COMBI

COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF
NEARLY ZERO-ENERGY
MUNICIPAL SERVICE BUILDINGS

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Aalto-yliopisto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

BUSINESS FINLAND

Euroopan unioni

Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

ARKKITEHTISUUNNITTELUN VAIKUTUS ENERGIATEHOKKUUTEEN

Keskeisistä ratkaisuista

Laatijat: Tapio Kaasalainen, Tampereen teknillinen yliopisto
Taru Lehtinen, Tampereen teknillinen yliopisto

Sisällys

Arkkitehtisuunnittelun vaikutus energiatehokkuuteen: Keskeisimmistä ratkaisuista

- **Taustaa**
- **Tarkastelunäkökulmia energiatehokkuuteen**
- **Merkittäviä arkkitehtisuunnittelun ratkaisuja aihealueittain**
  - Rakenteelliset ominaisuudet
  - Tilajärjestelyt ja käyttö
  - Olosuhteet ja tekniset ratkaisut
- **Yhteenveto**

Taustaa

Rakennukset aiheuttavat maailmanlaajuisesti keskeisen osan niin kasvihuonekaasupäästöistä kuin energiankulutuksestakin

- Valtaosa rakennuksen elinkaarenaikaisista ympäristövaikutuksista syntyy tavallisesti sen käytön aikana, mutta myös rakentaminen ja mahdollinen purku vaikuttavat

Euroopan unionin EPBD energiatehokkuusdirektiivi edellyttää kaikkien uusien rakennusten olevan lähes nollaenergiatasoa (nZEB, nearly Zero Energy Building) vuoden 2020 alusta lähtien

Taustaa

Arkkitehtuurin suunnitteluratkaisut muodostavat rakennuksen energiankulutuksen lähtötason

Merkittäviä päätöksiä tehdään jo kaavoituksessa ja tarveselvitys-, hankesuunnittelu- ja luonnosvaiheissa

- Muun muassa rakennuksen käyttötarkoitus, tilaohjelma, muoto ja suuntaus

Arkkteihtuurin kautta energiatehokkuus on keskeisesti kytköksissä myös toiminnallisuuteen: käytössään toimimatonta rakennusta ei energiankulutuksesta riippumatta voida pitää tehokkaana

Tarkastelunäkökulmia energiatehokkuuteen

Ostoenergiankulutus

- Sellaisen energian kulutus, jota ei tuoteta uusiutuvasti kohteessa itsessään

Ostoenergiankulutus suhteessa pinta-alaan tai tilavuuteen

- Esimerkiksi E-luku, jossa mukana myös energiamuodoittaiset painotuskertoimet

Ostoenergiankulutus suhteessa rakennuksesta saatavaan hyötyyn

- Esimerkiksi ostoenergiankulutus jaettuna käyttäjien rakennuksessa viettämällä ajalla (ks. käyttötehokkuusluku ohessa)

$$\text{Käyttötehokkuusluku} = \frac{\text{Ostoenergiankulutus}}{\text{Henkilökäyttötunti}},$$

$$P_{\text{käyttö}} = \frac{E}{(T_{\text{hlö}} t_v)},$$

jossa

$P_{\text{käyttö}}$ = käyttötehokkuusluku, kWh/(hlö*h)

E = ostoenergiankulutus, kWh/v

$T_{\text{hlö}}$ = henkilöiden lukumäärä, kpl

t_v = käyttöaika, tunteja vuodessa

Tarkastelunäkökulmia energiatehokkuuteen

Ostoenergiankulutus

- Lähtökohta energiatehokkuuden indikaattoreille, mutta yksinään hankalasti käytettävä kohteidenväliseen vertailuun
- Kokonaisratkaisun tehokkuutta arvioitaessa otettava huomioon myös oman tuotannon vaatimat investoinnit ja esimerkiksi laitteiston valmistuksen sekä ylläpidon vaikutukset ekotehokkuuteen

Ostoenergiankulutus suhteessa pinta-alaan tai tilavuuteen

- Suosii väljää suunnittelua ja tilojen vähäistä käyttöä: mitä vähemmän käyttöä, sitä vähemmän energiankulutusta ala-/tilavuusyksikköä kohden

Ostoenergiankulutus suhteessa rakennuksesta saatavaan hyötyyn

- Edellyttää rakennuksesta saatavan hyödyn määrittelemisen mitattavissa olevan suureen kautta.
  - Tällaisena voidaan periaatteessa pitää myös pinta-alaa tai tilavuutta

$$\text{Käyttötehokkuusluku} = \frac{\text{Ostoenergiankulutus}}{\text{Henkilökäyttötunti}},$$

$$P_{\text{käyttö}} = \frac{E}{(T_{\text{hlö}} t_v)},$$

jossa

$P_{\text{käyttö}}$ = käyttötehokkuusluku, kWh/(hlö*h)
E = ostoenergiankulutus, kWh/v
$T_{\text{hlö}}$ = henkilöiden lukumäärä, kpl
t_v = käyttöaika, tunteja vuodessa

