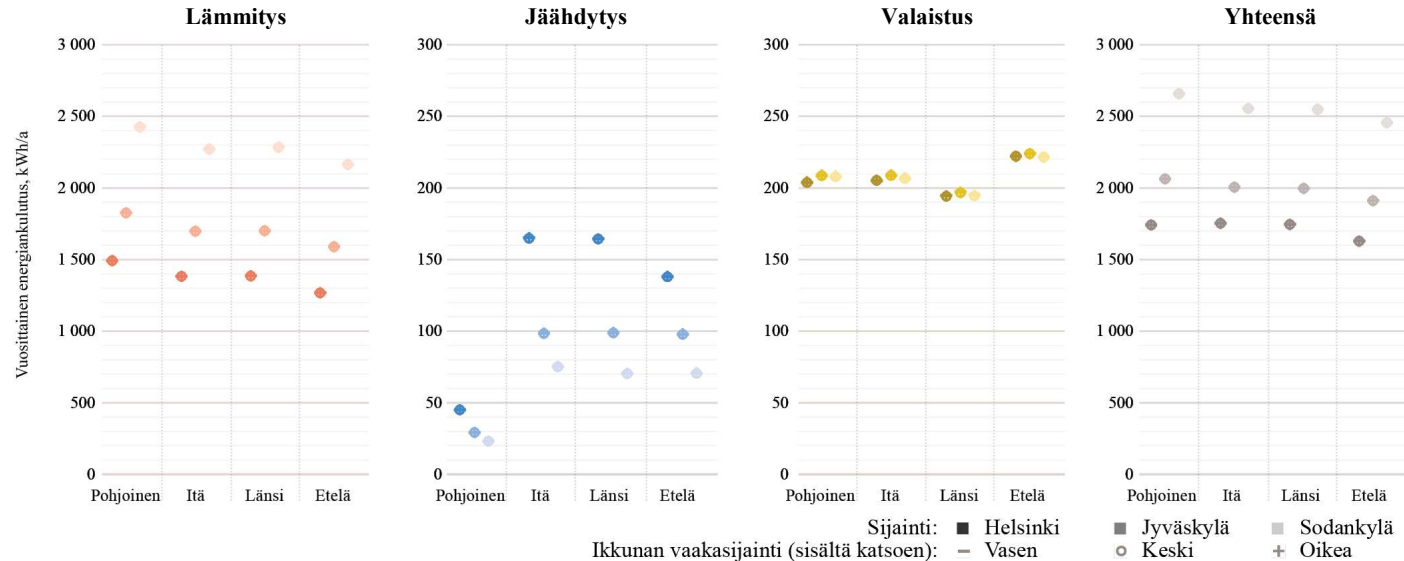
# Ikkunan vaakasijainti

Mittasuhteiden tavoin ikkunan vaakasijainnilla ei ole suoraa vaikutusta minkään tarkastellun osa-alueen energiankulutukseen.

Välillisiä vaikutuksia käytännössä riippuen

- valontarpeesta tilan eri osissa,
- operatiivisesta lämpötilasta tilan eri osissa,
- kaihtimien ja verhojen tarpeesta.

→ Ikkunan sijoittelussa tulee ottaa huomioon ensisijaisesti kalustettavuus, näkymät ja mahdollinen häikäisy.



**Poiminta ikkunan vaakasijaintivarianteista.**  
 Huom. esimerkkikuvassa muut ominaisuudet vakioarvoilla, varjostusta ei ole esitetty.

**Muiden muuttujien arvot esitetyissä tapauksissa**

Ikkunan pinta-ala	4,0 m <sup>2</sup>
Ikkunan mittasuhteet	Keskiverto
Ikkunan varjostus (lippa, ikkunan korkeudesta)	50 %
Ikkunalasin ominaisuudet (U-arvo; g-arvo)	0,6; 0,3
Tilan mittasuhteet	Keskiverto

