# Arkkitehtuurin ja tilasuunnittelun vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen

Malin Moisio[1], Taru Lindberg[1], Tapio Kaasalainen[1] ja Antti Mäkinen[2]
[1] Tampereen teknillinen yliopisto, arkkitehtuuri
[2] Tampereen ammattikorkeakoulu

## Tiivistelmä

Rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat useat eri tekijät. Yksittäisten ominaisuuksien vaikutus energiatehokkuuteen on yleisesti ottaen pieni mutta useiden tekijöiden yhdistelmällä merkitys kasvaa. Yksittäisistä tekijöistä merkittävimpiä ovat muun muassa rakennuksen koko, ilmanvaihdon $CO_2$-ohjaus sekä tilojen käyttöaste.

## 1. Johdanto

Artikkeli on tehty osana TTY:n koordinoiman COMBI -tutkimushankkeen WP2 työryhmän ”arkkitehtonisten ratkaisujen vaikutus energiatehokkuuteen” -tutkimusosiota. Työryhmän tehtävänä on kehittää ohjeistusta energiatehokkaan arkkitehtuurin suunnittelulle, eli arkkitehtisuunnittelun ohjausmallia. Artikkelissa esitetään tuloksia poimintoina laajemmasta tutkimusaineistosta.

## 2. Energiatehokkaan arkkitehtuurisuunnittelun ohjausmalli

Ohjausmalli on ohjekortisto, jonka tarkoituksena on toimia rakennuksen energiatehokkuutta havainnollistavana työkaluna ja ohjata rakennusten suunnittelua energiatehokkaampaan suuntaan niin, että myös muut arkkitehtoniset laatutekijät huomioidaan ratkaisuja tehtäessä. Energiatehokkuutta tarkasteltaessa on haluttu korostaa kokonaisuuden merkitystä. Ohjausmallissa esitetään kootusti yksittäisten arkkitehtonisten suunnitteluratkaisujen vaikutusta koko rakennuksen energiankulutukseen. Yksittäisten ominaisuuksien vaikutusta on tutkittu energialaskennan avulla sekä arvioimalla ominaisuuden vaikutuksia arkkitehtoniseen laatuun.

### 2.1 Ohjausmallin rakenne, tekijät ja ominaisuudet

Rakennus muodostuu *tekijöistä* jotka yhdessä muodostavat systeemin. Kuvassa 1 on esitetty rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä hierarkiapuun avulla. Näillä tekijöillä on tiettyjä *ominaisuuksia*, joiden avulla selvitetään kunkin tekijän vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Samat tekijät ja niiden ominaisuudet vaikuttavat myös muuhun arkkitehtoniseen laatuun. Tekijöitä ovat esimerkiksi ikkuna, ilmanvaihto ja lämmitys. Vastaavasti ominaisuuksia ovat esimerkiksi ikkunan koko, ikkunan suuntaus, ilmanvaihdon ohjaustapa, ilmanvaihdon määrä, sisälämpötila jne. Ohjausmallissa tarkasteltavia ominaisuuksia on lähes 70. Kuvassa 1 on esitetty rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä hierarkiapuun avulla. Ylimmällä mittakaavatasolla on tarkasteltu erikseen tontin ja rakennuksen vaikutusta energiatehokkuuteen. Toisella mittakaavatasolla on tarkasteltu rakennuksen vaipan, toiminnallisten ominaisuuksien ja tavoiteltavien olosuhteiden vaikutusta energiatehokkuuteen, jotka kolmannella jakautuvat edelleen tekijöihin. Totutumpien näkökulmien lisäksi ohjausmallissa tarkastellaan myös käytön ja sen myötä arkkitehtuurin tilasuunnittelun vaikutusta energiatehokkuuteen. Koska arkkitehtuurin tilasuunnittelun vaikutus energiatehokkuuteen

ilmenee usein välillisesti talotekniikan kautta, on taloteknisten tekijöiden vaikutusta oleellista arvioida erikseen.

