

# **ARKKITEHTONISTEN RATKAISUJEN VAIKUTUS PALVELURAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUTEEN**

Arkkitehti, projektipäällikkö Tapio Kaasalainen

Tampereen yliopisto

24.1.2019

# Esityksen sisältö

---

## Johdanto

Tutkimusosion taustaa

Tutkimusosion tavoitteet ja sisältö

Tutkimusosion julkaisut

## Energiatehokkuustarkastelujen menetelmä

### Energiatehokkuustekijöistä aihealueittain

Rakenteelliset ominaisuudet

Tilajärjestelyt ja käyttö

Olosuhteet ja tekniset ratkaisut

Tontin ominaisuudet

## Yhteenveto

# Tutkimusosion taustaa

Rakennuksen konkreettinen energiatehokkuus on yhdistelmä

- tilojen tehokasta suunnittelua ja käyttöä, (tilaohjelma, mitoitus, kulkuyhteydet, käyttöaikataulut, joustavuus jne.)
- massoitteellisia ja muodonannollisia valintoja, (rakennusmassan muoto, aukotuksen suunnittelu ja suuntaus, varjostukset jne.)
- teknisiä järjestelmiä ja rakenteellisia ratkaisuja. (ilmanvaihto, lämmitys, käyttövesi, valaistus, lämmöneristys jne.)

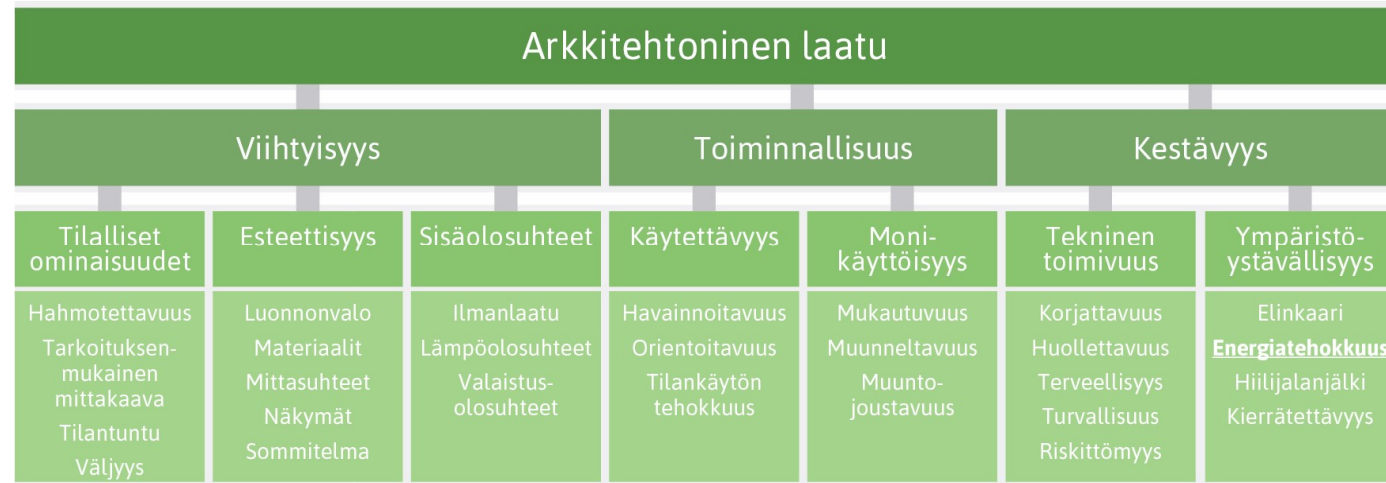
# Tutkimusosion tavoitteet ja sisältö

Palvelurakennusten tilalliset ja toiminnalliset ratkaisumallit:

- Aiempi ja nykyinen käytäntö.
- Muutostarpeet ja toimivat ratkaisut.
- Kehitysperiaatteet tuleviin toteutuksiin.

Suunnitteluratkaisujen energia-  
tehokkuudelliset ja laadulliset vaikutukset:

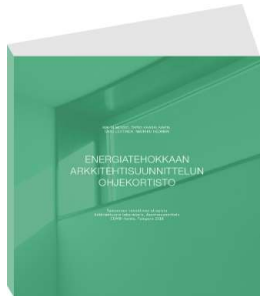
- Keskenään vertailukelpoiset simulaatiotarkastelut.
  - Laatuvaikutusten arviointi eri näkökulmista.
- Konkreettinen energia-  
tehokkuus energiankulu-  
tuksen suhteen rakennuk-  
sesta saatavaan hyötyyn.



Arkkitehtonisen laadun arvioinnissa huomioituja tekijöitä.