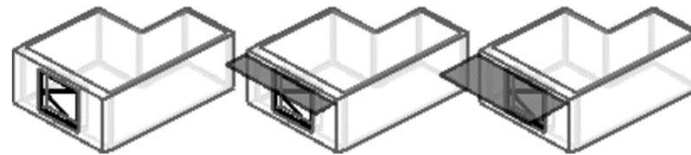
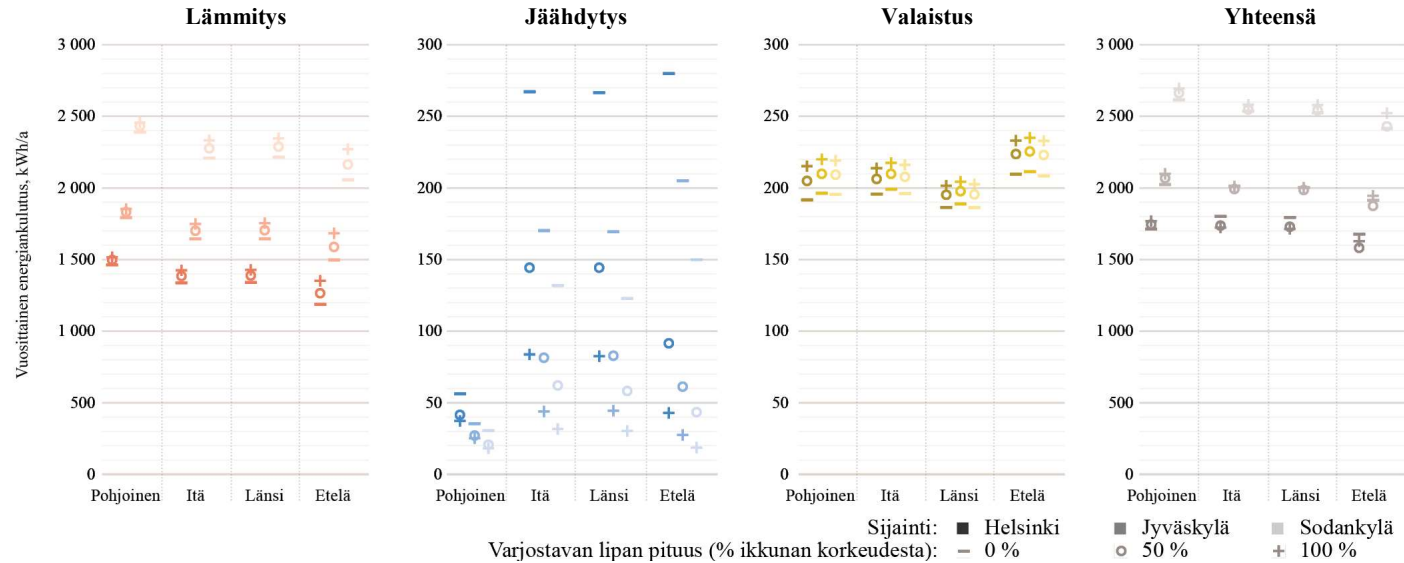
**Odotettu vuosittainen energiankulutus osa-alueittain ominaisuuden eri arvoilla.**  
 Huom. eri pystyakselit.

# Ikkunan varjostus

Vaikutus lämmitystarpeeseen on suurin lämpimiin ilmansuuntiin kylmässä ilmastossa.

Vaikutus jäähdytystarpeeseen on suuri kaikissa ilmastoissa ja kaikilla muilla paitsi pohjoissuuntauksella.

Vaikutus valaistustarpeeseen on suurin eteläsuuntauksella siitä huolimatta, että valot oli tarkastelussa keskipäivällä kytketty pois päältä.



## Muiden muuttujien arvot esitetyissä tapauksissa

Ikkunan pinta-ala	4,0 m <sup>2</sup>
Ikkunan mittasuhteet	Keskiverto
Ikkunan vaakasijainti (sisältä katsoen)	Keski
Ikkunalasin ominaisuudet (U-arvo; g-arvo)	0,6; 0,3
Tilan mittasuhteet	Keskiverto

## Poiminta ikkunan varjostusvarianteista.

Huom. esimerkkikuvassa muut ominaisuudet vakioarvoilla.

## Odotettu vuosittainen energiankulutus osa-alueittain ominaisuuden eri arvoilla.

Huom. eri pystyakselit.