| | Suunnittelukohde | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittakaavataso 1: Rakennettu ympäristö | Rakennus | | | Tontti | | |
| Mittakaavataso 2: Rakennus | Rakennus-vaippa | Tilat ja käyttö | Olosuhteet | Fyysiset tekijät | Toiminnalliset tekijät | Olosuhteet |
| Mittakaavataso 3: Rakennusosa (tekijät) | US, YP, ikkunat jne. | Pää-, apu- ja kulkutilat jne. | LVIS, luonnonvalo | Lähiympäristö, topografia jne. | Kulkutilat, oleskelutilat | Pienilmasto, ilmansuunnat |

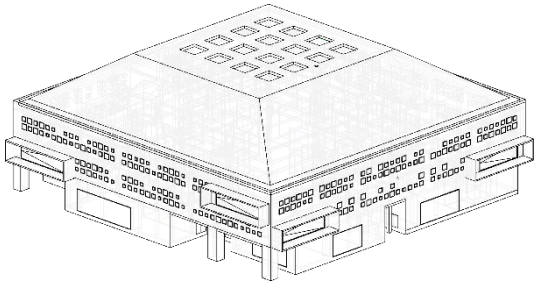
*Kuva 1. Suunnittelukohde jaettuna tekijöihin hierarkisesti eri mittakaavatasoille.*

## 3. Tutkimusmenetelmä

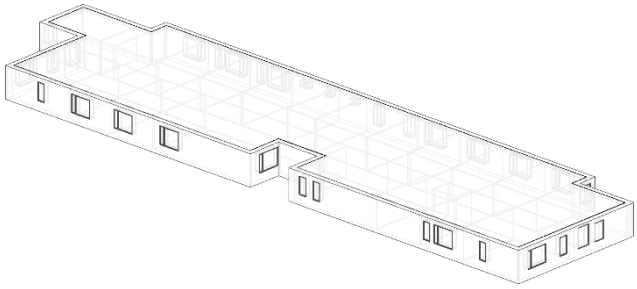
Energiatehokkuutta on tarkasteltu kahdella rakennustyypillä (peruskoulu ja ryhmäkoti) tehdyillä energiasimuloinneilla. Kustakin tarkasteltavasta ominaisuudesta on luotu 2–4 keskenään vertailukelpoista varianttia. Muuttujana varianteissa on vain yksi ominaisuus kerrallaan. Varianteille on suoritettu laskentatarkastelut dynaamisella energiasimulointiohjelmalla. Saatuja tuloksia tarkastellaan keskenään ja verrataan RakMK D3 mukaisella standardikäytöllä [1] simuloituun perustapaukseen.

### 3.1 Aineisto

Case-kohteena ovat vuonna 2019 valmistuva Jätkäsaaren peruskoulu Helsingissä (Aarti Ollila Ristola Arkkitehdit Oy), sekä ryhmäkoti ”tyyppimalli I”. Tyyppimalli I on 30 suomalaisen palveluasumiskohteen ryhmäkodeista muodostettu keskiarvoinen yksikkö.



*Kuva 2. Peruskoulu, Jätkäsaaren peruskoulu.*



*Kuva 3. Ryhmäkoti, tyyppimalli I.*

### 3.2 Laskentamenetelmä

Ominaisuuksista muodostetut variantit on simuloitu IDA ICE 4.7.1 -simulointiohjelmalla. Varianteissa vakiona on pidetty simuloitava rakennusmassa sekä rakennuksen tekniset ominaisuudet (mm. U-arvot, ilmatiiveys, ilmanvaihdon lämmöntalteenotto, sisälämpötilat, energiamuoto). Käyttöaikana on kunkin rakennustyypin mukaiset standardikäytön käyttöajat [1].

## 4. Tulokset

Tuloksia tarkastellaan vuosittaisen ostoenergiankulutuksen (kWh/a) kautta sekä joissakin tapauksissa myös E-luvun (kWh/m$^2$/a) kautta. Ohjausmallissa tuodaan esille eri tekijöiden ja ominaisuuksien suhteellinen vaikutus energiatehokkuuteen ja pohditaan kunkin ominaisuuden

vaikutusta arkkitehtoniseen laatuun. Vaikutusta laatuun arvioidaan asteikolla 1–3, kunkin ominaisuuden merkittävyyden mukaan.