Merkittäviä arkkitehtisuunnittelun ratkaisuja

Seuraavat diat perustuvat ryhmäkodilla ja peruskoululla suoritettuihin case-simulaatiotarkasteluihin

- Esitetyissä havainnoissa on otettu huomioon tarkastelutapausten mahdollinen vaikutus, rajoitteet ja tulosten sovellettavuus
- Havainnot eivät lähtökohtaisesti ole rakennustyyppiriippuvaisia, mutta joidenkin suunnitteluratkaisujen realistiset valinnat riippuvat rakennuksen käytöstä
- Lukemat ovat suuntaa-antavia. Variantit on kussakin tarkastelussa suhteutettu (rakennustyypeittäin) samaan, standardikäytön mukaiseen perustapaukseen

Mukaan poimittujen suunnitteluratkaisujen merkittävyyteen kuuluu energiatehokkuudellisten vaikutusten lisäksi vaikutus arkkitehtoniseen laatuun

Merkittäviä arkkitehtisuunnittelun ratkaisuja: Rakenteelliset ominaisuudet

Lämmitetty nettoala

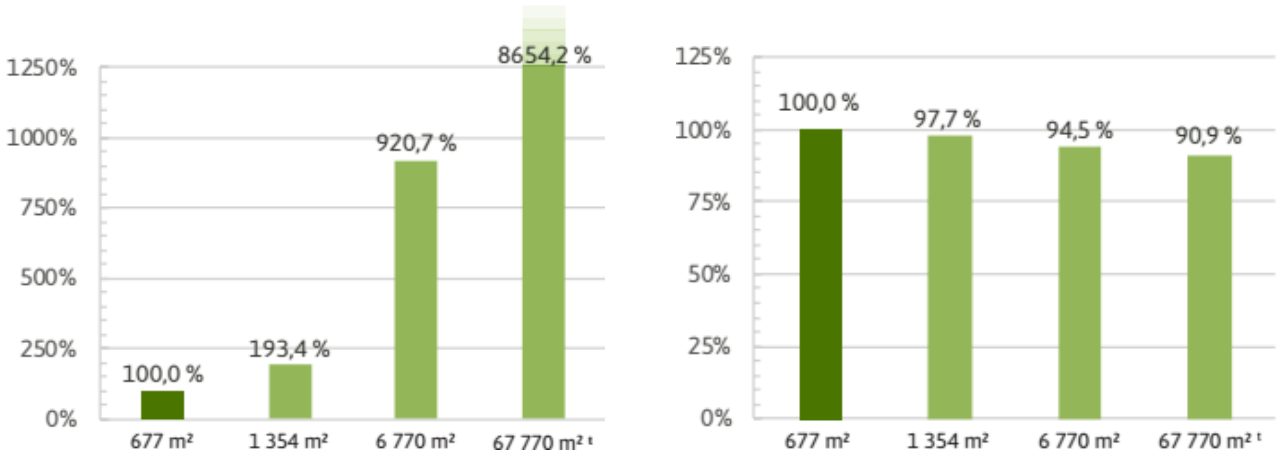
Lähes suorassa suhteessa rakennuksen energiankulutukseen

- Ei kuitenkaan täysin, minkä vuoksi E-luku suosii suuria rakennuksia pienemmän neliömetrikohtaisen energiankulutuksen myötä
- Syynä ulkovaipan alan ja rakennuksen pohja-alan/tilavuuden suotuisampi suhde

Todellisen käytön ja tilojen joustavuuden huomioiva suunnittelu minimoi hukkaneliöt

Pinta-alan kasvattaminen kerroksia lisäämällä mahdollistaa kompaktimman rakennusmuodon

- Ero energiankulutuksessa on samalla nettoalalla pieni
- Käytännön valinta perustuu tavallisesti rakennuspaikan ja toiminnallisuuden vaatimuksiin



Lämmitetyn nettoalan (m²) vaikutus ostoenergiankulutukseen (kWh/a, vasen) ja E-lukuun (kWh/m²a, oikea). Ryhmäkotirakennus. **Huom. eroavat pystyakselit.**

t = Teoreettinen tapaus (käytetyssä rakennustyypissä)

Kuvat: Moisio et al. 2018, s. 27–28.

