



## Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto

### Citation

Moisio, M., Kaasalainen, T., Lehtinen, T., & Hedman, M. (2018). Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto. (Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin laboratorio. Asuntosuunnittelu. Julkaisu; Vuosikerta 32). Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin laboratorio.

### Year

2018

### Version

Publisher's PDF (version of record)

### Link to publication

[TUTCRIS Portal \(http://www.tut.fi/tutcris\)](http://www.tut.fi/tutcris)

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright, please contact [cris.tau@tuni.fi](mailto:cris.tau@tuni.fi), and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

MALIN MOISIO, TAPIO KAASALAINEN,  
TARU LEHTINEN, MARKKU HEDMAN

# ENERGIATEHOKKAAN ARKKITEHTISUUNNITTELUN OHJEKORTISTO

Tampereen teknillinen yliopisto  
Arkkitehtuurin laboratorio, Asuntosuunnittelu  
COMBI-hanke, Tampere 2018





TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
Arkkitehtuurin laboratorio  
Asuntosuunnittelu  
Julkaisu nro 32

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
School of Architecture  
Housing Design  
Publication no 32

MALIN MOISIO, TAPIO KAASALAINEN, TARU LEHTINEN, MARKKU HEDMAN

ENERGIATEHOKKAAN  
ARKKITEHTISUUNNITTELUN  
OHJEKORTISTO

COMBI-HANKE

ISBN 978-952-15-4284-8 (nid.)  
ISBN 978-952-15-4285-5 (PDF)  
ISSN 2242-4598

ESIPUHE

Energiatehokkuuden parantaminen on keskeinen keino edistää ekologisuutta rakennusalalla, joka kattaa yli kolmasosan maailman energiankulutuksesta sekä kasvihuonekaasupäästöistä. Huoli ilmaston lämpenemisestä ja ympäristöstä mediassa osoittaa, että aihe on eittämättä ajankohtainen ja tärkeä, ja uusille ekologisille ratkaisuille on jatkuvasti tarvetta. Koska rakennusala on yksittäisenä toimijana suuri, on sillä vaikutusta, mihin suuntaan alaa kehitetään. Tämän tutkimuksen tavoitteena on tarjota kokoelma konkreettisia ratkaisumalleja energiatehokkaaseen ja siten ekologiseen rakentamiseen, sekä avata läpinäkyvästi suunnitteluratkaisujen vaikutusta osana rakennusta kokonaisuutena. Koska julkaisun pääpaino on arkkitehtonisissa ratkaisuisissa ja koska myös energiatehokkaat rakennukset rakennetaan ennen kaikkea ihmisiä, käyttöä ja viihtymistä varten, on laadulliset näkökulmat nostettu tässä julkaisussa vahvasti laskennallisen energiatehokkuuden rinnalle.

Tämä julkaisu on laadittu Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) Arkkitehtuurin laboratoriossa Asuntosuunnittelun tutkimusryhmässä (ASUTUT). Tutkimus on toteutettu vuosina 2015–2018 osana TTY:n vetämää ja Tekesin (Business Finland) rahoittamaa COMBI-hanketta (Comprehensive Development of Nearly Zero-Energy Municipal Service Buildings), jonka tavoitteena on ollut tarkastella palvelurakennusten energiatehokkuuden parantamista lähes nollaenergiatasoon kokonaisvaltaisesti. Tämä julkaisu on loppujulkaisu COMBI-hankkeen Arkkitehtonisten ratkaisujen vaikutus energiatehokkuuteen -työpakettille (WP2), jonka tarkoituksena on puolestaan ollut tarkastella energiatehokkuutta arkkitehtuurin ja tilasuunnittelun kautta. Tämän loppujulkaisun lisäksi työpaketti on tuottanut useita muita julkaisuja tieteellisistä joulunartikkelista diplomitoihin, kaikki aiheiltaan kytköksissä tähän julkaisuun.

Haluamme kiittää COMBI-hankkeen vastuullista johtajaa Juha Vinhaa sekä kaikkia COMBI-hankkeen rahoittajia, jotka mahdollistivat projektin toteuttamisen. Erityisesti haluamme kiittää WP2-työpaketin rahoittajia Arkkitehtipalvelu Oy:tä ja Arkkitehtitoimisto Neva Oy:tä. Erityiskiitos kuuluu myös Tampereen, Helsingin ja Espoon kaupungeille sekä Aarti Ollila Ristola Arkkitehdeille (AOR) julkaisussa käytettävästä aineistosta. Energiasimuloinneissa konsultoinnista kiitokset Mika Vuolteelle ja Erkki Karjalaiselle EQUA Simulation Finland Oy:lta ja Antti Mäkiselle Tampereen ammattikorkeakoulusta (TAMK). Kiitokset aktiivisesta osallistumisesta työpakettimme kokouksiin kuuluvat Tero Wémanille Arkkitehtipalvelu Oy:ltä, Pirkko Pihlajamaalle ja Kari Kallioharjulle TAMK:lta, Juhani Heljolle ja Olli Teriölle TTY:ltä sekä Jarmo Mäenpäälle Uponor Suomi Oy:lta. Kiitos julkaisun aineiston kommentoinnista edellä mainittujen lisäksi myös COMBI-hankkeen projektipäällikölle Anssi Laukkariselle TTY:ltä.

Joulukuu 2018

Tekijät

## Liittyvät julkaisut

### **Potential of space zoning for energy efficiency through utilization efficiency**

Lindberg, T., Kaasalainen, T., Moisio, M., Mäkinen, A., Hedman, M. & Vinha, J. (joulunartikkeli). 2018. *Advances in Building Energy Research*. DOI: 10.1080/17512549.2018.1488619.

### **Peruskoulut ja energiatehokkuus – Tilallisista ja toiminnallisista suunnitteluperiaatteista**

Lehtinen, T., Papinsaari, A., Kaasalainen, T., Moisio, M. & Hedman, M. (julkaisu). 2018.

### **Ikääntyneiden tehostettu palveluasuminen – Tilallisten ratkaisujen tehokkuudesta ja toimivuudesta**

Kaasalainen, T., Lehtinen, T., Moisio, M. & Hedman, M. (julkaisu). 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 suunnitteluratkaisuisista energiatehokkuuden ja hiilijalanjäljen näkökulmista**

Lindberg, T. (diplomityö). 2015.

# SISÄLLYS

1.	JOHDANTO.....	1
1.1.	JULKAISUN TAVOITTEET JA RAKENNE .....	2
1.2.	COMBI-HANKE .....	3
2.	ENERGIALASKENTA.....	5
2.1.	ENERGIALASKENTA SUOMEN LAINSÄÄDÄNNÖSSÄ .....	6
2.1.1.	Ostoenergiankulutus .....	6
2.1.2.	E-luku .....	7
2.2.	MUITA ENERGIATEHOKKUUDEN ARVIOINTIKEINOJA .....	7
2.2.1.	Muotokerroin .....	7
2.2.2.	Tilatehokkuus .....	8
2.2.3.	Käyttötehokkuus.....	8
2.2.4.	Hiilijalanjälki.....	9
3.	OHJEKORTISTON MUODOSTAMISPERIAATTEET .....	11
3.1.	TAVOITTEET JA TARKOITUS.....	12
3.2.	RAKENNE.....	12
3.2.1.	Hierarkiapuu.....	13
3.2.2.	Ohjekortisto.....	14
3.3.	RAJAUS JA LÄHDEAINEISTO .....	14
3.3.1.	Ryhmäkodit .....	15
3.3.2.	Peruskoulut .....	15
3.4.	TARKASTELUMALLIT .....	16
3.4.1.	Ryhmäkodit .....	16
3.4.2.	Peruskoulut .....	17
3.5.	LASKENTAMENETELMÄ .....	17
3.6.	LASKENTATULOSTEN ARVIOINTITAVAT .....	19
3.6.1.	Ostoenergiankulutus .....	20
3.6.2.	E-luku .....	20
3.6.3.	Käyttötehokkuus.....	21
3.6.4.	Arkkitehtoninen laatu .....	21





# 1. JOHDANTO



Rakennusten energiatehokkuus on kansainvälisesti keskeinen keino vähentää rakennusalan kasvihuonekaasupäästöjä ilmastonlämpenemisen etenemisen estämiseksi. Useiden tutkimusten ja raporttien valossa rakennusala vastaa noin 40 %:sta sekä maailman energiankulutuksesta että kasvihuonekaasupäästöistä (Euroopan komissio, 2016; IPD, 2010; Vehviläinen et al., 2010). Tästä johtuen Euroopan unionin EPBD-energiatehokkuusdirektiivin (Energy Performance of Buildings Directive) mukaan kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia (nZEB, nearly Zero Energy Building) vuoden 2020 alusta lähtien (Euroopan komission direktiivi, 2010). Julkisten rakennusten kohdalla direktiivi astuu voimaan jo vuoden 2019 alusta, joten palvelurakennusten, kuten koulujen tai erityisryhmien palveluasumisen yksiköiden, tulee olla edelläkävijöitä energiatehokkuuden parantamisessa.

Kuten muuallakin Euroopassa energiatehokkuusdirektiivin myötä, myös Suomessa EU-jäsenmaana ilmastonlämpenemisen torjumista lähestytään lähinnä energiatehokkuuden näkökulmasta. Näin ollen Suomen rakentamislainsäädäntö on muutoksessa vuoden 2018 alusta lähtien, mukaan lukien energiatehokkuuteen liittyvät määräykset ja asetukset. Samalla määritellään kansallisen lähes nollaenergiarakentamisen kriteerit sekä laskentamenetelmät. Lähes nollaenergiatason saavuttaminen vaatii muutoksia, tutkimusta ja uudenlaisia suunnitteluratkaisuja rakennusosalle niin arkkitehtuurin, rakenne- ja talotekniikan kuin suunnittelu- ja rakennusprosessinkin osalta.

Arkkitehtuurin suunnitteluratkaisut muodostavat rakennuksen energiankulutuksen lähtötason jo kaavoituksessa sekä tarve-, hanke- ja luonnossuunnitteluvaiheissa, joissa määritellään muun muassa rakennuksen käyttötarkoitus, tilaohjelma, muoto ja suuntaus. Hankkeen alussa määritellään myös toiminnalliset sekä visuaaliset ratkaisut, jotka ovat palvelurakennusten kohdalla erityisen tärkeitä ja voivat poiketa toisistaan merkittävästi. Haasteena on, että vaikka arkkitehtisuunnittelun tunnustetaan olevan energiatehokkuuden kannalta merkittävässä roolissa, ei sen vaikutus juurikaan ilmene laskennallisesti muun muassa taloteknisten ratkaisuiden dominoidessa nykyisessä lähes nollaenergiatason tavoittelussa. Rakennuksen suuntauksen, vaipan muodon, tilaohjelman tehokkuuden eli koon ja ikkunoihin liittyvien suunnitteluratkaisuiden ajatellaan kuitenkin olevan keskeisiä arkkitehtuurin tekijöitä vaikuttaen niin energiatehokkuuteen kuin sisäolosuhteisiin ja käytettävyyteenkin.

## 1.1. JULKAISUN TAVOITTEET JA RAKENNE

Tässä julkaisussa tarkastellaan arkkitehtuurin suunnitteluratkaisujen vaikutusta rakennusten energiatehokkuuteen suhteutettuna rakenne- ja taloteknisiin ratkaisuihin. Rakennusten energiatehokkuuden tarkastelussa haasteena on, ettei erilaisia todellisia kohteita voida täysin vertailla keskenään muun muassa sijainnin, kokoluokan, tilaohjelman tai arkkitehtonisen perusratkaisun poikkeavuuksien takia, minkä vuoksi tässä tarkastelussa muodostetaan vertailukelpoisia tarkastelutapauksia teoreettisen tutkimuksen kautta. Näin saadaan selville toisaalta

*Lähes nollaenergiarakennuksella tarkoitetaan rakennusta, jolla on erittäin korkea energiatehokkuus, sellaisena kuin se on määriteltä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2010/31/EU liitteen 1 mukaisesti. Tarvittava lähes olematon tai erittäin vähäinen energian määrä katetaan hyvin laajalti uusiutuvista lähteistä peräisin olevalla energialla, mukaan lukien paikan päällä tai rakennuksen lähellä tuotettava uusiutuvista lähteistä peräisin oleva energia.*

*Harmaa, kursivoitu teksti sisältää kautta julkaisun kulloistakin leipätekstin aihepiiriä sivuavaa pohdintaa ja täydentäviä näkökulmia.*

niin sanottujen perinteisten ratkaisujen ja toisaalta uudenlaisten, tässä julkaisussa esitettyjen ratkaisumallien suuruusluokka kokonaisuudessa. Keskeisenä tavoitteena on selvittää mahdollisimman kattavasti arkkitehtuurin suunnitteluratkaisujen vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen nykyisillä kehittyneillä eri alojen suunnitteluratkaisuilla sekä päivittyneillä laskentamenetelmillä ja -arvoilla tarkasteluina.

Julkaisun luvussa 1 avataan aluksi energiatehokkaan rakentamisen taustaa, siihen liittyvää kansainvälistä kontekstia ja arkkitehtisuunnittelun kytköksiä energiatehokkuuteen. Luvussa 2 avataan nykyisiä tyypillisiä ja toisaalta vaihtoehtoisia energialaskennan keinoja. Luvussa 3 kuvataan tutkimuksen tarkastelumenetelmä ja tarkasteluissa käytetty aineisto. Luku 4 sisältää ohjekortiston, jossa käydään läpi yksittäin omassa kortissaan jokainen tarkasteltu ominaisuus, ominaisuuden laskennalliset simulaatiotulokset ja tulosten johtopäätökset. Lopun yhteenvetoluvussa 5 kiteytetään tutkimuksen keskeiset havainnot ja esitellään nousseita jatkotutkimusaiheita.

## 1.2. COMBI-HANKE

Tämä julkaisu on tehty osana Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) vetämää COMBI-hanketta (Comprehensive Development of Nearly Zero-Energy Municipal Service Buildings), jossa tarkastellaan kokonaisvaltaisesti palvelurakennusten energiatehokkuuden parantamista lähes nollaenergiatasoon. Palvelurakennuksia hankkeen yhteydessä ovat koulut, päiväkodit, sairaalat ja erityisryhmien palveluasumisen yksiköt. COMBI on osa Tekesin (Business Finland) Innovatiiviset kaupungit (INKA) -ohjelmaa. Hankkeessa on TTY:n lisäksi mukana kahdeksan pirkanmaalaista kuntaa Tampereen johdolla, Helsingin kaupunki, Aalto-yliopisto ja Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK) sekä 37 yritystä.

COMBI-hankkeen keskeisenä tavoitteena on mahdollisimman laaja-alainen tarkastelu lähes nollaenergiapalvelurakennuksiin liittyen. Tällaisessa kokonaisvaltaisessa tarkastelussa otetaan huomioon lähes nollaenergiatason vaatimusten vaikutus rakennuksen arkkitehtuuriin ja tiloihin (WP2), rakenneratkaisuihin ja sisäilmaolosuhteisiin (WP3), talotekniisiin järjestelmiin ja uusiutuvan energiantuotannon ratkaisuihin (WP4) sekä rakentamisen prosesseihin ja rakennuksen ylläpitoon (WP5). Lisäksi hankkeen tavoitteena on parantaa palvelurakennusten energiatehokkuutta siten, että ratkaisut täyttävät myös muut kansalliset vaatimukset ja tavoitteet, joita ovat esimerkiksi korkealaatuisuus, terveellisyys, riskittömyys, taloudellisuus, viihtyisyys, muuntojoustavuus, ympäristöystävällisyys ja pitkäaikaiskestävyys.

Arkkitehtonisten ratkaisujen vaikutus energiatehokkuuteen (WP2) -työpaketti koostuu neljästä tutkimusosiosta: palvelurakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavista arkkitehtonisista perusratkaisuista (T2.1), tulevaisuuden energiatehokkaista suunnitteluratkaisuista (T2.2), energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjausmallista (T2.3) sekä arkkitehtonisia ja tilasuunnitteluun liittyviä ratkai-

suja käsittelevästä ohjeistuksesta (T2.4). Tässä julkaisussa käsitellään työpaketin kaikkia edellä mainittuja tutkimusosioita, pääpainon ollessa osioon T2.3 vastavassa energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortistossa.

## 2. ENERGIALASKENTA



## 2.1. ENERGIALASKENTA SUOMEN LAINSÄÄDÄNNÖSSÄ

Rakennusten energiatehokkuutta ohjataan Suomessa kansallisella lainsäädännöllä, joka on linjassa Euroopan unionin direktiivien kanssa. Lainsäädännössä määritellään ostoenergiankulutuksen ja E-luvun laskentatavat, minkä vuoksi nämä kaksi ovat myös yleisimmin käytetyt energiatehokkuuden arviointikeinot Suomessa.

Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) mukaan energiatehokkuuden vähimmäisvaatimusten täytyminen on osoitettava laskelmilla rakennuslupahakemuksen yhteydessä. Laskelmat on myös osoitettava rakennus- tai toimenpideluvanvaraisten korjaus- ja muutostöiden sekä käyttötarkoituksenmuutosten yhteydessä. Nykyinen määräystenmukaisuuden osoittaminen edellyttää E-lukulaskentaa. (A 1010/2017)

Energialaskennan voi suorittaa joko kuukausitason laskentamenetelmällä tai dynaamisella laskentamenetelmällä (RakMK D3, 2012). Kuukausitason laskentamenetelmä tarkoittaa kuukausien keskiarvojen mukaan suoritettua energialaskentaa ja sitä voidaan käyttää rakennuksissa, joissa ei ole jäähdystystä. Muiden rakennusten energialaskenta tulee suorittaa dynaamisella laskentamenetelmällä, eli sellaisella tietomalliin perustuvalla energiasimulointiohjelmalla, joka pystyy ottamaan huomioon rakenteiden lämmönvarauskyvyn ajasta riippuvaisena.

### 2.1.1. OSTOENERGIANKULUTUS

Rakennuksen ostoenergiankulutus kuvaa nimensä mukaan rakennukseen ostetun vuotuisen energian määrää kilowattitunteina (kWh/v). Ostoenergiankulutuksessa ei ole otettu huomioon laskennallisia kertoimia ollen siten E-lukua neutraalimpi tapa esittää energiankulutusta (ks. 2.1.2. E-luku). Ostoenergiankulutuksen laskenta on osa energialaskentaa, mutta jää usein E-lukuun nähden toissijaiseksi indikaattoriksi mahdollisesti E-luvun välttämättömyyden ja suurinumeroisen tuloksensa vuoksi. Erona ostoenergiankulutuksen ja E-luvun välillä on, että ostoenergiankulutus pyrkii kuvaamaan todellista energiankulutusta ja E-luku ei ollen enemminkin tunnusluku rakennusten vertailua varten.

Yksinkertaistetusti ostoenergiankulutus saadaan laskemalla ensin rakennuksen nettoenergiantarve, joka koostuu tilojen ja ilmanvaihdon lämmityksen, lämpimän käyttöveden, jäähdystyksen, valaistuksen ja kuluttajalaitteiden vaatimasta energiasta. Tilojen lämmitystarpeessa on otettu huomioon auringosta, ihmisistä, laitteista ja valaistuksesta sekä järjestelmähäviöistä muodostuvat sisäiset lämpökuormat. Ostoenergiankulutuksen määrä saadaan, kun nettoenergiantarpeeseen lisätään vielä järjestelmähäviöt ja tuotot. (Kurnitski, 2012.)

*E-luku on muuttunut ajan saatossa: 1.1.2018 alkaen on Ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 mukaisesti käytetty uusia energiamuotojen kertoimia, minkä myötä saman kohteen E-luku on eri kuin vuoden 2012 rakentamismääräysten mukaisesti laskettuina. Samalla on muuttunut E-luvun täysimittainen nimitys – ennen ”kokonaisenergiankulutus, kWh/m<sup>2</sup>v” ja nyt ”laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku, kWh<sub>e</sub>/m<sup>2</sup>v”, mutta termi E-luku on säilynyt ennallaan. Nämä kaksi E-lukua eivät siis samasta nimestä huolimatta ole keskenään vertailukelpoisia. Muutokset eivät kuitenkaan vaikuta ostoenergiankulutuksen laskennan tuloksiin, joissa energiamuotojen kertoimet eivät ole mukana.*

## 2.1.2. E-LUKU

Rakennuksen E-luku eli kokonaisenergiankulutus saadaan painottamalla laskennallinen ostoenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla ja jakamalla neliömetreillä. Energiamuotojen kertoimet ovat poliittisesta näkökulmasta asetettuja kertoimia eri energiamuodoille (RakMK D3, 2012). E-luku on siis rakennustyyppin standardikäytöllä laskettu ja energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus laskettuna rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden (kWh/m<sup>2</sup>v). E-luku normitetaan Suomessa aina Helsingin ilmasto- ja säädatan mukaan.

On huomattavaa, että E-luku ei pyri kuvaamaan todellista energiankulutusta, vaan toimii tunnustelukuna energiatehokkuuden vertailuun eri suunnitteluratkaisuiden välillä. E-luku ja energialaskelmat vaaditaan aina rakennuslupahakemuksen yhteydessä, jossa rakennukselle annetaan energialuokka (A–G). Eri rakennustyypeillä on lainsäädännössä omat E-luvun raja-arvonsa määräystenmukaisuuden osoittamiseksi.

## 2.2. MUITA ENERGIATEHOKKUUDEN ARVIOINTIKEINOJA

Edellä kuvatun ostoenergiankulutukseen perustuvan laskentatavan lisäksi energiatehokkuutta voidaan arvioida myös muista näkökulmista. Olemassa olevia mittareita on olemassa lukuisia eri painotuksin ja laskentamenetelmin. Merkittävää indikaattoreiden valinnassa ja tulosten tarkastelussa on kuitenkin ymmärrys siitä, että eri laskentakeinot voivat antaa toisistaan poikkeavia tuloksia riippuen valitusta näkökulmasta ja laskentakaavasta. Seuraavassa on poimittuna esimerkkejä arkkitehtuurin kannalta keskeisimmistä indikaattoreista, joissa näkökulmina ovat rakennuksen muoto, tilasuunnittelu, käyttö ja ympäristövaikutukset.

### 2.2.1. MUOTOKERROIN

Yhdeksi tavaksi arvioida rakennuksen energiatehokkuutta on esitetty niin kutsuttu muotokerroin, joka tarkastelee energiatehokkuutta rakennuksen muodon sekä koon energiatehokkuuden kautta. Muotokerroin tarkoittaa yleensä vaipan ulkopinta-alan suhdetta tilavuuteen (A/V) (Lylykangas & Nieminen, 2015). Muotokertoimen käyttö ei ole vakiintunut ja sitä näkee käytettävän erilaisilla kaavoilla. Suomessa ja Pohjoismaissa muotokerroin lasketaan tyypillisesti ulkovaipan pinta-alan suhteena lattiapinta-alaan (A/A) (Lylykangas et al., 2015) lattianeliömetrin ollessa tyypillinen jakaja muissakin energiatehokkuuteen liittyvissä laskelmissa. Näiden lisäksi Lylykangas esittää vaihtoehdoksi painotetun muotokertoimen, jossa lasketaan yhteen vaipan eri osien lämmönläpäisykertoimilla painotetut pinta-alat jaettuna ohjelma-alalla tavoitteena saada totuudenmukaisempi laskentakeino muotokertoimelle U-arvojen lisäämisen avulla.

Muotokerroin on tarkoitettu ennen kaikkea arkkitehdin eri luonnostenvaihtoehtojen ja niiden energiatehokkuuden vertailuun huomioiden rakennuksen muodon, koon sekä U-arvot. Rakennuksen muoto ja koko pohjautuvat kuitenkin muun muassa tontin ominaisuuksiin ja rakennuksen tilaohjelmaan, eikä näin ollen ole irrallinen, puhtaasti esteettinen tai ainoastaan energiatehokkuutta palveleva ominaisuus.

### 2.2.2. TILATEHOKKUUS

Tilatehokkuudella arvioidaan rakennuksen pinta-alaa henkilöä kohden (m<sup>2</sup>/hlö). Vaikka lämmitetty nettoala on keskeinen energiatehokkuuteen vaikuttava tekijä, jää tilatehokkuustarkastelut usein energiatehokkuuslaskelmien ulkopuolelle ollessaan erillinen, itsenäinen indikaattorinsa. Tilatehokkuutta on kuitenkin pyritty integroiimaan osaksi energiatehokkuuden indikaattoreita yhdistyen vahvasti rakennuksen käytön näkökulmiin (Huovila, Tuominen & Airaksinen, 2017; Sekki, 2017). Vaikka tilatehokkuuden pyrkimyksenä on toisaalta tarvittavien neliömetrien minimoiminen, on kuitenkin aina tapauskohtaisesti arvioitava tarvittava tila laatutekijöiden, toiminnallisuuden ja viihtyisyyden näkökulmista.

Tilankäytön tehokkuutta pohjaratkaisussa voidaan arvioida myös hyötyalan ja kokonaispinta-alan välisenä suhteena. Esimerkiksi Oulun rakennusvalvonta on kehittänyt tilankäytön tehokkuuden arviointia (Jääskeläinen, 2010). Tilankäytön tehokkuus on keino tarkastella arkkitehtisuunnitelmien tila- ja energiatehokkuutta pyrkien löytämään mahdollisimman toimivat pohjapiirustuksen ratkaisut. Esimerkiksi liikennealan ja hukkaneliöiden minimoiminen on keino parantaa myös rakennuksen tilatehokkuutta.

### 2.2.3. KÄYTTÖTEHOKKUUS

E-lukua tai ostoenergiankulutusta laskettaessa rakennuksen käytön vaikutus energiatehokkuuteen jää tarkastelun ulkopuolelle. Käytöllä on kuitenkin merkittävää vaikutusta niin käyttöasteen eli käytössä olevan ajan kuin henkilötiheydenkin eli käyttäjien lukumäärän näkökulmista: Käyttöaste vaikuttaa siihen, kuinka monta tuntia päivässä ja kuinka monta päivää vuodessa rakennus on käytössä (kWh/h). Henkilötiheys vaikuttaa puolestaan siihen, kuinka moni henkilö käyttää rakennusta käytössä olevan ajan puitteissa (kWh/hlö). Esimerkiksi koulurakennusten käytön tehostamisella on paljon potentiaalia energiatehokkuuden parantamiseksi lisäämällä ilta- ja viikonloppukäyttöä (Lindberg et al., 2018). Sen lisäksi, että käytössä oleva rakennus on aina tarkoituksenmukaisempi, käytön perusteella tehdään talotekniikan, kuten ilmanvaihdon säädöt vaikuttaen siten energiatehokkuuteen.

