

The VTT logo consists of the letters 'VTT' in a bold, white, sans-serif font, centered within an orange square. The background of the slide features a repeating pattern of stylized, interlocking shapes in orange, blue, white, and black, creating a dynamic, geometric visual effect.

VTT

# Rakenteellinen energiatehokkuus älykkäissä rakennuksissa

Ismo Heimonen

1.9.2021

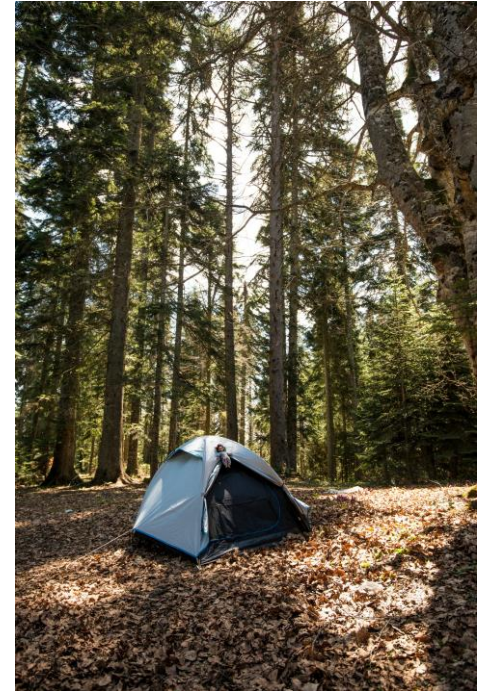
VTT – beyond the obvious

# Esityksen sisältö

- Energiatehokkuuden suunnitteluperiaatteet, Kioton pyramidi
- Rakenteellinen energiatehokkuus, periaatteet
- Älykkäät rakennukset
- Rakenteellisen energiatehokkuuden vaikutusmahdollisuudet ja merkitys älykkäissä rakennuksissa
- Yhteenveto

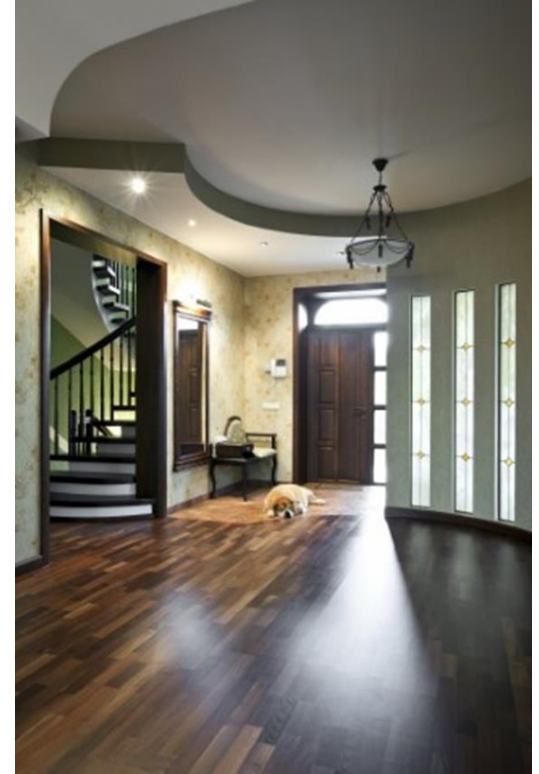
# Rakennuksen energiatehokkuus – Ei pelkästään energiansäästöä

- Jos energiankulutuksen ja CO<sub>2</sub> –kuormien minimointi olisi päätarkoitus, ei rakennuksia tulisi lämmittää (tai jäähdyttää)



# Rakennuksen tarkoitus

- Rakennuksen päätehtävä on tarjota käyttäjilleen terveellinen, turvallinen, viihtyisä ja tuottava sisäympäristö
- Matalaenergiarakentamisen haaste: Tarkoituksenmukaisen toimivuuden ja hyvän sisäympäristön tuottaminen mahdollisimman pienin ympäristörasituksin



# Rakennuksen energiatehokkuus – Eräs määritelmä

$$\text{Energiatehokkuus} = \frac{\text{Mitä saadaan (= hyvin toimiva rakennus)}}{\text{Paljonko kulutetaan energiaa (= kWh)}}$$

# Rakennuksen energiatehokkuus – Eräs määritelmä

Rakenteiden ja järjestelmien  
toimivuus, käyttöikä,..

**Hyvä sisäympäristö:**  
Turvallinen, terveellinen,  
viihtyisä, tuottava

Mitä saadaan (= hyvin toimiva rakennus)

Energiatehokkuus =

Paljonko kulutetaan energiaa (= kWh)

**Energiankulutus:**

Käytönaikainen,  
rakennustuotteiden valmistus,  
rakentamisvaihe, purku

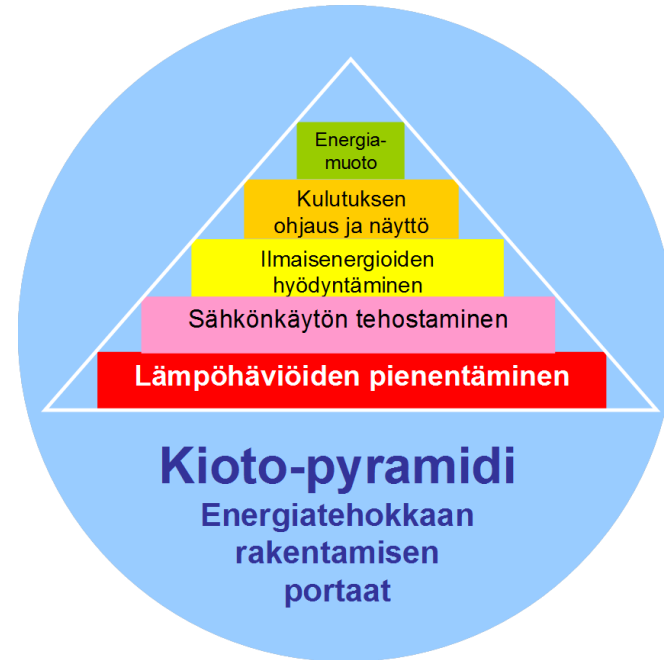
Luonnonvarojen käyttö, päästöt,  
kierrätys, jne.