Merkittäviä arkkitehtisuunnittelun ratkaisuja: Rakenteelliset ominaisuudet

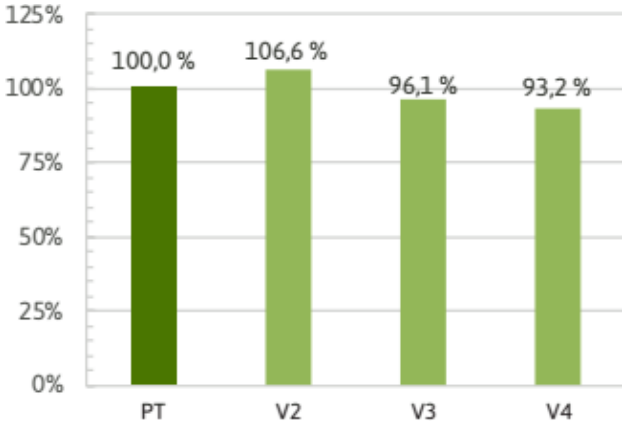
Vaipan U-arvot

Paremmat U-arvot vaipan eri osille lisäävät vapautta niiden suunnitteluun

- Mitä vähemmän lämpöhäviöitä seinistä, sitä monimuotoisempi vaippa voi olla, mitä vähemmän lämpöhäviöitä ikkunoista, sitä enemmän ikkunapintaa voi olla jne.
  - Toisaalta samalla yleensä kasvavat kustannukset ja materiaalin kulutus

U-arvojen parantaminen vaatii huolellista rakennesuunnittelua. Esimerkiksi pelkkä eristeen paksuntaminen saattaa johtaa kosteuden tiivistymiseen rakenteen sisään

Paremmat U-arvot nostavat rakenteiden pintalämpötiloja, vähentäen vedontunnetta



Perustapaus	U-arvot: US 0,17; AP 0,16; YP 0,09; Ikkunat ja ovet 1,0 W/(m²K)
Variantti 2	U-arvot: US 0,24; AP 0,24; YP 0,15; Ikkunat ja ovet 1,4 W/(m²K)
Variantti 3	U-arvot: US 0,14; AP 0,10; YP 0,07; Ikkunat ja ovet 0,7 W/(m²K)
Variantti 4	U-arvot: US 0,09; AP 0,09; YP 0,05; Ikkunat 0,6 ja ovet 0,5 W/(m²K)

Vaipan U-arvojen vaikutus ostoenergiankulutukseen (kWh/a). Ryhmäkotirakennus. Kuva: Moisio et al. 2018, s. 37.

Merkittäviä arkkitehtisuunnittelun ratkaisuja: Rakenteelliset ominaisuudet

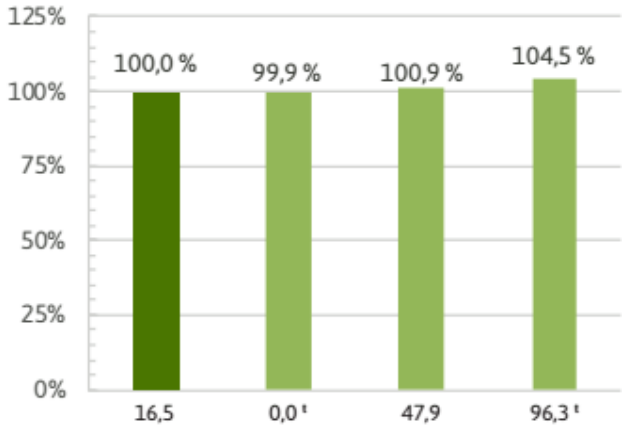
Ikkunoiden pinta-ala

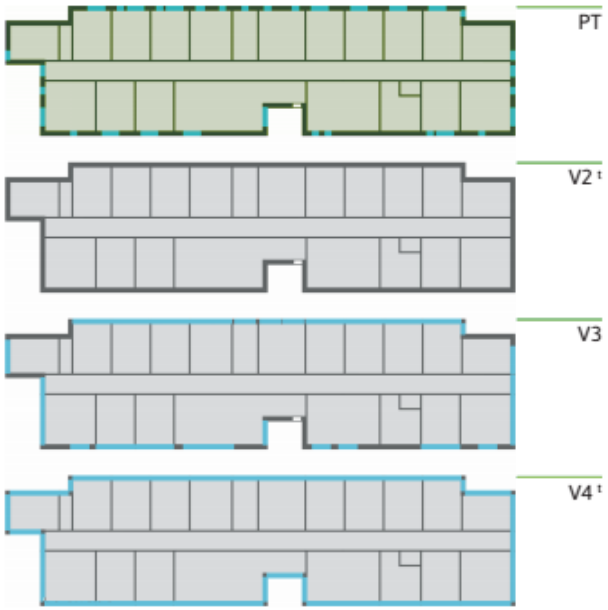
Vaikuttaa lukuisiin energiatehokkuuden osatekijöihin: johtumishäviöihin, kylmäsiltojen määrään, passiiviseen aurinkoenergiaan, varjostuksen tarpeeseen, jäähdytystarpeeseen ja luonnonvalon saantiin