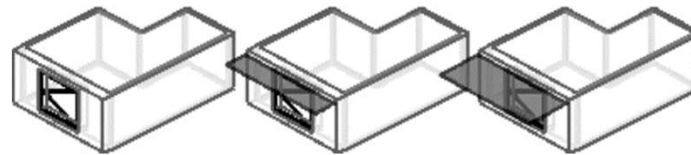
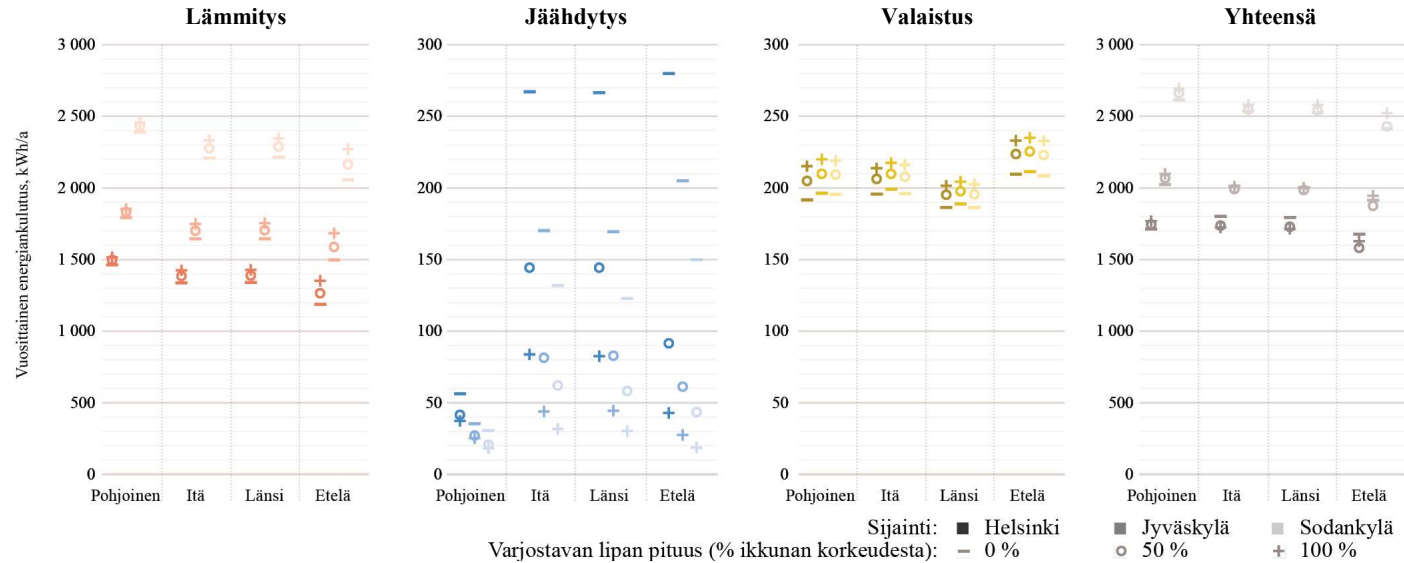
# Ikkunan varjostus

Lämmitys- ja jäähdytys- sekä valaistustarve kompensoivat toisiaan. Kokonaisenergiankulutuksen kannalta kiinteästä varjostuksesta on

- etua lämpimässä ilmastossa lämpimiin ilmansuuntiin,
- haittaa kylmässä ilmastossa kaikkiin ilmansuuntiin.

Kiinteällä varjostuksella ei saavuteta lämmityksen ja jäähdytyksen yhtäaikaista optimia missään tilanteessa tai olosuhteissa.

→ Ikkunan varjostuksen tulee olla ulkopuolinen, tapauskohtaisesti mitoitettu ja säädettävissä.



**Poiminta ikkunan varjostusvarianteista.**  
Huom. esimerkikuvassa muut ominaisuudet vakioarvoilla.

**Muiden muuttujien arvot esitetyissä tapauksissa**

Ikkunan pinta-ala	4,0 m <sup>2</sup>
Ikkunan mittasuhteet	Keskiverto
Ikkunan vaakasijainti (sisältä katsoen)	Keski
Ikkunalasin ominaisuudet (U-arvo; g-arvo)	0,6; 0,3
Tilan mittasuhteet	Keskiverto