Rakennuksen käytön huomioimiseen energiatehokkuuslaskelmissa on esitetty monenlaisia indikaattoreita, mutta yhtä vakiintunutta käytäntöä ei ole. Lindberg et al. (2018) jakavat indikaattorit itsenäisiin indikaattoreihin, jotka toimivat erillisinä energiatehokkuuslaskelmien rinnalla, sekä integroituihin, jotka yhdistyvät

*Muotokerrointa laskettaessa on huomattavaa, että suuremmalla rakennuksella on parempi muotokerroin kuin pienemmällä rakennuksella johtuen ulkovaipan ja rakennusvolyymin/-alan suhteesta. Ympäristövaikutuksia tarkastellessa asia on nurinkurinen, sillä luontevasti ajateltuna suuren rakennuksen rakentaminen ja ylläpito vaatii pientä enemmän materiaaleja, minkä lisäksi tarvittavan lämmitys- ja jäähdytysenergian määrä kasvaa. Itse muodolla on kokoon verrattuna suhteessa pienempi vaikutus muotokertoimen muodostumiseen. Muotokerrointa käytettäessä on siis tärkeää, että joko rakennusten koko vakioidaan muodon vaikutusta tarkasteltaessa, tai muoto vakioidaan koon vaikutusta tarkasteltaessa, jotta vertailtavat tapaukset ovat todella vertailukelpoiset.*

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

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

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



	INDIKAATTORIN NIMI	YKSIKKÖ	LÄHDE	SELITE
Itsenäiset indikaattorit	Energy intensity of usage (EIU)	kWh/v kWh/hlö	Forsström et al., 2011; Huovila et al., 2017; Sekki et al., 2015	v = vuosi hlö = henkilöiden lukumäärä
	Energy intensity of occupancy (EIO) Käyttötehokkuus	kWh/(hlö*h)	Huovila et al., 2017; Lindberg et al., 2018	hlö*h = tuntien summa, jonka kukin käyttäjä viettää rakennuksessa vuoden aikana (henkilökäyttötunti)
Integroidut indikaattorit	Specific energy consumption (SEC)	kWh/m <sup>2</sup> kWh/m <sup>2</sup> v	Ympäristöministeriö, 2011	
	SEC per intensity of occupancy (SEC <sub>IO</sub> )	kWh/m <sup>2</sup> (hlö*h)	Huovila et al., 2017	r = rakennuksen todellisen käyttöasteen ja suurimman mahdollisen käyttöasteen laskennallinen keskiarvo, 0 ≤ r ≤ 1
	SEC adjusted for utilization rate (SEC <sub>UR</sub> )	kWh/m <sup>2</sup> r	Forsström et al., 2011; Huovila et al., 2017; Sekki et al., 2015	u = (hlö*t <sub>avg</sub> )/(A/a <sub>ref</sub> *h <sub>ref</sub> ), jossa t <sub>avg</sub> = keskiarvoinen aika, jonka ihminen viettää rakennuksessa A = kokonaispinta-ala a <sub>ref</sub> = tyypillisen kohteen pinta-ala per henkilö h <sub>ref</sub> = normaalit työtunnit
	SEC adjusted for occupancy and space efficiency (SEC <sub>US</sub> )	kWh/m <sup>2</sup> u	Huovila et al., 2017; Sekki et al., 2015	

### TAULUKKO 2.2.3.a. Suomessa esitettyjä käyttöön liittyviä energiatehokkuusindikaattoreita.

*Käyttöön liittyvien indikaattorien haasteena on ihmisten toiminnan vaikea ennustettavuus ja toisaalta käytön rajoittaminen. Sekin (2017) ja Huovilan et al. (2017) esittämässä SEC<sub>US</sub>-indikaattorissa pyritään löytämään keskimääräinen käyttöaste ja henkilötiheys. Keskimääräisen käytön määrittäminen on mahdollista sellaisissa tapauksissa, joissa käyttö on säännöllistä, kuten koulujen arkipäivinä. Lisätessä käyttöä iltaisin ja viikonloppuisin, tai kun kyseessä on monikäyttöinen monitoimitalo, on keskiarvoja lähes mahdotonta arvioida. Lisäksi indikaattorit on tarkoitettu käytönaikaisen energiankulutuksen arviointiin jälkepäin, eikä suunnittelun ohjaukseen, johon indikaattoreilla olisi tarvetta energiatehokkuuden parantamiseksi. Lindberg et al. (2018) esittävät, että monitoimitaloille tulisi suunnitella käyttövyöhykkeitä, joiden talotekniikka mukautuu käyttöajan ja käyttäjien lukumäärän mukaisesti.*

energiatehokkuuslaskennan kaavoihin sisältäen neliömetrin jakajana. Käyttöön liittyviä, Suomessa esitettyjä indikaattoreita on koottu itsenäiset/integroidut-jaon mukaisesti oheiseen taulukkoon 2.2.3.a.

Käytön ja tilatehokkuuden näkökulmat on pyritty integroimaan energiatehokkuustarkasteluihin muun muassa TkT Tiina Sekin (2017) väitöskirjassa sekä VTT:n (Huovila et al., 2017) journaliartikkelissa (kWh/m<sup>2</sup>(hlö\*h)). Molemmissa esitetään samanlainen indikaattori, jossa on jakajana myös neliometri niin, että rakennuksen energiankulutusta voidaan suhteuttaa suunnitteluarvoihin. Tässä julkaisussa käyttöön ja toisaalta tilasuunnitteluun liittyviä ominaisuuksia tarkastellaan kuitenkin niin kutsutun käyttötehokkuuden kautta (Lindberg et al., 2018). Käyttötehokkuus saadaan jakamalla vuotuinen ostoenergiankulutus henkilötiheyden ja käyttöasteen tulolla (kWh/(hlö\*h)). Koska jakajassa ei ole neliometriä, huomataan, että käyttötehokkuuden tulos saattaa olla vastakkainen perinteiseen ostoenergiankulutuslaskelmaan verrattuna, ja näin yksittäisten tekijöiden vaikutusta laskennalliseen tulokseen on helpompi hahmottaa ja arvioida. Viihtyisyyden ja käytettävyyden näkökulmista käyttötehokkuutta tulee kuitenkin aina tarkastella laatu-tekijöiden rinnalla.

### 2.2.4. HIILIJALANJÄLKI

Kun energiatehokkuutta pyritään tarkastelemaan laajemmin, osana ympäristövaikutuksia, seuraavana megatrendinä on rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen laskeminen. Energiankulutus vastaa yli 60 % rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä (Häkkinen & Ruuska, 2016), joten on perusteltua, että rakennusallalla on pyritty ehkäisemään ilmastolämpenemistä energiatehokkuuden parantamisen kautta yksittäisenä konkreettisenä ja merkittävänä keinona. Energiatehokkuus ei kuitenkaan aina palvele hiilijalanjäljen näkökulmia esittäessään osioptimoinnin lailla juuri vastakkaisia toimenpiteitä (Lindberg, 2015; Vuorinen, 2017). Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki pyrkii rakennuksen kasvihuonekaasupäästöjen vähentä-

miseen rakennuksen koko elinkaaren aikana materiaalien tuotannosta rakennuksen purkamiseen. Hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) on määrällisesti suurin yksittäinen rakennusalan tuottama kasvihuonekaasu, minkä perusteella hiilijalanjälki on saanut nimensä.

Hiilijalanjäljen laskemiselle ei ole vakiintunutta laskentatapaa. Ympäristöministeriön Tiekartta-hankkeessa on pyritty määrittelemään suuntaviivoja kansalliselle hiilijalanjäljen laskennalle niin, että kaikki Suomen rakennukset olisivat vähähiilisiä vuoteen 2025 mennessä (Bionova Oy, 2017). Hiilijalanjäljen laskemiseksi on esitetty neliömetripohjaista menetelmää, jossa energiatehokkuus on liitetty osaksi laskentaa (kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>v). Tuloksiin vaikuttaa kuitenkin merkittävästi valitut päästö- ja energiamuotokertoimet sekä linjaukset esimerkiksi siitä, lasketaanko olemassa olevan rakennuskannan materiaalit mukaan päästöihin vai ei korjausrakentamisen yhteydessä. Tulevat linjaukset vaikuttavat rakentamiseen korjausrakentamisen kannattavuuden lisäksi myös muodon ja materiaalien, ja siten yhä merkittävämmin arkkitehtisuunnittelun kautta.

### 3. OHJEKORTISTON MUODOSTAMISPERIAATTEET



Energiatehokkuutta ja siihen liittyviä suunnitteluratkaisuja tutkitaan ja kehitetään yhä tarkentuvassa mittakaavassa. Kukin suunnittelun osa-alue pyrkii kehittämään parempia yksittäisiä ratkaisuja omasta näkökulmastaan. Koska rakennus on aina kompleksinen yhdistelmä osa-alueita ja tekijöidensä summa, on rakennusta kuitenkin tarkasteltava kokonaisuutena. Tästä syystä Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortistoa laadittaessa on koottu yhteen eri osa-alueet ja näkökulmat niin, että eri suunnitteluratkaisusta saadaan samoilla laskentamenetelmillä tuotettua ja siten vertailukelpoista dataa.

Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto on strukturoitu kokoelma eri suunnitteluratkaisusta ja niiden energiatehokkuusvaikutuksista suhteutettuna kokonaisuuteen. Tässä luvussa kuvataan ohjekortiston tavoitteet ja tarkoitus, rakenne, rajaus ja lähdeaineisto, tarkastelumallien muodostamisen ja laskennan periaatteet sekä arviointitavat.

### 3.1. TAVOITTEET JA TARKOITUS

Ohjekortiston ensisijaisena tarkoituksena on toimia rakennuksen energiatehokkuutta havainnollistavana työkaluna suunnittelijoille kuten arkkitehteille ja eri alojen insinööreille. Havainnollisuuden kautta ohjekortiston tehtävänä on viedä suunnittelua energiatehokkaampaan suuntaan siten, etteivät muut arkkitehtoniset laatutekijät kuitenkaan kärsi, ja esittää keskeiset asiat selkeästi muillekin kuin energiatehokkaan suunnittelun erityisasiantunijoille.

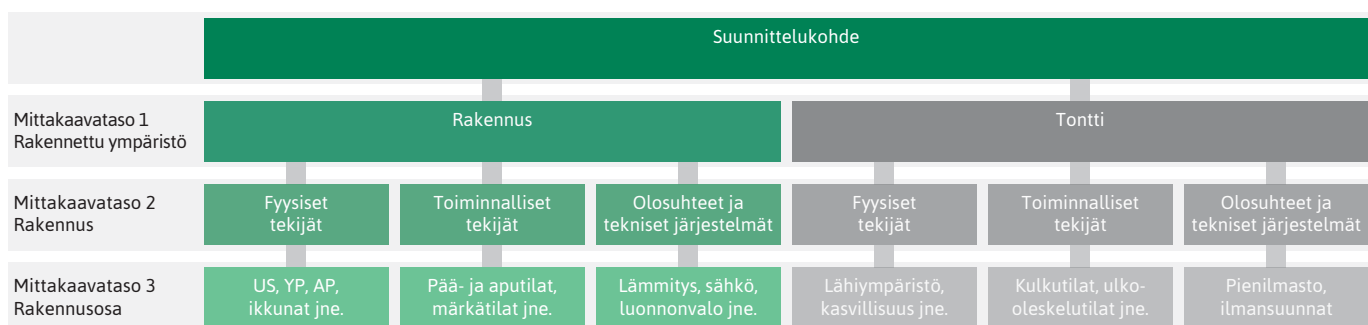
Ohjekortistossa esitetään rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten ikkunat, joiden ominaisuuksia muokkaamalla on selvitetty kunkin tekijän vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen. Suunnittelun ohjauksessa energiatehokkuuden rinnalle on tuotu myös muu arkkitehtoninen laatu. Tämän tarkoituksena on kytkeä rakennuksen eri tekijät yhtenäiseksi kokonaisuudeksi, jossa energiatehokkuuden ja muun arkkitehtonisen laadun yhteydet tunnistetaan ja otetaan huomioon. Tavoitteena ei ole esittää yksittäisiä optimaalisia ratkaisuita, vaan havainnollistaa eri ominaisuuksien osuutta kokonaisuudessa ja kytköksiä toisiinsa.

### 3.2. RAKENNE

Ohjekortisto perustuu suunnittelukohteen hierarkkiseen jaotteluun, jonka kautta käydään läpi yksittäisten tekijöiden vaikutukset energiatehokkuuteen suhteessa kokonaisuuteen. Tässä luvussa esitellään suunnittelukohteen hierarkian sekä itse ohjekortiston peruseriaatteet ja rakenteet.

### 3.2.1. HIERARKIAPUU

Tämän tutkimuksen laskentatarkasteluissa suunnittelukohde on tietyssä paikassa sijaitseva, tietyn käyttötarkoituksen omaava rakennus. Ohjekortiston kokonaisuudessa suunnittelukohteen perusrakenne on strukturoitu systeemi hierarkiapuun muodossa (kuva 3.2.1.a). Hierarkiapuussa tarkasteltava suunnittelukohde on jaettu tasoittain pienempiin osiin eli tekijöihin. Ylemmän tason tekijät on edelleen jaettu alaosiinsa siten, että ne muodostavat loogisia kokonaisuuksia eri mittakaavoissa. Jokainen mittakaavataso käsittää saman suunnittelukohteen kokonaisuudessaan, mutta pilkottuna pienempiin osatekijöihin. Tämän rakenteen avulla havainnollistetaan yksittäisten tekijöiden osuutta energiatehokkuuteen. Kun tekijöitä tarkastellaan omalla mittakaavatasollaan, saadaan käsitys kyseisen tekijän merkityksestä kokonaisuudessa suhteutettuna muihin oman mittakaavansa tekijöihin sekä koko rakennuksen energiatehokkuuteen. Samalla tuodaan esiin eri suunnitteluratkaisujen kytkeytyminen toisiinsa: useat eri tekijät vaikuttavat rakennuksen energiatehokkuuteen, ja toisaalta myös rakennuksen muihin arkkitehtonisiin ominaisuuksiin. Kokonaisuutta ei voida optimoida optimoimalla sen yksittäisiä osasia.



**KUVA 3.2.1.a. Suunnittelukohteen hierarkiapuu.** Kukin taso sisältää suunnittelukohteen kokonaisuudessaan, jaoteltuna eri mittakaavan tekijöihin.

Tämän julkaisun pääpaino on rakennuksen suunnitteluratkaisuissa, minkä vuoksi tonttiin liittyviä tekijöitä on poimittu mukaan tarkasteluihin lähinnä esimerkinomaisesti. Vastaava jaottelu on kuitenkin mahdollista suorittaa täysimääräisesti myös tontin ominaisuuksille.

Tekijät on tässä tutkimuksessa muodostettu energiatehokkuuteen vaikuttavien osa-alueiden kautta. Korkean mittakaavatason tekijöitä ovat esimerkiksi fyysiset ominaisuudet eli rakennusvaipan osat, toiminnalliset ominaisuudet eli tilat ja niiden käyttö, sekä sisäolosuhteet ja niihin liittyvät tekniset järjestelmät. Vastaavasti alemman mittakaavan tekijöitä ovat esimerkiksi ikkunat ja ulkoseinät, märkätilat, sekä lämmitys ja ilmanvaihto. Tekijöillä on tiettyjä ominaisuuksia, joiden muokkaamisen vaikutuksia voidaan laskea tai muulla tavoin arvioida. Ominaisuuksia ovat esimerkiksi ikkunan U-arvo, ikkunan koko, ikkunan suuntaus, rakennuksen muoto, rakennuksen koko tai sisälämpötila. Samat ominaisuudet vaikuttavat usein myös arkkitehtoniseen laatuun. Tekijöiden tavoin myös ominaisuuksia, kuten vaipan tai ikkunan tiiveyttä, voidaan tarkastella eri mittakaavatasoilla. Ohjekortistoa laadittaessa lähtökohtana on ollut tarkastella energiatehokkuutta kunkin ominaisuuden kannalta suunnittelun ohjauksen kannalta olennaisimmalla mittakaavatasolla.

### 3.2.2. OHJEKORTISTO

Ohjekortisto sisältää laskelmat yksittäisten tekijöiden vaikutuksesta energiatehokkuuteen ja laatutekijöihin. Jokaisesta tekijästä on koottu niin kutsuttu ohjekortti, eli aukeaman kokoinen tiivistelmä laskennan periaatteista, keskeisistä tuloksista eri indikaattorein ja niistä tehtävistä havainnoista sekä vaikutuksesta suunniteltuun kuvan 3.2.2.a mukaisesti. Ohjekortti noudattaa samaa rakennetta jokaisen tekijän kohdalla, joten suunnittelija voi nopealla silmäyksellä tarkastaa vaikutukset ostoenergiankulutukseen ja laatutekijöihin ohjekorteissa esitettyjen kuvaajien kautta. Vasemman sivun kuvaajat löytyvät jokaisesta ohjekortista oikean sivun täydentävän materiaalin vaihdellessa tapauskohtaisesti. Tekstiosuuden käsitellyt aiheet on laskentatulosten esitystavan tavoin vakioitu vertailevan tarkastelun helpottamiseksi.



KUVA 3.2.2.a. Esimerkkiaukeama ohjekortistosta.

- 1) Visualisointikuva tarkasteltavasta tekijästä
- 2) Sijainti hierarkiapuussa
- 3) Vaikutus ostoenergiankulutukseen
- 4) Vaikutus arkkitehtonisiin laatutekijöihin
- 5) Vaikutus E-lukuun tai käyttötehokkuuteen (tarvittaessa)
- 6) Numeeriset laskentatulokset
- 7) Tarkastelun kuvaus ja huomiot
- 8) Aiheeseen keskeisimmin liittyvät ohjekortit
- 9) Muuta aiheeseen liittyvää pohdintaa

Ohjekortin laskentatulosten lisäksi tulee tekijää tarkasteltaessa ottaa huomioon tekijän sijainti hierarkiapuussa. Kuhunkin ohjekorttiin kuuluu hierarkiapuun piennös, jossa esitetään tekijän mittakaavataso – onko kyseessä detaljitason suunnitteluratkaisu vai merkittävämmän mittakaavan valinta. Vastaavasti suunnittelija voi noudattaa hierarkiapuun järjestystä edetäkseen suunnittelutyössä suuremmalta mittakaavatasolta kohti detaljitasoa niin, että saman mittakaavatason päätökset osataan tehdä yhtäaikaaisesti. Ohjekortisto on siis tarkoitettu ennen kaikkea suunnittelun avuksi ja tueksi energiatehokkaan, laadusta tinkimättömän kohteen prosessissa.

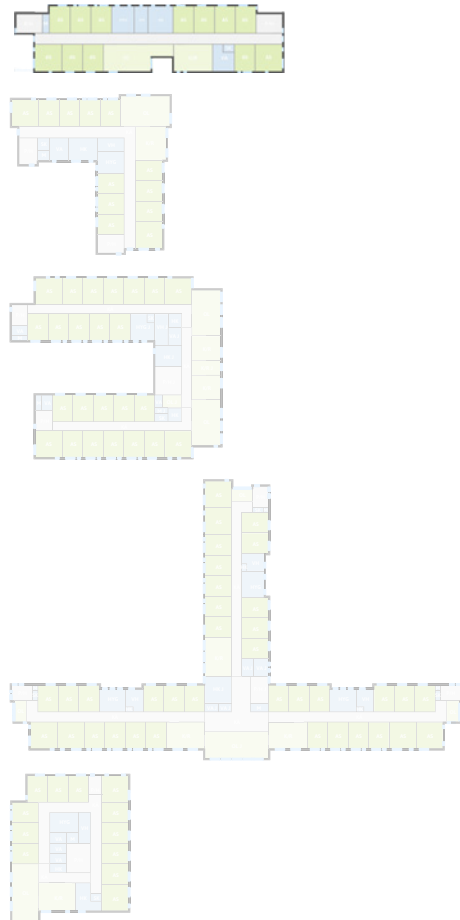
### 3.3. RAJAUS JA LÄHDEAINEISTO

Ylimmän tason rakennustyyppirajauksena tutkimuksessa käytettiin ikääntyneiden tehostettua palveluasumista sekä peruskouluja COMBI-hankkeen laajempaa palvelurakennusten rajausta tarkentaen. Tästä rajausta täsmennettiin edelleen urbaanissa ympäristössä sijaitseviin kohteisiin. Syyinä oli ensisijaisesti se, että kaupunkiympäristö asettaa omanlaisiaan haasteita arkkitehtisuunnittelulle, kuten

esimerkiksi tiiviys, tilatehokkuus ja naapurirakennusten huomiointi muun muassa varjostuksen, näkymien ja pihojen sijoittelun näkökulmista. Tällaiseen ympäristöön tehty tutkimus ja laaditut ratkaisut ovat paremmin sovellettavissa vähemmän rajoittaviin tilanteisiin, kuin päinvastoin. Koska tavoitteena on rakentamisen nykytilan parantaminen, on tarkastelukohteet rajattu 2000-luvulla rakennettuihin sekä tehostetun palveluasumisen kohdalla myös kattavasti remontoituihin kohteisiin.

**KUVA 3.4.1.a. Simulaatiotarkasteluissa käytettyjen ryhmäkotikerrosten tyyppimallien pohjakaaviot I, L, U, T ja O.** Simulaatiot on ensisijaisesti suoritettu tyyppimallilla I.

- Asuinhuoneet
- Oleskelutilat
- Muut toiminnalliset tilat
- Kulku-tilat



### 3.3.1. RYHMÄKODIT

Palveluasumisen lähdeaineistona tarkasteltiin 30 ryhmäkotiyksiköitä sisältävää kohdetta Suomen kolmesta suurimmasta kaupungista: Helsingistä, Espoosta ja Tampereelta. Kohteet ovat kaupunkien senioriasumisen tietokanavissaan listaamia, ja otos sisältää sekä kunnallisia että yksityisiä asumispalveluntarjoajia. Aineisto koostuu kaupunkien rakennusvalvonnoista kerätyistä rakennuslupavaiheen pääpiirustuksista. Mukaan otettiin kohteet, jotka täyttivät edellä mainitut kriteerit, joissa on vähintään kolme maanpäällistä kerrosta ja joista löydettiin tarvittava materiaali. Kaikki otokseen päätyneet kohteet sisältävät varsinaisten ryhmäkotien lisäksi myös muita asuntoja ja asumista palvelevia tiloja.

Tarkastelun kohdentamiseksi palveluasumiskokonaisuuden sijaan itse ryhmäkoteihin ei tässä tapauksessa ollut kannattavaa työskennellä koko rakennuksen tasolla. Toisaalta ryhmäkotiyksiköitä sijaitsee usein monta samassa kerroksessa, ja tällöin niillä on lähes aina jaettuja tiloja. Näin ollen ei tavallisesti myöskään olisi mielekästä tarkastella yksittäisiä yksiköitä sinällään, koska esimerkiksi kaksi pientä yksikköä voi pohjatasolla olla täysin samanlainen yhden suuremman yksikön kanssa. Lisäksi tarkastelualueen katkaiseminen yksikköä rajaavaan väliseinään ei antaisi realistista kokonaiskuvaa kerroksen pohjaratkaisusta ja edelleen rakennusmassan muotoilusta. Kummankin ääripään mukanaan tuomien ongelmien välttämiseksi tehostetun palveluasumisen tarkastelurajaukseksi valikoitu yksittäinen kerrostaso. Luvussa 3.4.1. Tarkastelumallit – Ryhmäkodit on kuvattu tarkemmin laskentaa varten muodostettua ryhmäkotimallia.

### 3.3.2. PERUSKOULUT

Peruskoulujen lähdeaineisto koostui kuudesta Helsingin Jätkäsaaren peruskoulun suunnittelukilpailussa palkitusta ehdotuksesta (1. palkinto, kaksi jaettua 2. palkintoa, kaksi lunastusta ja yksi kunniamaininta). Kilpailu oli Helsingin kaupungin vuonna 2015 järjestämä yleinen kaksivaiheinen arkkitehtuurikilpailu. Aineiston valintaan vaikutti keskeisesti paitsi rakennustyyppi, myös ehdotusten lähtökohteisesti yhtenevät kilpailuohjelman mukaiset tilaohjelma, bruttoala sekä tontti. Aineisto oli kilpailuohjelman mukaisesti luonnostasoista. Simulaatiotarkasteluihin valikoituneesta voittajaehdotuksesta saatiin lisäksi myöhemmin ajantasaiset dwg-piirustukset, joiden pohjalta simulaatiomalli muodostettiin luvun 3.4.2. Tarkastelumallit – Peruskoulut mukaisesti.

### 3.4. TARKASTELEMALLIT

Energialaskentaa varten tarkasteltavista kohteista muodostettiin tietomallit. Sekä tehostetusta palveluasumisesta että peruskoulusta muodostettiin yksi malli simulaatioiden ja syntyvän datan määrän hallitsemiseksi. Perustapausten laskentamallit laadittiin ArchiCAD 19.0 -ohjelmalla ja vietiin edelleen IFC-muodossa energiasimulointiohjelmaan. Tässä luvussa kuvataan yksittäisten kohteiden valinta ja simulaatiomallien muodostaminen. Käytetyt ohjelmistot sekä energiasimulointimenetelmät on kuvattu tarkemmin luvussa 3.5. Laskentamenetelmä.

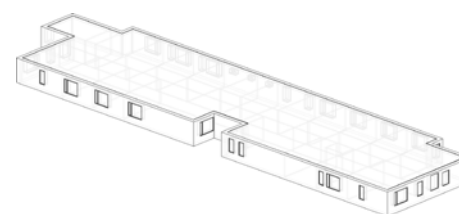
#### 3.4.1. RYHMÄKODIT

Ryhmäkoteilla suoritettavia simulaatiotarkasteluita varten 30 kohteen lähdejoukosta muodostettiin ensin viisi edustavaa tyyppimallia (I, L, U, T ja O, kuva 3.4.1.a) ryhmäkotikerrosten pohjamuodon ja siihen kytkeytyvän tilallisen rakenteen perusteella. Tyyppimalleilla tarkoitetaan yksinkertaistettua, laajempaa joukkoa edustavaa keskiarvoista mallia, joka ei enää suoraan vastaa mitään yksittäistä olemassa olevaa kohdetta. Koska valtaosa havaituista kohteista edusti tyyppimalli I:tä (kuva 3.4.1.b), valittiin se energialaskentaan ryhmäkotien pääasialliseksi tarkastelumalliksi. Ellei toisin mainita, edempänä ryhmäkotien perustapauksella viitataan tähän tyyppimalli I:hin. Muita tyyppimalleja on käytetty ainoastaan tarkasteluissa, jotka edellyttävät erilaisten rakennusmassojen vertailua.

Tyyppimalleja muodostettaessa kerroksen yleishahmo on yksinkertaistettu lähdekohteista vähäisten seinän mutkien ja nurkkien kohdalla. Sen sijaan massan monimuotoisuutta kunkin tyyppimallin sisällä on otettu huomioon edustajista keskiarvona määritellyllä nurkkien lukumäärällä. Käytäväsommitelma on kerrosmuodon tavoin lähtökohtaisesti yksinkertaistettu ja edellytyksenä on pidetty esteetöntä pääsyä kaikkiin asukkaiden käyttämiin tiloihin kulkematta toisten tilojen läpi.

Asuntojen jakauma yhden ja kahden hengen asuntoihin sekä lukumäärä yksikköä kohden on määritelty keskiarvona kaikista aineiston yksiköistä ja asuntojen pinta-ala edelleen asukasmäärän mukaisena keskiarvona kaikista aineiston asunnoista. Kerroksittaisia tyyppimalleja muodostettaessa lukumäärä on suhteutettu yksikköjen määrään ja jakauma sekä pinta-ala asuntoa kohden pidetty ennallaan. Yhteistilojen sijoittelu on arvioitu visuaalisesti suhteessa yksikköön itseensä tai useamman yksikön kesken jaettujen tilojen tapauksessa suhteessa kerroskokonaisuuteen. Pinta-alat on suhteutettu alkuperäisistä lukemista vakioituun asukaspaikkamäärään neliönä asukaspaikkaa kohden.