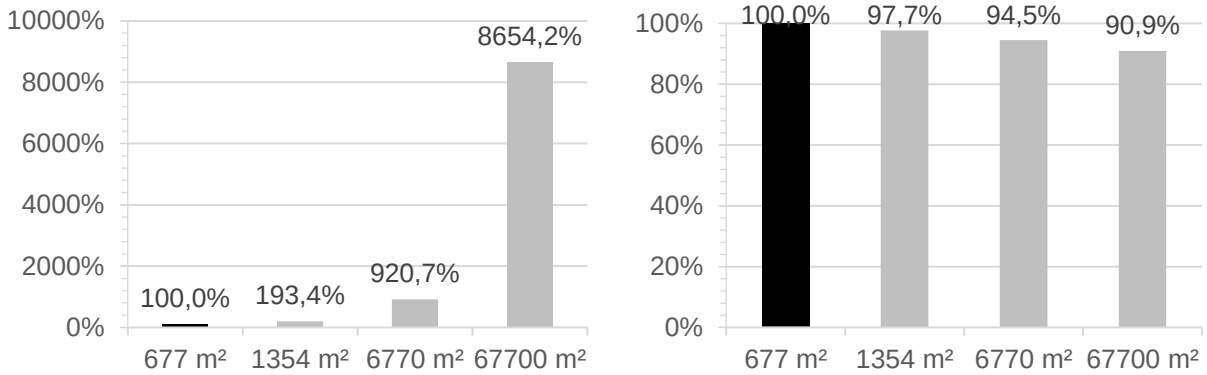
Kaikkia ominaisuuksia ei voida arvioida pelkästään energiankulutuksen perusteella. Yhtenä tarkasteltavana tekijänä on rakennuksen tilat ja niiden käyttö. Käytön lisääntyessä energiankulutus kasvaa mutta energiankulutus henkilöä ja käytettyä tuntia kohti pienenee. Tilojen käytön arvioimiseen tarvitaankin uudenlaisia menetelmiä. Näin ollen tässä artikkelissa tarkastellaan tuloksia perinteisen vuosittaisen ostoenergiankulutuksen ja E-luvun lisäksi myös käyttötehokkuusluvun (energiankulutus/henkilökäyttötunti) kautta. Käyttötehokkuusluvun avulla voidaan paremmin arvioida käytön vaikutusta energiatehokkuuteen.

Ohjausmallissa esitetään laskentatuloksia useasta erilaisesta energiatehokkuuteen vaikuttavasta ominaisuudesta. Tässä artikkelissa laajasta kokonaisuudesta nostetaan esiin muutama mielenkiintoinen, yksittäinen tulos.

### 4.1 Rakennuksen koko

Rakennuksen koko eli lämmitetty nettoala vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuteen. Koko vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen lisäävästi (mitä suurempi rakennus, sitä suurempi ostoenergiankulutus), mutta E-lukuun pienentävästi (mitä suurempi rakennus, sitä pienempi E-luku).

Perustapausta (677 $m^2$) on skaalattu kaksinkertaiseksi (1354 $m^2$), kymmenkertaiseksi (6770 $m^2$) ja satakertaiseksi (67700 $m^2$) niin, että aukotuksen prosentuaalinen osuus vaipasta on pidetty vakiona. Varianttien ostoenergiankulutus ei kasva koon kanssa samassa suhteessa: esimerkiksi variantin 3 ostoenergiankulutus ei kymmenkertaistu vaan 9,2-kertaistuu. Koska E-luku muodostetaan jakamalla energiamuotojen kertoimilla painotettu ostoenergiankulutus nettoalalla, vastaavan variantin E-luku pienenee yli 5 %.