**Odotettu vuosittainen energiankulutus osa-alueittain ominaisuuden eri arvoilla.**  
Huom. eri pystyakselit.

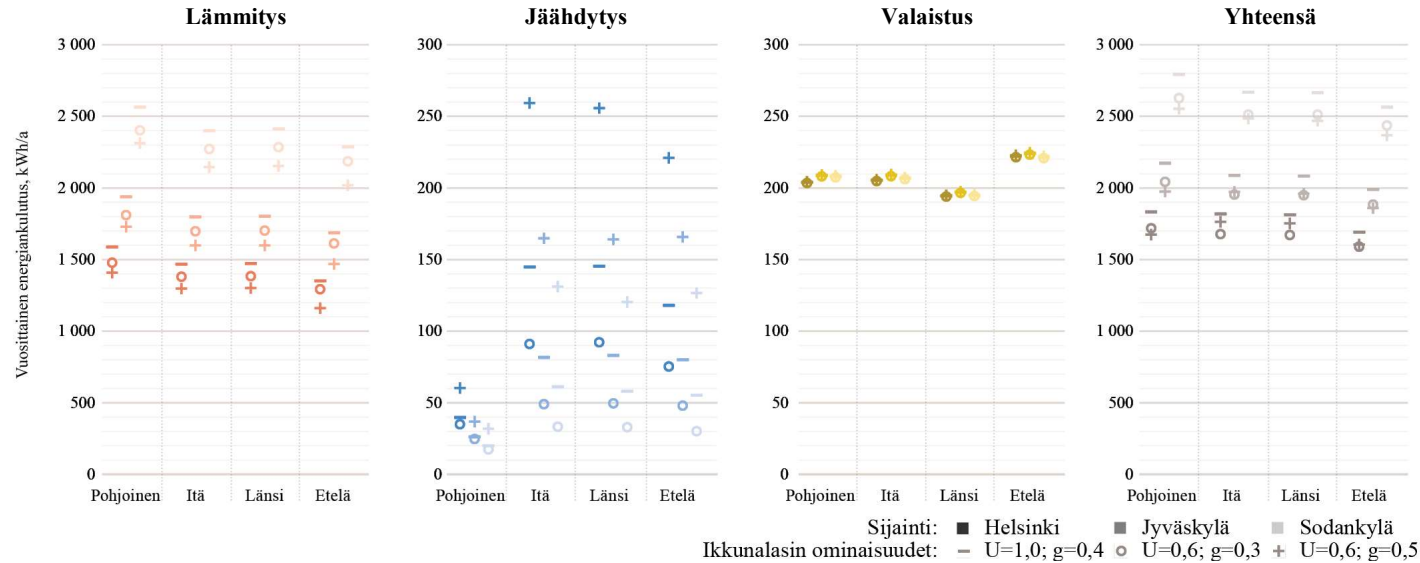
# Ikkunalasin ominaisuudet

Matala U-arvo on aina eduksi.

Korkea g-arvo laskee lämmitystarvetta, mutta nostaa jäähdytystarvetta tapauksittain vaihtelevassa suhteessa.

Vaikutus valaistustarpeeseen on hieman korkean g-arvon eduksi, mutta käytännössä olematon.

→ Ikkunalasin valinnassa tulee ottaa huomioon tilan käyttö, tavoiteolosuhteet ja varjostus.



Sijainti: ■ Helsinki ■ Jyväskylä ■ Sodankylä  
 Ikkunalasin ominaisuudet: — U=1,0; g=0,4 ○ U=0,6; g=0,3 + U=0,6; g=0,5

## Muiden muuttujien arvot esitetyissä tapauksissa

Ikkunan pinta-ala	4,0 m <sup>2</sup>
Ikkunan mittasuhteet	Keskiverto
Ikkunan vaakasijainti (sisältä katsoen)	Keski
Ikkunan varjostus (lippa, ikkunan korkeudesta)	50 %
Tilan mittasuhteet	Keskiverto

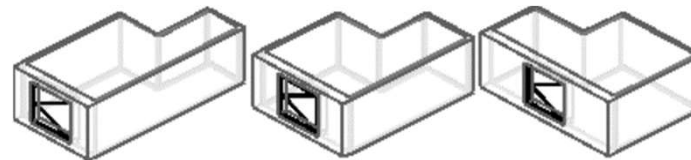
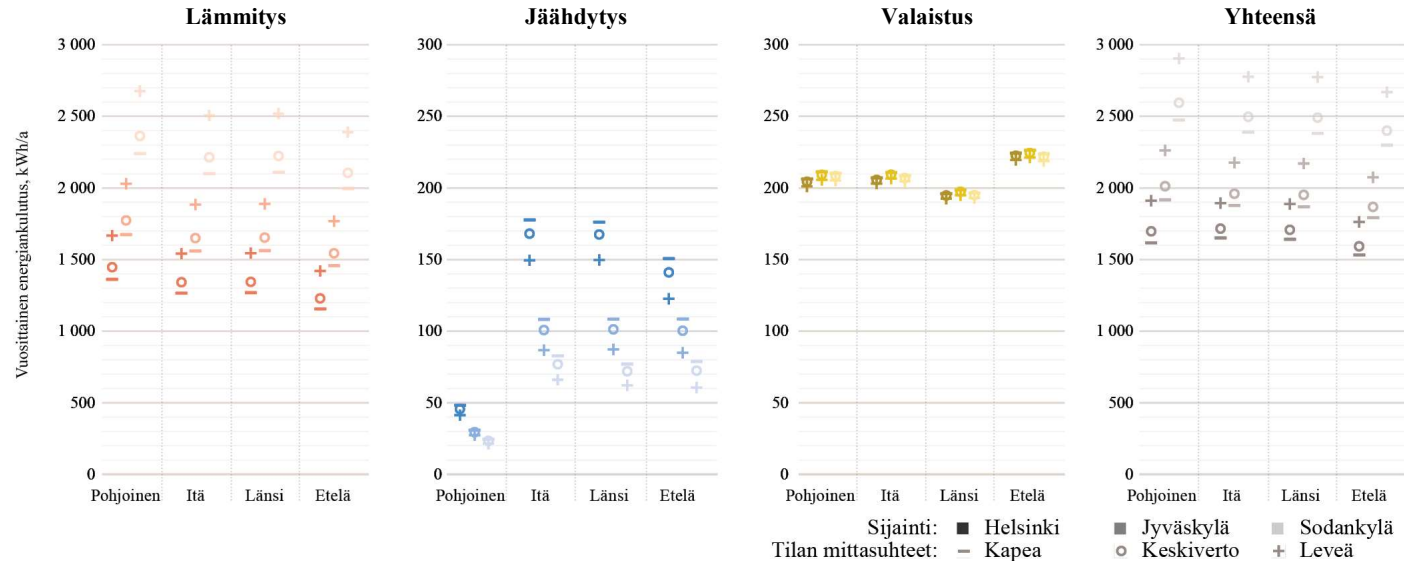
**Odotettu vuosittainen energiankulutus  
osa-alueittain ominaisuuden eri arvoilla.**  
 Huom. eri pystyakselit.