# Rakenteiden rooli energiatehokkuudessa?

- Kioton pyramidin lähestymistapa rakennusten suunnittelussa

# Energiatehokkuus ja rakenteet

- Ensin passiiviset keinot lämpöhäviöiden pienentämiseksi
- Rakenteet ovat merkittävässä osassa
- Hyvin lämmöneristetty rakennuksen ulkovaippa on perusedellytys kokonaisuuden toimivuuden kannalta
  - Rakenteiden ja muiden järjestelmien yhteensopivuus nyt ja tulevaisuudessa
  - Lämmityksen ja jäähdytyksen tehontarve
  - Pintalämpötilat ja viihtyisyys
  - Kosteustekninen toimivuus ja turvallisuus





# Rakenteellinen energiatehokkuus

”Energiatehokkaan rakentamisen monia parhaita käytäntöjä tuottanut passiivirakentaminen perustuu rakenteelliseen energiatehokkuuteen. Rakenteellisella energiatehokkuudella tarkoitetaan rakennuksen tilojen lämmitystarpeen pienentämistä rakenteellisin ja arkkitehtuurin keinoin. Rakenteellisen energiatehokkuuden ratkaisut eivät riipu säädöstä tai käyttäjistä, eivätkä ne edellytä erityistä käytön opastusta”<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lylykangas et al. Rakenteellinen energiatehokkuus – Opas. 2015.

[https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/oppaat-ohjeet/ret\\_opas\\_20150917.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/oppaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf)

# Rakenteellinen energiatehokkuus – vaikuttavat tekijät

- Arkkitehtuuri: tilakäyttö, muoto, pinta-alat, tilavuus,...., aurinkoenergian hyödyntäminen
- Rakenteet
  - Ulkoseinät
  - Yläpohja, alapohja
  - Ovet, ikkunat
  - Rakenteiden ilmanpitävyys => hallitsemattomat ilmavuodot
  - Kylmäsillat

*”Rakenteellisen energiatehokkuuden ratkaisut eivät riipu säädöstä tai käyttäjistä, eivätkä ne edellytä erityistä käytön opastusta”*

VOIDAANKO NIITÄ KUITENKIN HYÖDYNTÄÄ ÄLYKKÄÄSSÄ  
RAKENNUKSESSA? => arkkitehtuuri; aurinkoenergia, rakenteiden massiivisuus

# Rakenteellinen energiatehokkuus terminä asetuksessa 1010/2017

- Asetuksen keskeiset energiatehokkuusvaatimukset ovat laskennallisen energiatehokkuuden vertailu (E-luku) ja rakennuksen lämpöhäviö
  - Rakennuksen käyttötarkoitukseluokan mukaisesti laskettu E-luku ei saa ylittää luokan raja-arvoa,
    - Esim luokka 2) Asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa  $E=90 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$
- Mahdollisuutena kelpoisuuden osoittamisessa asuinrakennuksissa on rakenteellisen energiatehokkuuden vaihtoehto ilman E-luvun laskentaa.

Osa	Vertailuarvot	Rakenteellinen energiatehokkuus, vertailuarvot
Ulkoseinä	0,17	0,12-0,14 W/m <sup>2</sup> K
Yläpohja, alapohja	0,09	0,07 W/m <sup>2</sup> K
Alapohja, ryömintätila	0,17	0,10 W/m <sup>2</sup> K
Ikkuna, ovi	1,0	0,7 W/m <sup>2</sup> K
Vaipan ilmanvuotoluku	4	0,6 m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )
Poistoilman LTO	55	65 %
T&P IV ominaissähköteho	1,8	1,5 kW/(m <sup>3</sup> /s)

# Älykäs rakennus

- Rakennuksen ja alueiden älykkyyden määrittämiseen ja kuvaamiseen on kehitetty indikaattoreita mm.
  - SCIS Smart City indicator system
  - SRI Smart Readiness Indicator
  - Lukuisia muita indikaattorijärjestelmiä
- SRI projekti<sup>1</sup> määrittelee rakennuksen älykkyyden:
  - Rakennuksen älykkyys on ***rakennuksen tai sen järjestelmän kyvykkyyttä tunnistaa, kommunikoida ja aktiivisesti vastata*** tehokkaalla tavalla käyttäjien vaatimuksiin ja muuttuviin olosuhteisiin, jotka aiheutuvat teknisen järjestelmän toimivuudesta tai ulkoisista olosuhteista.

<sup>1</sup> Stijn Verbeke (VITO) et. al. Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings. Final Report June 2020. 487 p.