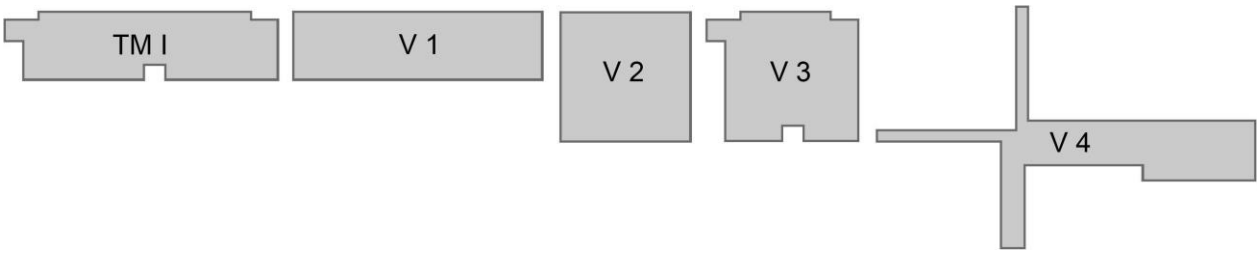

*Kuvat 4 ja 5. Koon vaikutus energiatehokkuuteen. Vasemmalla ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen (tyyppimalli I, lämmitetty nettoala 677 $m^2$), oikealla E-luku suhteessa perustapaukseen. Muuttuja: rakennuksen lämmitetty nettoala.*

### 4.2 Rakennuksen muoto

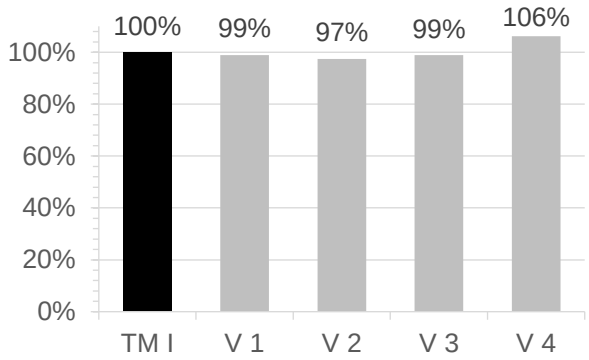
Rakennuksen muoto vaikuttaa vaipan pinta-alaan ja nurkkien kautta kylmäsiltojen määrään. Mitä mutkikkaampi muoto, sitä enemmän vaippaa ja siitä syntyviä johtumishäviöitä. Monimutkaisen muodon aiheuttama vaipan lisääntyminen ja sen myötä johtumishäviöiden kasvu on kuitenkin vähäinen. Nykymääräysten mukaisilla hyvillä seinärakenteiden U-arvoilla (vertailussa käytetty RakMKD3 vertailuarvoja [1]) muodon merkitys energiatehokkuuteen jää kokonaisuudessa

pieneksi. Variantti 4 (mutkikas) on ostoenergiankulutukseltaan 6 % suurempi kuin perustapaus. Näistä varianteista ”paras” muoto on neliö neljällä nurkalla. Tosin erot varianttien välillä ovat hyvin pieniä.

Arkkitehtuurin kannalta muodolla on suurta merkitystä. Muun muassa rakennusmassan esteettisyys, tontin muoto, toiminnallisuus ja tilojen sijoittelu ohjaavat rakennuksen muotoilua. Massan monotonisuus voi johtaa esteettisiin ongelmiin, syvä runko hankaloittaa tilojen sijoittelua luonnonvalon äärelle eikä monimutkaista tilaohjelmaa saa helposti sijoiteltua yksinkertaiseen muotoon.




*Kuva 6. Muodon vaikutus energiatehokkuuteen. Tutkittujen varianttien pohjapiirustukset. Vasemmalla perustapaus (tyyppimalli I, TM I) ja variantit 1–4.*



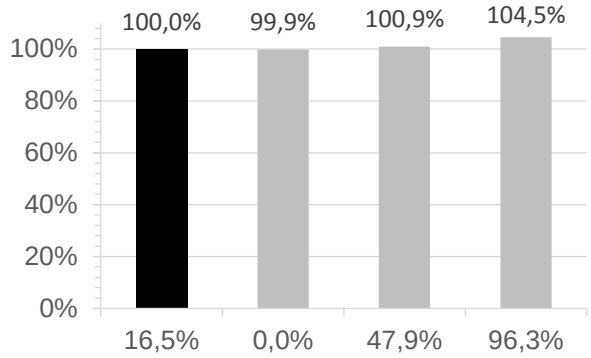

*Kuva 7. Muodon vaikutus energiatehokkuuteen. Ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen (tyyppimalli I, 14 nurkkaa). Muuttuja: rakennuksen muoto.*