# Tilan mittasuhteet

Vaikutus lämmitys- sekä jäähdytystarpeeseen ja edelleen kokonaisenergiakulutukseen perustuu julkisivun määrään suhteessa tilan pinta-alaan.

Jatkuvalla päiväaikaisella valaistuksella kapea, syvä tila vaatisi enemmän keinovaloa.

→ Tilan pohjamuodossa tulee ottaa riittävällä tarkkuudella tilan käyttö ja käytön edellyttämät valaistusolosuhteet.



**Poiminta tilan mittasuhdevarianteista.**  
Huom. esimerkikuvassa muut ominaisuudet vakioarvoilla, varjostusta ei ole esitetty.

**Odotettu vuosittainen energiankulutus osa-alueittain ominaisuuden eri arvoilla.**  
Huom. eri pystyakselit.

## Muiden muuttujien arvot esitetyissä tapauksissa

Ikkunan pinta-ala	4,0 m <sup>2</sup>
Ikkunan mittasuhteet	Keski-Verto
Ikkunan vaakasijainti (sisältä katsoen)	Keski
Ikkunan varjostus (lippa, ikkunan korkeudesta)	50 %
Ikkunalasin ominaisuudet (U-arvo; g-arvo)	0,6; 0,3

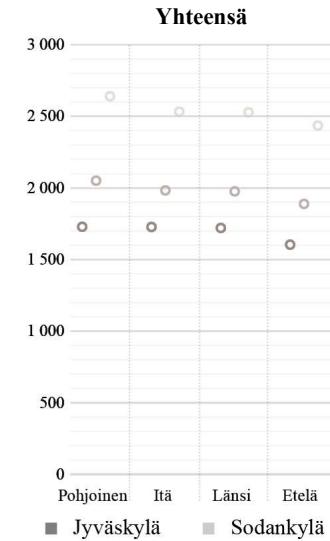
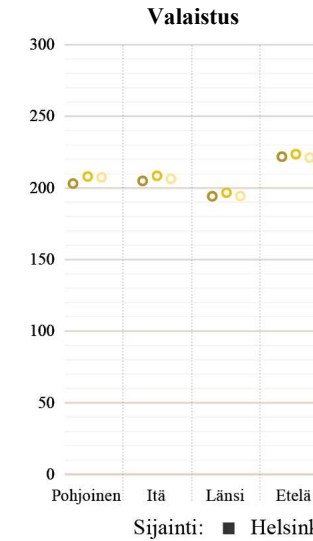
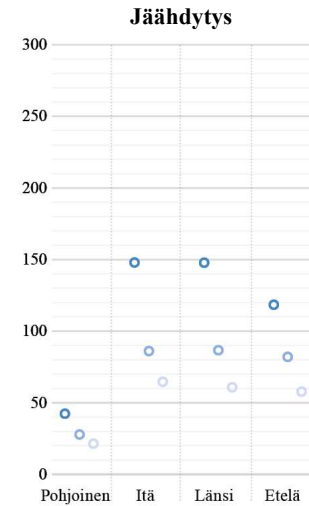
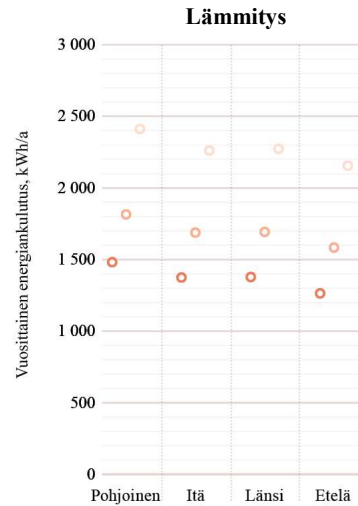
# Julkisivun suuntaus

Lämmitys, jäähdytys ja valaistus kompensoivat toisiaan tasaten eroja kokonaiskulutuksessa.