- Huolellisella suunnittelulla voidaan minimoida negatiiviset ja maksimoida positiiviset vaikutukset

Pienempi ikkuna ei automaattisesti ole energiatehokkaampi

- Matalalla U-arvolla, korkealla g-arvolla ja oikeanlaisella, säätyvällä varjostuksella saatava lämpösäteily ja luonnonvalo voivat korvata johtumishäviöt





Ikkunoiden pinta-alan (% julkisivusta) vaikutus ostoenergiankulutukseen (kWh/a, vasen) ja havainnekuva ikkunoiden sijoittelusta (oikea). Ikkuna-aukotuksen korkeus vaihtelee varianteittain. Ryhmäkotirakennus.

t = Teoreettinen tapaus (käytetyssä rakennustyypissä)

Kuvat: Moisio et al. 2018, s. 49–50.

Merkittäviä arkkitehtisuunnittelun ratkaisuja: Tilajärjestelyt ja käyttö

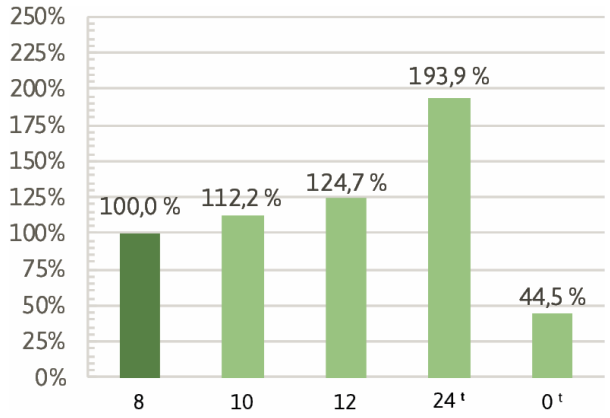
Käyttöaste

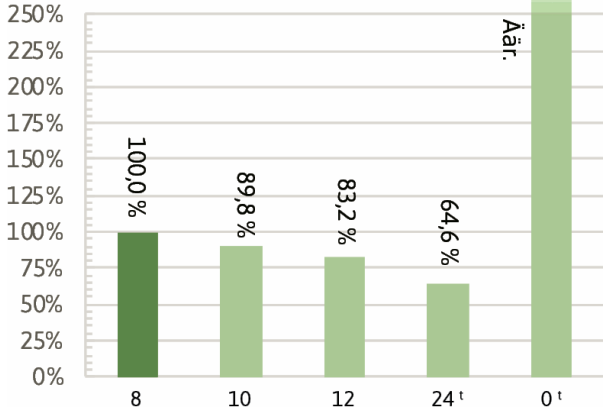
Käyttöasteen nostaminen minimoi ajan, jolloin rakennus on ns. tyhjäkäynnillä pidettäessä yllä sisäolosuhteiden perustasoa

- Jo käytönaikaisen lämpötilan säilyttäminen minimi-ilmanvaihdolla voi pitää rakennuksen energiankulutuksen lähes puolessa käytönaikaisesta
- Kasvattaa energiankulutusta, mutta parantaa konkreettista energiatehokkuutta käyttötehokkuuden kautta tarkasteltuna

Rakennuksen pääkäytöllä tarkoitetaan ensisijaisen toiminnan käyttöajan lisäämistä: esimerkiksi koulurakennuksessa opetuskäyttö

- Pääkäyttöasteen kasvattaminen on aina energiatehokkuudellisesti eduksi, koska se vähentää tyhjäkäynnissä hukkaan menevää energiaa
- Useimpia toimintoja on realistista toteuttaa vain tiettyinä aikoina, joten pääkäytön lisäämisen mahdollisuudet ovat yhden käyttötarkoituksen rakennuksessa usein varsin rajalliset





Arkipäivien **pää**käyttötuntien vaikutus ostoenergiankulutukseen (kWh/a, vasen) ja käyttötehokkuuslukuun (kWh/(hlö*h), oikea). Koulurakennus.

t = Teoreettinen tapaus (käytetyssä rakennustyypissä)

Kuvat: Moisio et al. 2018, s. 71–72.

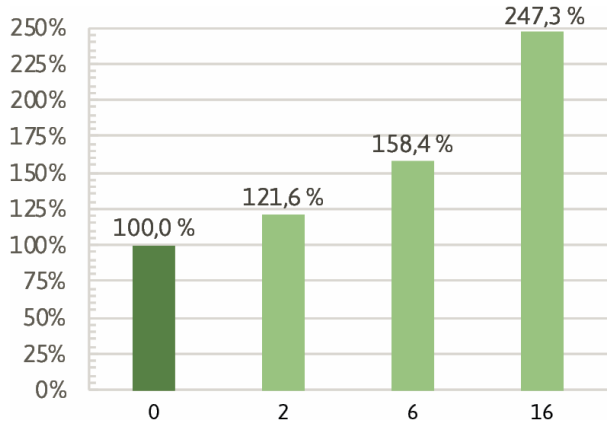
Merkittäviä arkkitehtisuunnittelun ratkaisuja: Tilajärjestelyt ja käyttö