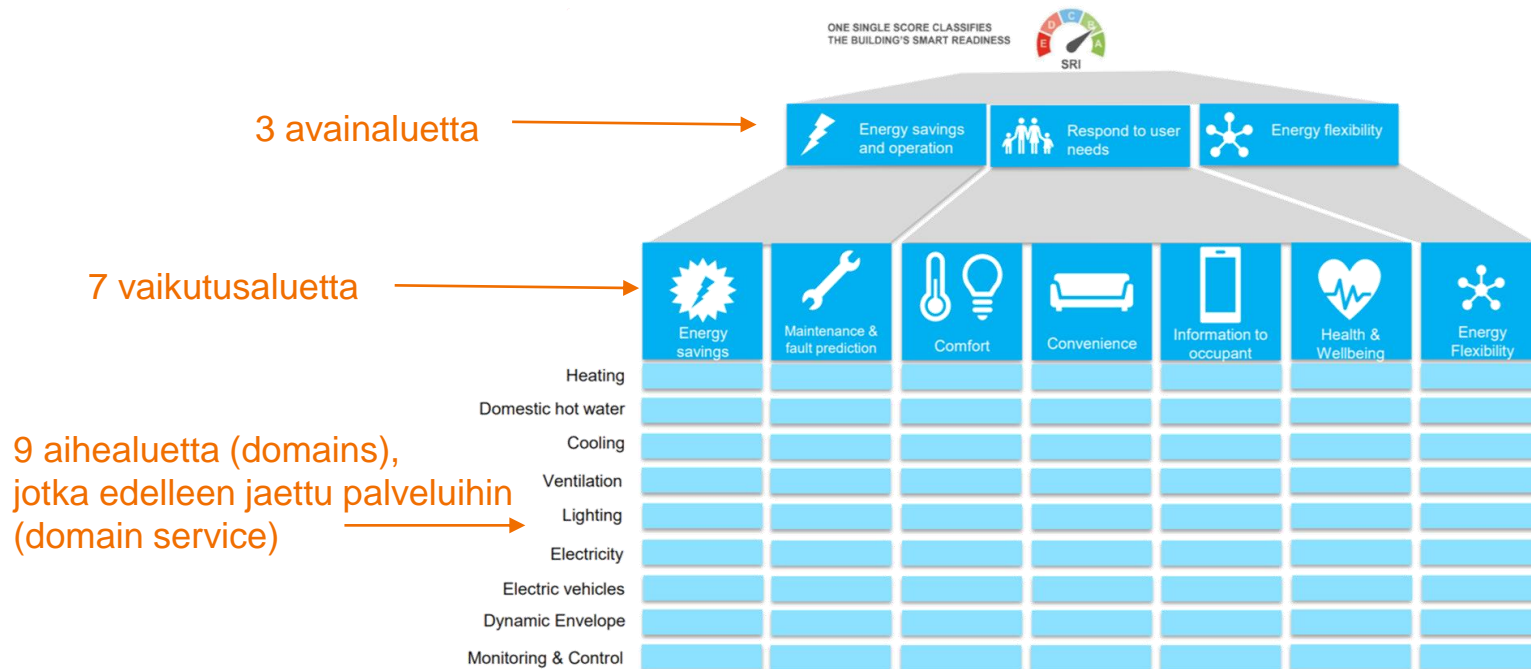
# Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin EPBD 2010/31/EU täydennys 2018

## Kohta rakennusten älykkyys (29) & (30)

- (29) ...kannustimia **edistämään älykkäitä verkkoja varten valmiita järjestelmiä ja digitaalisia ratkaisuja** rakennetussa ympäristössä. Tämä tarjoaa uusia energiansäästömahdollisuuksia tarjoamalla **kuluttajille täsmällisempää tietoa heidän kulutustottumuksistaan** ja mahdollistamalla sen, että verkonhaltija voi hallinnoida verkkoa tehokkaammin.
- (30) **Älyratkaisuvalmiutta koskevaa indikaattoria olisi käytettävä mittaamaan rakennusten kykyä hyödyntää tieto- ja viestintätekniikoita ja sähköjärjestelmiä rakennusten toiminnan mukauttamiseksi asukkaiden ja verkon tarpeiden mukaan ja rakennusten energiatehokkuuden sekä kokonaistehokkuuden parantamiseksi.** Älyratkaisuvalmiutta koskevalla indikaattorilla olisi lisättävä rakennusten **omistajien ja asukkaiden tietoa** rakennusten automatisoinnin ja teknisten järjestelmien sähköisen valvonnan todellisesta **arvosta** ja olisi rakennettava asukkaiden luottamusta siihen, että uusilla parannetuilla toiminnoilla saadaan aikaan tosiasiallisia säästöjä. Rakennusten älyratkaisuvalmiutta luokittelevan järjestelmän käytön olisi oltava jäsenvaltioille vapaaehtoista.

\*Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/844>

# Smart Readiness Indikaattori SRI hahmottaa älykkyyttä ja älykkyydysvalmiutta kokonaisuutena



- SRI on VITOn EU-hankkeessa kehittämä
- Motiva selvittää parhaillaan älyindikaattorin käyttöönoton mahdollisuuksia ja hyötyjä Suomessa

# Älykäs rakennus

Älykäs rakennus =

Kiotoon pyramidin periaatteet + SRI Smart Readiness -valmius



Rakenteellinen energiatehokkuus

# Kolme älyratkaisun toiminnallisuuden piirrettä (Annex 1a EPBD täydennys)

1. Kyky ylläpitää **energiatehokkuutta** ja rakennuksen toimintaa mukauttamalla energiankulutusta esimerkiksi **uusiutuvista** lähteistä peräisin olevan energian käytöllä
2. Kyky mukauttaa toimintatapaansa **asukkaan tarpeiden** mukaan kiinnittäen samalla asianmukaisesti huomiota käyttäjäystävällisyyteen, terveellisten sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitoon ja kykyyn raportoida energiankäytöstä
3. Rakennuksen kokonaissähkönkysynnän joustavuus, mukaan lukien sen kyky mahdollistaa osallistuminen aktiiviseen ja passiiviseen sekä epäsuoraan ja suoraan **kysynnänohjaukseen** verkon osalta, esimerkiksi joustavuuden ja kuormituksen jakamiskyvyn ansiosta.