# Tutkimusosion julkaisut

Suomenkieliset kirjalliset julkaisut



Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto



Ikääntyneiden tehostettu palveluasuminen: Tilallisten ratkaisujen tehokkuudesta ja toimivuudesta



Peruskoulut ja energiatehokkuus: Tilallisista ja toiminnallisista suunnitteluperiaatteista

Kansainväliset jouliaartikkelit



Potential of space zoning for energy efficiency through utilization efficiency



Window design and energy efficiency: a multivariable simulation study in Finnish climates

Arkkitehdin diplomityöt



Monikäyttöinen koulu: Joustavuudella ekologisuutta tilasuunnitteluun



Energiatehokas kyläkoulu puusta: Lähes nollaenergiakoulu Laukaalle



Tulevaisuuden koulu: Arkkitehtuurin neljä näkökulmaa ekologiseen rakentamiseen



Vihreä asuinkerrostalo: Selvitys ekologisen asuinkerrostalon passiivisista suunnitteluratkaisuista energiatehokkuuden ja hiilijalanjäljen näkökulmista

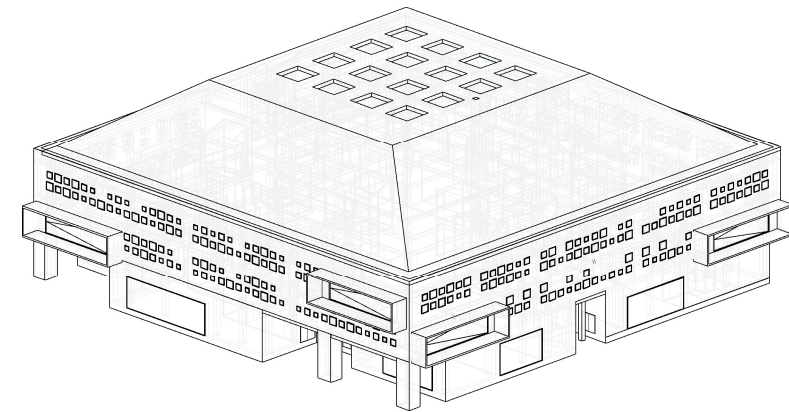
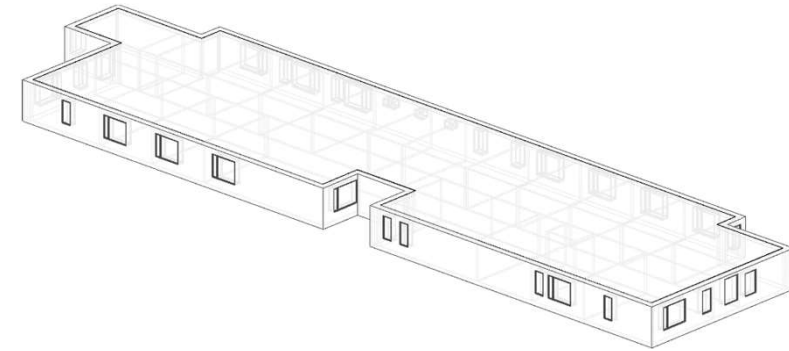
# Energiatehokkuustarkastelujen menetelmä

Alustavat laskentatarkastelut kuukausitason menetelmällä, pääasiallinen laskentatapa IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 4.7/4.8 -simulaatiot.

Kaksi perustapausta: ryhmäkotiyksikkö ja peruskoulu.

Yhden ominaisuuden muokkaaminen kerrallaan vakioituilla perustapauksilla.

Tarkastelu ensisijaisesti ostoenergiankulutuksen kautta, tarvittaessa täydennettynä muilla mittareilla.



Simulaatioissa käytetyt rakennukset.

# Energiatehokkuustekijöistä aihealueittain

Suunnittelukohde ja sen energiatehokkuus koostuu useista, toisiinsa kytkeytyvistä osa-alueista.

Yksittäistä tekijää ei useimmiten voida optimoida ottamatta huomioon muita.



Suunnittelukohteen jakautuminen osatekijöihin.

# Rakenteelliset ominaisuudet

Perinteinen lähestymistapa energiatehokkuuteen.

Osittain verraten itsenäisiä tekijöitä, esim. vaipan U-arvot, osittain kiinteästi kytköksissä muuhun kokonaisuuteen, esim. pohjamuoto.