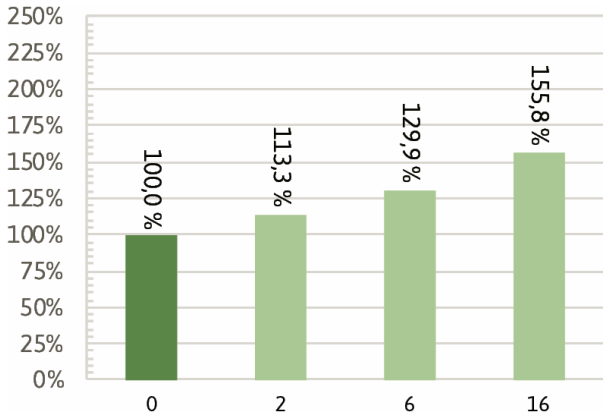
Käyttöaste

Rakennuksen lisäkäytöllä tarkoitetaan ensisijaisen toiminnan ulkopuolisen käyttöajan lisäämistä: esimerkiksi koulurakennuksessa erilaiset harrastetoiminnot

Kaikki lisäkäyttö ei ole energiatehokkuudellisesti mielekästä: vähäinen käyttäjämäärä suurella alueella lisää energiankulutusta enemmän kuin käyttötunteja

- Ks. esimerkkikuva oikealla, jossa 900 henkilölle suunniteltuun rakennukseen on asetettu vaihtelevan mittaiseksi lisäkäytöksi 300 henkilöä koko rakennuksen alueelle
  - Lisäkäytön tapahtuessa vain osissa rakennusta tulee ottaa huomioon myös se, missä tiloissa käytönaikaisia sisäolosuhteita ylläpidetään





Päivittäisten **lisä**käyttötuntien vaikutus ostoenergiankulutukseen (kWh/a, vasen) ja käyttötehokkuuslukuun (kWh/(hlö*h), oikea). Koulurakennus.

Kuvat: Moisio et al. 2018, s. 73–74.

Merkittäviä arkkitehtisuunnittelun ratkaisuja: Tilajärjestelyt ja käyttö

Vyöhykkeistäminen

Käytönaikaisten olosuhteiden ylläpitäminen dynaamisesti vain tarvittavissa osissa rakennusta

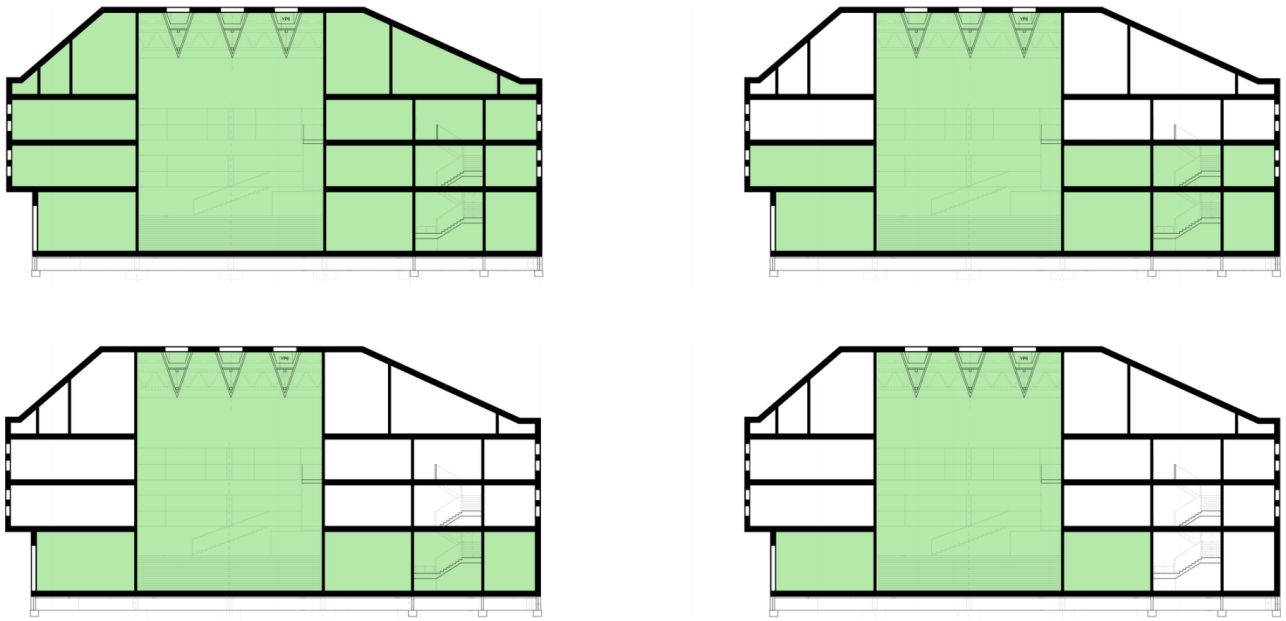
Edellyttää käyttöön mukautuvaa talotekniikkaa