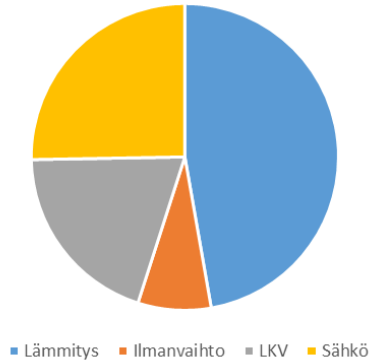
Kuinka rakenteellinen energiatehokkuus osallistuu näiden piirteiden toteuttamiseen?



# Kyky ylläpitää energiatehokkuutta ja rakennuksen toimintaa mukauttamalla energiankulutusta esimerkiksi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytöllä

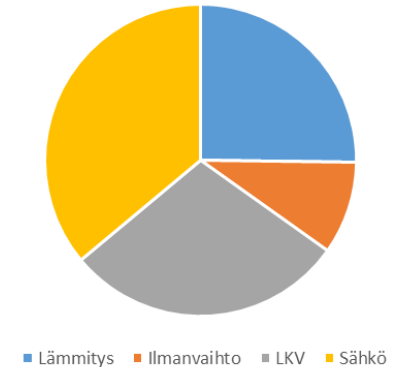
- Lähtökohtaisesti rakenteellinen energiatehokkuus mahdollistaa energiatehokkuuden

Talo 2012



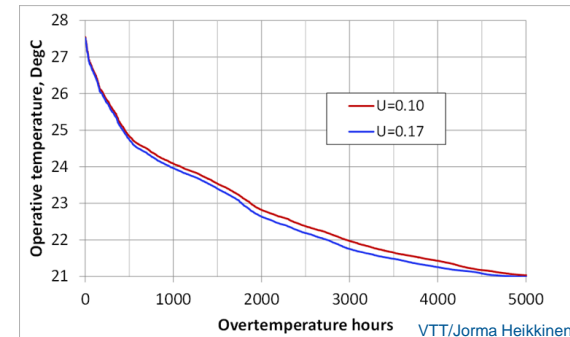
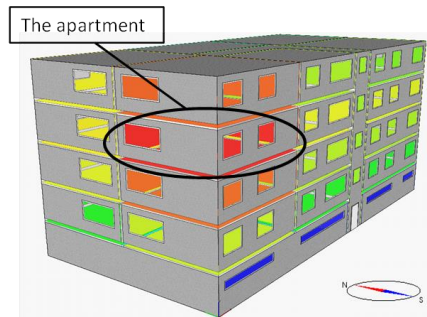
	Talo 2012	Talo 2021	
US	0,17	0,14	W/m <sup>2</sup> K
YP	0,09	0,09	W/m <sup>2</sup> K
AP	0,15	0,14	W/m <sup>2</sup> K
Ikkunat	1,0	0,79	W/m <sup>2</sup> K
Ovet	1,0	0,8	W/m <sup>2</sup> K
LTO	75	70	%
Vuoto q50	4	0,7	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
LKV	102	72	m <sup>3</sup> /a
LKV	0,6	0,56	m <sup>3</sup> /a/m <sup>2</sup>
LKV	35	32	kWh/m <sup>2</sup> ,a
E-luku	130	88	kWh/m <sup>2</sup> ,a
Luokka	C	B	
Nettoala	170,4	129,7	m <sup>2</sup>

Talo 2021



# Sisäilman yllilämpeneminen ei johdu energiatehokkaista rakenteista

- Esimerkki eristystason vaikutuksesta
  - Yksi huonetila, seinien U-arvo  $0,17 \text{ W/Km}^2$  tai  $0,10 \text{ W/Km}^2$
  - Auringon aiheuttama kuormitus ikkunoiden kautta merkittävin
  - Käytössä aktiivinen varjostusratkaisu
- Lämpövirrat seinien kautta kesäaikana 3 % kaikesta lämpökuormasta
- Sisäilman maksimilämpötilat olivat samat näissä kahdessa tapauksessa
- Seinien U-arvon merkitys sisälämpötilaan on merkityksetön



# Kyky ylläpitää energiatehokkuutta ja rakennuksen toimintaa mukauttamalla energiankulutusta esimerkiksi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytöllä

- Lähtökohtaisesti rakenteellinen energiatehokkuus mahdollistaa energiatehokkuuden
- Uusiutuvien integrointi rakenteisiin energia tuottajana
  - Case EXCESS<sup>1</sup>, Kalasataman pilotti