## RAKENNUSMASSA

Lämmitetty nettoala  
Kerrosluke  
Rakennusmassa



## VAIPPA

Pohjamuoto  
Nurkkien lukumäärä  
U-arvot  
Tiiveys  
Viivamaiset kylmäsilat  
Terminen massa  
Ulkopintojen väri



## IKKUNAT

Suuntaus  
Pinta-ala  
Ikkunapenkien korkeus  
g-arvo  
Varjostus



## ULKO-OVET

Lukumäärä  
Käyttö

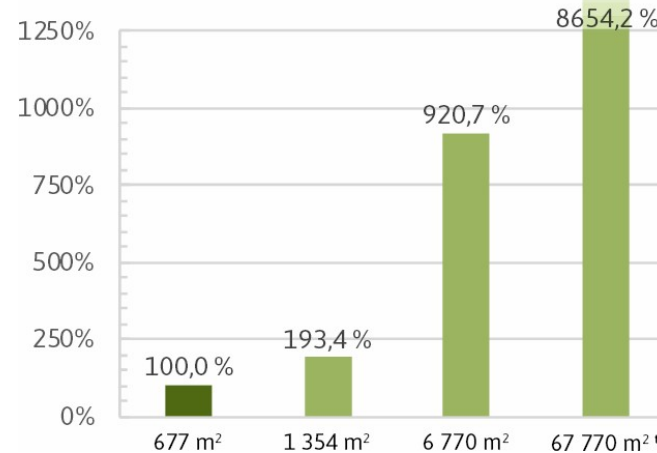
**Erikseen tarkastellut rakenteelliset ominaisuudet.**

# Poimintoja: lämmitetty nettoala

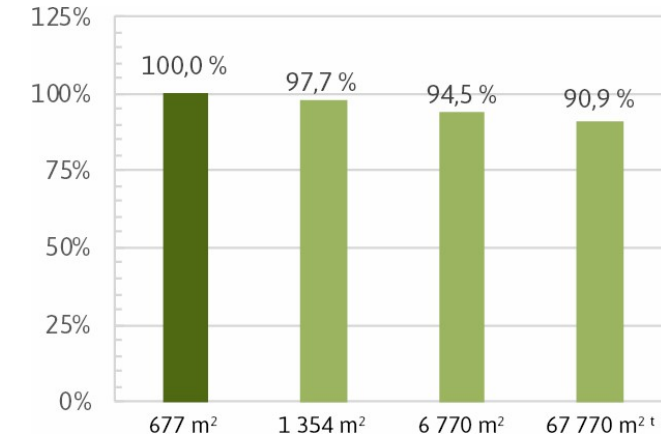
Suuri rakennus on kokoonsa nähden pienempää energiatehokkaampi...

...mutta pienempi yleensä kuluttaa samallakin käytöllä vähemmän energiaa.

→ Rakennusta kasvatettaessa tulee varmistaa, että käyttö lisääntyy kokoa vastaavasti.



**Perustapaus** Lämmitetty nettoala 677 m<sup>2</sup>  
**Variantti 2** Lämmitetty nettoala 1 354 m<sup>2</sup> (perustapaus x 2)  
**Variantti 3** Lämmitetty nettoala 6 770 m<sup>2</sup> (perustapaus x 10)  
**Variantti 4<sup>†</sup>** Lämmitetty nettoala 67 700 m<sup>2</sup> (perustapaus x 100)



**Vaikutus ostoenenergiankulutukseen,**  
ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.  
Huom. kuvaajien toisistaan poikkeavat pystyakselit.  
<sup>†</sup> Tarkastelukohteessa teoreettinen tapaus.

**Vaikutus E-lukuun,**  
E-luku suhteessa perustapaukseen.

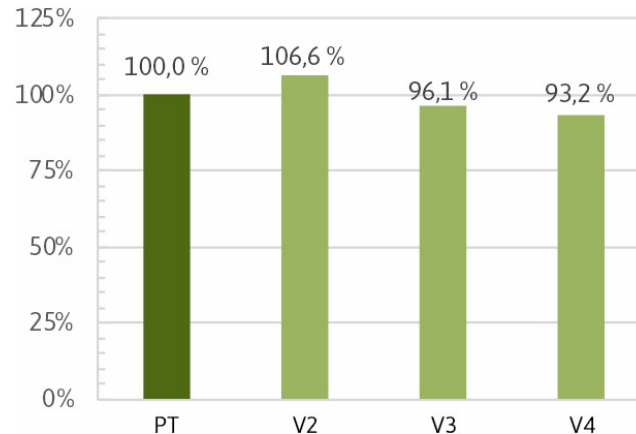
# Poimintoja: vaipan U-arvot

Lämmöneristävyydellä on suora vaikutus vaipan monimuotoisuuden merkittävyyteen.

Eristepaksuuksia lisättäessä kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen on entistä tärkeämpää.

Jossakin kohtaa eristeen lisäämistä tulee kannattavuuden raja vastaan.