Tyyppimalleihin aukotusta sijoitettaessa on käytetty tavanomaisinta tapausta, jossa asunnolla on yksi suuri pääikkuna ja maksimissaan kaksi pienempää ikkunaa. Desimaaliarvo ikkunoiden keskimääräisessä lukumäärässä on otettu huomioon sijoittamalla pienemmät niin sanotut lisäikkunat vain osaan asuntoja. Asuntojen ikkunoiden sijoittamisen jälkeen jäljelle jäänyt ikkunapinta-ala on katettu yhteisalueen aukotuksella, joka on sijoitettu ja mitoitettu tarkoituksenmukaisella sekä mahdollisimman aineistoa vastaavalla tavalla. Ikkunoiden suuntaus noudattaa



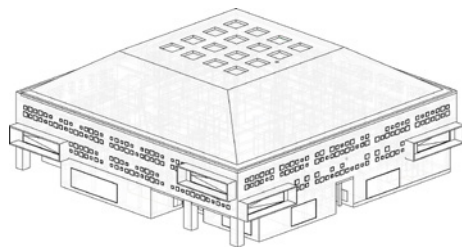
**KUVA 3.4.1.b. Ryhmäkodin simulaatiomallin aksonometria.**



RAKENTEIDEN OMINAISUUKSIA		
Ulkoseinän U-arvo	0,17	W/(m <sup>2</sup> K)
Yläpohjan U-arvo	0,09	W/(m <sup>2</sup> K)
Alapohjan U-arvo	0,16*	W/(m <sup>2</sup> K)
Oven U-arvo	1,00	W/(m <sup>2</sup> K)
Ikkunalasin U-arvo	0,80	W/(m <sup>2</sup> K)
Ikkunan umpiosan U-arvo	1,60	W/(m <sup>2</sup> K)
Ikkunan umpiosan osuus ikkunasta	25	%
Ikkunan g-arvo	0,54	
Ilmavuotoluku (q <sub>50</sub> )	4	1/h
Massiivisuus	Raskasrak.	
KYLMA-SILTOJEN LISÄKONDUKTANSSIT		
US-US (ulkonurkka)	0,05	W/(mK)
US-US (sisänurkka)	-0,05	W/(mK)
US-YP	0,05	W/(mK)
US-VP	0,05	W/(mK)
US-AP	0,15	W/(mK)
US-IKKUNA	0,04	W/(mK)
US-OVI	0,04	W/(mK)

**TAULUKKO 3.4.1.c. Tietomallien muodostamisessa käytetyt vakioarvot.**

\* Alapohjan U-arvo on vakioitu, mutta yhdessä maan lämpövastuksen kanssa lopullinen U-arvo vaihtelee riippuen rakennuksen koosta ja muodosta. IDA ICE -simuloinneissa on käytetty standardissa SFS-EN ISO 13370 (2008) esitettyä laskentamenetelmää, jolloin perustapauksissa alapohjan U-arvo on maaperän lämpövastuksen kanssa ryhmäkodissa 0,13 W/m<sup>2</sup>K ja peruskoulussa 0,11 W/m<sup>2</sup>K.



**KUVA 3.4.2.a. Peruskoulurakennuksen simulaatiomallin aksionometria.**

lähdejoukon keskimääräistä jakaumaa, kuhunkin tyyppimalliin sitä vastaavista kerroksista määriteltynä. Alkuperäiskohteissa väli-ilmansuuntiin suunnatut ikkunat on sijoitettu lähimpään pääilmansuuntaan. Rakenteelliset ominaisuudet on tyyppimalleissa vakioitu taulukon 3.4.1.c mukaisesti Suomen rakentamismääräyskokoelmaa (RakMK D3, 2012) noudattaen.

### 3.4.2. PERUSKOULUT

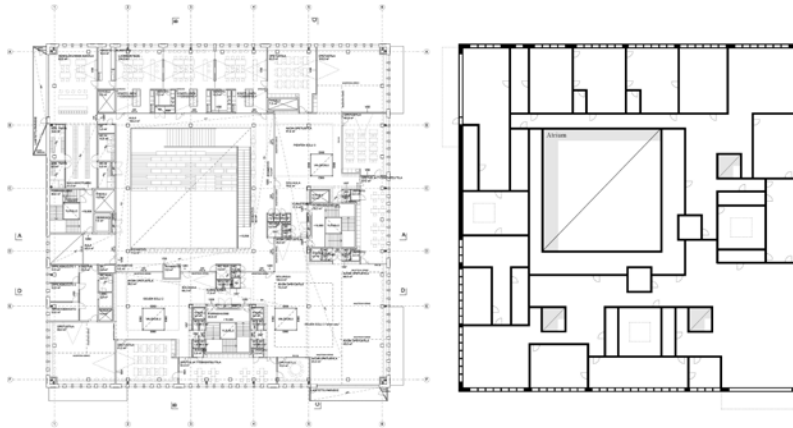
Peruskoulujen kohdalla kuudesta Jätkäsaaren peruskoulun kilpailuehdotuksesta laskentaa varten valittiin luonnollisesti kilpailun voittajaehdotus. Voittaja on Aarti Ollila Ristola Arkkitehtien (AOR) suunnitelma, jonka on määrä valmistua Helsingin Jätkäsaareen vuonna 2019. Kohde edustaa sekä energiatehokasta arkkitehtuuria että vuonna 2016 käyttöön otetun uuden opetussuunnitelman mukaista uudenlaista oppimisympäristöä, ja on simulaatioille otollisesti muotokieleltään kompakti. Koska koulurakennukset ovat yksittäistä ryhmäkotikerrosta kompleksisempia ja tapauskohtaisempia kokonaisuuksia, on tyyppimallin muodostamisen sijaan tarkasteltu yksittäistä oikeaa suunnittelukohtetta.

Simulointia varten on muodostettu yksinkertaistettu tietomalli AOR Arkkitehtien dwg-piirustusten pohjalta (kuvat 3.4.2.a ja 3.4.2.b). Mallissa on pieniä ja keskikoisia samojen olosuhdekriteerien omaavia tiloja, kuten yksittäisiä wc- tai huoltotiloja, ryhmitelty kokonaisuuksiksi simuloinnin nopeuttamiseksi. Yksinkertaistaminen on kohdistunut myös väliseiniin, joista on pyritty oikaisemaan laskennan kannalta epäolennaiset mutkat. Ulkovaippa, mukaan lukien esimerkiksi ikkuna-aukotos, on kuitenkin pyritty pitämään mahdollisimman yhteneväisenä luonnosvaiheen arkkitehti-piirustusten kanssa. Koska laskennan tuloksissa ei ole kyse tietyn yksittäisen kohteen tarkoista ominaisuuksista, tällaiset yksinkertaistukset eivät vaikuta tulosten sovellettavuuteen.

Tietomallin rakennusosien ominaisuudet vastaavat Suomen rakentamismääräyskokoelman arvoja (RakMK D3, 2012). Mallissa käytetyt rakenteelliset ominaisuudet vastaavat ryhmäkotien arvoja ja on listattu taulukkoon 3.4.1.c.

## 3.5. LASKENTAMENETELMÄ

Energiatehokkuutta on tarkasteltu ryhmäkodin ja peruskoulun tietomallien avulla tehdyillä dynaamisilla energiasimuloinneilla. Tarkastelujen tarkoituksena on selvittää yksittäisten ominaisuuksien vaikutus koko rakennuksen energiatehokkuuteen ja muodostaa energiatehokkaan suunnittelun ohjekortisto. Energiasimuloinnit on suoritettu IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 4.7.1. -ohjelmalla, joka on Equa Simulations AB:n tuottama, yksi maailman johtavista energiasimulointiohjelmista. Tällainen dynaaminen energiasimulointiohjelma antaa kuukausitason laskentaa tarkemmat tulokset hyödyntäen tiheitä mittausvälejä ja huomioiden rakennusosien lämpökapasiteetin.



**KUVA 3.4.2.b. Jätkäsaaren peruskoulu 3. kerroksen pohjapiirros.** Vasemmalla AOR Arkkitehtien alkuperäinen pohjapiirros ja oikealla yksinkertaistettu energialaskentamalli.

Laskentoja varten rakennus on jaettu luvussa 3.2.1. Hierarkiapuu kuvatulla tavalla tekijöihin, joille on määritelty energiatehokkuuteen vaikuttavia ominaisuuksia. Kustakin tarkasteltavasta tekijästä on luotu keskenään vertailukelpoisia varianteja. Muuttujana varianteissa on lähtökohtaisesti vain yksi ominaisuus kerrallaan. Poikkeukset tähän on mainittu erikseen kunkin tarkastelun kohdalla. Vaikka tietomallit on tehty ArchiCAD-ohjelmalla, varianttien muodostamiseen ja muokkaamiseen on tarvittaessa käytetty IDA ICE -ohjelman muokkausominaisuuksia kulloisestakin muuttujasta riippuen. Varianttien tarkoituksena on luoda erilaisia tapauksia ja siten havainnollistaa tekijän vaikutusta ja suuruusluokkaa erilaisissa tapauksissa, ei osapitoimoida kulloisiakin ominaisuuksia.

Simulaatiotarkasteluissa lähtökohtana on pidetty simulaatioiden suorittamishetkellä, vuonna 2017 voimassa olleita määräyksiä. Laskennassa vakioina on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK D3, 2012) mukaisia vertailuarvoja sekä samassa lähteessä määriteltyjä standardikäytön arvoja. Laskennassa käytetyt vakioidut arvot ovat koottuina taulukkoihin 3.5.a ja 3.5.b. Säätiötietoina on käytetty säävyöhykkeen I eli Helsinki-Vantaan referenssivuoden 2012 säädataa (Ympäristöministeriön asetus 176/2013, Liite 1).

OMINAISUUS	ARVO, RYHMÄKOTI (MAJOITUSLIIKERAKENNUS)	ARVO, PERUSKOULU (OPETUSRAKENNUS)
Käyttöaika	24 h/d 7 d/vko 00:00–24:00	8 h/d 5 d/vko 08:00–16:00
Käyttöaste	0,3	0,6
Valaistusteho	14 W/m <sup>2</sup>	18 W/m <sup>2</sup>
Kuluttajalaitteiden kulutus	4 W/m <sup>2</sup>	8 W/m <sup>2</sup>
Ihmisten lämpökuorma	4 W/m <sup>2</sup>	14 W/m <sup>2</sup>
Ulkoilmavirta käytön aikana	2 (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	3 (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>
Ulkoilmavirta käytön ulkopuolella	0,15 (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	0,15 (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>
Henkilötiheys	1/21 hlö/m <sup>2</sup>	1/5 hlö/m <sup>2</sup> *
Lämmitysraja	21 °C	21 °C
Jäähdytysraja	25 °C	25 °C

#### IV:N JA LÄMMITYKSEN OMINAISUUKSIA

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	45	%
Minimi-ilmavirta käytettäessä CO <sub>2</sub> -ohjausta*	0,15	(dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>
Maksimi-ilmavirta käytettäessä CO <sub>2</sub> -ohjausta*	4,00	(dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>
Tuloilman lämpötilan asetusarvo	18	°C
SFP-luku	2	kW/m <sup>3</sup> /s
Lämmitysmuoto	Kaukolämpö	

#### TAULUKKO 3.5.a. Simulaatiotarkasteluissa käytetyt teknisten järjestelmien vakioarvot.

\* Nykyisillä ilmanvaihtokoneilla näin laajaa teoreettista säätöasteikkoa (0,15–4,0 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>) ei ole mahdollista toteuttaa, mikä tulee ottaa huomioon tuloksia tarkastellessa. Raja-arvot on valittu mahdollinen tuleva laitekehitys huomioiden.

#### TAULUKKO 3.5.b. Simulaatiotarkasteluissa käytetyt rakennustyyppikohtaiset, RakMK D3 (2012) mukaiset standardikäytön vakioarvot perustapauksille.

\* Perustapauksessa on käytetty RakMK D3 (2012) mukaista standardikäytön henkilötiheyttä opetusrakennuksille (5 m<sup>2</sup>/henkilö), jota on sittemmin muutettu Ympäristöministeriön asetuksessa 5/13 (2013, s. 4) lukemaan 6 m<sup>2</sup>/henkilö. Laskelmat on tehty IDA ICE versiolla 4.7.1, jossa asetusarvona on 5 m<sup>2</sup>/henkilö.

*Rakennukset ja tilat jaotellaan seuraaviin käyttötarkoituksiluokkiin: erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot; asuinkerrostalot; toimistorakennukset; liikerakennukset; majoitusliikerakennukset; opetusrakennukset ja päiväkodit; liikuntahallit pois lukien uima- ja jäähallit; sairaalat. Kullekin käyttötarkoitukseluokalle on omat standardikäytön arvonsa, jotka koskevat käyttöaikoja, käyttöastetta, ilmanvaihdon määrää, valaistuksen ja kuluttajalaitteiden tehoja sekä ihmisten määrää rakennuksessa. (RakMK D3, 2012.)*

Simulaatiotulosten osalta on huomattavaa, että koska laskennassa on vakioitu standardikäytön mukaiset lähtöarvot, tulosten ei ole tarkoitus vastata kohteiden todellisia energiankulutuksia. Tarkoituksena sen sijaan on, että variantit ovat keskenään vertailukelpoisia. Lisäksi osa varianteista on muodostettu hakemalla teoreettisia ääritapauksia, jotka eivät välttämättä ole mahdollisia, lainmukaisia tai järkeviä. Nämä ääritapaukset on merkattu ohjekortteihin t-merkinnällä ja näiden epärealistisuus on otettu huomioon arvioitaessa ominaisuuksien vaikuttavuuksia.

### **Kuukausitason tarkastelut**

*Tutkimuksen yhteydessä suoritettiin myös kuukausitason laskentaa, jonka avulla selvitettiin yleisellä tasolla rakennusmassallisten ja muodonannollisten tekijöiden vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen. Tarkasteluissa käytettiin 30 todellista ryhmäkotiyksikköä ja kuutta kilpailuehdotusta Jätkäsaaren peruskouluksi luvun 3.3. Rajaus ja lähdeaineisto mukaisesti niin, että kummastakin rakennustyyppistä tehtiin omat tarkastelunsa. Laskennat suoritettiin D.O.F. Tech Oy:n ja Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n tarjoamalla laskentapalvelut.fi-laskentatyökalulla ([www.laskentapalvelut.fi](http://www.laskentapalvelut.fi)). Laskennassa muuttuvina tekijöinä olivat vaipan ratkaisut, kuten muoto ja aukotus, ja muut tekijät, kuten rakenteet ja tekniset ratkaisut vakioitiin tarkastelun rajauksen mukaisesti.*

*Sekä ryhmäkotien että peruskoulujen kohdalla kuukausitason laskentatuloksista havaittiin, että suuresta lähtöarvovaihtelusta huolimatta erot E-luvuissa olivat kaiken kaikkiaan varsin pieniä. Molemmissa tarkasteluissa havaittiin, että E-luku korreloi ulkovaipan pinta-alan kanssa: mitä enemmän ulkovaippaa, sitä suurempi E-luku (ks. 2.2.1. Muotokerroin). Toisaalta tuloksia tarkastellessa selkeä havainto oli, että itse muodolla on vain vähän vaikutusta energiatehokkuuteen, kun taas rakennuksen koko vaikuttaa siihen merkittävästi.*

*Kuukausitason laskennalla selvitettiin tutkimuksen alussa energialaskentaan ja E-lukuun liittyviä oletuksia ja suuria linjauksia. Kuukausitason laskennan tulokset olivatkin ennako-oletusten mukaisia. Kokonaisuudessaan kuukausitason tarkasteluiden keskeisimpänä havaintona voidaan pitää sitä, miten ongelmallista yksittäisen ominaisuuden vaikutusten arvioiminen on verrattaessa kohteita, jotka eroavat useilta ominaisuuksiltaan. Syvemmän tiedon, luotettavuuden ja yksittäisten tekijöiden vaikutusten selvittämiseksi tässä tutkimuksessa siirryttiin käyttämään dynaamista energiasimulointiohjelmaa tarkempien tutkimustulosten saamiseksi. Tarkemmat tiedot kuukausitason laskennasta, lähtöarvoista ja tuloksista löytyvät Liitteestä 1.*

## **3.6. LASKENTATULOSTEN ARVIOINTITAVAT**

Rakennuksen energiatehokkuutta arvioidaan perinteisesti energialaskennan avulla. Menetelmä toimii rakennusvaipan osalta suhteellisen hyvin, mutta se ei huomioi esimerkiksi rakennusten käyttöä ja siitä johtuvaa energiankulutusta. Vastaavasti tavanomainen energialaskentanäkökulma ei arvioi rakennuksesta käytön myötä saatavaa hyötyä. Huomiotta jäävät myös muut arkkitehtoniset laatutekijät, kuten

käytettävyyteen ja viihtyisyyteen liittyvät näkökulmat. Laskentatuloksia on pyritty arvioimaan useasta eri näkökulmasta, sekä perinteisin että uusin indikaattorein, laatutekijät huomioiden. Luvussa 2 on esitelty tässä julkaisussa käytetyt energiatehokkuuden arviointikeinot, joista ohjekortistossa hyödynnetään ennen kaikkea ostoenergiankulutusta, E-lukua ja käyttötehokkuutta (ks. 2.1.1. Ostoenergiankulutus; 2.1.2. E-luku; 2.2.3. Käyttötehokkuus). Lisäksi jokaista tekijää arvioidaan tässä julkaisussa arkkitehtonisen laadun näkökulmasta.

Energiatehokkuusvaikutusten suuruuteen viittaavaa termistöä on ohjekorttien tekstiosuuksissa yhdenmukaistettu taulukon 3.6.a mukaisesti. Asteikko perustuu tarkasteltujen varianttien vaikuttavuuteen kokonaisuudessa ja on muodostettu laskentatulosten jakauman perusteella. Teoreettisten laskentavarianttien sisällyttäminen arviointiin on harkittu tapauskohtaisesti siten, etteivät epärealistiset variantit vääristä tuloksia. Sekä sanallista että numeerista periaatetta on hyödynnetty niin ostoenergiankulutuksen, E-luvun, käyttötehokkuuden kuin arkkitehtonisten laatutekijöiden arvioinnissa.

OSTOENERGIANKULUTUKSEN MUUTOS SUHTEESSA PERUSTAPAUKSEEN	<1 %	1–5 %	6–10 %	10 % <
SANALLINEN ARVIOINTI	Vähäinen	Pieni	Kohtalainen	Merkittävä
NUMEERINEN ARVIOINTI	½	1	2	3

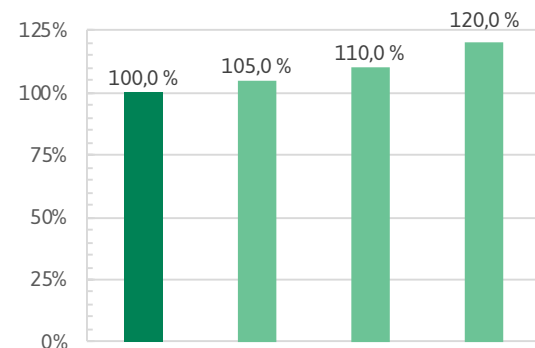
### 3.6.1. OSTOENERGIANKULUTUS

Laskentatuloksia tarkastellaan pääsääntöisesti vuosittaisen ostoenergiankulutuksen (kWh/v) kautta. Kunkin ominaisuuden ostoenergiankulutuksen prosentuaalinen muutos on esitetty suhteutettuna perustapaukseen ja havainnollistettu pylväsdiagrammin avulla (ks. kuva 3.6.1.a). Perustapauksessa variantti on simuloitu standardikäytön arvoilla. Tarkoituksena on esittää kunkin ominaisuuden suhteellista vaikutusta energiatehokkuuteen.

### 3.6.2. E-LUKU

Joissakin tapauksissa tuloksia käsitellään ostoenergiankulutuksen lisäksi E-luvun (kWh/m<sup>2</sup>v) kautta. E-luku on tuotu tässä julkaisussa esiin lähinnä niissä tapauksissa, joissa E-luku on ristiriidassa ostoenergiankulutuksen kanssa, ja jotka ovat E-luvun laskentasääntöjen mukaisia. Myös E-luvun on esitetty prosentuaalisesti suhteessa perustapauksen E-lukuun, ja tuloksista on esitetty kuvaa 3.6.1.a vastaava pylväsdiagrammi. Koska E-luku suhteutetaan neliometriin ja se sisältää poliittisesti muuttuvia kertoimia vaikuttaen tuloksiin merkittävästi (ks. 2.1.2. E-luku), suositetaan tässä julkaisussa ensisijaisesti ostoenergiankulutusta E-lukua vakaampana ja neutraalimpana indikaattorina.

**TAULUKKO 3.6.a. Ohjekorteissa energiatehokkuusvaikutusten kuvaamiseen käytetyt asteikot.** Sekä sanallisissa että numeerisissa arvioinnissa on ostoenergiankulutuksen lisäksi otettu huomioon tarvittaessa muun muassa käyttötehokkuusnäkökulma.



**KUVA 3.6.1.a. Ostoenergiankulutusta ilmaistaan pylväsdiagrammin avulla suhteessa perustapaukseen.**

### 3.6.3. KÄYTTÖTEHOKKUUS

Käytön ja tilasuunnittelun arvioimiseksi tuloksia tarkastellaan perinteisten ostoenergiankulutuksen ja E-luvun lisäksi myös tässä julkaisussa esitetyn käyttötehokkuusluvun avulla (ks. 2.2.3. Käyttötehokkuus). Käyttötehokkuusluku esitetään silloin, kun ominaisuuksia ei voida arvioida pelkästään energiankulutuksen perusteella. Tällöin käyttötehokkuus saattaa antaa eri tuloksen ostoenergiankulutukseen nähden. Käyttötehokkuusluku ilmaistaan ostoenergiankulutuksen tavoin suhteessa perustapaukseen ja esitetään ohjekorteissa kuvaa 3.6.1.a vastaavan pylväsdiagrammin avulla.

### 3.6.4. ARKKITEHTONINEN LAATU

Arkkitehtonisten laatutekijöiden voidaan katsoa jakautuvan kolmeen pääryhmään: kauneuteen (venustas), kestävytyteen (firmitas) ja käyttökelpoisuuteen (utilitas), antiikin roomalaisen arkkitehti-insinöörin Marcus Vitruvius Pollion määritelmän mukaisesti (Vitruvius, eaa.). Tässä julkaisussa esitetyt laatutekijät on jaoteltu kolmeen Vitruviuksen ryhmään taulukon 3.6.4.a mukaisesti. Kauneus eli esteettisyys on yhdistetty viihtyisyyden kanssa sen ollessa yksi viihtyisyyteen vaikuttava osatekijä. Viihtyisyyteen vaikuttavat esteettisyyden lisäksi tilalliset ominaisuudet sekä sisäolosuhteet. Käytettävyys puolestaan muodostaa yhdessä monikäyttöisyyden kanssa laajemman käyttökelpoisuuden ja toimivuuden kokonaisuuden. Kestävytyteen kuuluvat tekninen toimivuus ja ympäristöystävällisyys.

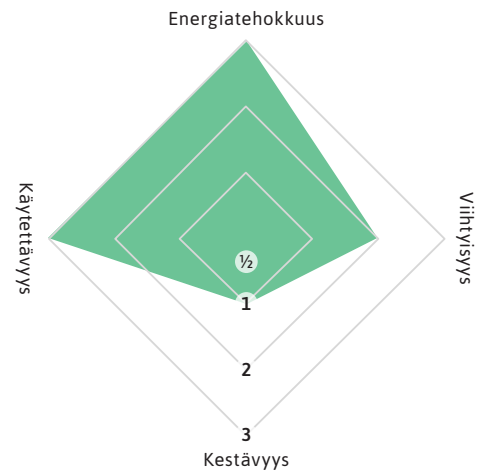
Arkkitehtoninen laatu						
Kauneus, viihtyisyys			Käyttökelpoisuus, toimivuus		Kestävyys	
Tilalliset ominaisuudet	Esteettisyys	Sisäolosuhteet	Käytettävyys	Monikäyttöisyys	Tekninen toimivuus	Ympäristöystävällisyys
Hahmotettavuus Tarkoituksenmukainen mittakaava Tilantuntu Väljyys	Luonnonvalo Materiaalit Mittasuhteet Näkymät Sommitelma	Ilmanlaatu Lämpöolosuhteet Valaistusolosuhteet	Havainnoitavuus Orientoitavuus Tilankäytön tehokkuus	Mukautuvuus Muunneltavuus Muuntojoustavuus	Korjattavuus Huollettavuus Terveellisyys Turvallisuus Riskittömyys	Elinkaari <b>Energiatehokkuus</b> Hiilijalanjälki Kierrätettävyys

**TAULUKKO 3.6.4.a. Arkkitehtonisia laatutekijöitä asetettuna arvioinnissa käytettävään jaotteluun hierarkkisesti.** Julkaisun otsikon mukainen energiatehokkuus sijoittuu yhtenä laatuominaisuutena kestävytyden alle.

Arkkitehtonista laatua arvioidaan tässä julkaisussa taulukon 3.6.a mukaisesti sekä sanallisesti (vähäinen–merkittävä) että numeerisesti ( $\frac{1}{2}$ –3). Arviointi esitetään ohjekorteissa säteittäiskuvaajan muodossa (kuva 3.6.4.b), jossa kauneuden, kestävytyden ja käyttökelpoisuuden lisäksi yhtenä sakarana on julkaisun otsikon mukainen energiatehokkuus. Vaikka energiatehokkuus on säteittäiskuvaajassa nostettu ylemmän tason laatutekijöiden rinnalle, on energiatehokkuus kuitenkin

yksi rakennuksen laatuominaisuuksista muiden rinnalla sijoittuen hierarkkisesti rakennuksen laatutekijöissä kestävyden ja edelleen ympäristöystävällisyyden alle (ks. taulukko 3.6.4.a).

Arkkitehtonisten laatuvaikutusten arvioinnissa kriteeristönä on käytetty edellä kuvatun rakenteen mukaista joukkoa laatuominaisuuksia. Laadittujen varianttien vaikutuksia arkkitehtoniseen laatuun on arvioitu tämän kriteeristön pohjalta, ja arvion yhteenveto on esitetty ohjekorteissa. Arviointi on toteutettu COMBI WP2 -tutkimusryhmän järjestämissä työpajoissa, minkä lisäksi sitä on täydennetty tutkimushankkeen eri osapuolten haastatteluilla. On kuitenkin huomattavaa, että laatutekijät ovat aina subjektiivisia, vaikka yleispäteviä kulttuurisidonnaisia näkemyksiäkin on olemassa, mikä tekee laadun arvioinnista laskennallisia arviointikeinoja haastavampaa. Arviot ovat lähtökohtaisesti karkeahkoja, minkä lisäksi käytännön vaikuttavuudessa voi olla tapauskohtaisia eroja.



**KUVA 3.6.4.b. Säteittäiskuvaaja.** Arvioitavina kriteereinä ovat energiatehokkuus sekä arkkitehtonisen laadun ominaisuuksista viihtyisyys, kestävyys ja käytettävyys.