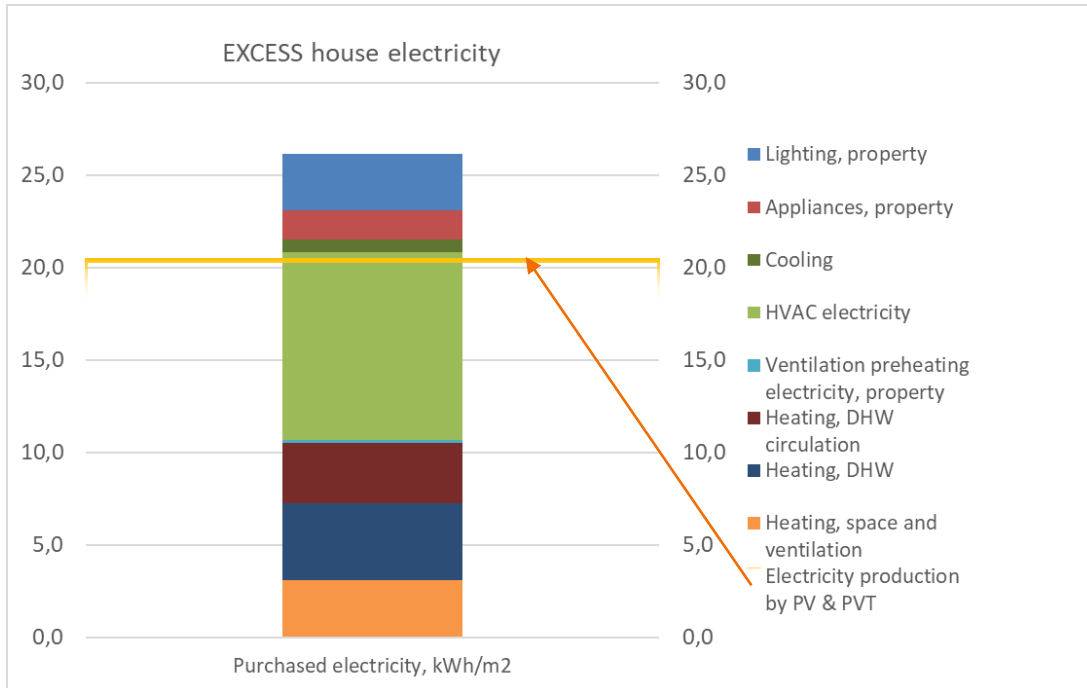
<sup>1</sup>EXCESS - FleXible user-CEntric Energy poSitive houseS, Grant Agreement number: 870157



Rakenteellinen energiatehokkuus &

# Kyky ylläpitää energiatehokkuutta ja rakennuksen toimintaa mukauttamalla energiankulutusta esimerkiksi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytöllä

## ■ Tehokkaat rakenteet + aurinkosähkö



- Ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmitys hallitsevat energiatasetta
- Rakenteiden lämpöhäviö pieni

## Rakenteellinen energiatehokkuus &

**Kyky mukauttaa toimintatapaansa asukkaan tarpeiden mukaan kiinnittäen samalla asianmukaisesti huomiota käyttäjäystävällisyyteen, terveellisten sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitoon ja kykyyn raportoida energiankäytöstä**

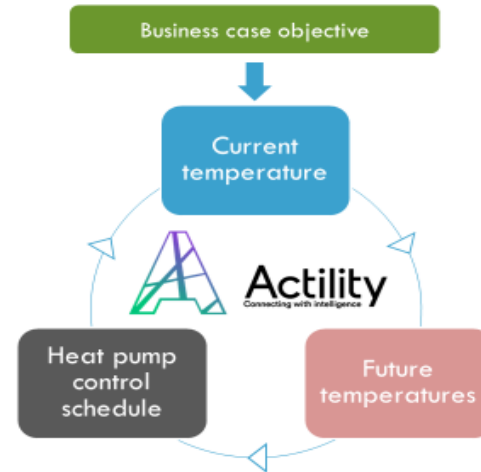
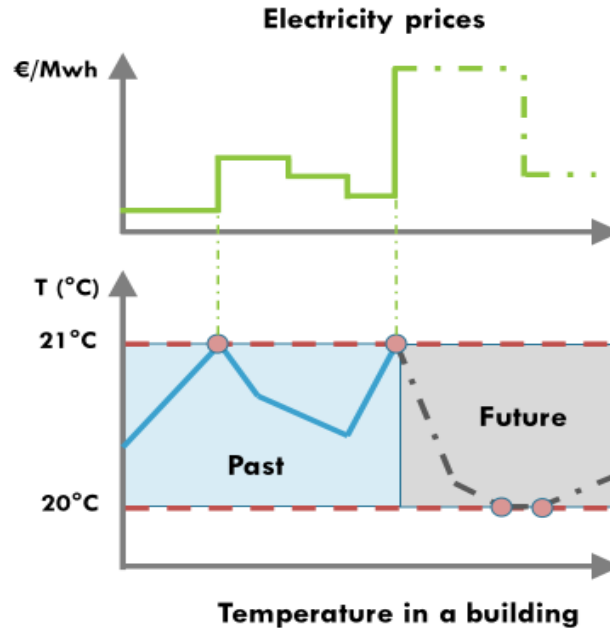
- Tilan olosuhteiden säätö käyttäjän tarpeiden mukaan?
  - Peruslähtökohtana pintalämpötilat ja ilmavuodot hallinnassa – Veto ja lämpösäteily
- Rakenteisiin integroitu säätö?
  - Case ikkunat/julkisivut, säätävät säleverhot
- Rakenteisiin integroitu raportoivuus?
  - Tulevaisuuden ratkaisut?