→ Eristyksen lisäämisen hyötyjä tulee verrata muihin vastaavin resurssein saavutettaviin energia-  
tehokkuudellisiin parannuksiin.



<b>Perustapaus</b>	U-arvot: US 0,17; AP 0,16; YP 0,09; Ikkunat ja ovet 1,0 W/(m <sup>2</sup> K)
<b>Variatti 2</b>	U-arvot: US 0,24; AP 0,24; YP 0,15; Ikkunat ja ovet 1,4 W/(m <sup>2</sup> K)
<b>Variatti 3</b>	U-arvot: US 0,14; AP 0,10; YP 0,07; Ikkunat ja ovet 0,7 W/(m <sup>2</sup> K)
<b>Variatti 4</b>	U-arvot: US 0,09; AP 0,09; YP 0,05; Ikkunat 0,6 ja ovet 0,5 W/(m <sup>2</sup> K)

2012 D3 vertailuarvot  
2007 C3 minimiarvot  
2017 YM asetuksen arvot  
Edeltävästä parannetut arvot

**Vaikutus ostoenergiankulutukseen,**  
ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.

# Tilajärjestelyt ja käyttö

Käyttämätön rakennus ei voi olla energiatehokas.

Energiatehokkuuden parantaminen tarkoittaa usein energiankulutuksen lisäämistä.

Kiinteästi sidoksissa toiminnallisten ratkaisujen tehokkuuteen.

Suurin hyöty saavutetaan yhdessä tarkoituksenmukaisen ja tarpeen mukaan säätyvän talotekniikan kanssa.



## TILAJÄRJESTELYT

Avoimuusaste  
Tuulikaappi



## KÄYTTÖ

Käyttötarkoitus  
Henkilötiheys  
Pääkäyttöaste  
Lisäkäyttöaste  
Pääkäyttövyöhyke  
Lisäkäyttövyöhyke  
Lämpötilavyöhykkeet

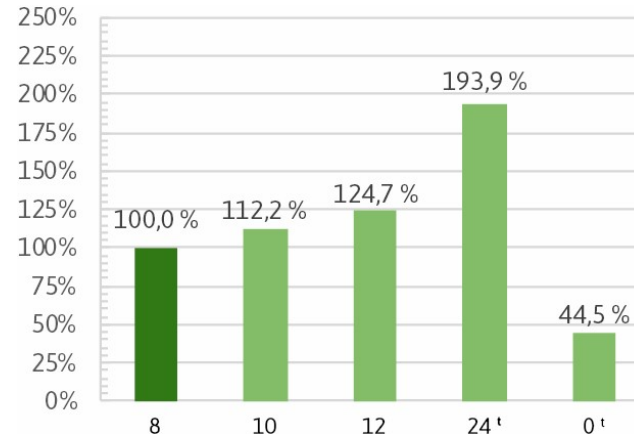
**Erikseen tarkastellut tilajärjestelyjen ja käytön ominaisuudet.**

# Poimintoja: rakennuksen pääkäyttöaste

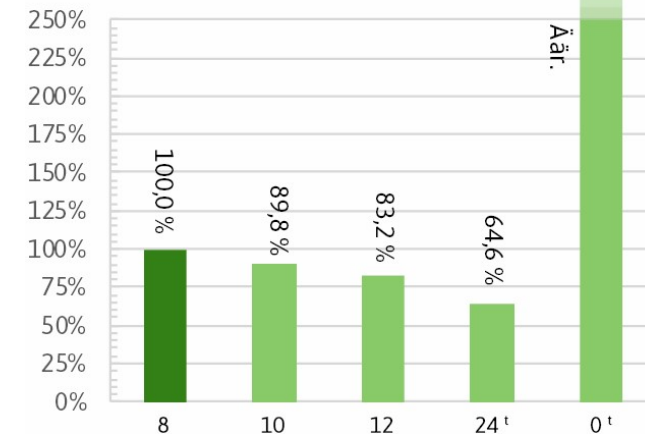
Käyttämättömässä rakennuksessa on aina tyhjäkäyntiä.

Energiankulutus yksistään ei kuvasta käytännön energiatehokkuutta.

→ Maksimoimalla rakennuksen käyttö maksimoidaan myös rakennuksen energiatehokkuus.



**Perustapaus** Pääkäyttöä 8 h arkisin, klo 8–16  
**Variantti 2** Pääkäyttöä 10 h arkisin, klo 7–17  
**Variantti 3** Pääkäyttöä 12 h arkisin, klo 6–18  
**Variantti 4<sup>†</sup>** Pääkäyttöä 24 h arkisin  
**Variantti 5<sup>†</sup>** Ei käyttöä



$$\text{Käyttötahokkuusluku} = \frac{\text{Ostoenergiankulutus}}{\text{Henkilökäyttötunti}}$$

**Vaikutus ostoenergiankulutukseen,**  
ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.  
<sup>†</sup> Tarkastelukohteessa teoreettinen tapaus.