# 4. OHJEKORTISTO





## SUUNNITTELUKOHDE

### 4.1. RAKENTEELLISET OMINAISUUDET



#### RAKENNUMASSA

4.1.1. Lämmitetty nettoala.....	27
4.1.2. Kerrosaluku.....	29
4.1.3. Rakennusmassa.....	31



#### VAIPPA

4.1.4. Pohjamuoto.....	33
4.1.5. Nurkkien lukumäärä.....	35
4.1.6. U-arvot.....	37
4.1.7. Tiiveys.....	39
4.1.8. Viivamaiset kylmäsilat.....	41
4.1.9. Terminen massa.....	43
4.1.10. Ulkopintojen väri.....	45



#### IKKUNAT

4.1.11. Suuntaus.....	47
4.1.12. Pinta-ala.....	49
4.1.13. Ikkunapenkkinen korkeus.....	51
4.1.14. g-arvo.....	53
4.1.15. Varjostus.....	55



#### ULKO-OVET

4.1.16. Lukumäärä.....	57
4.1.17. Käyttö.....	59

### 4.2. TILAJÄRJESTELYT JA KÄYTTÖ



#### TILAJÄRJESTELYT

4.2.1. Avoimuusaste.....	63
4.2.2. Tuulikaappi.....	65



#### KÄYTTÖ

4.2.3. Käyttötarkoitus.....	67
4.2.4. Henkilötiheys.....	69
4.2.5. Pääkäyttöaste.....	71
4.2.6. Lisäkäyttöaste.....	73
4.2.7. Pääkäyttövyöhyke.....	75
4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke.....	77
4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet.....	79

### 4.3. OLOSUHTEET JA TEKNISET RATKAISUT



#### VALAISTUS

4.3.1. Päivänvalo-ohjaus.....	83
4.3.2. Luonnonvalon määrä.....	85
4.3.3. Sisäpintojen väri.....	87



#### LÄMMITYS JA JÄÄHDYTYK

4.3.4. Lämmitysmuoto.....	89
4.3.5. Sisälämpötila.....	91
4.3.6. Jäähdytyslämpötila.....	93



#### KÄYTTÖVESI

4.3.7. Kulutus.....	95
---------------------	----



#### ILMANVAIHTO

4.3.8. Ilmavirta.....	97
4.3.9. Painovoimainen ilmanvaihto.....	99
4.3.10. Lämmöntalteenotto.....	101



#### SÄHKÖ

4.3.11. SFP-luku.....	103
4.3.12. Kuluttajalaitteet.....	105

### 4.4. TONTIN OMINAISUUDET



#### YMPÄRISTÖ- OLOSUHTEET

4.4.1. Sijaintipaikkakunta.....	109
4.4.2. Ympäristön varjostus.....	111
4.4.3. Tuuliolosuhteet.....	113



#### ULKORATKAISUT

4.4.4. Sulanapito.....	115
------------------------	-----



# 4.1. RAKENTEELLISET OMINAISUUDET



## RAKENNUSMASSA

4.1.1. Lämmitetty nettoala.....	27
4.1.2. Kerrosluku.....	29
4.1.3. Rakennusmassa.....	31



## VAIPPA

4.1.4. Pohjamuoto.....	33
4.1.5. Nurkkien lukumäärä.....	35
4.1.6. U-arvot.....	37
4.1.7. Tiiveys.....	39
4.1.8. Viivamaiset kylmäsilat.....	41
4.1.9. Terminen massa.....	43
4.1.10. Ulkopintojen väri.....	45



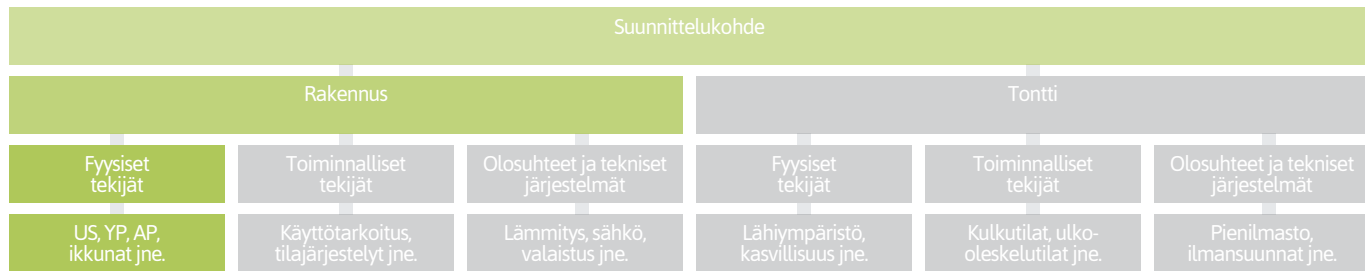
## IKKUNAT

4.1.11. Suuntaus.....	47
4.1.12. Pinta-ala.....	49
4.1.13. Ikkunapenkien korkeus.....	51
4.1.14. g-arvo.....	53
4.1.15. Varjostus.....	55



## ULKO-OVET

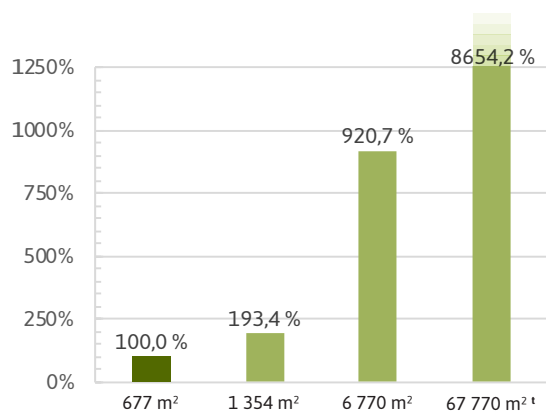
4.1.16. Lukumäärä.....	57
4.1.17. Käyttö.....	59



Rakennuksen rakenteellisten ominaisuuksien parantamista voidaan pitää perinteisimpänä lähestymistapana energiatehokkuuteen: massan kompaktius, vaipan lämmöneristävyys ja aukotus ovat läsnä lähes aina rakennusten energiatehokkuudesta keskusteltaessa. Aihepiiri on moniulotteinen ja kytkeytyy monilta osin hyvin kiinteästi muihin energiatehokkuudellisiin ja toiminnallisiin ominaisuuksiin – esimerkiksi rakennusmassan muotoilu on tiiviisti sidoksissa käytön ratkaisuihin (4.2. Tilajärjestelyt ja käyttö), ja vaipan ominaisuudet olosuhteisiin sekä tekniseen toimivuuteen (4.3. Olosuhteet ja tekniset ratkaisut). Rakennuspaikka (4.4. Tontin ominaisuudet) puolestaan vaikuttaa oleellisesti muun muassa vaipparakenteiden ja aukotuksen suunnitteluun.

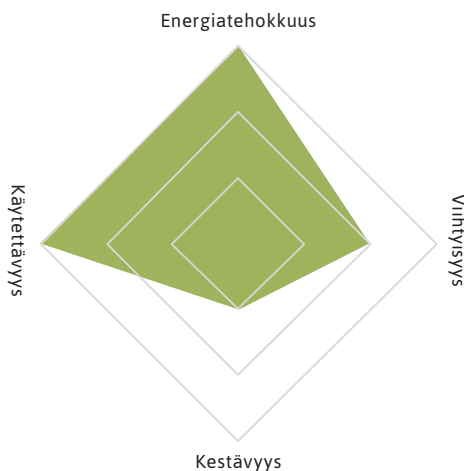
Tähän ohjekortiston osaan on poimittu rakennuksen fyysisiä ominaisuuksia eri mittakaavatasoilta koko rakennusmassasta yksittäisiin aukotuksen ratkaisuihin. Tarkasteltavien muuttujien valinnassa on painotettu sellaisia ominaisuuksia, jotka on tavallisesti rakennusalalla mielletty merkittäviksi, joilla on arvioitu olevan erityisen suuri vaikutus arkkitehtoniseen laatuun, tai joista nykyisellään on huomattavan vähän tutkimustietoa. Suunnittelukohteen hierarkiapuussa rakenteelliset ominaisuudet edustavat rakennuksen fyysisiä tekijöitä.

## 4.1.1. Lämmitetty nettoala



**KUVA 4.1.1.a. Lämmitetyn nettoalan (m²) vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.1.1.b. Lämmitetyn nettoalan (m²) vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohde** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Lämmitetty nettoala

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Lämmitetty nettoala 677 m²

**Variantti 2** Lämmitetty nettoala 1 354 m² (perustapaus x 2)

**Variantti 3** Lämmitetty nettoala 6 770 m² (perustapaus x 10)

**Variantti 4<sup>†</sup>** Lämmitetty nettoala 67 700 m² (perustapaus x 100)

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m²v
<b>Variantti 2</b>	412 535 kWh/v	193,4 %	300 kWh/m²v
<b>Variantti 3</b>	1 963 953 kWh/v	920,7 %	290 kWh/m²v
<b>Variantti 4<sup>†</sup></b>	18 460 908 kWh/v	8654,2 %	279 kWh/m²v

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Pinta-ala on epärealistinen ryhmäkötirakennukselle. Käytännössä myös variantti 3 edellyttäisi pohjamuodon muokkaamista riittävien julkisivuaukotusten mahdollistamiseksi.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu ensisijaisesti rakennuksen lämmitetty nettoala, eli kerrosala ulkoseinien sisäpintojen mukaan laskettuna, pohjan alkuperäiset mittasuhteet säilyttäen. Aukotuksen prosentuaalinen osuus ulkoseinistä pysyy vakiona: ikkuna-aukotus skaalautuu sivusuunnassa samassa suhteessa seinien kanssa. Koska massan korkeus on vakio, muuttuu tilavuus pohja-alan suhteessa. Koska rakenteiden U-arvot on pidetty vakiona, muodostuu isommassa rakennuksessa alapohjan U-arvo yhdessä maan lämpövastuksen kanssa paremmaksi. Lopulliset alapohjan U-arvot ovat perustapauksesta lähtien: 0,13; 0,11; 0,08; 0,04 W/m²K.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Rakennuksen lämmitetty nettoala vaikuttaa erittäin merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuteen: mitä suurempi rakennus, sitä suurempi ostoenergiankulutus. Huomattavaa tosin on, että ostoenergiankulutus ei kasva samassa suhteessa pinta-alan kanssa: esimerkiksi variantissa 3 energiankulutus ei kymmenkertaistu vaan 9,2-kertaistuu (920,7 %). Nettoalan kasvun vaikutus E-lukuun puolestaan on ostoenergiankulutukselle päinvastainen, mutta edelleen merkittävä: mitä suurempi rakennus, sitä pienempi E-luku (ks. kuva 4.1.1.c).

### Huomioita suunnitteluun

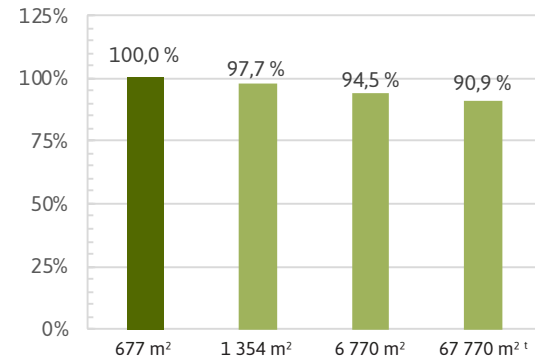
Jos oletetaan rakennuksesta saatavan hyödyn olevan suorassa suhteessa lämmitettyyn nettoalaan, on suurempi rakennus aina energiatehokkaampi. Taustalla ovat yksinkertaiset geometriset syyt: Kun (yksikerroksisen) rakennuksen nettoala kaksinkertaistuu, ei vaipan ala johtumishäviöineen kaksinkertaistu vaan 1,67-kertaistuu.

Lämmitetyn nettoalan vaikutus rakennuksen arkkitehtoniseen ilmeeseen on merkittävä. Se on myös harvoin ominaisuus, jonka voi valita vapaasti: pinta-alaan vaikuttaa toivottu tilaohjelma, minkä lisäksi sitä myös rajoittaa rakennusoikeus eli sallittu kerrosala. Käytännössä rakennuksen pinta-ala vaikuttaa myös pohjamuotoon ja tilojen järjestelyyn: lisääntyvät tilat vaativat useimmiten myös lisää julkisivua ikkuna-aukokuksen ja kulkuyhteyksien tarpeen kautta. Näin ollen laaja tilaohjelma saattaa vaatia moninaisemman muodon toimiakseen optimaalisesti. Pieni rakennus puolestaan on helpompi muotoilla kompaktiksi.

Tilaaajan ja rakennuttajan vaikutus rakennuksen pinta-alaan on suuri. Ylimääräisiä neliöitä voidaan tilaohjelman salliessa kuitenkin karsia hyvällä suunnittelulla. Tilojen muunneltavuus ja monikäyttöisyys saattavat pienentää pinta-alatarvetta. Eri tilojen käyttöastetta tulisikin tarkastella jo aivan alkuvaiheista saakka, jottei päädyttäisi rakentamaan vajaakäyttöisiä tiloja ja siten hukkaneliöitä.

### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

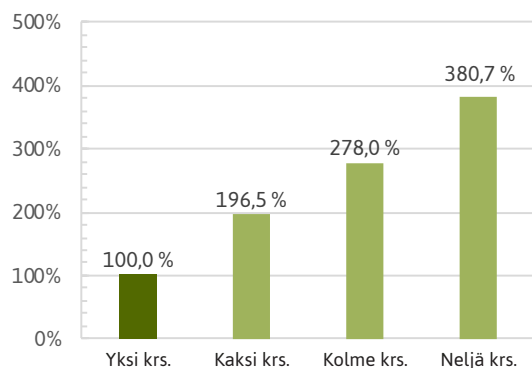
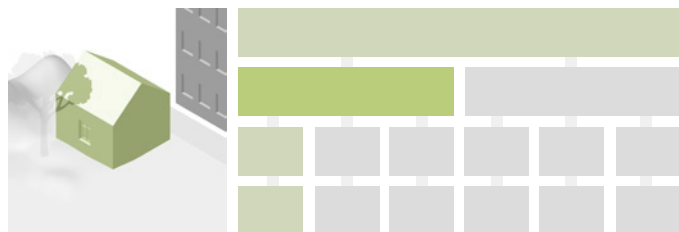
4.1.2. Kerrosluku .....	s. 29
4.1.3. Rakennusmassa .....	s. 31



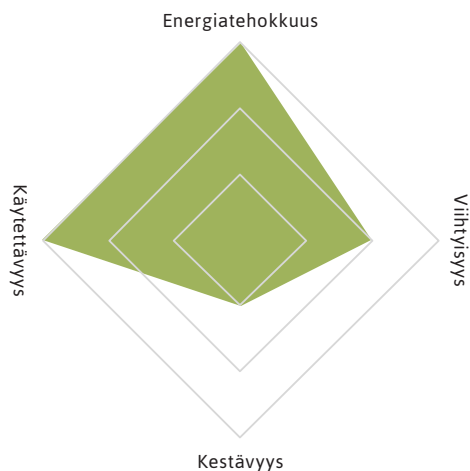
**KUVA 4.1.1.c. Lämmitetyn nettoalan (m<sup>2</sup>) vaikutus E-lukuun, E-luku suhteessa perustapaukseen.**  
<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus

*Rakennuksen pinta-ala on energialaskennan kannalta ongelmallinen ominaisuus: pinta-alaltaan suuret rakennukset saavuttavat matalan E-luvun helpommin, näyttäytyen täten energiatehokkaampina. Vastaavasti pienempi rakennus on hankalampi saada täyttämään energiatehokkuusvaatimukset. Lähtökohtaisesti pinta-alan lisäys kuitenkin lisää myös energiankulutusta. Käytännön energiatehokkuuden vuoksi on siis varmistettava, ettei rakennuksen koon lisääntyminen johdu hukkatilasta – lisääntyvien neliöiden mukana on saatava vastaavassa määrin lisäkäyttöä tai muuta hyötyä.*

## 4.1.2. Kerrosluku



**KUVA 4.1.2.a. Kerrosluvun vaikutus ostoenergiankulutukseen,** ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.



**KUVA 4.1.2.b. Kerrosluvun vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Kerrosten lukumäärä

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Yksi kerros, lämmitetty nettoala yhteensä 677 m<sup>2</sup>

**Variantti 2** Kaksi kerrosta, lämmitetty nettoala yhteensä 1 354 m<sup>2</sup>

**Variantti 3** Kolme kerrosta, lämmitetty nettoala yhteensä 2 033 m<sup>2</sup>

**Variantti 4** Neljä kerrosta, lämmitetty nettoala yhteensä 2 709 m<sup>2</sup>

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	419 269 kWh/v	196,5 %	303 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	592 947 kWh/v	278,0 %	291 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4</b>	812 075 kWh/v	380,7 %	296 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu rakennuksen kerrosluku yhdestä neljään ja sitä kautta myös lämmitetty nettoala, tilavuus sekä vaipan ala (ks. kuva 4.1.2.c). Kerroskorkeutena on käytetty 3 m. Kaikki kerrokset ovat samanlaisia, lukuun ottamatta ilmeistä eroa ylä-, väli- ja alapohjarakenteiden välillä.

### Energiätehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Tässä tarkastelussa rakennuksen kerrosluku vaikuttaa merkittävästi energiatehokkuuteen. Koska kerrosluvun myötä kasvaa myös rakennuksen lämmitetty nettoala, vaikuttaa korottaminen energiankulutukseen lisäävästi, mutta E-lukuun pienentävästi (ks. kuva 4.1.2.d). Kuten kasvatettaessa rakennusta yhdessä kerroksessa (ks. 4.1.2. Lämmitetty nettoala), ostoenergiankulutus ei kasva samassa suhteessa pinta-alan kanssa vaan hieman vähäisemmin. Toisin kuin kyseisessä tarkastelussa, kasvatettaessa rakennusta kerrosluvun kautta energiankulutus suhteessa lämmitettyyn nettoalaan vaikuttaa kääntyvän kolmen kerroksen jälkeen takaisin epäotollisempaan suuntaan. Mahdollisia syitä tälle ovat ainakin U-arvoiltaan ylä- ja alapohjaa huonompien ulkoseinien ja aukotuksen osuuden lisääntyminen ulkovaipasta, vaipan ja tilavuuden suhteen heikkeneminen sekä kylmäsiltojen lisääntyminen (vrt. 4.1.6. Vaipan U-arvot; 4.1.8. Vaipan viivamaiset kylmäsiltoja). Syy saattaa olla myös puhtaan laskennallinen, koska simuloinnissa käytetty vuotoilman kerroin muuttuu kaksi- ja kolmikerroksisten varianttien välillä, muttei kolmi- ja nelikerroksisten.

### Huomioita suunnitteluun

Kerroslukku vakioidulla jalanjäljellä vaikuttaa energiatehokkuuteen ensisijaisesti rakennuksen lämmitetyn alan ja edelleen tilavuuden kautta: suurempi rakennus kuluttaa energiaa absoluuttisesti enemmän, mutta kokoon suhteutettuna vähemmän. Oletettaessa rakennuksesta saatavan hyödyn olevan suorassa suhteessa lämmitettyyn nettoalaan, on kerrosluvun kasvattaminen siis energiatehokkuuden kannalta eduksi, jos tämä on ainut tai massallisesti tehokkain tapa lisätä käytettävää pinta-alaa.

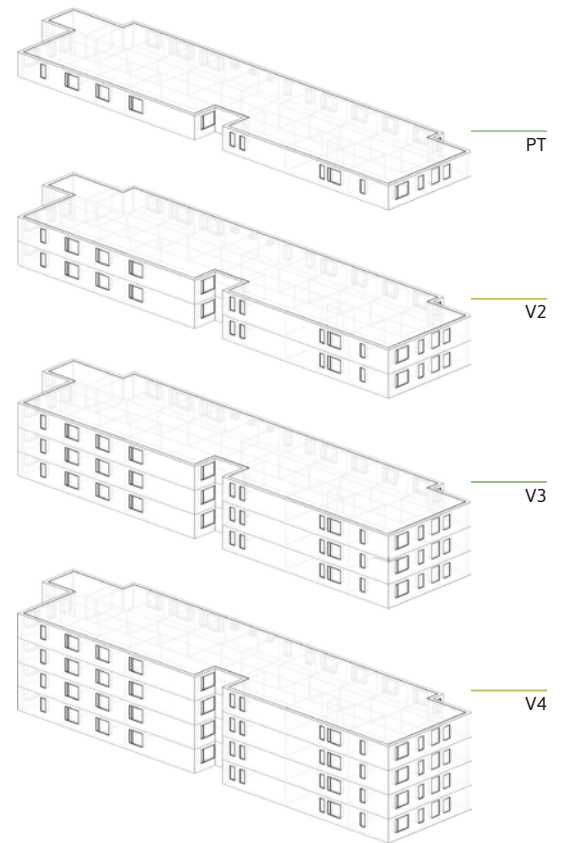
Lämmitetyltä nettoalaltaan samankokoisten rakennusten toteuttaminen oli näissä tarkasteluissa energiatehokkaampaa yksi- kuin kaksikerroksisena (vrt. variantit 2 tässä tarkastelussa sekä 4.1.1. Lämmitetty nettoala). Ostoenergiankulutuseron pienyydestä (n. 1 %) johtuen valinta voidaan kuitenkin tehdä ensisijaisesti suunnittelu- paikan ja tilaohjelman ehtojen mukaan. Edeltävää sivuten kerroslukku ei useinkaan ole vapaasti päätettävissä, vaan sitä ohjataan kaavassa, minkä lisäksi toiminnallisuuden optimointi ja tontin ominaisuudet vaikuttavat valintaan.

Kerrosluvun lisäksi vastaava vaikutus vaipan määrään ja lämmitettävään tilavuuteen on kerroskorkeudella. Arkkitehtonisesti kerroskorkeus vaikuttaa oleellisesti tilantuntuun sekä aukotuksesta riippuen luonnonvalon ulottumiseen rakennusrunkoon, mutta samalla nousevat niin lämmitysenergian kuin rakennusmateriaalienkin kulutus, toiminnallisesta näkökulmasta tavallisesti vähäisemmin eduin kuin pinta-alaa lisättäessä.

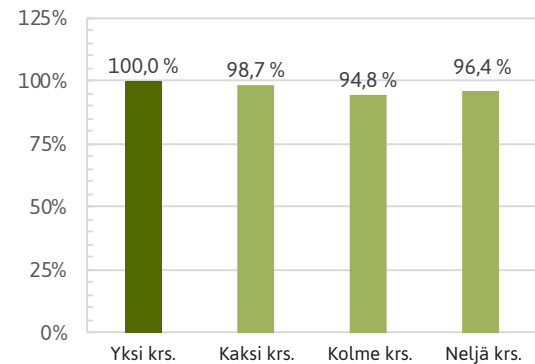
### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

4.1.1. Lämmitetty nettoala.....s. 27

*Tässä tarkastelussa käytetyillä rakenteilla ja muilla ominaisuuksilla vaikuttaa kerros määrän lisäämistä energiatehokkaammalta ratkaisulta kasvattaa rakennusta yhdessä kerroksessa. Käytännössä kuitenkin tilaohjelman sovittaminen rakennukseen saattaa muuttaa tilanteen päinvastaiseksi: esimerkiksi käytävät ja vaakavedot pitenevät ja tarvittavan ikkuna-aukotuksen toteuttaminen käy vaikeaksi tai mahdottomaksi.*

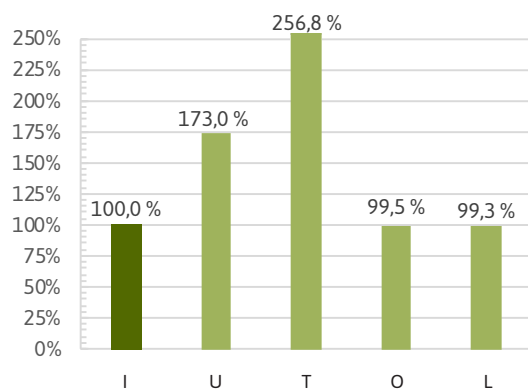
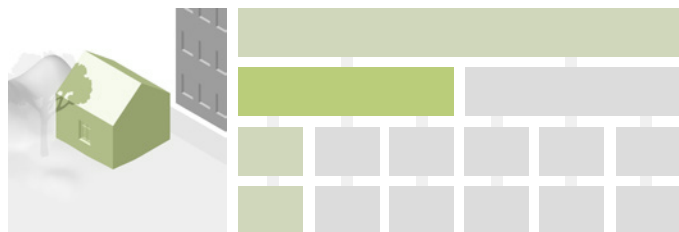


**KUVA 4.1.2.c. Simuloitujen varianttien yksinkertaistetut aksonometriset mallit.** Kuvassa esitettyjen elementtien lisäksi laskennassa on otettu huomioon muun muassa ylä- ja alapohjat.

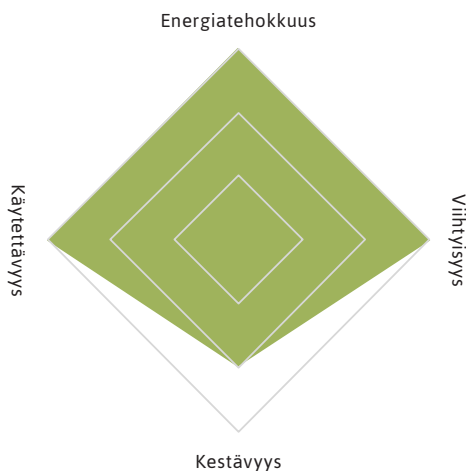


**KUVA 4.1.2.d. Kerrosluvun vaikutus E-lukuun,** E-luku suhteessa perustapaukseen.

### 4.1.3. Rakennusmassa



**KUVA 4.1.3.a. Rakennusmassan vaikutus ostoenergiakulutukseen**, ostoenergiakulutus suhteessa perustapaukseen, vertailussa ryhmäkotikerrosten tyyppimallit.



**KUVA 4.1.3.b. Rakennusmassan vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

#### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Rakennuksen pohjamuoto, pinta-ala ja aukotus

#### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Tyyppimalli I, ala 677 m<sup>2</sup>, ikkunoiden osuus julkisivusta 16,5 %  
**Variantti 2** Tyyppimalli U, ala 1 189 m<sup>2</sup>, ikkunoiden osuus julkisivusta 22,0 %  
**Variantti 3** Tyyppimalli T, ala 1 777 m<sup>2</sup>, ikkunoiden osuus julkisivusta 29,3 %  
**Variantti 4** Tyyppimalli O, ala 690 m<sup>2</sup>, ikkunoiden osuus julkisivusta 20,4 %  
**Variantti 5** Tyyppimalli L, ala 677 m<sup>2</sup>, ikkunoiden osuus julkisivusta 20,1 %

#### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 2	369 087 kWh/v	173,0 %	304 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 3	547 764 kWh/v	256,8 %	302 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 4	212 312 kWh/v	99,5 %	302 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 5	211 915 kWh/v	99,0 %	306 kWh/m <sup>2</sup> v

#### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu ensisijaisesti rakennuksen pohjamuoto ja siihen liittyvät ominaisuudet (pinta-ala, vaipan ala, nurkkien määrä, aukotus jne.), minkä lisäksi ikkunoiden osuus julkisivusta vaihtelee. Näin ollen muuttujia on tavanomaisesta yhdestä poiketen useampi, koska on tarkasteltu rakennusmassan muuttumisen vaikutusta kokonaisuutena. Vertailut variantit koostuvat luvussa 3.4.1 Tarkastellumallit - Ryhmäkodit kuvatuista, kuvassa 4.1.3.c esitetyistä ryhmäkotikerrosten tyyppimalleista.

#### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Koska rakennusmassa koostuu useista eri tekijöistä, on massan vaikutusta energiatehokkuuteen varmintä arvioida alemman mittakaavatason ominaisuuksien kautta. Tässä tarkastelussa rakennusmassan vaikutus ostoenergiakulutukseen on erittäin merkittävä niissä tapauksissa, joissa koko muuttuu merkittävästi. Varianteissa, joiden koko on lähes sama (perustapaus, variantit 4 ja 5), ei ostoenergiakulutuksessa puolestaan ole juuri eroja huolimatta eroista pohjamuodossa ja ikkunapinta-alan määrässä (vrt. 4.1.4. Pohjamuoto; 4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala).

E-lukuja eli neliökohtaista energiankulutusta (ks. kuva 4.1.3.d) tarkasteltaessa vaikutus on huomattavasti ostoenergiakulutusta vähäisempi – suuremmat rakennukset näyttävät energiatehokkaampia. Muihin tarkasteluihin vertaamalla voidaan arvela tämän johtuvan suotuisammasta vaipan alan ja pohja-alan suhteesta (vrt. 4.1.1. Lämmitetty nettoala ja ks. luku 2.2.1. Muotokerroin).

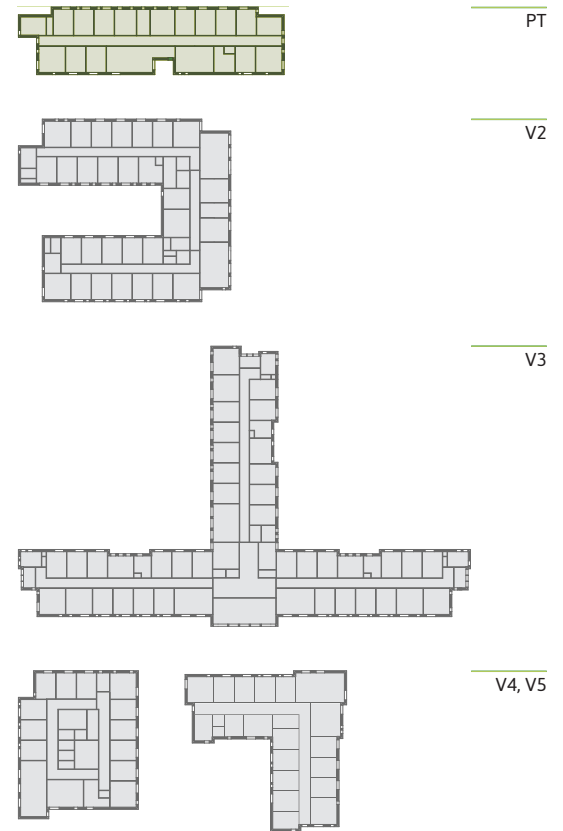
### Huomioita suunnitteluun

Energiatehokkuudellisesta näkökulmasta rakennusmassa tässä yhteydessä on ensisijaisesti yhdistelmä lämmitettyä nettoalaa ja ikkuna-aukotusta. Ostoenergiankulutukseen selkeästi suurin vaikutus on lämmitetyn nettoalan määrällä, joten keskeistä on huolehtia rakennettavan tilan tehokkaasta hyödyntämisestä. Myös aukotus vaikuttaa energiankulutukseen, mutta siinä määrin vähäisesti, että suunnittelu tulee tehdä ensisijaisesti toiminnallisuuden ehdoilla (ks. 4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala; 4.1.16. Ulko-ovien lukumäärä).