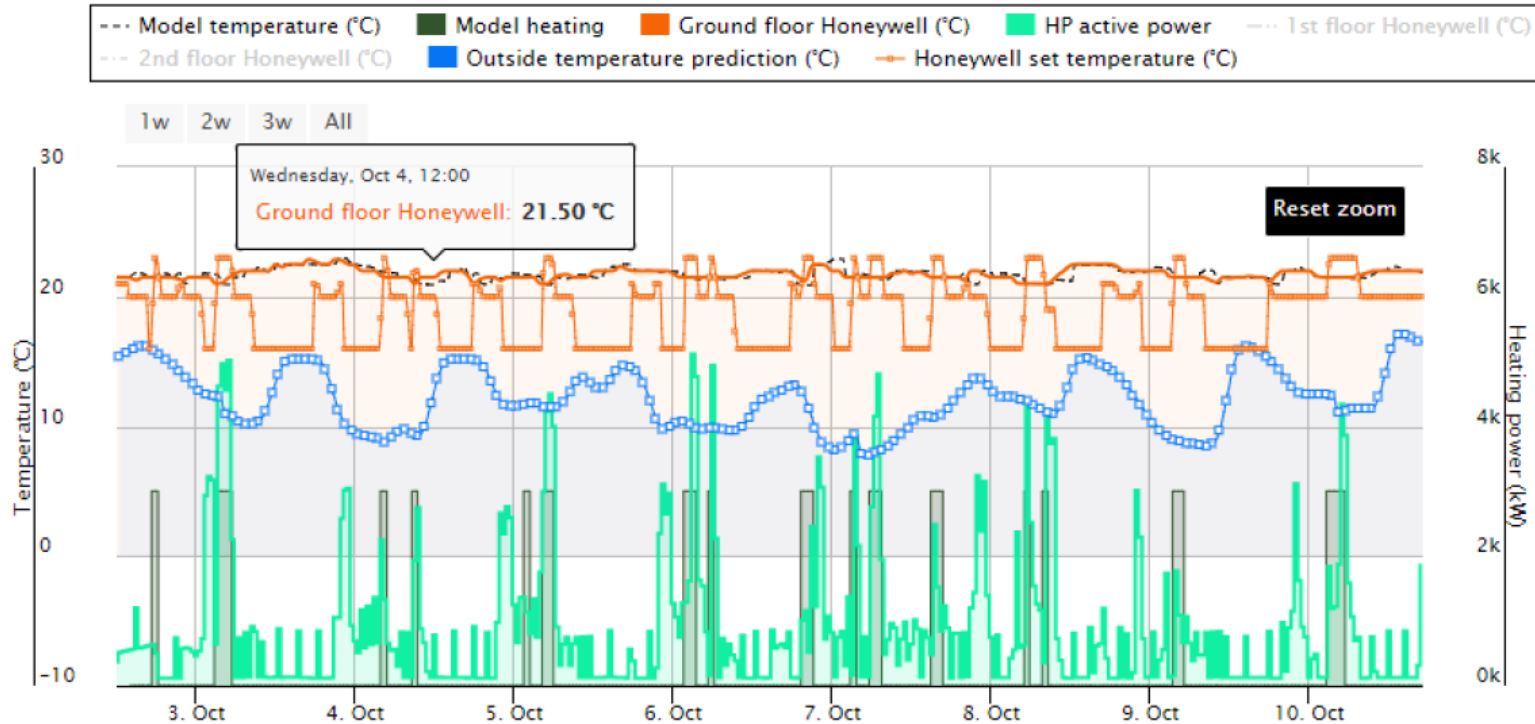
**Rakennuksen kokonaissähkökysynnän joustavuus, mukaan lukien sen kyky mahdollistaa osallistuminen aktiiviseen ja passiiviseen sekä epäsuoraan ja suoraan kysynnänohjaukseen verkon osalta, esimerkiksi joustavuuden ja kuormituksen jakamiskyvyn ansiosta.**

- Yleisesti arvio massan vaikutuksesta
  - Nordic Thermal Mass –tutkimushankkeen (Kalema et al. 2006) tulosten mukaan massan vaikutus lämmitysenergiankulutukseen on 3% -14 %
  - Vaatii tapauskohtaista tarkastelua
- Kyky kysyntäjoustoon - Case STORY rakennuksen massiivisuuden hyödyntämisestä osana dynaamista sähkön hintaa