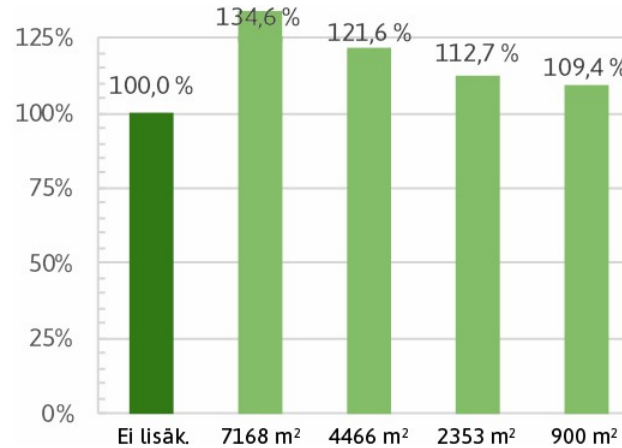
**Vaikutus käyttötehokkuuteen,**  
käyttötahokkuusluku suhteessa perustapaukseen.

# Poimintoja: lisäkäyttövyöhykkeen pinta-ala

Vähäinen lisäkäyttö suurella alueella on energiatehokkuudellisesti kannattamatonta.

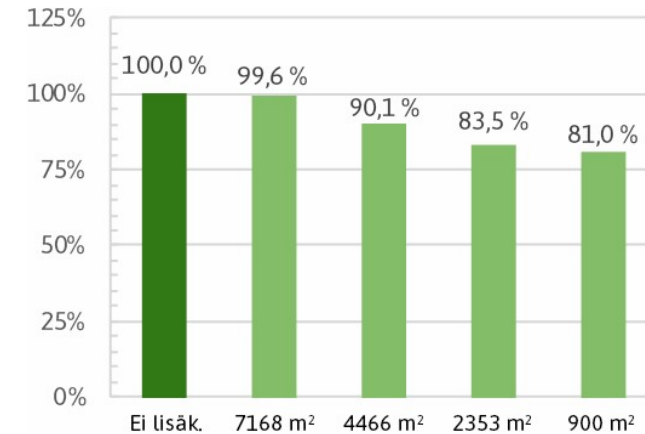
Lisäkäyttö tarkoituksenmukaisesti rajatulla vyöhykkeellä on energiatehokkuudellisesti erittäin kannattavaa.

→ Rakennuksen tilat ja kulkuyhteydet tulee suunnitella eri käyttötilanteet huomioon ottaen.



Perustapaus	Ei lisäkäyttöä
Variante 2	Lisäkäytössä 7168 m²
Variante 3	Lisäkäytössä 4466 m²
Variante 4	Lisäkäytössä 2353 m²
Variante 5	Lisäkäytössä 900 m²

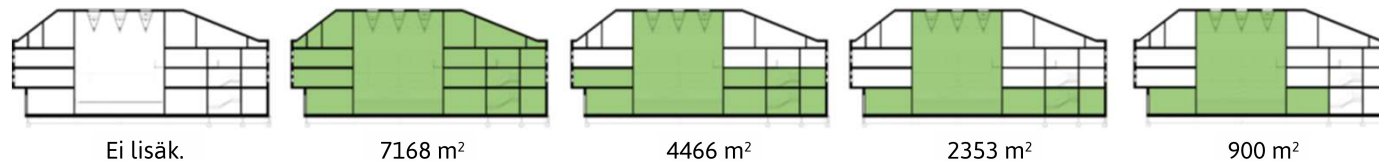
**Vaikutus ostoenergiankulutukseen,**  
ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.  
† Tarkastelukohteessa teoreettinen tapaus.



Pääkäyttöä 5 pvä/vko, 8h/pvä, 900 hlö  
Lisäkäyttöä 7 pvä/vko, 8h/pvä, 300 hlö  
CO<sub>2</sub>-ohjattu ilmanvaihto

**Vaikutus käyttötehokkuuteen,**  
käyttötehokkuusluku suhteessa perustapaukseen.  
Käyttötehokkuusluku =  $\frac{\text{Ostoenergiankulutus}}{\text{Henkilökäyttötunti}}$

Lisäkäyttövyöhykkeiden pinta-alat varianteissa.