Vaikutus sekä absoluuttiseen että suhteelliseen jäähdytystarpeeseen kasvaa siirryttäessä lämpimämpään sijaintiin.

Keskimittaisen varjostuksen kanssa jäähdytystarve on suurin itä- ja länsisuuntauksilla.

Valaistustarve on suurin eteläsuuntauksella, koska valot ovat päällä vain aamuisin ja iltaisin.



## Muiden muuttujien arvot esitetyissä tapauksissa

Ikkunan pinta-ala	4,0 m <sup>2</sup>
Ikkunan mittasuhteet	Keskiverto
Ikkunan vaakasijainti (sisältä katsoen)	Keski
Ikkunan varjostus (lippa, ikkunan korkeudesta)	50 %
Ikkunalasin ominaisuudet (U-arvo; g-arvo)	0,6; 0,3
Tilan mittasuhteet	Keskiverto

**Odotettu vuosittainen energiankulutus osa-alueittain ominaisuuden eri arvoilla.**  
Huom. eri pystyakselit.

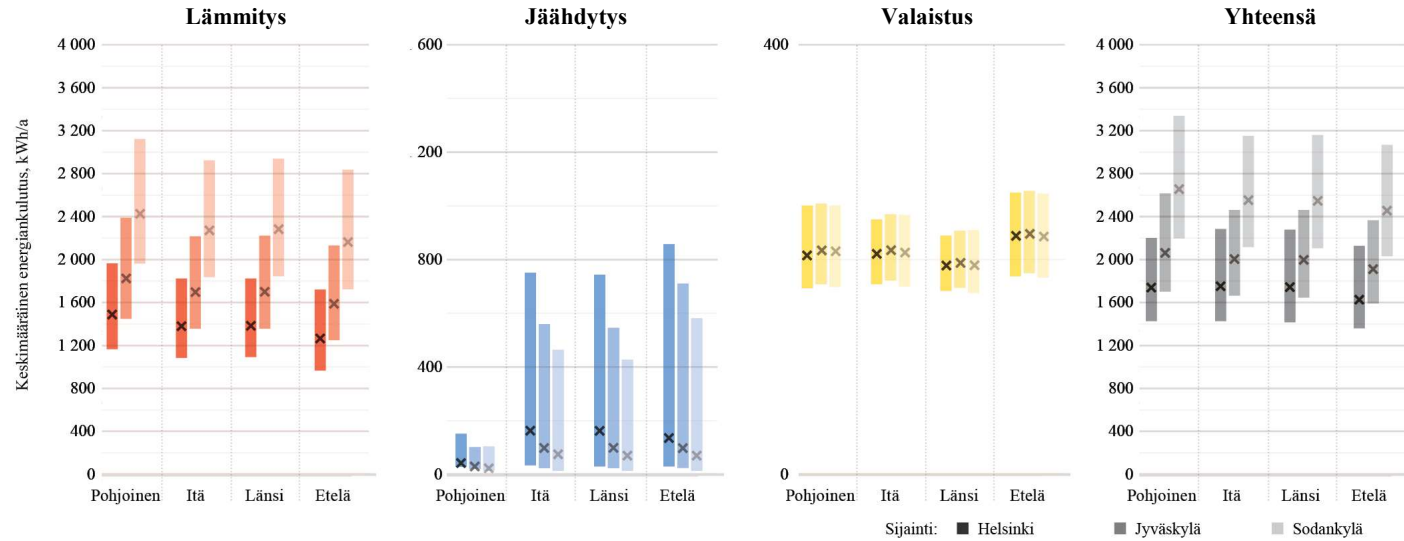
# Kokonaisvaihteluvälit

Lämmitystarpeen vaihteluväli ei riipu suuntauksesta, toisin kuin jäähdytystarpeen.

Lämmitystarpeen vaihteluväli on suurin kylmässä ilmastossa, jäähdytystarpeen lämpimässä.

Jäähdytystarve painottuu vaihteluvälien alapäähän.

Valaistustarpeessa maantieteellinen sijainti vaikuttaa minimaalisesti.