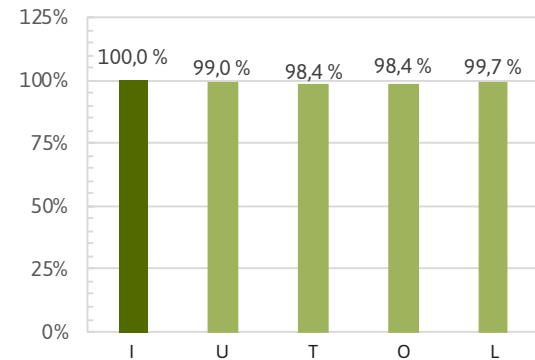
Rakennuksen massa ja massoitelu ovat arkkitehtisuunnittelun peruspilareita. Arkkitehtoninen ilme muodostuu massoittelemasta, joka taas liittyy tiiviisti rakennuksen kokoon, muotoon ja aukotukseen. Rakennusmassaan vaikuttavat myös sijainti, tontin olosuhteet, rakennusalueen koko ja muoto sekä tontin topografia. Arkkitehtuurissa massa ei muodostu irrallisena vaan se liittyy aina tontin lisäksi esimerkiksi tiloihin, niiden järjestelyyn, tilojen kokoon, muotoon, yhteyksiin. Massalla on siis erittäin suuri merkitys arkkitehtonisen laadun, kauneuden ja viihtyisyyden sekä toimivuuden kannalta.

### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

4.1.1. Lämmitetty nettoala.....	s. 27
4.1.4. Pohjamuoto.....	s. 33
4.1.8. Vaipan viivamaiset kylmäsillat.....	s. 41
4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala.....	s. 49
4.1.16. Ulko-ovien lukumäärä.....	s. 57



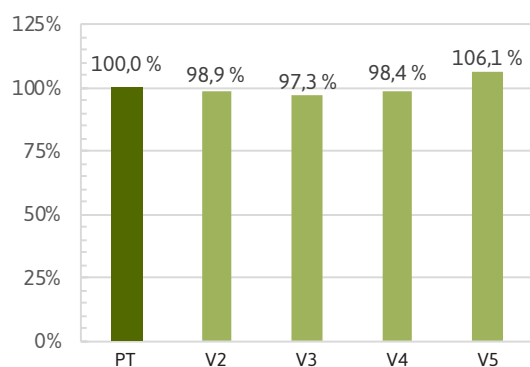
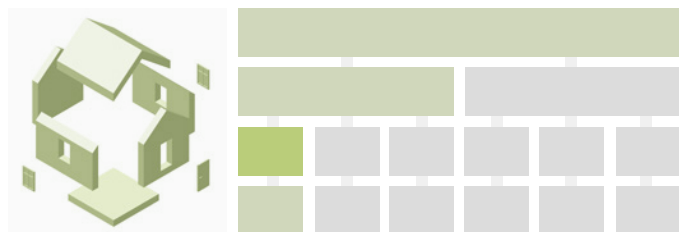
**KUVA 4.1.3.c. Simuloitujen varianttien pohjapiirroksat:** tyyppimallit I, U, T, O ja L.



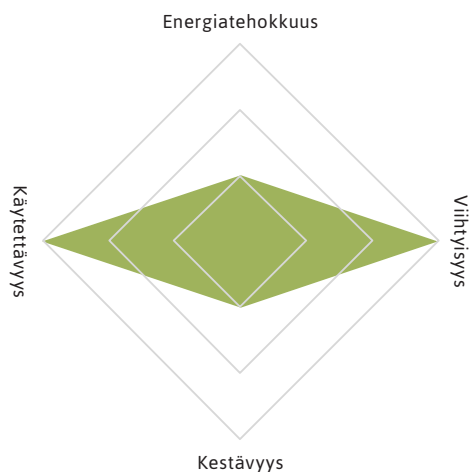
**KUVA 4.1.3.d. Rakennusmassan vaikutus E-lukuun,** E-luku suhteessa perustapaukseen, vertailussa ryhmäkotikerrosten tyyppimallit.



## 4.1.4. Pohjamuoto



**KUVA 4.1.4.a. Pohjamuodon vaikutus osastoenergiankulutukseen**, osastoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.



**KUVA 4.1.4.b. Pohjamuodon vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Rakennuksen pohjamuoto

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Lähes suorakaide, 14 nurkkaa

**Variante 2** Suorakaide, 4 nurkkaa, vaippa 97 % perustapauksesta

**Variante 3** Neliö, 4 nurkkaa, vaippa 93 % perustapauksesta

**Variante 4** Neliömäinen, 14 nurkkaa, vaippa 95 % perustapauksesta

**Variante 5** Sakarainen, 14 nurkkaa, vaippa 119 % perustapauksesta

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variante 2</b>	211 022 kWh/v	98,9 %	305 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variante 3</b>	207 617 kWh/v	97,3 %	300 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variante 4</b>	209 946 kWh/v	98,4 %	305 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variante 5</b>	226 403 kWh/v	106,1 %	321 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu ensisijaisesti rakennuksen pohjamuoto ja siihen liittyen vaipan ala sekä nurkkien määrä (ks. kuva 4.1.4.c). Lämmitetty nettoala ja ikkunapinta-ala (m<sup>2</sup>) on vakioitu. Rakennus on aina yksikerroksinen. Alapohjan U-arvo muuttuu maan lämpövastuksen kautta rakennuksen pohjamuodon/-alan mukaan, perustapauksesta lähtien: 0,13; 0,12; 0,11; 0,12; ja 0,14 W/m<sup>2</sup>K (ks. 4.1.6. Vaipan U-arvot).

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Rakennuksen pohjamuodon vaikutus energiatehokkuuteen on ainakin yksikerroksisella rakennuksella korkeintaan kohtalainen. Suuri osa energiankulutuserosta muodostuu ulkoseinien alasta: variantissa 5 ulkoseinien lämpöhäviöt lähes kaksinkertaistuvat perustapaukseen nähden piirin kasvaessa. Korkeammassa rakennuksessa voitaisiin olettaa varianttien välisten erojen kasvavan. Perustapauksessa julkisivujen osuus vaipasta on vain 24,2 % – nelikerroksisessa rakennuksessa samalla pohjalla julkisivujen osuus olisi jo 56,1 %. Tällöin pohjamuodon monimutkaistumisen vaikutus kasvaisi samassa suhteessa.

Tarkastelluista varianteista energiatehokkain pohjamuoto on neliö neljällä nurkalla (variante 3, energiankulutus 97,3 % perustapauksesta), lämpöhäviöiden kannalta odotetusti: muodon monimutkaistussa vaipan määrä lisääntyy ja nurkkien sekä piirin muodostamien kylmäsiltojen mitta kasvaa (ks. 4.1.8. Vaipan viivamaiset kylmäsilto).

### Huomioita suunnitteluun

Jo nykyisten vertailuarvojen mukaisilla hyvillä rakenteiden U-arvoilla (RakMK D3, 2012) pohjamuodon merkitys energiatehokkuuteen jää kokonaisuudessa hillityksi – parannettaessa eristystä vaikutus kutistuu entisestään (ks. 4.1.6. Vaipan U-arvot). Energiatehokkuuden kannalta on siis eduksi pyrkiä yksinkertaiseen pohjamuotoon, mutta se ei ole edellytys energiatehokkaalle rakentamiselle.

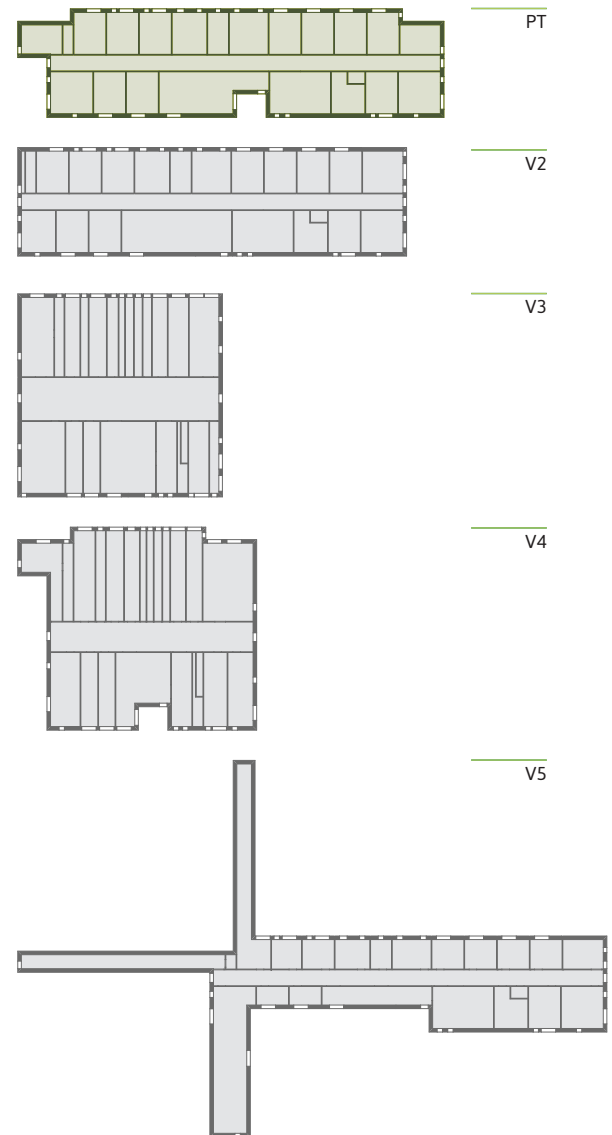
Johtumishäviöiden lisäksi pohjamuoto vaikuttaa mahdollisuuksiin hyödyntää auringon lämpöä ja valoa (ks. 4.1.11. Ikkunoiden suuntaus; 4.3.2. Luonnonvalon määrä). Näistä näkökulmista suorakaide on optimaalisempi kuin neliö suuremman osan tiloista asettuessa lähelle julkisivua. Vastavuoroisesti neliöpohjan syvä runko hankaloittaa luonnonvalon saantia, mikä vaikuttaa sekä toiminnallisuuteen että valaistustarpeeseen epäedullisesti.

Pohjamuodon vaikutus arkkitehtoniseen ilmeeseen on merkittävä niin rakennuskuin kaupunkikuvallisellakin tasolla. Käytännössä muodonantoa ohjaa pitkälti tilaohjelma ja sen vaatimat toiminnalliset yhteydet: usein monimutkaisen pohjamuodolla voidaan saada aikaan tilallista ja toiminnallista hyötyä, jota pelkistetyn sommitelman vähentynyt vaipan määrä ei kompensoisi. Näin ollen suunnittelussa tulee aina etsiä toiminnallisuuden ja energiatehokkuuden välinen tasapaino tapauskohtaisesti.

Kaupunkikuvallisella tasolla tarkasteltuna muoto vaikuttaa rakennuksen soveltuvuuteen tontille, tai paremminkin: tontin muoto yhdistettynä topografiaan ja lähiympäristöön ohjaa sille soveltuvaa muotoa. Harkitsematon massoittelemisen yksinkertaistaminen voi johtaa yksipuoliseen kaupunkirakenteeseen ja rakennustarjontaan, sekä muihin esteettisiin ja laadullisiin haasteisiin.

### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

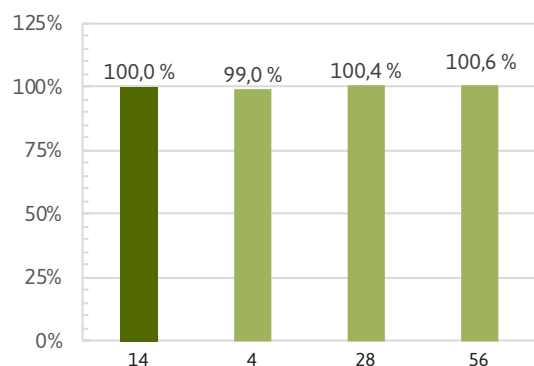
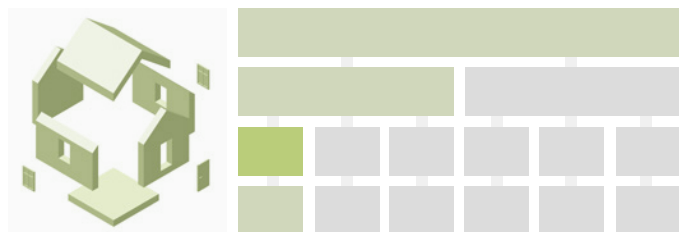
- 4.1.5. Vaipan nurkkien lukumäärä.....s. 35  
4.1.8. Vaipan viivamaiset kylmäsilat.....s. 41



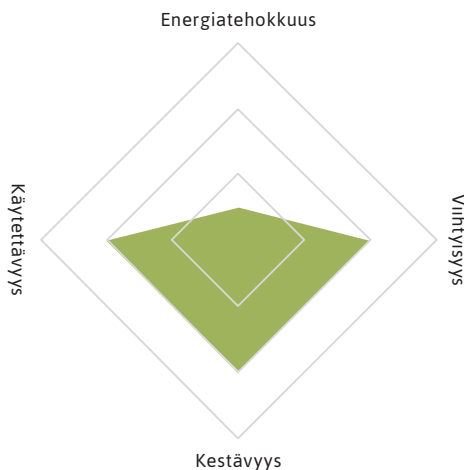
**KUVA 4.1.4.c.** Simuloitujen varianttien pohjapiirroukset.

*Suoran energiankulutusvaikutuksen lisäksi muodon monimutkaistuessa nousee riski rakennusvirheille ja niistä aiheutuville vuotokohdille. Samalla lisääntyvä vaipan ala lisää rakennusvaiheen sekä mahdollisten korjausten materiaaltarvetta.*

## 4.1.5. Vaipan nurkkien lukumäärä



**KUVA 4.1.5.a. Rakennusvaipan nurkkien lukumäärän vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.1.5.b. Rakennusvaipan nurkkien lukumäärän vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti  
**Muuttuja(t)** Rakennuksen pohjamuodon nurkkien lukumäärä

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** 14 nurkkaa  
**Variantti 2** 4 nurkkaa, vaippa 97 % perustapauksesta  
**Variantti 3** 28 nurkkaa, vaippa 101 % perustapauksesta  
**Variantti 4** 56 nurkkaa, vaippa 103 % perustapauksesta

### Simulaatiotulokset

Laskentatapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	211 131 kWh/v	99,0 %	305 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	214 196 kWh/v	100,4 %	308 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4</b>	214 548 kWh/v	100,6 %	308 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu ensisijaisesti rakennuksen ulkoseinien nurkkien lukumäärä (ks. kuva 4.1.5.c) ja siihen liittyen vaipan ala sekä aukotuksen prosenttiosuus julkisivuista. Lämmitetty nettoala sekä ikkunapinta-ala (m<sup>2</sup>) on vakioitu. Rakennus on aina yksikerroksinen.

### Energiätehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Rakennuksen nurkkien määrän vaikutus energiatehokkuuteen on yksittäisenä ominaisuutena vähäinen: ero perustapaukseen jää kauttaaltaan prosenttiyksikön sisään. Kylmäsiltojen konduktanssit ovat vertailussa suhteellisen hyviä, samoin kuin vaipan U-arvot (RakMK D3 (2012) vertailuarvot), mikä osaltaan vaikuttaa pieneen eroon tapausten välillä. Myös pohjamuodon vertailussa (ks. 4.1.4. Pohjamuoto), jossa vaipan ala muuttuu merkittävämmän, tulokset olivat saman suuntaisia. Kuten kyseisessä tarkastelussa, nurkkien lukumäärän vaikutuksen energiatehokkuuteen voitaisiin olettaa olevan suurempi korkeammalla rakennuksella, koska lisäys vaipan alaan olisi merkittävämpi.

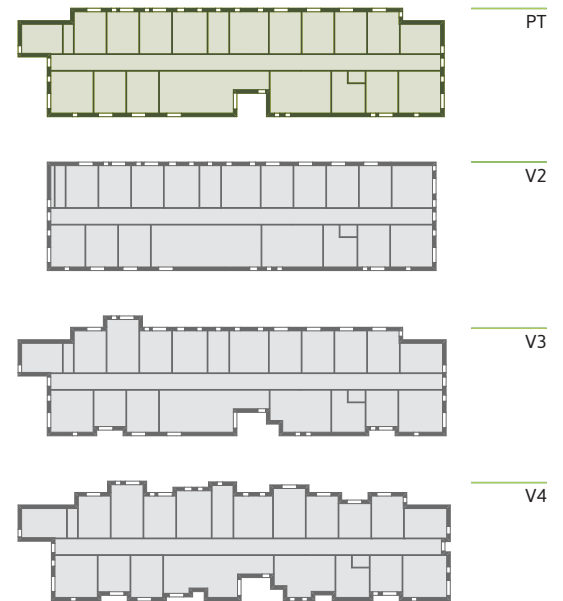
### Huomioita suunnittelun

Nurkkien lukumäärän lisääntyessä vakioidulla nettoalalla vaipan ala kasvaa väistämättä, kuten myös piirin sekä itse nurkkien viivamaisten kylmäsiltojen yhteismitta (ks. 4.1.8. Vaipan viivamaiset kylmäsilto). Kohtuuden rajoissa tarkasteltuna näillä ei kuitenkaan ole kovin suurta merkitystä. Voidaan siis ajatella, että energiatehokkuuden kannalta on hyvä pyrkiä yksinkertaiseen muotoon, mutta se ei ole edellytys energiatehokkaalle rakentamiselle.

Rakennuksen nurkat, kuten siihen läheisesti liittyvä pohjamuoto vaikuttavat merkittävästi massoitteeluun (ks. 4.1.4. Pohjamuoto). Pelkistettyjen linjojen tavoittelusta luopuminen mahdollistaa rakennuksen vapaamman sovittamisen tilaohjelman tarpeisiin ja esimerkiksi huoneiden sujuvamman avaamisen useampaan ilma-suuntaan sekä yksittäisten tilojen tarkoituksenmukaisemman ja tehokkaamman mitoituksen. Pohjamuodon yleisen varioinnin tavoin saavutettavat tilasuunnitel- lulliset hyödyt voivat usein ylittää laskentojen perusteella varsin vähäisen energi- ankulutuksen lisäyksen. Vastaavasti mahdollistuu visuaalisesti rikkaamman kau- punkikuvan muodostaminen.

#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

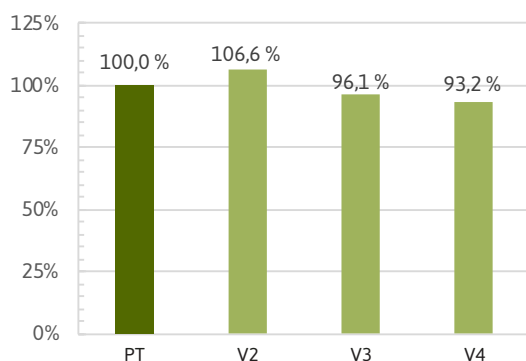
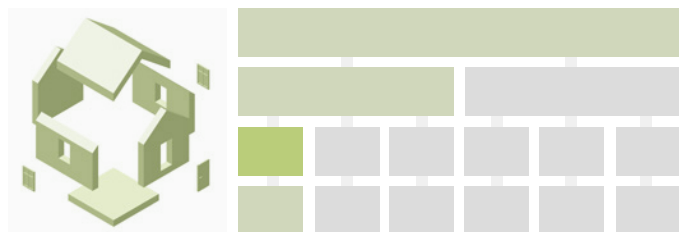
4.1.4. Pohjamuoto.....	s. 33
4.1.8. Vaipan viivamaiset kylmäsiilat.....	s. 41



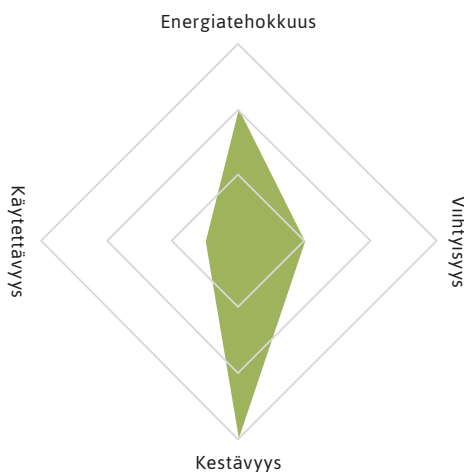
**KUVA 4.1.5.c. Simuloitujen varianttien pohjapiirrokset.**

*Ulko- ja sisänurkat vaikuttavat laskennalliseen energiatehokkuuteen eri tavalla: ulkonurkat heikentävästi, sisänurkat parantavasti. Koska näiden lukumäärän erotus on suorakulmaisessa rakennuksessa vakio (4), on nurkkien lukumäärällä teoriassa vaikutusta energiankulutukseen ainoastaan vaipan alan myötä. Käytännössä kuitenkin jokainen liitoskohta lisää riskiä rakentamisen aikaisille virheille: detaljit käyvät monimutkaisemmiksi ja vaikeammin suunniteltaviksi sekä toteutettaviksi.*

## 4.1.6. Vaipan U-arvot



**KUVA 4.1.6.a. Rakennusvaipan U-arvojen vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.1.6.b. Rakennusvaipan U-arvojen vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Rakennusvaipan U-arvot

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** U-arvot: US 0,17; AP 0,16; YP 0,09; Ikkunat ja ovet 1,0 W/(m<sup>2</sup>K)

**Variantti 2** U-arvot: US 0,24; AP 0,24; YP 0,15; Ikkunat ja ovet 1,4 W/(m<sup>2</sup>K)

**Variantti 3** U-arvot: US 0,14; AP 0,10; YP 0,07; Ikkunat ja ovet 0,7 W/(m<sup>2</sup>K)

**Variantti 4** U-arvot: US 0,09; AP 0,09; YP 0,05; Ikkunat 0,6 ja ovet 0,5 W/(m<sup>2</sup>K)

### Simulaatiotulokset

Laskenta-tapaus	Ostoenergiankulutus		
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	E-luku (2012)
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 2	227 430 kWh/v	106,6 %	321 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 3	204 955 kWh/v	96,1 %	298 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 4	198 721 kWh/v	93,2 %	292 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuvat rakennuksen vaipan lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot, jotka kuvastavat rakennuksen vaipan läpi johtumalla tapahtuvia lämpöhäviöitä. **Perustapauksessa** on käytetty RakMK D3 (2012) mukaisia vertailu-U-arvoja, **variantissa 2** RakMK C3 (2007) määräysten minimiarvoja, **variantissa 3** asetuksen 1010/2017 §33 mukaisia arvoja ja **variantissa 4** edellisestä yhä parannettuja arvoja.

Vaipan kokonaistarkastelun lisäksi vastaavat U-arvovertailut on suoritettu erikseen ulkoseinille, yläpohjalle, alapohjalle, ikkunoille ja oville (ks. kuvat 4.1.6.c–g). Näissä on perustapauksesta muokattu kerrallaan vain kulloinkin tarkasteltujen rakennusosien U-arvoja.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Rakennusvaipan U-arvoilla kokonaisuudessaan on kohtalainen vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Variantissa 3 energiankulutus vähenee noin 4 % perustapauksesta (96,1 %), ja variantin 4 edelleen kohennetuilla arvoilla saavutetaan liki 7 % parannus (93,2 %). Huomattavaa kuitenkin on, että käytetyillä rakenteilla viimeisen variantin seinät muodostuvat 70 cm vahvoiksi ja yläpohja yli metriseksi; käytännön toteutus edellyttäisi tai ainakin suosisi näin ollen tarkastelussa käytetyistä eroavia rakenteita rakennepaksuuksien pitämiseksi kohtuullisina.

Yksittäisistä rakennusosista merkittävin pudotus ostoenergiankulutukseen saavutettiin näissä tarkasteluissa ulkoseinien U-arvoa parantamalla (2,1 %, ks. kuva 4.1.6.c). Vaikutusta voidaan pitää erityisen merkittävänä siksi, että käytetyssä yksikerroksisessa tarkastelukohteessa julkisivun osuus vaipasta on vain 24,2 %. Vähäisin vaikutus puolestaan oli ulko-oven U-arvolla (ks. kuva 4.1.6.g). Koska tar-

kastelukohteessa on vain yksi ovi, on tulos odotettu ja esitetty lähinnä merkityksen pienuuden havainnollistamiseksi – useampien ovien tapauksessa U-arvon vaikutus olisi vastaava kuin ikkunoiden varianteissa.

#### Huomioita suunnitteluun

Mitä parempi U-arvo, sitä vähemmän lämpöä johtuu rakenteen läpi. Lämmityskaudella tämä vähentää suoraan lämmitystarvetta ja edistää lämpökuormien hyödyntämistä niin laitteista, ihmisistä kuin auringostakin. Vastavuoroisesti kesällä saattaa kuitenkin sisäisten sekä auringon lämpökuormien myötä ilmetä jäähdytstarvetta.

Rakennusvaipan U-arvot vaikuttavat suoraan massoiteluun ja aukotukseen liittyvien suunnitteluratkaisujen energiatehokkuusvaikutuksiin: mitä parempi lämmöneristävyys on, sitä vähemmän esimerkiksi vaipan monimuotoisuus, ikkunapinta-ala tai ovien lukumäärä lisäävät lämpöhäviöitä.

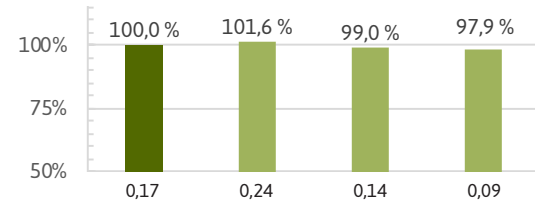
Arkkitehtoniseen ilmeeseen U-arvoilla sinänsä on vain vähän välitöntä vaikutusta. Jos otetaan huomioon se seikka, että paremmat U-arvot aiheuttavat usein vahvempia seinärakenteita, saattavat ikkunat upota syvälle julkisivupinnasta. Ikkunoiden koko tulisi siten suhteuttaa ulkoseinien vahvuuteen. Vastaavasti ylä- ja alapohjarakenteet paksunevat. Tämä vaikuttaa paitsi visuaaliseen ilmeeseen, myös kulkuyhteyksien suunnitteluun liikennöityjen kattojen sekä massan alitusten tapauksissa. Rakennettavaan maksimikerrosalaan ulkoseinärakenteen vahvuus ei käytännössä vaikuta, koska 250 mm ylittävä osa sallitaan rakennusoikeuden ylitykseksi.

U-arvot vaikuttavat oleellisesti sisäolosuhteisiin ja siten viihtyisyyteen. Rakennuksen operatiiviseen lämpötilaan U-arvoilla on merkittävä vaikutus: kun U-arvot ovat korkeita, alenevat rakenteiden pintalämpötilat, mikä tuntuu rakenteen lähellä vedon tunteena. Nykymääräysten mukaisilla rakenteilla ongelmaa ei kuitenkaan esiinny muutoin kuin mahdollisesti ikkunoiden ja ovien kohdalla. Matalilla U-arvoilla sisäolosuhteet puolestaan saattavat heiketä ylikuumenemisen johdosta. Täten esimerkiksi juurikin hyvään lämmöneristävyteen nojaavan passiivitalon toteuttaminen vaatii erityisen huolellista suunnittelua.