# Olosuhteet ja tekniset ratkaisut

Suurin potentiaali yhdistettynä tekniikan huomioon ottaviin tilallisiin ja toiminnallisiin ratkaisuihin:

- Erialaisten ylläpidettävien olosuhteiden rajaaminen käyttövyöhykkein,
- käyttöaikojen pidentäminen tilojen monikäyttöisyydellä ja muunneltavuudella,
- keinovalon tarpeen minimoiminen valaistustarpeet huomioon ottavalla ikkunasuunnittelulla.



## VALAISTUS

Päivänvalo-ohjaus  
Luonnonvalon määrä  
Sisäpintojen väri



## LÄMMITYS JA JÄÄHDYTYS

Lämmitysmuoto  
Sisälämpötila  
Jäähdytyslämpötila



## KÄYTTÖVESI

Lämpimän käyttöveden kulutus



## ILMANVAIHTO

Ilmavirta  
Painovoimainen ilmanvaihto  
Lämmöntalteenotto



## SÄHKÖ

SFP-luku  
Kuluttajalaitteet

**Erikseen tarkastellut olosuhteiden ja teknisten ratkaisujen ominaisuudet.**

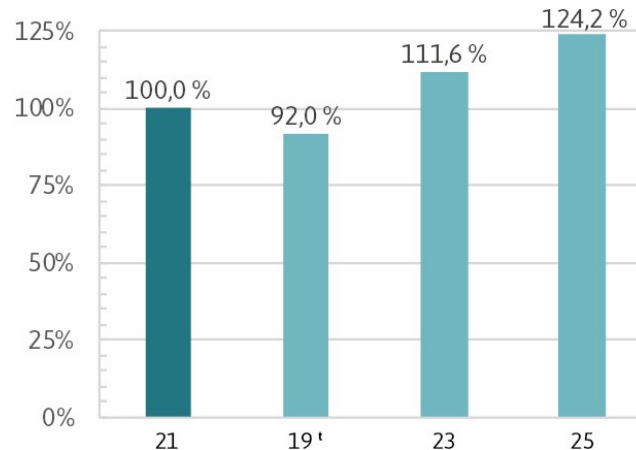
# Poimintoja: sisälämpötila

Lämmitys on tavallisesti suurin yksittäinen energiankulutuksen osa-alue rakennuksessa.

Tarkoituksenmukainen sisälämpötila määrittyy käytön mukaan tila- ja kellonaika-kohtaisesti.

Sisälämpötilaa valittaessa ja muutettaessa on otettava huomioon myös mm. kosteustekniset näkökulmat.

→ Tila-, tekniikka- ja rakennesuunnittelun tulee tukea tarpeenmukaista lämpötilan säätöä.



<b>Perustapaus</b>	Sisälämpötilan lämmitysraja 21 °C
<b>Variantti 2<sup>†</sup></b>	Sisälämpötilan lämmitysraja 19 °C
<b>Variantti 3</b>	Sisälämpötilan lämmitysraja 23 °C
<b>Variantti 4</b>	Sisälämpötilan lämmitysraja 25 °C

**Vaikutus ostoenergiankulutukseen,**  
ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.

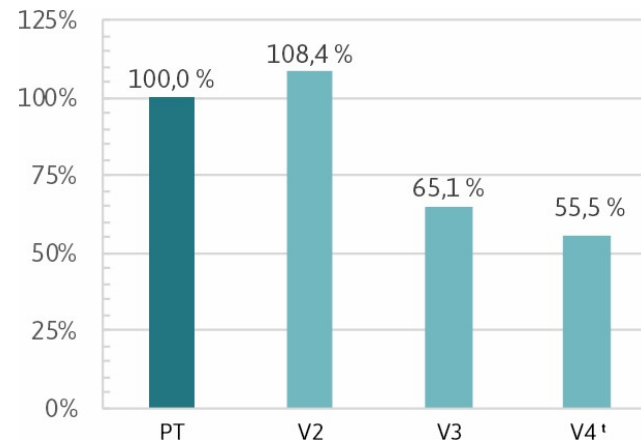
<sup>†</sup> Tarkastelukohteessa teoreettinen tapaus.

# Poimintoja: ilmanvaihdon ilmavirta

Ilmanvaihdon määrällä on suora vaikutus lämmitys- ja jäähdytystarpeisiin.

Vakioilmavirta edellyttää mitoitusta korkeimman tarpeen mukaan ja johtaa ajoittaiseen liialliseen ilmanvaihtoon.

→ Ilmanvaihdon ilmavirran tulee säätyä todellisen tarpeen mukaan tilakohtaisesti, mieluiten automaattisesti.