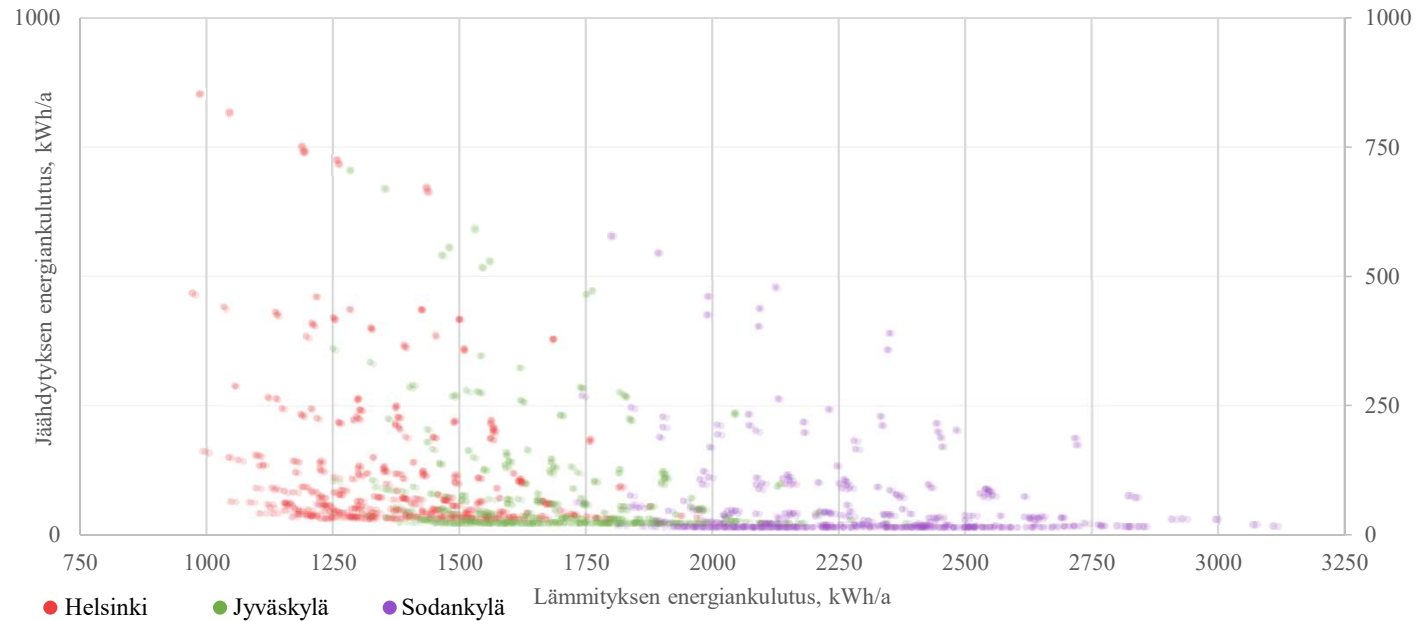


Vuosittaisen energiankulutuksen keskiarvot ja vaihteluvälit osa-alueittain.  
Huom. eri pystyakselit.

# Lämmitys- ja jäähdytystarpeen suhde

Lämmitystarve on kaikissa tapauksissa jäähdytystarvetta suurempi, mutta suhde vaihtelee.

Huomattavaa jäähdytystarvetta esiintyy myös kylmässä ilmastossa.



**Lämmityksen ja jäähdytyksen energiankulutukset sijaintipaikkakunnittain.**  
Huom. pysty- ja vaaka-akselien eri skaalat sekä vaaka-akselin alkupiste.