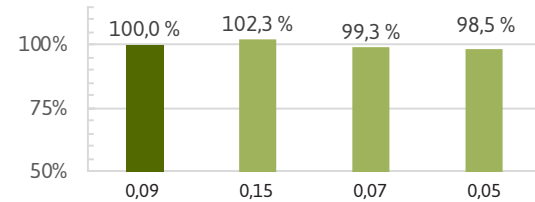
U-arvoilla on – rakenteesta riippuen – vaikutusta tekniseen toimivuuteen, terveellisyteen, turvallisuuteen ja riskittömyyteen. Lämmöneristyksen lisääminen saattaa heikentää vaipparakenteiden kosteusteknistä toimintaa aiheuttaen mahdollisesti kosteuden tiivistymistä rakenteen sisään. U-arvojen parantuaessa olisikin suoraviivaisen eristemäärän kasvattamisen lisäksi samalla huomioitava rakennetyyppikohtaiset muutokset, jotta rakenteen lämpö- ja kosteustekninen toiminta ei heikkenisi.

#### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

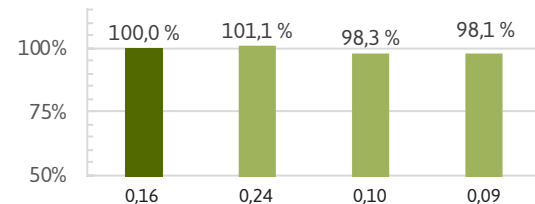
4.1.1. Lämmitetty nettoala.....	s. 27
4.1.2. Kerros-luku.....	s. 29
4.1.4. Pohjamuoto.....	s. 33
4.1.8. Vaipan viivamaiset kylmäsiilat.....	s. 41
4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala.....	s. 49
4.1.16. Ulko-ovien lukumäärä.....	s. 57



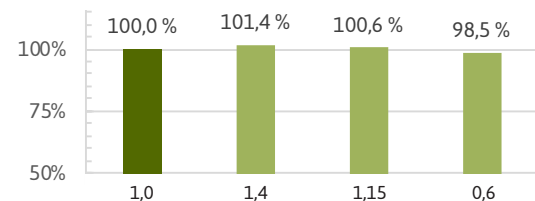
**KUVA 4.1.6.c. Ulkoseinien U-arvon (W/m²K) vaikutus ostoenergiankulutukseen,** ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.



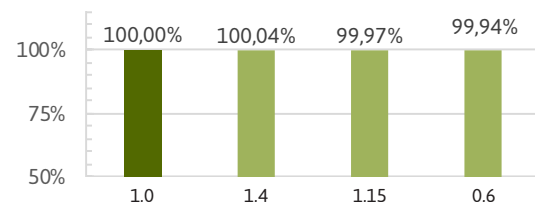
**KUVA 4.1.6.d. Yläpohjan U-arvon (W/m²K) vaikutus ostoenergiankulutukseen,** ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.



**KUVA 4.1.6.e. Alapohjan U-arvon (W/m²K) vaikutus ostoenergiankulutukseen,** ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.

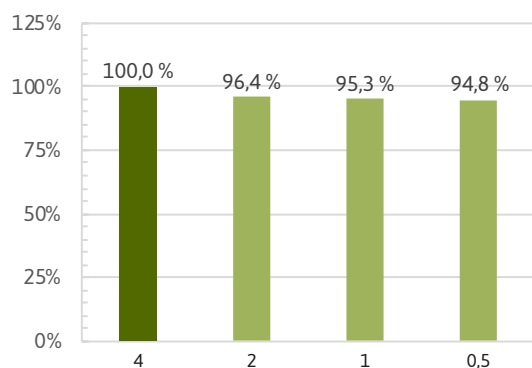
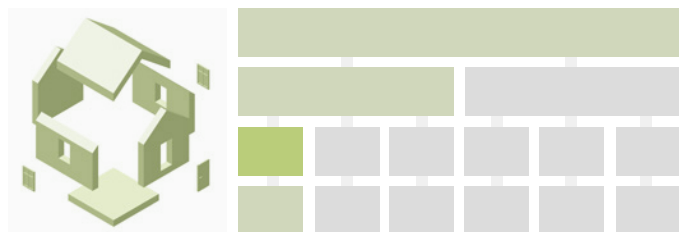


**KUVA 4.1.6.f. Ikkunoiden U-arvon (W/m²K) vaikutus ostoenergiankulutukseen,** ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.

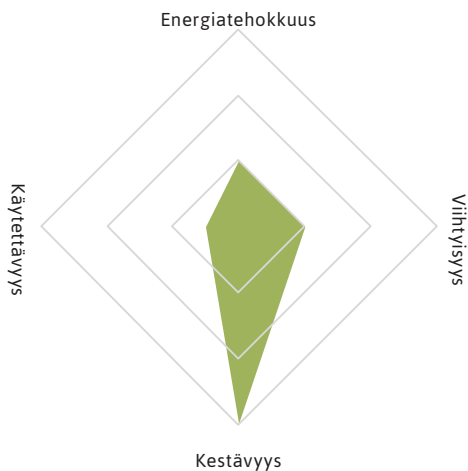


**KUVA 4.1.6.g. Ulko-ovien U-arvon (W/m²K) vaikutus ostoenergiankulutukseen,** ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.

## 4.1.7. Vaipan tiiveys



**KUVA 4.1.7.a. Rakennusvaipan tiiveyden (ilmavuotoluku  $q_{50}$ ) vaikutus ostoenergiakulutukseen, ostoenergiakulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.1.7.b. Rakennusvaipan tiiveyden vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Rakennusvaipan ilmavuotoluku  $q_{50}$

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ilmavuotoluku  $q_{50} = 4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2_{\text{ulkovaippa}})$

**Variantti 2** Ilmavuotoluku  $q_{50} = 2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2_{\text{ulkovaippa}})$

**Variantti 3** Ilmavuotoluku  $q_{50} = 1 \text{ m}^3/(\text{h m}^2_{\text{ulkovaippa}})$

**Variantti 4** Ilmavuotoluku  $q_{50} = 0,5 \text{ m}^3/(\text{h m}^2_{\text{ulkovaippa}})$

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiakulutus		
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	E-luku (2012)
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 2	205 641 kWh/v	96,4 %	299 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 3	203 385 kWh/v	95,3 %	297 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 4	202 301 kWh/v	94,8 %	296 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu vaipan ilmatiiveyttä kuvaava ilmavuotoluku. Ilmavuotoluku ilmoittaa, montako kuutiometriä ilmaa vuotaa yhden ulkovaippaneliömetrin läpi tunnissa, kun paine-ero sisä- ja ulkotilan välillä on 50 pascalia. Vuotoilma on tarkasteluissa mallinnettu käyttäen vakiovuotoilmavirtaa. Esitettyjen ilmavuotolukujen mukaiset vuotoilmavirrat ovat perustapauksesta lähtien 0,114; 0,057; 0,028; ja 0,014 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup><sub>ulkovaippa</sub>)

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Ilmatiiveyden vaikutus energiatehokkuuteen on kohtalainen, tässä vertailussa yli 5 % (variantti 4, energiankulutus 94,8 % perustapauksesta). Tiivistä vaippaa onkin perinteisesti pidetty keskeisenä energiatehokkaan rakennuksen kriteerinä – esimerkiksi passiivitalon määritelmään kuuluu Suomessa korkeintaan 0,6 ilmavuotoluku.

### Huomioita suunnitteluun

Rakennus tulee suunnitella ja toteuttaa tiiviiksi niin rakenteellisen kestävyys, käyttömukavuuden, käyttöturvallisuuden kuin energiatehokkuudenkin vuoksi. Rakennuksen ilmatiiveys vaikuttaa rakennuksen vuotoilmanvaihtoon, joka taas vaikuttaa lämpöhäviöihin: mitä parempi ilmatiiveys, sen parempi energiatehokkuus. Vuotoilmanvaihto vaikuttaa myös ilmanvaihdon tarpeeseen.

Ilmatiiveydellä ei ole vaikutusta arkkitehtoniseen ilmeeseen tai esteettisyyteen mutta sen vaikutus sisäolosuhteisiin, erityisesti vedontunteeseen ja sitä kautta viihtyisyyteen on merkittävä. Vedontunteen välityksellä ilmatiiveys voi myös vaikuttaa käyttäjän toimien kautta energiatehokkuuteen varsinaiseen huonelämpötilaan nähden liiallisen lämmittämisen myötä.

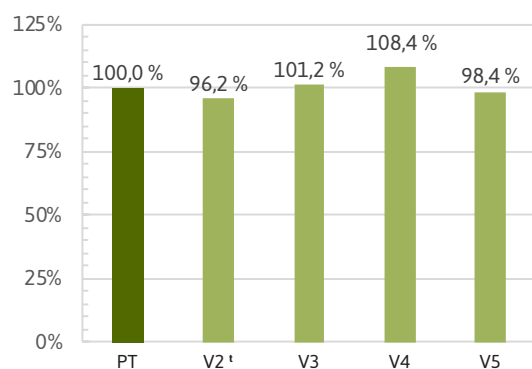
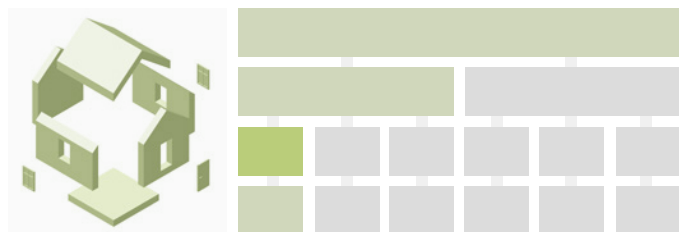
Ilmatiiveydellä on oleellinen vaikutus rakennuksen terveellisyyteen, turvallisuuteen ja riskittömyyteen. Riskejä sisäilman kannalta syntyy erityisesti, kun ilmanvaihto muodostaa paine-eroja rakennusvaipan yli. Rakennuksen ollessa alipaineinen, korvausilman mukana voi kulkeutua epäpuhtauksia rakenteista sisäilmaan. Alipaineisena hyvin tiivis rakennus voi myös aiheuttaa käyttöön liittyviä ongelmia, kuten ulko-ovien aukaisuvaiveuksia. Kun taas rakennus on ylipaineinen, ongelmana voi olla sisätilojen kosteuden siirtyminen rakenteisiin. Rakenteisiin siirtyvä liikkokosteus voi aiheuttaa mikrobivaurioita. Tämä riski kasvaa entisestään suuremmilla rakennepaksuuksilla ja paremmilla U-arvoilla (ks. 4.1.6. Vaipan U-arvot).

*Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.1.6. Vaipan U-arvot.....	s. 37
4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta .....	s. 97

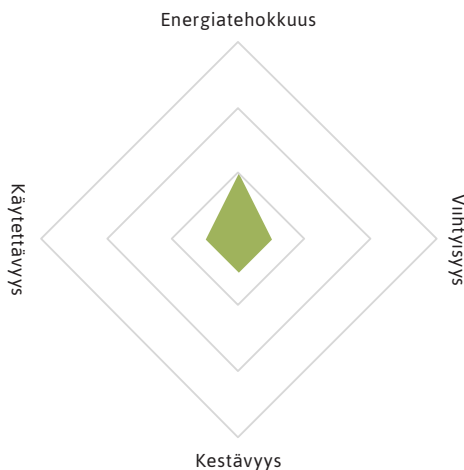


## 4.1.8. Vaipan viivamaiset kylmäsilat



**KUVA 4.1.8.a. Viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssien vaikutus ostoenergiakulutukseen, ostoenergiakulutus suhteessa perustapaukseen.**

† Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.1.8.b. Viivamaisten kylmäsiltojen vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ylä- ja alapohjan sekä ulkoseinien viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssit

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Lisäkonduktanssit YP-US 0,05; AP-US 0,15; US-US 0,05/-0,05; Ikkuna 0,04; Ovi 0,04 W/(m K)

**Varianti 2 †** Lisäkonduktanssit YP-US 0,00; AP-US 0,00; US-US 0,00/0,00; Ikkuna 0,00; Ovi 0,00 W/(m K)

**Varianti 3** Lisäkonduktanssit YP-US 0,08; AP-US 0,24; US-US 0,06/-0,06; Ikkuna 0,15; Ovi 0,15 W/(m K)

**Varianti 4** Lisäkonduktanssit YP-US 0,18; AP-US 0,28; US-US 0,06/-0,06; Ikkuna 0,15; Ovi 0,15 W/(m K)

**Varianti 5** Lisäkonduktanssit YP-US 0,04; AP-US 0,03; US-US 0,04/-0,04; Ikkuna 0,04; Ovi 0,04 W/(m K)

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiakulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
Varianti 2 †	205 161 kWh/v	96,2 %	298 kWh/m <sup>2</sup> v
Varianti 3	215 950 kWh/v	101,2 %	310 kWh/m <sup>2</sup> v
Varianti 4	231 305 kWh/v	108,4 %	325 kWh/m <sup>2</sup> v
Varianti 5	209 880 kWh/v	98,4 %	303 kWh/m <sup>2</sup> v

† Teoreettinen tapaus. Lisäkonduktanssi ei voi todellisuudessa olla 0.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Kylmäsiltojen lisäkonduktanssilla ilmaistaan kylmäsiltojen aiheuttamaa, yhtenäiseen rakenteeseen nähden ylimääräistä lämpövirtaa. Kylmäsiltoja muodostuu esimerkiksi eri rakenteiden liitoksiin. Tarkastelluissa varianteissa on muutettu viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssien arvoja. Arvot on valittu soveltaen RakMK D5 (2012, s. 17). Laskentatapauksien kuvauksessa yllä esitetyt kaksi arvoa ulkoseinille kuvaavat lisäkonduktanssia sisä- ja ulkonurkissa. Valitut lisäkonduktanssit ovat **perustapauksessa** keskitasoa (esim. puu-puu), **variantissa 2** ei lainkaan kylmäsiltoja, **variantissa 3** huonot (esim. betoni-betoni), **variantissa 4** kauttaaltaan taulukon huonoimmat, ja **variantissa 5** kauttaaltaan taulukon parhaimmat.

Koko rakennusvaipan viivamaisten kylmäsiltojen tarkastelun lisäksi erilliset vertailut on suoritettu ulkoseinien, yläpohjan ja alapohjan liitoksille (ks. kuvat 4.1.8.c–e). Näissä on perustapauksesta muokattu kerrallaan vain kulloinkin tarkasteltujen liitosten lisäkonduktansseja.

### *Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa*

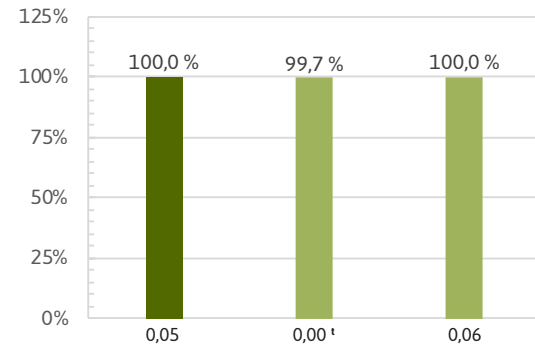
Kylmäsiltojen lisäkonduktanssien vaikutus energiatehokkuuteen on kohtalainen. Perustapaukseen verrattaessa RakMK D5 (2012) huonoimpien esitettyjen arvojen käyttäminen (variantti 4) lisäsi energiankulutusta yli 8 %.

### *Huomioita suunnitteluun*

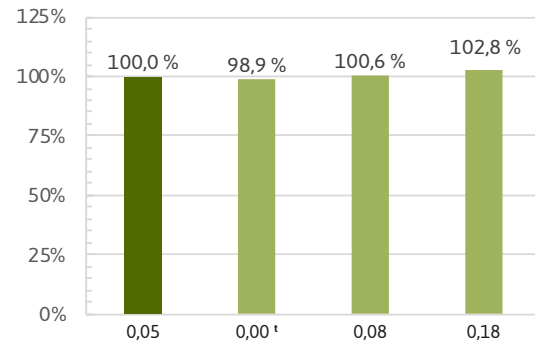
Kylmäsiltojen lisäkonduktanssit vaikuttavat energiatehokkuuteen johtumishäviöiden kautta. Lisäkonduktanssien arvot ovat riippuvaisia rakennusmateriaaleista ja vaikutus kokonaisuudessa on riippuvainen kylmäsiltojen eli nurkkien sekä eri rakennusosien liitosten määrästä. Mitä enemmän liitoksia ja mitä huonommat arvot, sitä enemmän johtumishäviöistä johtuvaa energiankulutusta. Näin ollen lisäkonduktanssien käytännön vaikutusta määrittelevät keskeisesti rakenteellisten valintojen lisäksi myös muut arkkitehtoniset suunnitteluratkaisut kuten aukotus ja muodonanto.

### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

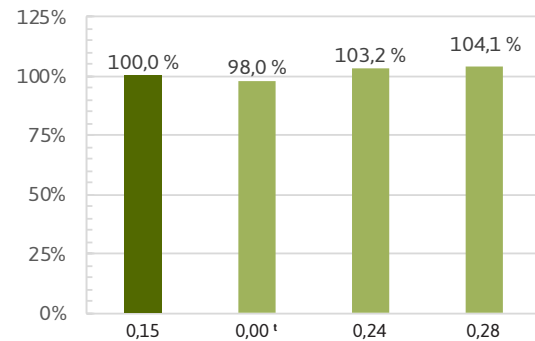
- 4.1.4. Pohjamuoto.....s. 33  
4.1.5. Vaipan nurkkien lukumäärä.....s. 35



**KUVA 4.1.8.c. Ulkoseinien viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssin (US-US/US-VS, W/(mK)) vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



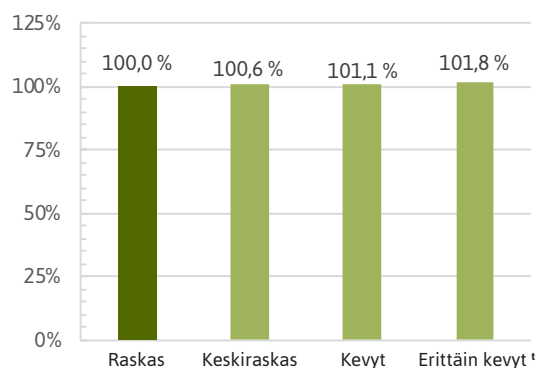
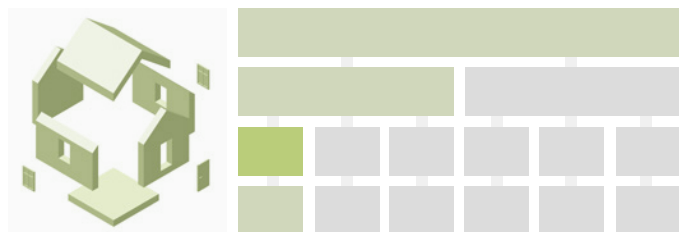
**KUVA 4.1.8.d. Yläpohjan viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssin (YP-US, W/(mK)) vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.1.8.e. Alapohjan viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssin (AP-US, W/(mK)) vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**

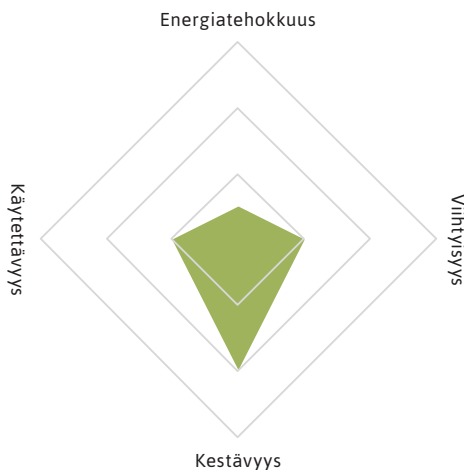
<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus

## 4.1.9. Vaipan terminen massa



**KUVA 4.1.9.a. Termisen massan vaikutus ostoenergiankulutukseen**, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.1.9.b. Termisen massan vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Rakenteiden materiaalien lämmönvarauskyky

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Raskaat rakenteet

**Variantti 2** Keskiraskaat rakenteet

**Variantti 3** Kevyet rakenteet

**Variantti 4<sup>†</sup>** Erittäin kevyet rakenteet

### Simulaatiotulokset

Laskenta-tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	214 600 kWh/v	100,6 %	308 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	215 574 kWh/v	101,1 %	309 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4<sup>†</sup></b>	217 206 kWh/v	101,8 %	310 kWh/m <sup>2</sup> v

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Rakenteet eivät voi koostua pelkästään tässä tarkastelussa käytetyistä eristeistä.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti ( $C_{rak\ oimin}$ ), joka kuvastaa käytettyjen rakenteiden yhdistettyä kykyä sitoa lämpöä. Rakenteiden U-arvot on lähtökohtaisesti pidetty vakiona, mutta alapohjan U-arvo yhdessä maan lämpövastuksen kanssa muuttuu riippuen rakennetyypistä. **Perustapauksessa** ulkoseinät ovat betonielementtejä mineraalivillaeristein, yläpohja betonia mineraalivillaeristein, maanvarainen alapohja betonia polystyreenieristein, ja väliseinät puurunkoisia mineraalivillaeristein. **Variantissa 2** ulkoseinät ovat puurunkoisia mineraalivillaeristein ja muut rakenteet kuten perustapauksessa. **Variantissa 3** kaikki rakenteet ovat puuta mineraalivillaeristein ja alapohja tuuletettava. **Variantti 4** on teoreettinen tapaus, jossa kaikki rakenteet ovat pelkkää eristemateriaalia: ulkoseinät ja yläpohja ovat mineraalivillaa ja maanvarainen alapohja polystyreeniä.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Rakennuksen terminen massa vaikuttaa lämmön varastoitumiseen rakenteisiin ja siten edelleen sekä lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen että sisälämpötiloihin. Raskaat, hyvin lämpöä varaavat rakenteet mahdollistavat auringon ja muiden lämpökuormien tehokkaamman hyödyntämisen lämmityskaudella ja toisaalta suojaavat lämpimään aikaan näiden aiheuttamalta liikalämmöltä tasaamalla lämpötiloja. Tämän tarkastelun perusteella raskaat rakenteet ovat energiatehokkuuden kannalta vuositasolla eduksi, mutta vaikutus on vähäinen: jopa teoreettisessa varian-

tissa 4 ostoenergiankulutus nousi perustapauksesta vain 1,8 %, tai lisääntynyt jäähdystarve huomioiden 2,7 %. Huomattavaa kuitenkin on, että pyrittäessä tarkoituksellisesti hyödyntämään termistä massaa olisi mahdollista käyttää vielä tämän tarkastelun betonielementtejä jykevempiä rakenteita, mikä saattaisi kasvattaa ratkaisun vaikuttavuutta.

#### *Huomioita suunnitteluun*

Rakenteiden suuri termien massa voi tasata sisälämpötiloja sitomalla lämpöä ja luovuttamalla sitä hitaasti rakennukseen. Simulaatiotulosten perusteella varsinainen energiatehokkuusvaikutus on kuitenkin siinä määrin pieni, ettei sen kontrolloinnin tarvitse rajoittaa muuta arkkitehtisuunnittelua.

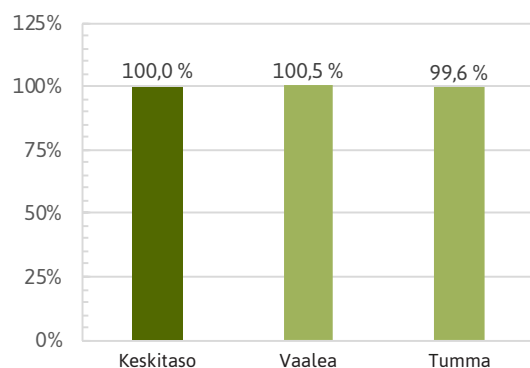
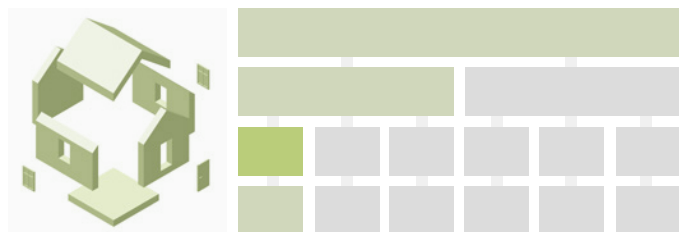
Arkkitehtonisen ilmeen ja sisäolosuhteiden kannalta massiivisuudella on kohtalainen merkitys. Vaippa- ja väliseinärakenteiden paksuus ja mahdollinen materiaalin tuntu vaikuttavat oleellisesti rakennuksen olemukseen erityisesti aukotusten yhteydessä. Sisälämpötilojen tasautuminen sekä ajallisesti että tilassa puolestaan lisää viihtyisyyttä ja saattaa vähentää koneellisten ratkaisujen tarvetta.

#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

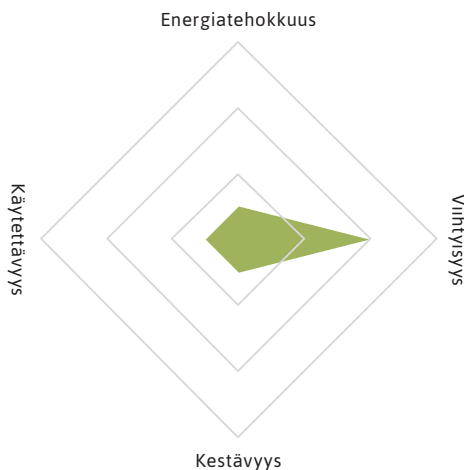
4.3.5. Sisälämpötila .....	s. 91
4.3.6. Jäähdytyslämpötila.....	s. 93

*Rakenteiden raskaus tai keveys riippuu käytännössä usein rakennustyyppistä. Rakennetyyppien valintaan vaikuttavat muun muassa rakennuksen paloluokka, korkeus, taloudellisuus sekä vakiintuneet rakentamistavat.*

## 4.1.10. Vaipan ulkopintojen väri



**KUVA 4.1.10.a. Rakennuksen ulkopintojen värin vaikutus ostoenergiakulutukseen, ostoenergiakulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.1.10.b. Rakennuksen ulkopintojen värin vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Rakennusvaipan ulkopintojen tummuus, tässä lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Keskitumma, lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus 0,5

**Variante 2** Vaalea, lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus 0,7

**Variante 3** Tumma, lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus 0,3

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiakulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
Variante 2	214 280 kWh/v	100,5 %	308 kWh/m <sup>2</sup> v
Variante 3	212 403 kWh/v	99,6 %	306 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu rakennuksen ulkopintojen väritys (ks. kuva 4.1.10.c) ja sitä kautta lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus. Pitkäaaltoisen säteilyn heijastavuus on kaikissa varianteissa 0,9 ja materiaalin karheus 0,03.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Vaipan ulkopinnan värityksen vaikutus energiatehokkuuteen on yksittäisenä ominaisuutena vähäinen. Tummat pinnat vaikuttavat parantavan energiatehokkuutta hieman, kun taas vaaleilla on päinvastainen vaikutus.

### Huomioita suunnitteluun

Energiakulutuksen näkökulmasta rakennuksen ulkoverityksen vaikutus on siinä määrin vähäinen, että suunnitteluvalinnat voidaan tehdä esteettisistä ja toiminnallisista lähtökohdista.

Arkkitehtuurin kannalta ulkoverityksellä on kohtalainen merkitys. Väritys vaikuttaa arkkitehtoniseen ilmeeseen ja materiaalien esteettisyyteen. Lisäksi väritystä voidaan käyttää korostamaan tai häivyttämään tiettyjä rakennuksen osia, tai jopa koko rakennusta. Värityksellä on myös vaikutusta erityisesti ulkotilojen valaistuso-minaisuuksiin: vaaleat pinnat heijastavat valoa ja vähentävät siten valaistustarvetta. Tällä on jossakin määrin välillistä vaikutusta myös energiatehokkuuteen. Tummat pinnat puolestaan lämpenevät vaaleita paremmin ja saattavat siten vaikuttaa ulkoalueiden mikroilmastoon ennen kaikkea tiiviisti rakennetussa ympäristössä.