### 4.3 Ikkunoiden koko

Ikkunoiden koolla on neljänlaisia vaikutuksia energiatehokkuuteen: ikkunoiden johtumishäviöt ovat muuta seinärakennetta suuremmat, toisaalta niiden kautta saadaan merkittävä osa rakennukseen passiivisesta lämpöenergiasta. Suuret ikkunat saattavat kuitenkin aiheuttaa ylikuumenemista ja samalla lisätä jäähdytystarvetta. Tämä taas heikentää rakennuksen energiatehokkuutta. Ikkunoiden koko vaikuttaa myös päivänvalon määrään ja siten valaistukseen kuluvan energian määrään. Tässä vertailussa ei ole huomioitu jäähdytystarvetta tai luonnonvalon vaikutusta. Ikkunoiden koolla on suhteellisen vähän merkitystä energiatehokkuuteen. Variantti 4 jossa ikkunoita on julkisivusta lähes 100 %, on energiatehokkuudeltaan n. 5 % huonompi perustapaukseen verrattuna. Kun variantti simuloidaan valaistustarve huomioiden, päivänvalo-ohjauksella, on ero perustapaukseen vain 1,8 %. Kun lisäksi huomioidaan jäähdytystarve, on ero taas 5 %. Jäähdytystarvetta voi pienentää ikkunoiden varjostuksella. Varjostuksen tulee kuitenkin olla säädeltävä, esimerkiksi lasien välissä olevat sälekaihtimet.

Ikkunat ovat olennainen osa arkkitehtonista kokonaisuutta, massoittelua, sommittelua ja muita esteettisyyteen vaikuttavia tekijöitä. Ikkunoilla on erityisesti viihtyisyyteen ja täten

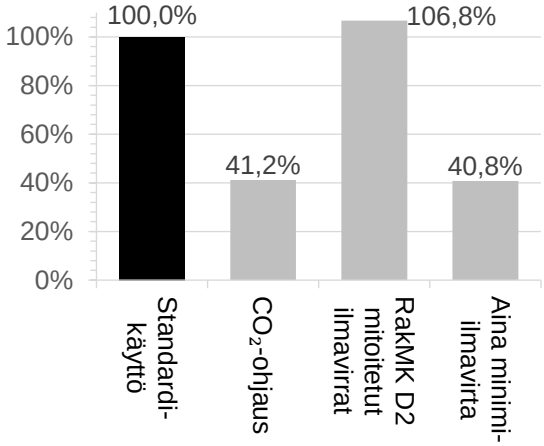
arkkitehtoniseen laatuun vaikuttavia arvoja kuten valoisuus, näkymät ulos ja ulkoa sisälle sekä tilan tuntu.




*Kuva 8. Ikkunoiden koon vaikutus energiatehokkuuteen. Ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen (tyyppimalli I, ikkunat 16,5 % julkisivusta). Muuttuja: ikkunoiden koko.*