# Control algorithm possibilities

Predictive deterministic control





STORY D5.1 – part B| Nov 2017

**The added value of storage for residential buildings**

Part B: Flexibility exploitation of conventional buildings

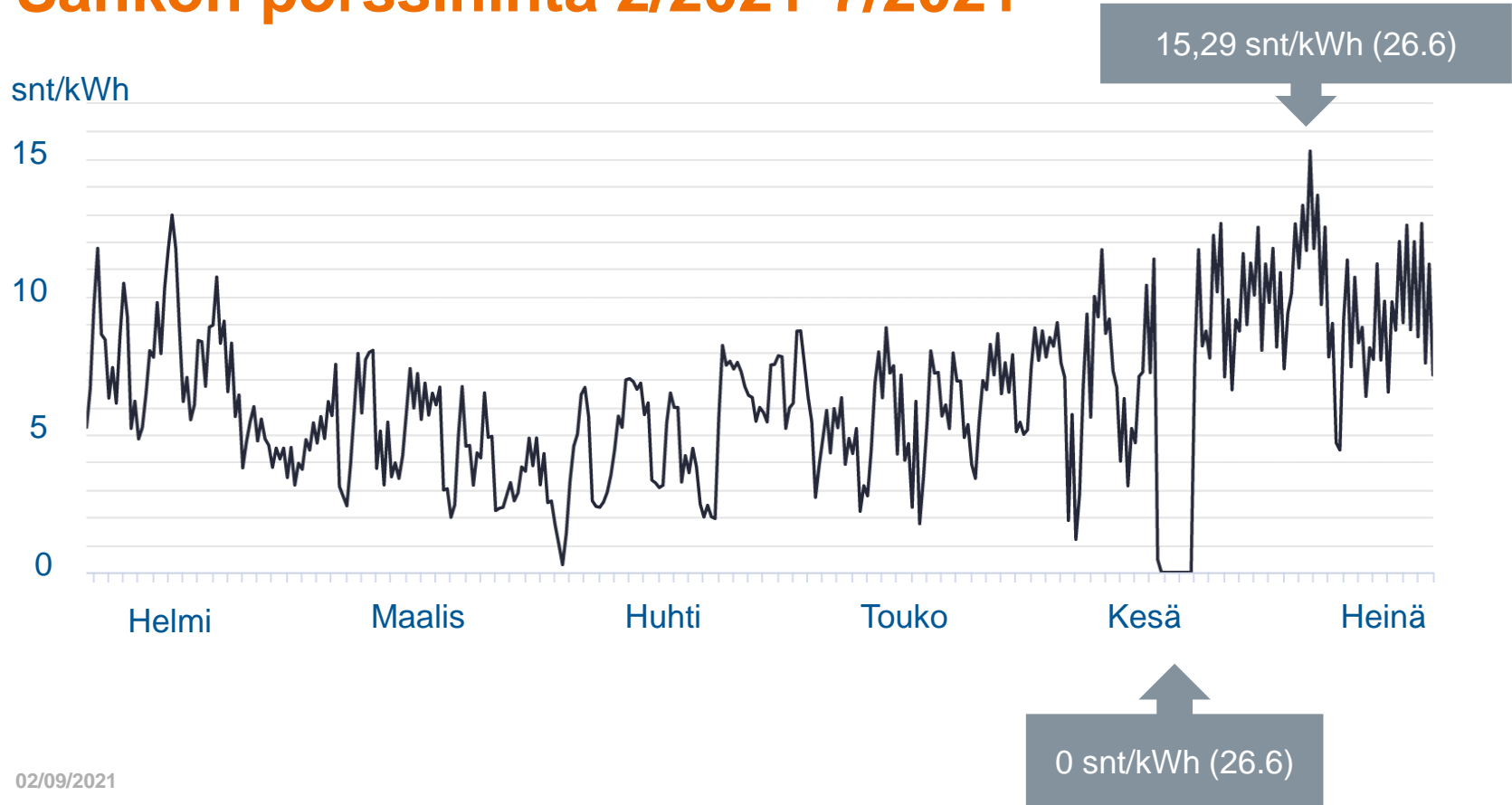
Authors: Amour Aertgeerts (Actility), Jan Draken (VITO)

Figure 17: Thermal inertia of a building and indirect control of the heat pumps using smart thermostats





# Sähkön pörssihinta 2/2021-7/2021



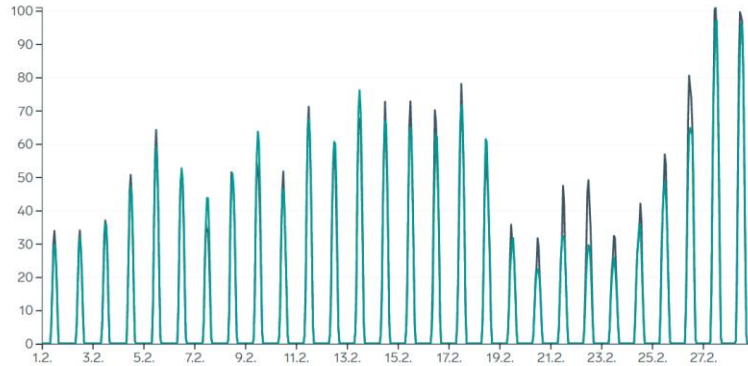
# Sähkön CO<sub>2</sub> päästöt 1/2021-6/2021 (Fingrid)



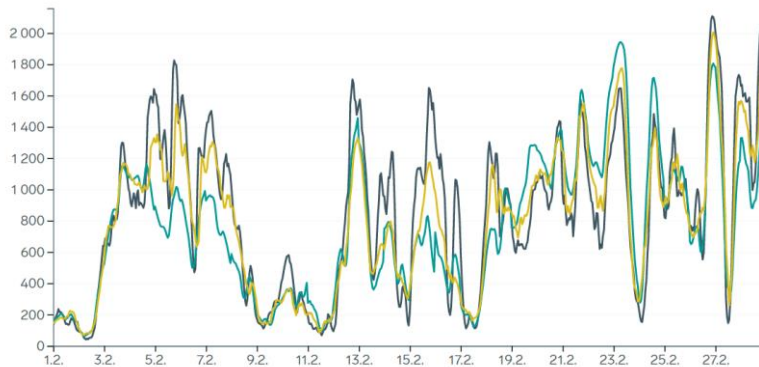
	Kuvaaja	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
●	Suomen sähköntuotannon päästökerroin	23	155	84 gCO <sub>2</sub> /kWh
●	Suomessa kulutetun sähkön päästökerroin	27	183	101 gCO <sub>2</sub> /kWh