<b>Perustapaus</b>	Vakioilmavirta; 3 (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>
<b>Variatti 2</b>	Ilmavirrat huonetyypeittäin; RakMK D2 (2012) mukaan
<b>Variatti 3 *</b>	Tarpeenmukainen ilmavirta CO <sub>2</sub> -ohjauksella; 0,15–4,0 (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>
<b>Variatti 4 †</b>	Minimi-ilmavirta; 0,15 (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>

Hiilidioksidipitoisuuden raja-arvot 400–1100 ppm

**Vaikutus ostoenergiankulutukseen,**  
ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.

<sup>†</sup> Tarkastelukohteessa teoreettinen tapaus.

\* Variantin 3 mukaisen säätöasteikon toteuttaminen edellyttäisi uudenlaisia ilmanvaihtolaitteita, mutta on mukana tutkimuksellisena tapauksena.

# Tontin ominaisuudet

Paljolti suunnittelijasta riippumattomia, mutta vaikutusten huomioiminen oleellista.

Tutkimusosiossa mukana vain rajoitetusti, muutamina keskeisinä poimintoina.



## YMPÄRISTÖOLOSUHTEET

Sijaintipaikkakunta  
Ympäristön varjostus  
Tuuliolosuhteet



## ULKORATKAISUT

Sulanapito

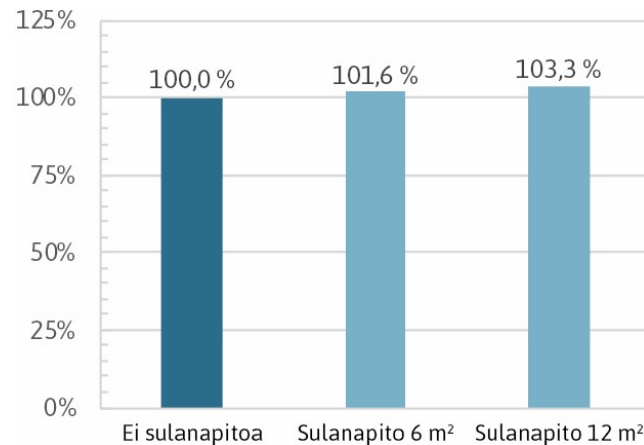
Erikseen tarkastellut tontin ominaisuudet.

# Poimintoja: ulkoalueen sulanapito

Sulanapitotarve on minimoitavissa arkkitehtonisin ratkaisuin esimerkiksi katosten suunnittelulla.

Turvallisuus ja käytettävyys tulee ennen energiatehokkuutta.

→ Energiatehokkaan kohteen suunnittelussa tulee yhtälailla ottaa huomioon myös rakennuksen ulkopuolinen energiankulutus.



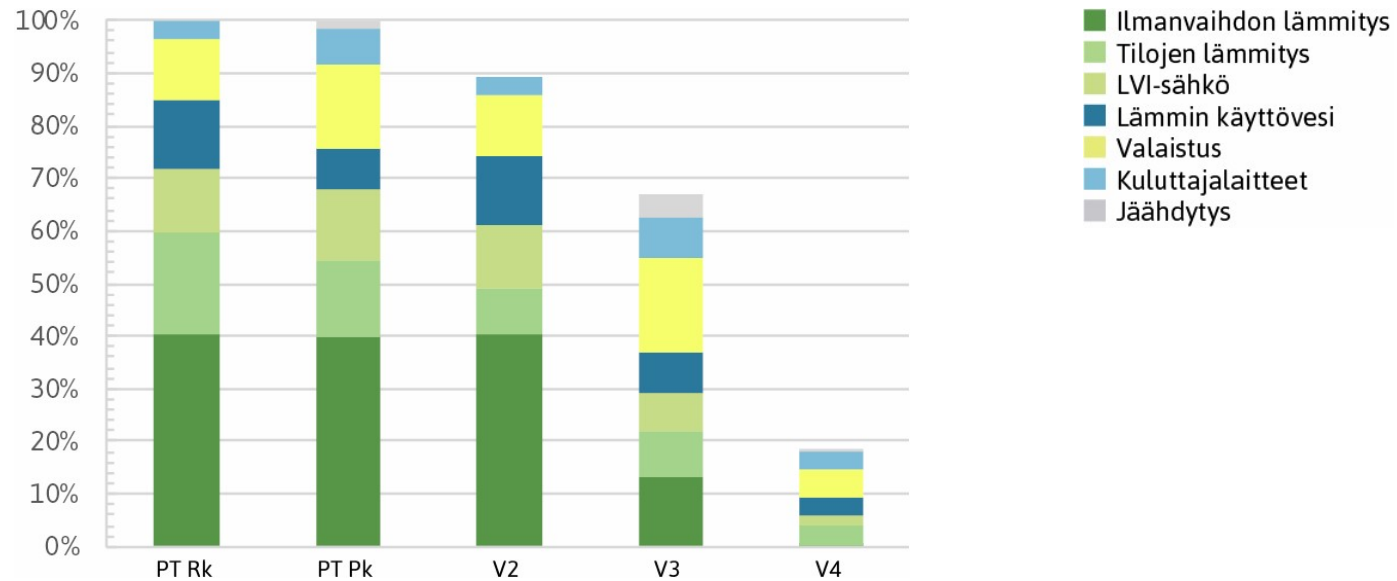
<b>Perustapaus</b>	Ei sulanapitoa
<b>Variatti 2</b>	Sulanapito talvisin 6 m <sup>2</sup> alueella
<b>Variatti 3</b>	Sulanapito talvisin 12 m <sup>2</sup> alueella