- Mieluiten automatisoitu säätö vähintään ilmanvaihdolle

Vastaavasti kuin pieni rakennus kuluttaa isoa vähemmän energiaa, myös käytönaikaisten sisäolosuhteiden ylläpitäminen pienemmällä alueella vähentää energiankulutusta

Vyöhykkeet voivat olla sisäkkäisiä, rinnakkaisia tai näiden yhdistelmä, suunnitelluista käyttötavoista riippuen

Varsinaisten käyttötilojen lisäksi otettava huomioon myös kulkuyhteydet



Esimerkki rakennuksen vyöhykkeistämisestä kulkutilana toimivan keskeisaulan ympärille. Käytössä olevaa aluetta voidaan rajata tarpeen mukaan. Koulurakennus.

Kuva: Moisio et al. 2018, s. 76.

Merkittäviä arkkitehtisuunnittelun ratkaisuja: Tilajärjestelyt ja käyttö

Vyöhykkeistäminen

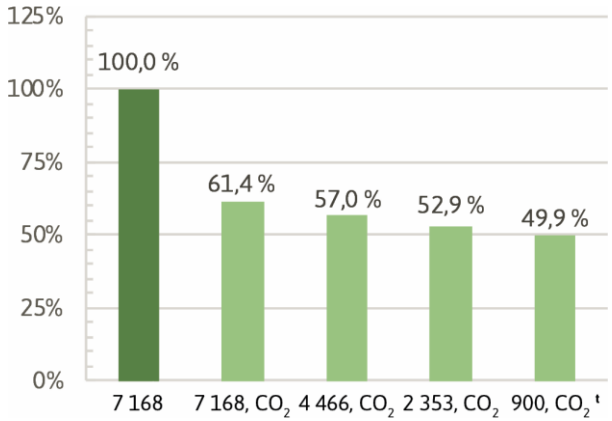
Pääkäytön vyöhykkeen rajaaminen on huolellisesti suunnitellussa rakennuksessa realistista vain käytön muuttuessa, väliaikaisesti tai pysyvästi

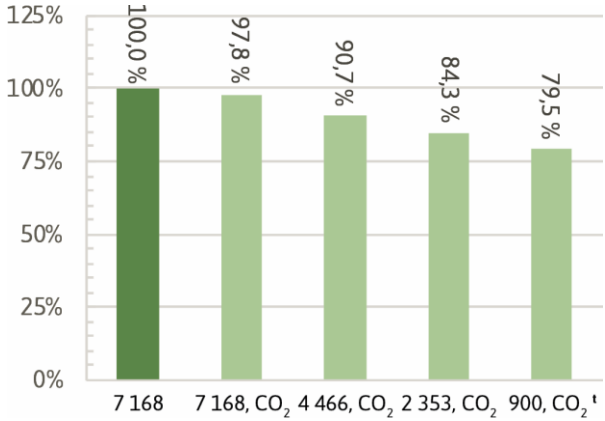
- Käyttäjien pusertaminen yksinkertaisesti pienempään tilaan laskee energiankulutusta, mutta sen heikentäessä viihtyisyyttä ja toimivuutta ei ratkaisua voida kokonaisuudessaan kutsua tehokkaaksi

Lisäkäytön vyöhykkeen rajaaminen on useimmissa lisäkäyttöä sisältävissä kohteissa tarkoituksenmukaista

- Monikäyttöiselläkin tilasuunnittelulla kaikkien tilojen jatkuva käyttö on erittäin epätodennäköistä

Vyöhykkeitä voidaan muodostaa myös perustuen tilojen pysyviin käyttötarkoituksiin ja niihin liittyviin sisäolosuhteisiin esimerkiksi lämpötila- tai märkätilavyöhykkeinä





Esimerkki pääkäytönaikaisen käyttövyöhykkeen koon vaikutuksesta ostoenergiankulutukseen (kWh/a, vasen) ja käyttötehokkuuslukuun (kWh/(hlö*h), oikea). Vastaavalla periaatteella myös lisäkäyttö tehostuu vyöhykkeen kokoa rajaamalla, tavallisesti pääkäyttöä pienemmän käyttäjämäärän myötä luontevammin. Kuvaparista on myös havaittavissa hiilidioksidiohjatun ilmanvaihdon erittäin merkittävä vaikutus. Koulurakennus.

t = Teoreettinen tapaus (käytetyssä rakennuksessa)

Kuvat: Moisio et al. 2018, s. 77–78.