Väritys saattaa olla määritelty kaavassa, jolloin se ei ole vapaasti kohdetta suunnittelevan (rakennus)arkkitehdin valittavissa. Myös muoti-ilmiöt ja rakennuksen tyyli vaikuttavat monesti valintaan. Esimerkiksi vanhoilla taloilla on usein

oma perinteisiin pigmentteihin sidottu värimaailmansa. Lisäksi merkityksensä on ympäröivällä rakennetulla- sekä luonnonympäristöllä, ja sillä pyritäänkö sopeutumaan näihin vai erottumaan.

*Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

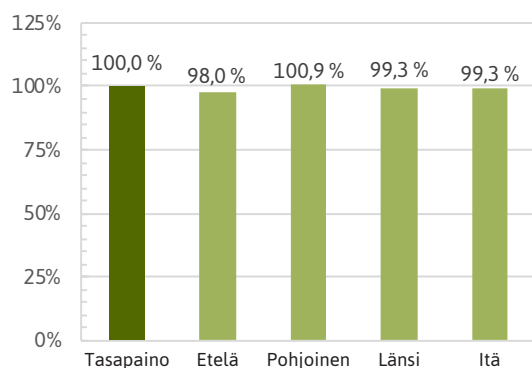
4.3.3. Sisäpintojen väri.....s. 87

*Lämpimissä maissa vaalealla kattopinnalla pyritään vähentämään auringonsäteilyn aiheuttamaa ylikuumenemista ja siten jäähdytystarvetta. Suomessa tämän merkitys kuitenkin vaikuttaa olevan vähäinen: vertailtavaksi poimitussa simulointimallin asuinhuoneessa keskimääräinen heinäkuun operatiivinen lämpötila oli tummalla vaipalla 22,5 °C (variantti 3) ja vaalealla 22,2 °C (variantti 2).*

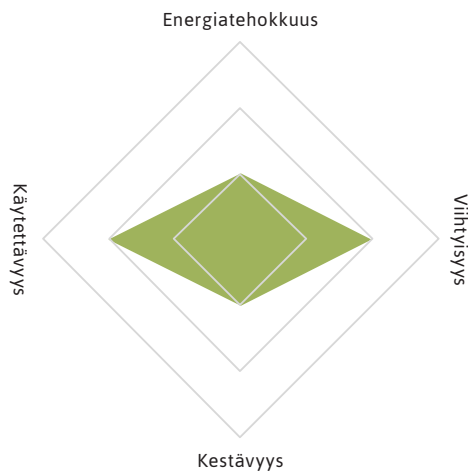


**KUVA 4.1.10.c. Pintojen värimallit.** Lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus ei riipu pelkästään pinnan tummuudesta, joten kuva on vain viitteellinen.

## 4.1.11. Ikkunoiden suuntaus



**KUVA 4.1.11.a. Ikkunoiden suuntauksen vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.1.11.b. Ikkunoiden suuntauksen vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohde** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ikkunoiden pääasiallinen ilmansuunta

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ikkunat eri ilmansuuntiin; E: 18,9 m<sup>2</sup>; I: 13,5 m<sup>2</sup>; P: 28,8 m<sup>2</sup>; L: 8,7 m<sup>2</sup>

**Variantsi 2** Ikkunat pääosin etelään; E: 53,3 m<sup>2</sup>; I: 8,6 m<sup>2</sup>; P: 0,0 m<sup>2</sup>; L: 8,1 m<sup>2</sup>

**Variantsi 3** Ikkunat pääosin pohjoiseen; E: 0,0 m<sup>2</sup>; I: 8,6 m<sup>2</sup>; P: 53,3 m<sup>2</sup>; L: 8,1 m<sup>2</sup>

**Variantsi 4** Ikkunat pääosin länteen; E: 12,5 m<sup>2</sup>; I: 0,0 m<sup>2</sup>; P: 12,5 m<sup>2</sup>; L: 45,0 m<sup>2</sup>

**Variantsi 5** Ikkunat pääosin itään; E: 12,5 m<sup>2</sup>; I: 45,0 m<sup>2</sup>; P: 12,5 m<sup>2</sup>; L: 0,0 m<sup>2</sup>

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	E-luku (2012)
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantsi 2</b>	209 047 kWh/v	98,0 %	303 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantsi 3</b>	215 262 kWh/v	100,9 %	309 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantsi 4</b>	211 753 kWh/v	99,3 %	305 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantsi 5</b>	211 870 kWh/v	99,3 %	305 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu ikkunoiden pääasiallinen ilmansuunta. **Perustapauksessa** ikkunat on sijoitettu alkuperäisen mukaisesti eri ilmansuuntiin. **Varianteissa 2–5** ikkunoiden suuntausta on painotettu ilmansuunnittain julkisivupintojen sallimissa rajoissa (ks. kuva 4.1.11.c). Rakennusmassa itsessään ja sen suuntaus on pidetty vakioina. Huomioitavaa on, että vaikka kaikkien varianttien aukotus itsessään olisi mahdollista toteuttaa, edellyttäisi osa rakennuksen sisäisiä tilamuutoksia ikkunoiden saamiseksi asuinhuoneisiin.

Edeltävien tarkastelujen lisäksi on suoritettu vertailu, jossa perustapaukseen on käännetty eri ilmansuuntiin ikkuna-aukotusta muokkaamatta (ks. kuva 4.1.11.d).

### Energiätehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Ikkunoiden ilmansuunnan vaikutus energiatehokkuuteen on tässä tarkastelussa yksittäisenä ominaisuutena pieni. Kun suurin osa ikkunoista suunnattiin etelään, parani energiatehokkuus vain kaksi prosenttia (variantti 2, 98,0 %). Suurin ero muodostui etelä- ja pohjoissuuntausten välille, jääden silloinkin alle kolmeen prosenttiyksikköön. Ero kapeni entisestään tarkasteltaessa eteläsuuntausta aiheutuva jäähdytystarve huomioiden, jolloin ostoenergiankulutus oli 98,9 % perustapauksesta: lisääntynyt lämpökuorma vähensi lämmitykseen kuluva energiaa, mutta vastaavasti lisäsi jäähdytykseen kuluva energiaa.

Käännettäessä koko rakennusta perustapauksen aukotuksella tulokset olivat samansuuntaiset, joskin tasaisemman ikkunajakauman myötä vähäisemmin eroin: energiaa kului eniten valtaosan aukotuksesta ollessa pohjoiseen (sisäänkäynti etelään) ja vähiten valtaosan aukotuksesta ollessa etelään (sisäänkäynti pohjoiseen) (ks. kuva 4.1.11.d).

#### Huomioita suunnitteluun

Ikkunoiden suuntaus vaikuttaa passiivisen aurinkoenergian määrään eli sisäisiin lämpökuormiin, jäähdytystarpeeseen, luonnonvalon määrään ja varjostustarpeeseen. Näiden vaikutusten suuruus on luonnollisesti suhteessa ikkuna-aukotuksen määrään.

Ikkunoiden suuntaaminen etelään lisää passiivisen aurinkoenergian määrää rakennuksessa ja vähentää siten lämmitystarvetta. Kun lämpökuormat ylittävät lämpöhäviöt, syntyy kuitenkin jäähdytystarvetta joka puolestaan heikentää energiatehokkuutta (ks. 4.3.6. Jäähdytyslämpötila). Suunnittelussa tulee siis ottaa huomioon molemmat näkökulmat samanaikaisesti. Jäähdytystarvetta voidaan aukotuksen koon ja suuntauksen muokkaamisen lisäksi välttää lasin pintakäsittelyillä ja varjostuksella.

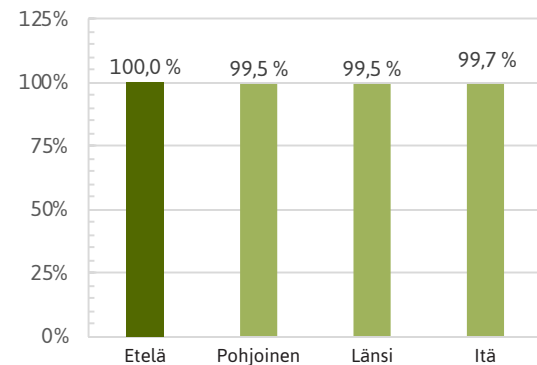
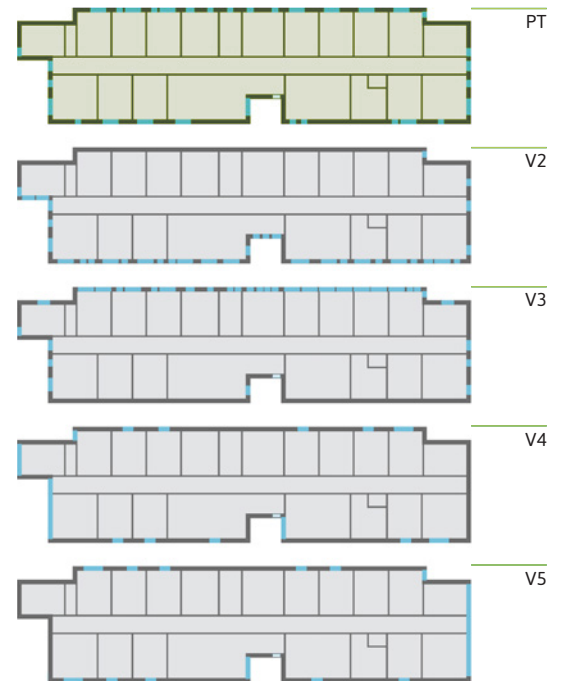
Luonnonvaloa hyödyntämällä voidaan vähentää valaistuksen sähkönkulutusta (ks. 4.3.2. Luonnonvalon määrä). Tällöin on kuitenkin huolehdittava siitä, että valoa saadaan tilojen käyttö huomioiden tarkoituksenmukaisiin paikkoihin, ilman häiritsevää häikäisyä tai liikalämpöä.

Arkkitehtonisesti ikkunoiden suuntauksella on keskeinen vaikutus rakennuksen ja sen ympäristön väliseen suhteeseen sekä tilojen sijoitteluun rakennuksen sisällä. Tiloista avautuvat näymät ovat oleellinen osa viihtyisyyttä, kuten toisaalta myös näymät tiloihin ulkoa, erityisesti kaupunkiympäristössä. Tämän tarkastelun perusteella ikkunoiden suuntauksen vaikutus energiatehokkuuteen on siinä määrin hillitty, että suunnitteluvaihto voidaan tehdä tilojen sommittelun, toivottujen valaistusolosuhteiden ja ympäristöyhteyden ehdoilla.

#### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala .....	s. 49
4.1.15. Ikkunoiden varjostus .....	s. 55
4.4.2. Ympäristön varjostus.....	s. 111

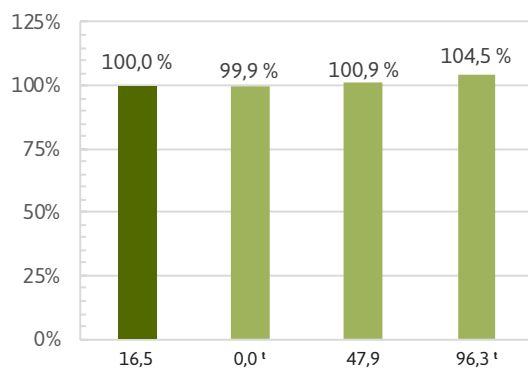
*Ikkunoiden suuntaukseen vaikuttavat energiatehokkuuden ohella merkittävästi myös tavoiteltavat ja toisaalta vältettävät näymät, niin sisältä ulos kuin ulkoa sisään, sekä suoran auringonvalon hyväksyttävyyden mahdollisine häikäisyineen. Kokonaisuutta ratkaistaessa varjostavia elementtejä kuten lippoja, reunuksia ja istutuksia tulisi miettiä sekä tekninen että toiminnallinen näkökulma huomioiden, ulkoasua unohtamatta.*



**KUVA 4.1.11.d. Rakennuksen suuntauksen (sisäänkäynti) vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**

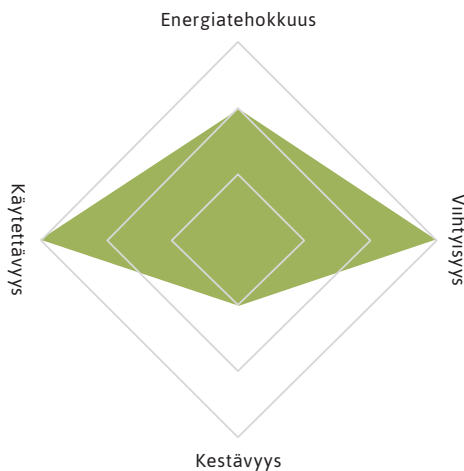


## 4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala



**KUVA 4.1.12.a. Ikkunoiden julkisivuosuuden (%) vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**

† Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.1.12.b. Ikkunoiden julkisivuosuuden vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ikkunoiden osuus julkisivusta

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ikkunoiden osuus julkisivusta 16,5 %

**Variantti 2 †** Ikkunoiden osuus julkisivusta 0,0 %

**Variantti 3** Ikkunoiden osuus julkisivusta 47,9 %

**Variantti 4 †** Ikkunoiden osuus julkisivusta 96,3 %

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	E-luku (2012)
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 2 †	213 051 kWh/v	99,9 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 3	215 309 kWh/v	100,9 %	309 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 4 †	222 883 kWh/v	104,5 %	317 kWh/m <sup>2</sup> v

† Teoreettinen tapaus. Ryhmäkodin julkisivuissa on oltava ikkunoita, mutta julkisivujen täysi lasisuus on erittäin epätavallista.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu ikkunapinta-ala eli ikkunoiden prosentuaalinen osuus julkisivusta; ikkunapinta-alan kasvaessa ulkoseinien ala vähenee vastaavasti, julkisivujen alan pysyen vakiona. Ikkunoiden pinta-alaa on lisätty mahdollisimman tasaisesti kaikille julkisivuille rakennuksen pohjamuodon sallimissa rajoissa (ks. kuva 4.1.12.c). Jokaisen variantin kaikkien ikkunoiden U-arvo on 1,0 W/m<sup>2</sup>K ja umpiosan osuus koko ikkunasta 25 %.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Ikkunoiden pinta-alalla on asuin- tai palveluasumISRakennukselle realistisella aukotuksella yksittäisenä ominaisuutena suhteellisen pieni merkitys energiatehokkuuteen. Variantti 4, jossa ikkunoita on lähes 100 % julkisivuista, oli ilman jäähdytystä energiatehokkuudeltaan noin 5 % perustapausta huonompi. Lisäämällä tarkastelemaan jäähdytysenergiankulutus nousi ero yhdeksään prosenttiin. Ikkunoiden poistaminen vaipasta kokonaan (variantti 2) paransi energiatehokkuutta 0,1 %. Todellisuudessa isomman ikkunapinnan umpiosan prosentuaalinen osuus on pienempi kuin tässä simuloiduissa tapauksissa (25 %) ja täten isojen ikkunoiden U-arvokin olisi parempi. Tämän myötä varianttien 3–4 ero perustapaukseen kapenisi. (ks. 4.16. Vaipan U-arvot).

### Huomioita suunnitteluun

Ikkunoiden pinta-ala vaikuttaa lukuisiin energiatehokkuuden osatekijöihin: johtumishäviöihin, kylmäsiltojen määrään, passiiviseen aurinkoenergiaan, varjostuksen tarpeeseen, jäähdytystarpeeseen ja luonnonvalon saantiin.

Ikkunoiden johtumishäviöt ovat yleensä ulkoseinärakennetta suuremmat, joten ikkunoiden koon kasvaessa myös lämpöhäviöt kasvavat. Ikkunoiden koon kasvaessa myös kylmäsiltojen määrä ja johtumishäviöt näiden kautta kasvavat. Toisaalta ikkunoiden kautta saadaan merkittävä osa rakennukseen passiivisesta lämpöenergiasta. Ikkunoiden koko vaikuttaa siis sisäisiin lämpökuormiin. Isomat ikkunat vähentävät tilojen lämmitystarvetta ja parantavat osaltaan energiatehokkuutta. Vastaavasti ikkunoiden koon kasvaessa aiheutuvat lämpökuormat saattavat ilman asianmukaista varjostusta aiheuttaa ylikuumentumista ja samalla lisätä jäähdytystarvetta, joka taas heikentää rakennuksen energiatehokkuutta.

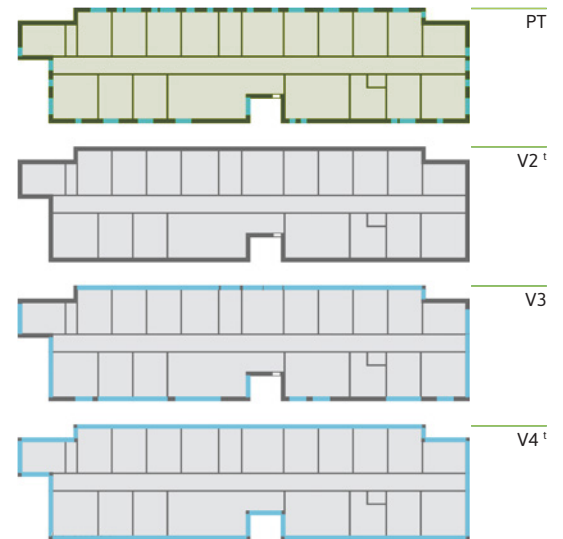
Ikkunoiden pinta-alan vaikutus luonnonvalon saantiin välittyy valaistukseen kuluvan energian määrään, olettaen että tämä on otettu huomioon suunnittelussa – simuloitaessa variantti 4 päivänvalo-ohjausta hyödyntäen energiankulutus laski noin 3 % (ks. 4.3.2. Luonnonvalon määrä). Käytännössä kaiken ikkunoista saatavan auringonvalon, kuten lämmönkin, hyödyntäminen on ongelmallista, koska häikäisyn vuoksi joudutaan usein käyttämään varjostusta. Ongelma voidaan kuitenkin minimoida huolellisella, tilojen todellisen käytön huomioivalla suunnittelulla.

Ikkunat ovat olennainen osa arkkitehtonista kokonaisuutta, massoittelua ja sommittelua. Ikkunoilla on useita esteettisyyteen vaikuttavia arvoja kuten luonnonvalon saanti sekä näymät sisältä ulos ja päinvastoin. Ikkunoilla on myös merkitystä tilallisiin ominaisuuksiin kuten hahmotettavuuteen ja tilan tuntuun. Kokonaisuudessaan ikkunoiden vaikutus kauneuden ja viihtyisyyden kannalta on siis merkittävä.

Ikkunoilla on myös vaikutusta sisäolosuhteiden kannalta. Päivänvalon määrään voidaan vaikuttaa ikkunoiden koolla ja muodolla, sijoittelulla seinässä, suuntauksella sekä sijainnilla seinärakenteessa. Lisäksi on huomioitava mahdollinen ikkunoista aiheutuva vedontunne – isolla ikkunalla vaikutus on suurempi kuin pienellä. Tähän vaikuttaa myös ikkunan U-arvo ja sijoittelu seinässä. Simulaatiotulosten perusteella moderneilla ikkunarakenteilla aukotuksen kokoa ei ole energiatehokkuusnäkökulmasta tarpeellista minimoida, joten suunnittelua voidaan lähestyä ensisijaisesti muista arkkitehtonisista näkökulmista.

### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

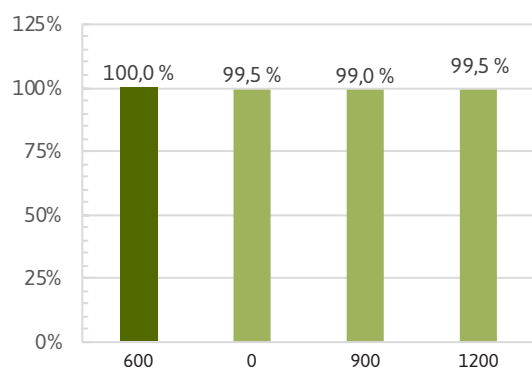
4.1.11. Ikkunoiden suuntaus.....	s. 47
4.1.13. Ikkunapenkkien korkeus.....	s. 51
4.1.15. Ikkunoiden varjostus.....	s. 55
4.1.6. Jäähdytyslämpötila.....	s. 93
4.3.2. Luonnonvalon määrä.....	s. 85
4.4.2. Ympäristön varjostus.....	s. 111



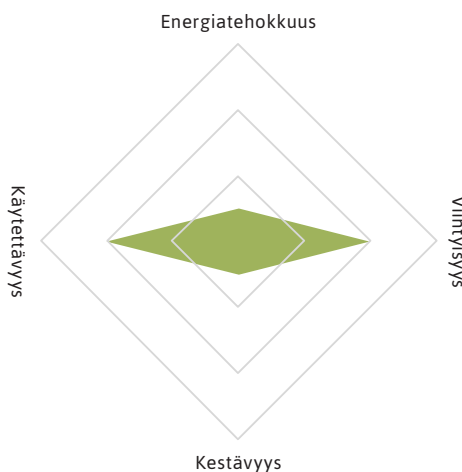
**KUVA 4.1.12.c. Simuloitujen varianttien pohjapiirroksat.** Ikkuna-aukotuksen korkeus vaihtelee varianteittain.

*Ikkunoihin liittyen suoritettiin lukuisia eri simuloitteja, jotka on esitetty omina kortteinaan. Kun lähes täyslasinen variantti 4 simuloitiin valaistustarve huomioiden päivänvalo-ohjauksella, oli energiankulutus suhteessa perustapaukseen vain 101,8 %. Kun lisäksi huomioitiin jäähdytystarve, oli kulutus 106,0 %. Jäähdytystarvetta voi pienentää ikkunoiden varjostuksella. Varjostuksen tulee kuitenkin olla säädeltävä auringon valon ja tarvittaessa lämmön hyödyntämiseksi.*

## 4.1.13. Ikkunapenkkien korkeus



**KUVA 4.1.13.a. Ikkunapenkkien korkeuden (mm lattiasta) vaikutus ostoenergiantukutukseen, ostoenergiantukutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.1.13.b. Ikkunapenkkien korkeuden vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ikkunapenkkien korkeus lattiasta

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ikkunapenkkien korkeus 600 mm

**Variantti 2** Ikkunapenkkien korkeus 0 mm

**Variantti 3** Ikkunapenkkien korkeus 900 mm

**Variantti 4** Ikkunapenkkien korkeus 1 200 mm

### Simulaatiotulokset

Laskenta-tapaus	Ostoenergiantukutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	215 440 kWh/v	101,0 %	309 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	214 300 kWh/v	100,5 %	308 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4</b>	215 427 kWh/v	101,0 %	309 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa on muutettu ikkunoiden alareunojen eli ikkunapenkkien korkeutta (ks. kuva 4.1.13.c). Suurimpien ikkunoiden tapauksessa yläreuna on rajattu väli-pohjaan, minkä vuoksi variantissa 4 on kahden ikkunan alareunan korkeudeksi jätetty 1 100 mm. Muutoin ikkunoiden koko ja muoto on pidetty vakioina vain pys-tysijainnin muuttuessa.

### Energiätehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Ikkunan alareunan eli ikkunapenkin korkeuden vaikutus energiatehokkuuteen muodostuu operatiivisen lämpötilan kautta. Pintalämpötilaltaan ilmaa viileämmät rakenteet saavat ihmisen kokeman lämpötilan niiden lähellä tuntumaan todellista ilman lämpötilaa kylmemmältä. Näin ollen ikkunapinnan määrä on kytköksissä ikkunan vaikutukseen operatiiviseen lämpötilaan ja ikkunan sijainti siihen, mihin kohtaan vaikutus kohdistuu.

Ikkunapenkin korkeuden vaikutus energiatehokkuuteen on yksittäisenä ominai-suutena vähäinen: tässä vertailussa vaikutus jää noin yhteen prosenttiin. Ver-tailussa energiatehokkain ratkaisu on perustapaus, jossa ikkunoiden korkeus on 600 mm lattiasta.

### Huomioita suunnitteluun

Lämpötilaero kehon eri osien välillä koetaan yleisesti epämiellyttäväksi. Näin ollen ikkunan sijoittuminen erityisen korkealle tai matalalle saattaa vähentää viihtyi-syyttä, vaikka lämpötila keskimäärin olisi sopiva. Vaikutuksen suuruus on kytkök-sissä ikkunan U-arvoon: korkean U-arvon ikkunan pintalämpötila on lähempänä huoneen lämpötilaa.

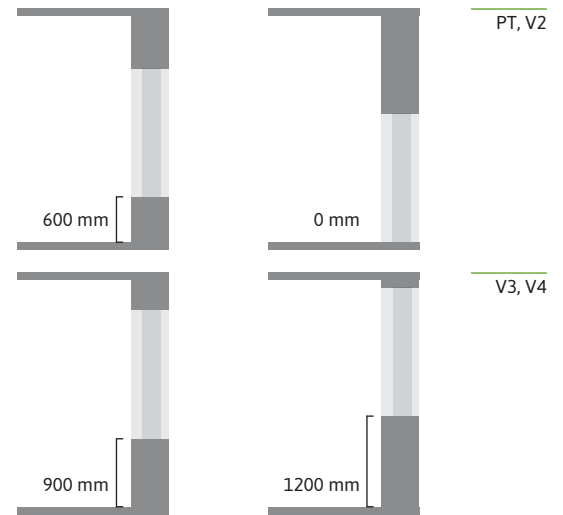
Ikkunapenkin korkeuden vaikutus tilantuntuun ja sitä kautta viihtyisyyteen on merkittävä. Ikkunoiden alareunan korkeus vaikuttaa näkymiin sisältä ulos – erityisesti istualta – ja toisaalta myös ulkoa sisälle. Vastaavaa vaikutusta on myös yläreunan korkeudella, joskin käytännön merkitys on tavanomaisessa suunnittelussa vähäisempi.

Luonnonvalon kannalta ikkunan korkeusasema vaikuttaa siihen, miten syvälle rakennusrunkoon valoa saadaan: mitä ylemmäs ikkuna ulottuu, sitä pidemmälle aurinko paistaa.

Ikkunapenkin korkeutta päätettäessä on näkymien ja valonsaannin lisäksi oleellista miettiä myös vaikutus kalustettavuuteen. Esimerkiksi työpöydän sijoittaminen saattaa olla luontevampaa 800 kuin 400 mm korkeudesta lähtevän ikkunan eteen. Ikkunoissa, joiden lasipinta ulottuu alle 700 mm korkeuteen on lisäksi huomioitava turvallisuusnäkökulma, esimerkiksi määräystenmukaiset turvalasit tai -kaiteet, sekä aivan lattiaan ulottuvissa mahdolliset rakennetekniset haasteet ulkoseinän, välipohjan ja ikkunan liitoksessa.