**Vaikutus ostoenergiankulutukseen,**  
ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.  
Sulanapito toteutettu sähkökaapelilla, 200W/m<sup>2</sup>.

# Poimintoja: aihealueittaiset ominaisuusyhdistelmät

Tarkastelussa on muokattu useaa ominaisuutta kerralla aihealueittain.

- Ostoenergiankulutuksen kannalta parhaat realistiset yhdistelmät.



- |                    |   |
|--------------------|---|
| <b>Perustapaus</b> | Standardikäyttö ja lämpöhäviöiden tasauslaskennan vertailuarvot |
| <b>Variantti 2</b> | Rakenteelliset ominaisuudet, rakennusvaippa                     |
| <b>Variantti 3</b> | Tilajärjestelyt ja käyttö                                       |
| <b>Variantti 4</b> | Olosuhteet ja tekniset ratkaisut                                |

**Vaikutus ostoenergiankulutukseen,**  
ostoenergiankulutus suhteessa perustapauksiin.

# Suunnittelullisten osa-alueiden merkittävydestä

Yksittäisillä massoitteellisilla ja muodonannollisilla tekijöillä on verraten vähäinen vaikutus energiankulutukseen.

Hyvä lämmöneristävyys ja kompakti massoitteelu tukevat energiatehokasta kokonaisuutta, mutta eivät yksinään muodosta sitä.

Keskeisimmät säästöt energiankulutuksessa saavutetaan ilmanvaihtoon ja lämmitykseen liittyvin ratkaisuin ja näitä tukevalla tilasuunnittelulla.



# Yhteenveto

Sekä energiatehokkuuden että arkkitehtonisen laadun kannalta keskeisintä on kokonaisvaltaisuus ja käytön systemaattinen suunnittelu.

Onnistunut lopputulos edellyttää osapuolten välistä yhteistyötä riittävän aikaisin, riittävän usein ja riittävän pitkään.

Toimiva rakennus on energiatehokas. Onnistuneilla tilallisilla ja toiminnallisilla ratkaisulla maksimoidaan rakennuksesta saatava hyöty suhteessa energiankulutukseen.



# 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

## COMBI WP2 julkaisut:

-  **Potential of space zoning for energy efficiency through utilization efficiency**  
Lindberg, T., Kaasalainen, T., Moisio, M., Mäkinen, A., Hedman, M. & Vinha, J. 2018.
-  **Window design and energy efficiency: a multivariable simulation study in Finnish climates**  
Kaasalainen, T., Lehtinen, T., Mäkinen, A., Moisio, M., Hedman, M. & Vinha, J. (Unpublished.)
-  **Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto**  
Moisio, M., Kaasalainen, T., Lehtinen, T. & Hedman, M. 2018.
-  **Ikääntyneiden tehostettu palveluasuminen – Tilallisten ratkaisujen tehokkuudesta ja toimivuudesta**  
Kaasalainen, T., Lehtinen, T., Moisio, M. & Hedman, M. 2018.
-  **Peruskoulut ja energiatehokkuus – Tilallisista ja toiminnallisista suunnitteluperiaatteista**  
Lehtinen, T., Papinsaari, A., Kaasalainen, T., Moisio, M. & Hedman, M. 2018.
-  **Monikäyttöinen koulu – Joustavuudella ekologisuutta tilasuunnitteluun**  
Mustila, L. (diplomityö). 2017.
-  **Energiatehokas kyläkoulu puusta – Lähes nollaenergiakoulu Laukaalle**  
Nissilä, K. (diplomityö). 2017.
-  **Tulevaisuuden koulu – Arkkitehtuurin neljä näkökulmaa ekologiseen rakentamiseen**  
Vuorinen, J. (diplomityö). 2017.
-  **Vihreä asuinkerrostalo – Selvitys ekologisen asuinkerrostalon passiivisista suunnitteluratkaisuista energiatehokkuuden ja hiilijalanjäljen näkökulmista**  
Lindberg, T. (diplomityö). 2015.