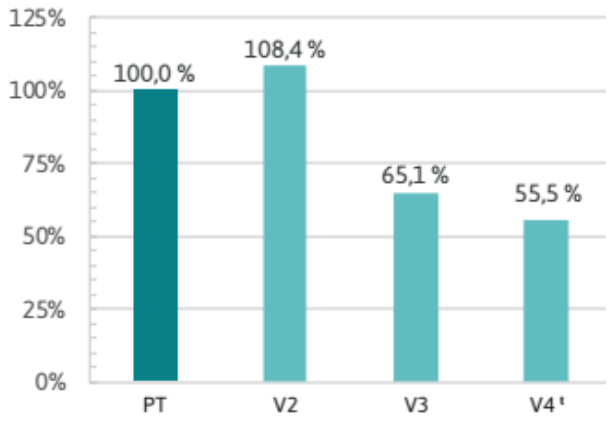
Merkittäviä arkkitehtisuunnittelun ratkaisuja: Olosuhteet ja tekniset ratkaisut

Ilmanvaihdon ilmavirta

Tarpeenmukaisesti (esim. CO_2-pitoisuuden mukaan) säätyvä ilmanvaihdon ilmavirta on eräs tehokkaimmista keinoista energiatehokkuuden parantamiseksi

- Pienempi ilmavirta vähentää suoraan lämmitys- tai jäähdytystarvetta
- Parhaan lopputuloksen aikaansaamiseksi ohjauksen tulee olla tilakohtainen
- Hiilidioksidipitoisuuden lisäksi huomioitava myös mahdollisten epäpuhtauksien poistuminen sisäilmasta

Ilmanvaihdon päätelaitteiden suunnittelussa on huomioitava huuhtelevuus – ilman täytyy vaihtua huoneiden joka osasta



Perustapaus	Vakioilmavirta
Variantti 2	Ilmavirrat huonetyypeittäin
Variantti 3	Tarpeenmukainen ilmavirta CO_2-ohjauksella
Variantti 4 t	Minimi-ilmavirta

Ilmanvaihdon ilmavirran vaikutus ostoenergiankulutukseen (kWh/a). Koulurakennus.

t = Teoreettinen tapaus (käytetyssä rakennuksessa)

Kuva: Moisio et al. 2018, s. 97.

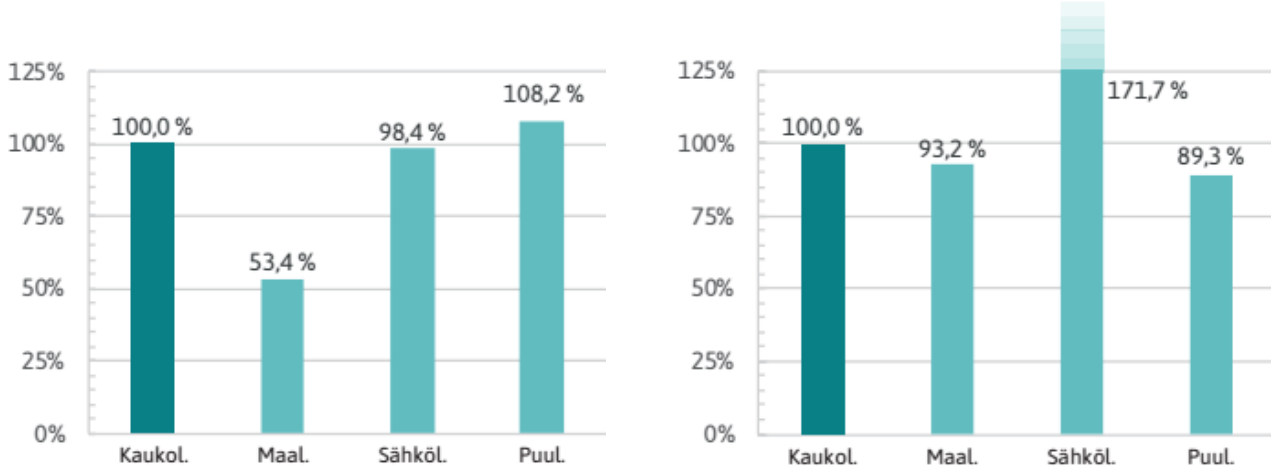
Merkittäviä arkkitehtisuunnittelun ratkaisuja: Olosuhteet ja tekniset ratkaisut

Lämmitysmuoto

Maalämmön käyttäminen voi pudottaa lämmityksen ostoenergiankulutuksen noin puoleen vertailluista vaihtoehdoista

Sähkölämmitys kuluttaa kaukolämpöä vähemmän energiaa, mutta sen E-luku kärsii korkeasta energiamuodon kertoimesta

– Vertailussa on käytetty vuonna 2012 voimaan tulleita energiamuotojen kertoimia. 2018 alusta voimaan astuneet kertoimet pienentävät eroja, mutteivät poista niitä



Lämmitysmuodon vaikutus ostoenergiankulutukseen (kWh/a, vasen) ja E-lukuun (kWh/m²a, oikea). Ryhmäkotirakennus.
Kuvat: Moisio et al. 2018, s. 89–90.