# Poimintoja laskentatapauksista

~2050 kWh/a  
L: ~1000,  
J: ~850,  
V: ~200

**A:** Suuret ikkunat etelään,  
korkea g-arvo,  
varjostus pois.

~1400 kWh/a  
L: ~1000  
J: ~160  
V: ~240

**B:** Pienet ikkunat etelään,  
korkea g-arvo,  
varjostus pois.

~1840 kWh/a  
L: ~1250  
J: ~360  
V: ~230

**C:** Suuret ikkunat etelään,  
korkea g-arvo,  
varjostus keskipitkä.

~1600 kWh/a  
L: ~1250  
J: ~100  
V: ~250

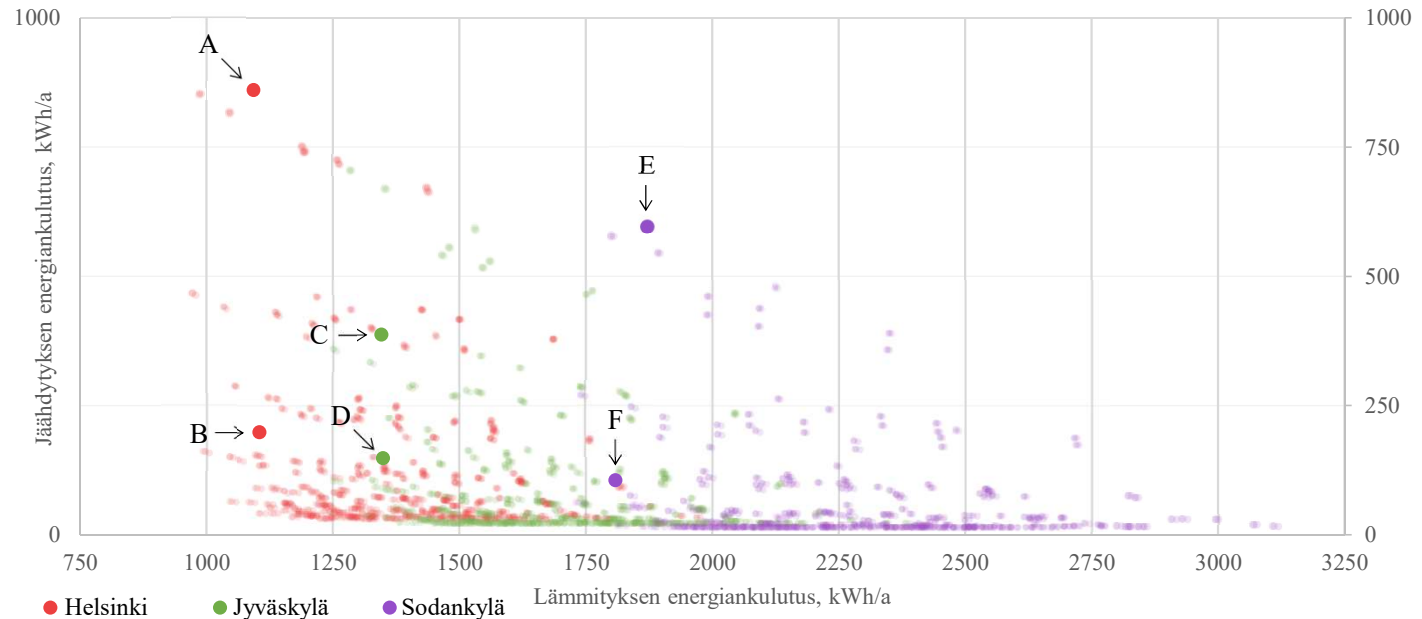
**D:** Pienet ikkunat etelään,  
korkea g-arvo,  
varjostus keskipitkä.

~2570 kWh/a  
L: ~1800  
J: ~580  
V: ~190

**E:** Suuret ikkunat etelään,  
korkea g-arvo,  
varjostus pois.

~2050 kWh/a  
L: ~1750  
J: ~50  
V: ~250

**F:** Pienet ikkunat etelään,  
korkea g-arvo,  
varjostus pois.



**Lämmityksen ja jäähdytyksen energiankulutukset sijaintipaikkakunnittain.**  
Huom. pysty- ja vaaka-akselien eri skaalat sekä vaaka-akselin alkupiste.

# Yhteenveto

Kaikissa sijainneissa pienin kokonaiskulutus on noin puolet suurimmasta.

Lämmityksen ja jäähdytyksen energiankulutukset vaihtelevat sijainneittain, valaistuksen ei.

Korkeaa jäähdytystarvetta esiintyy kaikissa tarkastelluissa ilmastoissa.

Energiatehokkaimmassa ratkaisussa ikkunoiden

- koko on keskisuuri tai suuri,
- suuntaus on lämpimään ilmansuuntaan,
- sijainti ja mitoitus vastaavat tilan käyttöä,
- U-arvo on matala ja g-arvo korkea,
- varjostus säätyy olosuhteiden mukaan.

**Mikään yksittäinen, kiinteä suunnitteluratkaisu ei ole kautta linjan optimaalinen: kyse on aina kokonaisuudesta.**

# Kiitos!

---

**Tampereen yliopisto**

**Arkkitehtuurin yksikkö**

**Asuntosuunnittelun tutkimusryhmä ASUTUT**

**COMBI WP2: Arkkitehtisuunnittelun vaikutus  
energiatehokkuuteen -tutkimusryhmä**

Markku Hedman  
vastuuhenkilö

Tapio Kaasalainen  
projektipäällikkö  
tapio.kaasalainen@tuni.fi

Taru Lehtinen  
projektitutkija  
taru.lehtinen@tuni.fi

Malin Moisio  
projektitutkija  
malin@tilasto.info

**Lisäksi tässä tutkimuksessa:**

Antti Mäkinen  
lehtori, talotekniikka, TAMK  
antti.makinen@tamk.fi