### 4.4 Ilmanvaihdon ohjaus

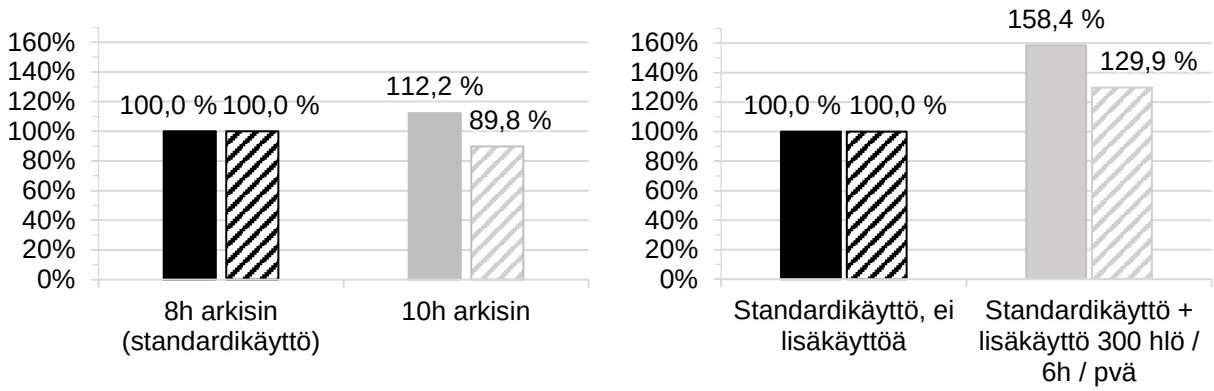
Ilmanvaihdon $CO_2$ -ohjauksella on merkittävä vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Ilmanvaihdon ohjaaminen hiilidioksiditason mukaan paransi energiatehokkuutta tarkastellussa koulurakennuksessa standardikäytöllä yli 30 % ja ryhmäkotirakennuksessa lähes 60 % (kuva 9). Ryhmäkotitapauksessa standardikäytön mukainen henkilöiden määrä on hyvin pieni. Laskennallisesti ilmanvaihto ei juuri poikkea määräysten [2] esittämästä minimitasosta (kuva 10).




*Kuva 9. Ilmanvaihdon $CO_2$-ohjauksen vaikutus energiatehokkuuteen. Ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen. Ryhmäkoti, vakioilmavirta 2l/($sm^2$)) Muuttuja: ilmamäärä.*

### 4.5 Tilojen käyttöaste

Kun tilojen käyttö lisääntyy, lisääntyy myös energiankulutus. Tilojen käyttöasteen vaikutusta energiatehokkuuteen on tutkittu sekä ostoenergiankulutuksen että käyttötehokkuusluvun kautta (energiankulutus/henkilökäyttötunti). Käyttötehokkuusluku pienenee (eli paranee) tilojen käytön lisääntyessä (kuva 10). Kuvassa 11 on simuloitu koulurakennuksen variantti, jossa pääkäytön lisäksi 300 henkeä käyttää kaikkia tiloja 6 tunnin ajan koulupäivän jälkeen sekä viikonloppuisin. Tämän tyyppinen, ajallisesti ja/tai henkilömäärällisesti vähäinen lisäkäyttö ei kuitenkaan paranna energiatehokkuutta koska ostoenergiankulutuksen lisäksi myös käyttötehokkuusluku kasvaa.




*Kuvat 10 ja 11. Käyttöasteen vaikutus energiatehokkuuteen. Ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen (peruskoulu, standardikäyttö). Muuttuja: käytön määrä, kesto ja henkilömäärä.*

*Ostoenergiankulutus kWh/a suhteutettuna perustapaukseen*

*Käy Käyttötehokkuusluku (kWh/(hlö*h)) suhteutettuna perustapaukseen*

## 5. Yhteenveto

Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjausmalli osoittaa, että usein yksittäisellä ominaisuudella on hyvin pieni vaikutus energiatehokkuuteen. Esimerkiksi massan muoto tai ikkunan koko ei juuri vaikuta rakennuksen energiatehokkuuteen. Näillä ominaisuuksilla on kuitenkin merkittävä vaikutus muihin arkkitehtonisiin laatutekijöihin. Rakennusten energiatehokkuutta parannettaessa huomion tulisikin kiinnittyä kokonaisuuteen. Esimerkiksi vaipan ominaisuuksien lisäksi olisi hyvä keskittyä tilojen ja käytön suunnitteluun. Lisäksi perinteisten energiatehokkuutta ilmaisevien indikaattoreiden rinnalle tarvitaan uudenlaisia arviointikeinoja, jotka tuovat esille kokonaisvaltaisesti eri näkökulmia.

## Lähdeluettelo

[1] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3 Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, Helsinki 2011

[2] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2003, Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto, Helsinki 2002