Merkittäviä arkkitehtisuunnittelun ratkaisuja: Olosuhteet ja tekniset ratkaisut

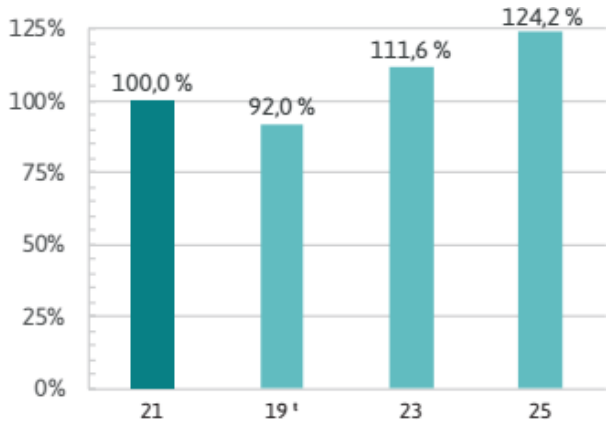
Sisälämpötila

Lähtökohtainen vaikutus riippuu lämmitysmuodosta, rakenteista, ilmanvaihdon ilmavirrasta ja lämmöntalteenotosta

Lämpötilan täysiaikainen madaltaminen luontevinta varastoissa, käytävillä ym. tiloissa, joissa ei oleskella vakituisesti

Oleskeluun tarkoitetuissa tiloissa lämpötilaa voidaan säädellä käytön mukaisesti – tarve ennakoiden tai aikataulutetusti

Suurten lämpötilaerojen tapauksessa tulee huomioida myös mahdolliset vaikutukset rakenteisiin



Sisälämpötilan (°C) vaikutus ostoenergiankulutukseen (kWh/a). Ryhmäkotirakennus. Huom. tarkastelussa ei ollut mukana jäähdytystä, joka nostaisi ainakin 19 °C variantin energiankulutusta.

t = Teoreettinen tapaus (käytetyssä rakennustyypissä)

Kuva: Moisio et al. 2018, s. 91.

Yhteenveto

Suurimmat parannukset energiatehokkuuteen saavutetaan arkkitehtonisilla ratkaisuilla, jotka tukevat rakennuksen tehokasta käyttöä ja tekniikan tarpeenmukaista toimintaa

- Ilmanvaihto ja siihen liittyen sopivan lämpötilan ylläpitäminen muodostavat keskeisen osan energiankulutuksesta
- Tehokas tilojen ja niiden käytön suunnittelu minimoi tarpeettoman rakentamisen määrän
  - Vähemmän hukkatilaa,
  - materiaalitarvetta,
  - päästöjä,
  - rakentamiskustannuksia,
  - huollettavaa,
  - purettavaa,
  - jne.

Rakenteelliset ratkaisut tukevat kokonaisuutta, mutteivät yksistään riitä kokonaisvaltaisen energiatehokkaaseen ratkaisuun, etenkään tarkasteltaessa energiatehokkuutta muutoin kuin absoluuttisena tai neliömetriä kohden syntyvänä energiankulutuksena

Lähteet

Lindberg, T., Kaasalainen, T., Moisio, M., Mäkinen, A., Hedman, M. & Vinha, J., 2018. Potential of space zoning for energy efficiency through utilization efficiency. **Advances in Building Energy Research**, Taylor & Francis. Saatavissa: https://doi.org/10.1080/17512549.2018.1488619.

Moisio, M., Kaasalainen, T., Lehtinen, T. & Hedman, M., 2018. **Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto.** Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Arkkitehtuurin laboratorio, Asuntosuunnittelu, Julkaisu 32.

Kiitos!

Lisätietoja esityksen sisällöstä

Tapio Kaasalainen	Tampereen yliopisto	tapio.kaasalainen@tuni.fi
Taru Lehtinen	Tampereen yliopisto	taru.lehtinen@tuni.fi

COMBI-tuloskortti: Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto
Julkaisu: Moisio, M., Kaasalainen, T., Lehtinen, T. & Hedman, M., 2018. Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto

Lisätietoja COMBI-hankkeesta

Juha Vinha	Tampereen yliopisto	juha.vinha@tuni.fi	040 849 0296

https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/combi

Tämän teoksen suhteen noudatetaan lisenssiä Creative Commons Nimeä-JaaSamoin 4.0 Kansainvälinen.
Lisenssiin voit tutustua osoitteessa https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.fi