# Uusiutuvan energian tuotanto helmikuu 2021 (Fingrid)

*Voit tarkastella arvoja tarkemmin rullaamalla hiirtä kuvaajan päällä*



Teollisen aurinko-  
energian tuotanto  
- alin 0 MWh/h ja  
- ylin 101 MWh/h



Tuulivoiman tuotanto  
- alin 40 MWh/h ja  
- ylin 2159 MWh/h

**Rakennuksen kokonaissähkönkysynnän joustavuus, mukaan lukien sen kyky mahdollistaa osallistuminen aktiiviseen ja passiiviseen sekä epäsuoraan ja suoraan kysynnänohjaukseen verkon osalta, esimerkiksi joustavuuden ja kuormituksen jakamiskyvyn ansiosta.**

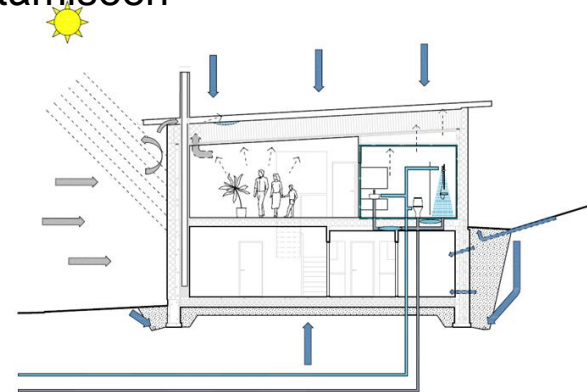
- Yleisesti arvio massan vaikutuksesta
  - Nordic Thermal Mass –tutkimushankkeen (Kalema et al. 2006) tulosten mukaan massan vaikutus lämmitysenergiankulutukseen on 3% -14 %
  - Vaatii tapauskohtaista tarkastelua
  - Massan vaikutus (energiankulutukseen ja huipputehoon) on pientalossa vähäinen jo vuoden 2012 rakentamismääräysten vertailuarvojen mukaisella energiatehokkuustasolla, ja sen merkitys erittäin energiatehokkaassa rakennuksessa muodostuu yhä pienemmäksi. (Airaksinen & Vuolle 2013) <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lylykangas et al. Rakenteellinen energiatehokkuus – Opas. 2015.

[https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/oppaat-ohjeet/ret\\_opas\\_20150917.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/oppaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf)

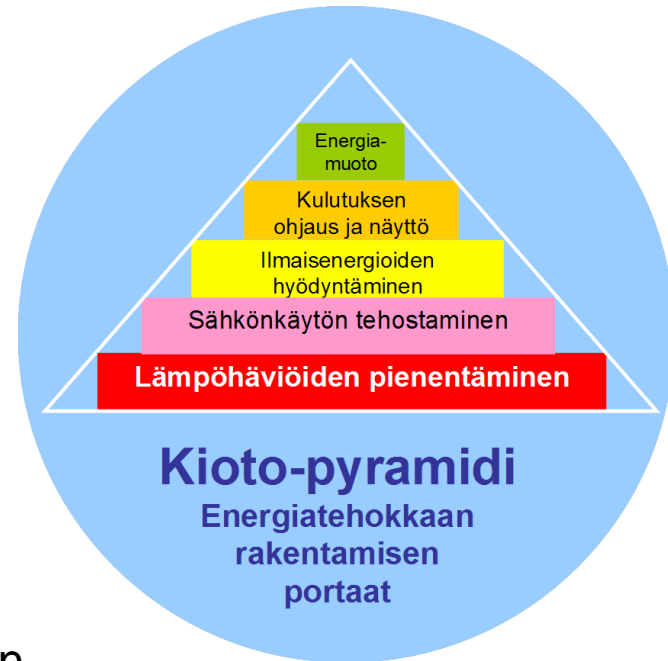
# Rakenteellinen energiatehokkuus – Säästetty kW = säästetty k€

- Rakennusvaipan ominaislämpöhäviöt alas:
  - Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien mitoitusteho pienenee – säästöt järjestelmiin investoinneissa
- Ilmatiiviyden parantaminen mahdollistaa ilmanvaihdon hallinnan
  - Lämmöntalteenoton toimivuus paranee
- Älykkäät järjestelmät
  - Kysyntäjoustop toteutus lämmityksessä perustuu rakennuksen lämmöneristeen sisäpuolisen termisen massan hyödyntämiseen – Mahdollinen vain hyvin eristetyissä rakennuksissa
- Viihtyisyys
  - Pintalämpötilat ja ilmavuodot hallinnassa – Veto ja lämpösäteily
- Rakennusfysikaaliset vaatimukset
  - Lämpötilatasot ja kuivumiskyky hallintaan



# Yhteenveto

- Kioton pyramidin suunnitteluperiaatteet on hyvä perusta energiatehokkaan rakennuksen suunnittelulle
  - Rakenteellinen energiatehokkuus suunnittelun lähtökohtana
- Rakenteellinen energiatehokkuus - jatkuva passiivinen säästö
  - Jokseenkin riippumaton muista järjestelmistä
  - Pienentää lämpövirtoja rakenteen läpi molempiin suuntiin
- Älykkyyttä ja valmiutta älykkyyden toteuttamiseen
  - SRI lähestymistapa
  - Digitaaliset ratkaisut passiiviratkaisuja täydentämään



# bey<sup>0</sup>nd

## the obvious

Senior Scientist

Ismo Heimonen

[Ismo.heimonen@vtt.fi](mailto:Ismo.heimonen@vtt.fi)

+358 40 5605180