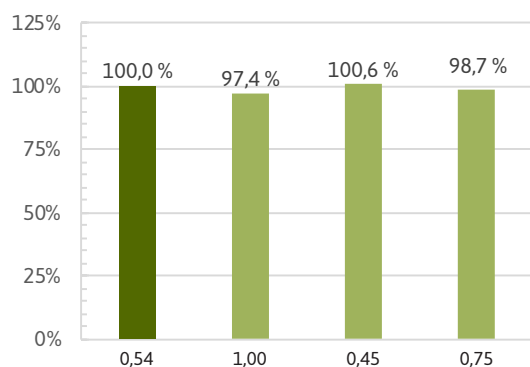
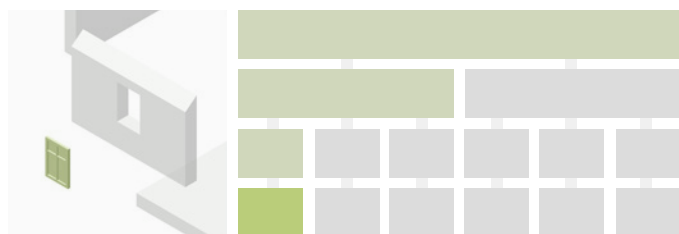
#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

- 4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala .....s. 49  
 4.3.2. Luonnonvalon määrä .....s. 85



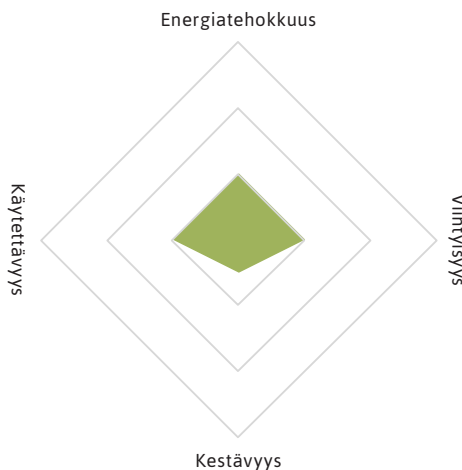
**KUVA 4.1.13.c. Simuloitujen ikkunavarianttien pystyleikkaukset 1:100.**

## 4.1.14. Ikkunoiden g-arvo



**KUVA 4.1.14.a. Ikkunoiden g-arvon vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.1.14.b. Ikkunoiden g-arvon vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ikkunalasin g-arvo

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ikkunalasin g-arvo 0,54

**Variantti 2 <sup>†</sup>** Ikkunalasin g-arvo 1,00

**Variantti 3** Ikkunalasin g-arvo 0,45

**Variantti 4** Ikkunalasin g-arvo 0,75

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2 <sup>†</sup></b>	207 875 kWh/v	97,4 %	301 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	214 587 kWh/v	100,6 %	309 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4</b>	210 577 kWh/v	98,7 %	304 kWh/m <sup>2</sup> v

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Ikkunalasi ei voi olla täysin auringonsäteilyä läpäisevä.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa on muutettu ikkunoiden g-arvoa eli lasiosan auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerrointa. Kerroin kuvaa sitä, kuinka suuri osa auringon säteilyenergiasta pääsee lasin läpi huonetilaan. Muut lasin ominaisuudet, kuten U-arvo, on pidetty vakioina.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Ikkunan g-arvon eli lasiosan auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroimen vaikutus energiatehokkuuteen on yksittäisenä ominaisuutena pieni. Ikkunan g-arvon ollessa teoreettinen 1,0 paranee energiatehokkuus tässä vertailussa alle 4 % (97,5 %, variantti 2). Yleisesti ottaen kun g-arvo kasvaa, paranee myös energiatehokkuus, mikäli lisääntyneestä säteilystä ei aiheudu jäähdystarvetta. Muiden suoritettujen simulointien perusteella jäähdystarve tässä käytetyllä aukotuksella olisi vähäinen g-arvosta riippumatta.

### Huomioita suunnitteluun

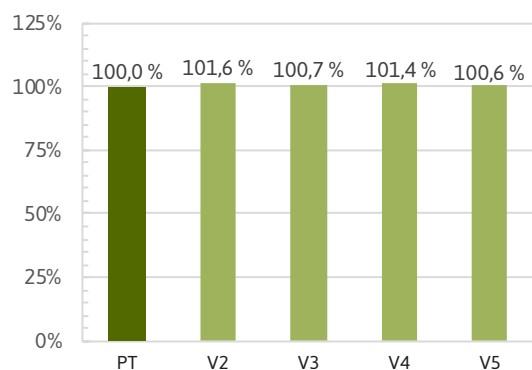
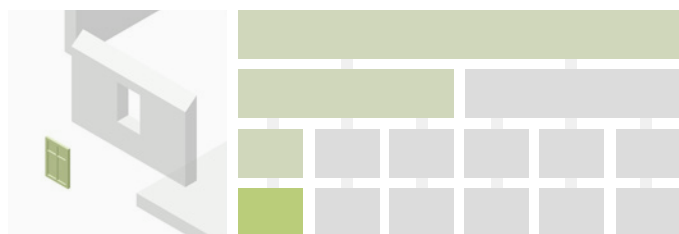
Mitä korkeampi g-arvo ikkunalasilla on, sitä suurempi auringon säteilyenergian läpäisevyys ja sen myötä vähäisempi lämmitysenergiankulutus. Toisaalta samalla kasvavat myös lämpökuormat, mikä saattaa tietyissä tapauksissa aiheuttaa ylikuumenemista ja täten jäähdystarvetta. Runsasta ikkuna-aukotusta suunniteltaessa on siis erittäin tärkeää ottaa huomioon myös mahdollinen liikalämpö.

Moderneilla ikkunalaseilla on mahdollista tarvittaessa yhdistää korkea näkyvän valon läpäisy matalaan auringonsäteilyn kokonaisläpäisyyseen. Näin ollen suuret, valoa tuovat ikkunat eivät välttämättä tarkoita suurta jäähdytystarvetta, kunhan lasivalinta on tehty harkiten: huomioon on otettava tapauskohtaisesti niin tavoiteltavat sisäolosuhteet valaistuksen ja lämpötilan suhteen kuin ikkunan suuntaus ja mahdollinen varjostuskin. Kokonaisuutta tarkasteltaessa ikkunoiden g-arvon vaikutus luonnollisesti korostuu ikkunapinta-alan lisääntyessä ja sisäolosuhdevaatimusten tiukentuessa.

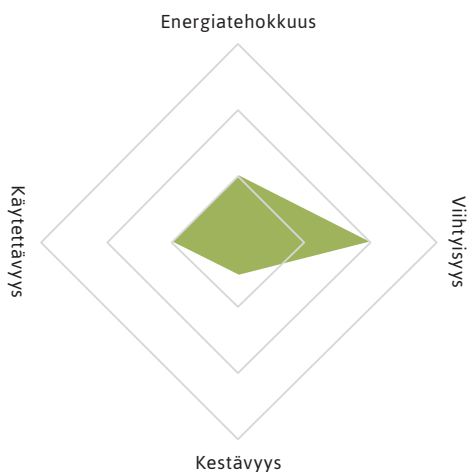
*Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala .....	s. 49
4.3.2. Luonnonvalon määrä .....	s. 85
4.3.5. Sisälämpötila .....	s. 91
4.3.6. Jäähdytyslämpötila.....	s. 93

## 4.1.15. Ikkunoiden varjostus



**KUVA 4.1.15.a. Ikkunoiden varjostuksen vaikutus ostoenergiakulutukseen, ostoenergiakulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.1.15.b. Ikkunoiden varjostuksen vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Sälekaihtimen avoimuus

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ei varjostusta

**Variantti 2** Sisäpuolinen varjostus aina kiinni

**Variantti 3** Sisäpuolinen varjostus säätyy valon määrän mukaan

**Variantti 4** Lippa ikkunan edustalla

**Variantti 5** Lippa ikkunan yläpuolella

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiakulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	216 759 kWh/v	101,6 %	310 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	214 860 kWh/v	100,7 %	308 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4</b>	216 260 kWh/v	101,4 %	310 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 5</b>	214 770 kWh/v	100,7 %	308 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa on muutettu ikkunoiden varjostustapaa. Tarkasteluun on otettu lasien välissä sijaitseva varjostus (esimerkiksi verho tai sälekaihtimet) ja ikkunoiden ulkopuolinen lippa (valoa läpäisemätön varsimarkiisilippa) (ks. kuva 4.1.15.c). Kerralla on käytössä vain verho tai lippa, ei molempia. **Varianttien 2–3** isäpuolelta varjostettujen ikkunoiden ominaisuudet muodostuvat simulaatiossa ikkunan auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerrointa ( $g$ -arvo), näkyvän valon läpäisyä ( $T_{vis}$ ) ja lämmönläpäisykerrointa ( $U$ -arvo, vakioitu) muokkaamalla. **Varianttien 4–5** lipat ovat valoa läpäisemättömiä. Lippojen geometria on muodostettu asettamalla 700 mm markiisivarsi 90 tai 45 asteen kulmaan. Kaikkien varianttien varjostukset ovat koko ikkunan levyisiä.

### Energiätehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Ikkunoiden varjostuksen vaikutus energiatehokkuuteen on tässä tarkastelussa yksittäisenä ominaisuutena pieni. Tarkastelukohteen ikkuna-aukotuksella ja muilla vakioituilla ominaisuuksilla jäähdytystarve on niin vähäinen (ks. 4.3.6. Jäähdytyslämpötila), että esitetyt tulokset kuvastavat käytännössä varjostuksen vaikutusta passiivisen aurinkoenergian saantiin. Täten loogisesti kaikki variantit heikensivät perustapauksen energiatehokkuutta. Vastavuoroisesti varjostuksesta alkaisi olla energiatehokkuudellista etua jäähdytystarpeen noustessa tässä esitetyt energiakulutuksen lisääntymisiä suuremmaksi.

Tarkastelussa ei mallinnettu varjostuksen vaikutusta päivänvalon saantiin. Käytettäessä valaistuksen päivänvalo-ohjausta variantin 2 ero perustapaukseen ja muihin variantteihin olisi todennäköisimmin suurempi, joskaan ei paljoa (ks. 4.3.1. Päivänvalo-ohjaus).

#### *Huomioita suunnitteluun*

Ikkunoiden varjostus vaikuttaa energiatehokkuuteen passiivisen aurinkoenergian määrän, luonnonvalon määrän ja jäähdytystarpeen kautta. Ylikuumentumisesta johtuvaa varjostustarvetta syntyy eniten isoilla, etelään suunnatuilla ikkunoilla rakennuksissa, joissa lämpöhäviöt ovat muuten pienet. Ikkunoiden ulkopuolisen, kiinteän varjostuksen käyttäminen on mielekästä vain, jos rakennuksessa muutoin esiintyisi jäähdytystarvetta, tai suora auringonpaiste olisi muulla tapaa haitallista.

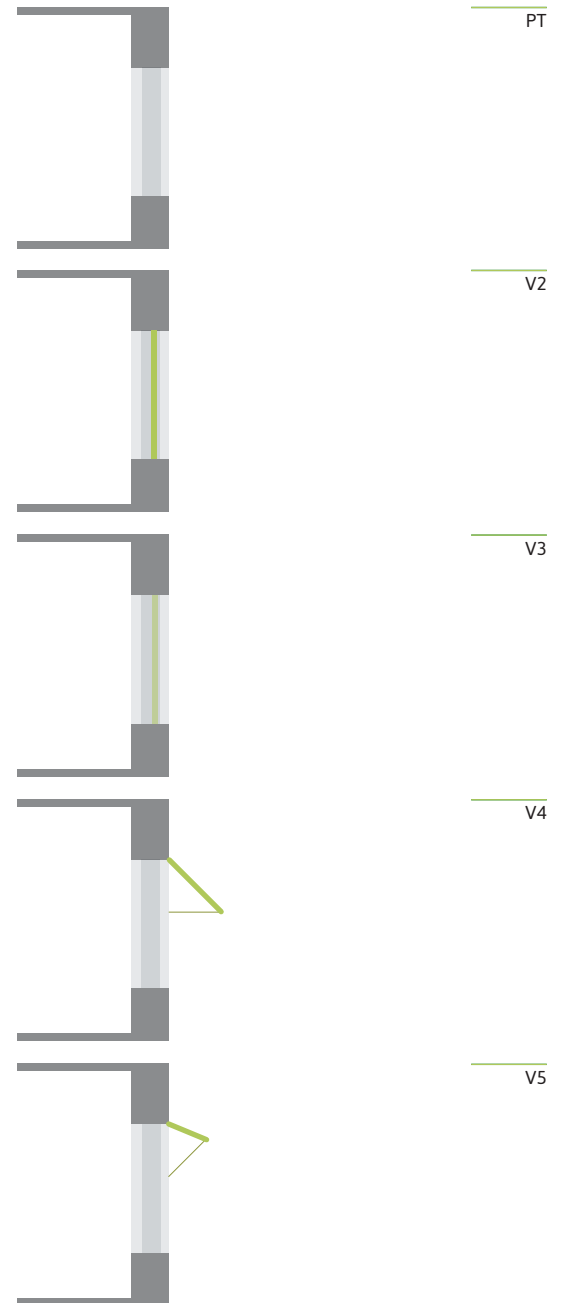
Matalalta tulevan aurinkoenergian hyödyntämiseksi lipan ei tulisi ulottua pystysuunnassa ikkunan eteen. Lippojen mitoitus on suunniteltava ikkunan ominaisuudet, suuntaus ja sisätilan käyttötarkoitus huomioiden – minkä kokoinen ja kuinka korkealla ikkuna on, mistä kulmasta aurinko paistaa ja missä määrin suoraa auringonpaistetta sallitaan tilaan sekä lämpö että valo huomioiden. Lisäksi on viistosta paistavan auringon vuoksi huomioitava lipan tarkoituksenmukainen ulottuminen julkisivun suuntaisesti tai mahdolliset sivuvarjostimet. Jotta varjostuksen tavoitteisiin voitaisiin optimaalisesti vastata, tulisi lipan pituuden olla säädeltävissä, mieluummin automatisoidusti ulko- ja tavoiteolosuhteiden mukaan.

Varjostuksella on vaikutusta viihtyisyyteen sekä luonnonvalon saannin että toisaalta häikäisyn eston kannalta. Lisäksi varjostukset vaikuttavat näkymiin sisältä ulos ja ulkoa sisälle, erityisesti kaihtimia ja verhoja käytettäessä. Niin energiatehokkuudellisista, esteettisistä kuin toiminnallisista näkökulmista onkin oleellista sijoittaa ja mitoitaa ikkunat siten, ettei synny tarvetta pitää niitä peitettyinä, ainakaan jatkuvasti.

#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.1.11. Ikkunoiden suuntaus.....	s. 47
4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala .....	s. 49
4.1.14. Ikkunoiden g-arvo.....	s. 53
4.3.2. Luonnonvalon määrä.....	s. 85
4.3.5. Sisälämpötila .....	s. 91
4.3.5. Jäähdytyslämpötila.....	s. 93
4.4.2. Ympäristön varjostus.....	s. 111

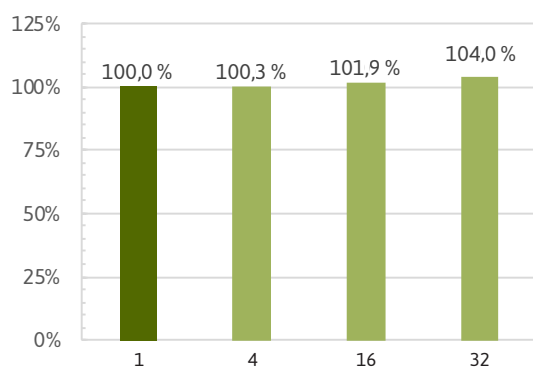
*Käyttäjien säätelämät kaihtimet saattavat kiinni laittamisen jälkeen myös jäädä kiinni olosuhteista riippumatta. Näin ollen onkin kannattavaa harkita varjostuksen automaattista säätelyä valo-olosuhteiden mukaan, parhaassa tapauksessa yhdistettynä päivänvalo-ohjattuun valaistukseen.*



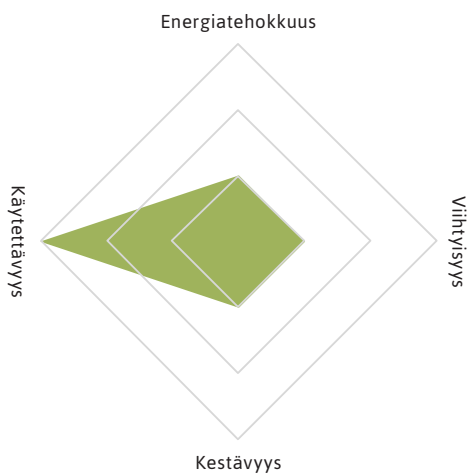
**KUVA 4.1.15.c. Simuloitujen varjostusvarianttien pystyleikkaukset 1:100.** Varjostus on sivusuunnassa ikkunan levyinen.



## 4.1.16. Ulko-ovien lukumäärä



**KUVA 4.1.16.a. Ulko-ovien lukumäärän vaikutus osastoenergiankulutukseen, osastoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.1.16.b. Ulko-ovien lukumäärän vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ulko-ovien lukumäärä

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** 1 ulko-ovi, ala yhteensä 2,1 m<sup>2</sup>

**Variantti 2** 4 ulko-ovea, ala yhteensä 8,4 m<sup>2</sup>

**Variantti 3** 16 ulko-ovea, ala yhteensä 33,6 m<sup>2</sup>

**Variantti 4** 32 ulko-ovea, ala yhteensä 67,2 m<sup>2</sup>

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	214 061 kWh/v	100,3 %	308 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	217 424 kWh/v	101,9 %	311 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4</b>	221 950 kWh/v	104,0 %	316 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa on muutettu ulko-ovien määrää (ks. kuva 4.1.16.c). Ulko-ovien määrän ja täten kokonaispinta-alan kasvaessa ulkoseinien pinta-ala vastaavasti vähenee, julkisivujen sekä muun aukotuksen alan pysyessä vakiona. Kaikki ovet ovat perustapauksen mukaisesti umpinaisia, mitoiltaan 1,0 x 2,1 m, pinta-alaltaan 2,1 m<sup>2</sup>, ja U-arvoltaan RakMK D3 (2012) vertailuarvon mukaisia (1,0 W/m<sup>2</sup>K).

### Energiätehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Ulko-ovien määrän vaikutus energiatehokkuuteen on yksittäisenä ominaisuutena pieni. Käytännön toteutuksessa osa ovista saattaisi olla lasisia, jolloin passiivisen aurinkoenergian saannin myötä ostoenergiankulutuksen kasvu vähenisi entisestään.

### Huomioita suunnitteluun

Ulko-ovien määrän vaikutus energiatehokkuuteen johtuu ovien ulkoseiniä huonommasta U-arvosta sekä lisääntyvistä kylmäsilloista. Näin ollen ovien määrän kasvaessa lisääntyvät myös vaipan lämpöhäviöt. Kuten ovien lukumäärä, myös niiden mitoitus vaikuttaa edellä mainittujen tekijöiden kautta energiankulutukseen.

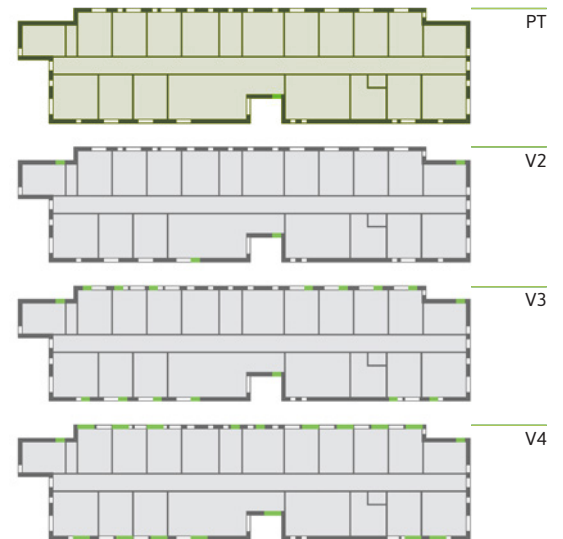
Käytännössä energiatehokkuudellista merkitystä on myös ulko-ovien aukipidolla, on se sitten jatkuvaa, jaksoittaista tai vain kulunaikaista (ks. 4.1.17. Ulko-ovien käyttö). Ulko-ovien suunnittelun vaikutukset energiatehokkuuteen ja käytettävyyteen kytkeytyvät kiinteästi toisiinsa. Tarkoituksenmukainen ovien mitoitus sekä suuntaus ja oviympäristön suunnittelu sujuvoittaa käyttöä ja täten vähentää

aikaa, joka ovea joudutaan pitämään auki (ks. 4.1.17. Ulko-ovien käyttö). Ulko-ovien lukumäärä, sijoittelu, ja oviaalueen suunnittelu vaikuttavat myös mahdolliseen sulanapitotarpeeseen (ks. 4.4.4. Sulanapito).

Kohtuullisilla ulko-ovien lukumäärillä niiden aiheuttama lisä ostoenergiankulutukseen ei ole niin suuri, että suunnitelman toiminnallisuutta olisi mielekästä vaarantaa ovia vähentämällä. Sen sijaan ovien käytettävyyteen on niin energiatehokkuudellisin kuin toiminnallisinkin perustein syytä kiinnittää huomiota.

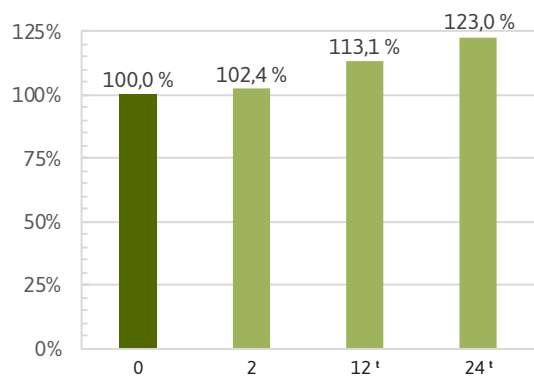
#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.1.5. Vaipan U-arvot.....	s. 37
4.1.17. Ulko-ovien käyttö.....	s. 59
4.2.2. Tuulikaappi.....	s. 65

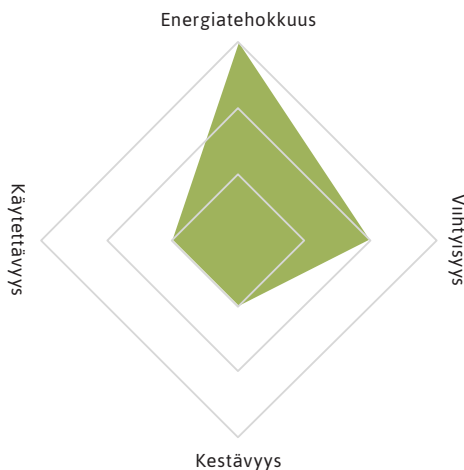


**KUVA 4.1.16.c. Ulko-ovien sijainnit.** Kaikki ovet ovat saman kokoisia. Variantissa 4 leveät merkinnät kuvastavat pariovia.

## 4.1.17. Ulko-ovien käyttö



**KUVA 4.1.17.a. Ulko-oven aukioloajan (h/d) vaikutus ostoenergiakulutukseen, ostoenergiakulutus suhteessa perustapaukseen.**  
<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.1.17.b. Ulko-oven aukioloajan vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ulko-oven aukioloaika

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Yksi ovi, aina kiinni

**Variantti 2** Yksi ovi, auki 2 h/d (klo 12–14)

**Variantti 3<sup>†</sup>** Yksi ovi, auki 12 h/d (klo 07–19)

**Variantti 4<sup>†</sup>** Yksi ovi, aina auki

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiakulutus	
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %
Variantti 2	218 477 kWh/v	102,4 %
Variantti 3 <sup>†</sup>	241 312 kWh/v	113,1 %
Variantti 4 <sup>†</sup>	262 295 kWh/v	123,0 %

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Lämpimän tilan oven pitäminen jatkuvasti auki on ryhmäkodissa, kuten useimmissa muissakin rakennuksissa, erittäin epätodennäköistä.

\* E-lukulaskennassa ei oteta huomioon ulko-ovien aukipitoa.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa on muutettu rakennuksessa olevan yhden ulko-oven aukipidon aika-  
 taulua. 12 tunnin päivittäinen oven aukipitoaika on määritelty tässä tapauksessa  
 rakennustyyppistä johtuen teoreettiseksi, mutta saattaisi olla mahdollinen esimer-  
 kiksi liikerakennuksessa.

### Energiätehoavuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Yksittäisen oven aukipidon vaikutus energiatehokkuuteen on kohtuullisella aika-  
 taululla pieni. Käytännössä aukioloa tapahtuisi myös iltaisin ovesta kuljettaessa,  
 joten energiankulutus olisi varianteissa 2 ja 3 todennäköisimmin jonkin verran esi-  
 tettyä laskentatulosta suurempi.

### Huomioita suunnitteluun

Oven aukipito lisää energiankulutusta kun ovia pidetään auki viileään aikaan. Ole-  
 tettaessa aukipidon johtuvan välttämättömästä avaamisesta kulun yhteydessä,  
 parantaa tuulikaappi tilannetta merkittävästi (ks. 4.2.2. Tuulikaappi). Vaikutus  
 lämmitysenergiankulutukseen riippuu luonnollisesti myös siitä, millaiseen tilaan  
 ovi avautuu: mikä on sisätilan tavoitelämpötila, kuinka täsmällisesti sitä on yllä-  
 pidettävä, ja miten sujuvasti lämpö pääsee ovesta karkaamaan.

Vastavuoroisesti lämpimään aikaan oven auki pitäminen voi tilasta ja olosuhteista riippuen vähentää jäähdystystarvetta, täten laskien energiankulutusta. Lämpötilasta riippumatta tuuletusvaikutus voi esimerkiksi hiilidioksidiohjausta käytettäessä vähentää ilmanvaihdon tarvetta, joskin samalla ilmanvaihdon hallinta heikkenee.

Käytännössä ulko-ovien aukipito riippuu oleellisesti paitsi rakennuksen käyttötarkoituksesta, myös oviympäristöjen arkkitehtisuunnittelun onnistuneisuudesta. Hankalasti avattavat ja käytettävät ovet, joiden ympäristö tai kulkuaukko itsessään on ahdas, lisäävät aukipitoaikaa ovesta kuljettaessa. Vaikutus skaalautuu edelleen samanaikaisen käyttäjämäärän mukaan.

#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.1.16. Ulko-ovien lukumäärä.....	s. 57
4.2.2. Tuulikaappi.....	s. 65
4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67

*Vaikka ovien koon tai lukumäärän kasvattaminen laskennallisesti lisääisi energiankulutusta lämpöhäviöiden kautta, saattaa käytännön vaikutus olla päinvastainen jos kulun sujuvoituessa aukioloaika lyhenee. Oleellista on ottaa huomioon myös se, miten kulku rytmittyy: esimerkiksi koulu- tai päiväkotirakennuksessa suuri osa kulusta tapahtuu lähes yhtäaikaisesti, kun taas toimistorakennuksessa kokonaisvolyymi voi olla sama, mutta tasaisemmin jakautuneena.*

# 4.2. TILAJÄRJESTELYT JA KÄYTTÖ



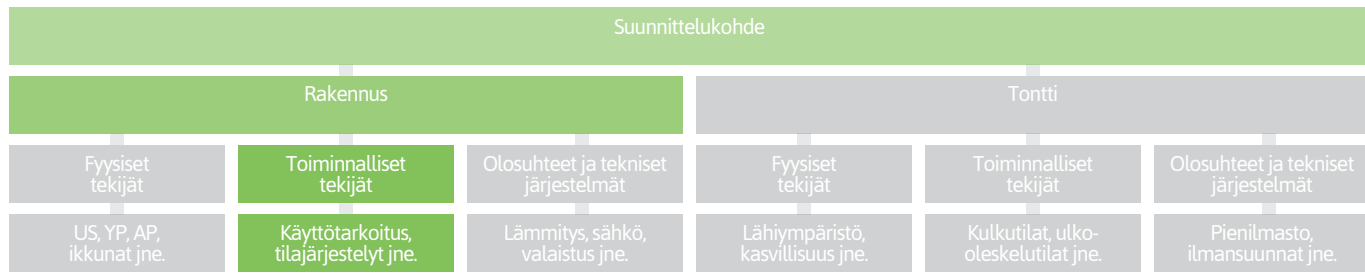
## TILAJÄRJESTELYT

4.2.1. Avoimuusaste.....	63
4.2.2. Tuulikaappi.....	65



## KÄYTTÖ

4.2.3. Käyttötarkoitus.....	67
4.2.4. Henkilötiheys.....	69
4.2.5. Pääkäyttöaste.....	71
4.2.6. Lisäkäyttöaste.....	73
4.2.7. Pääkäyttövyöhyke.....	75
4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke.....	77
4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet.....	79



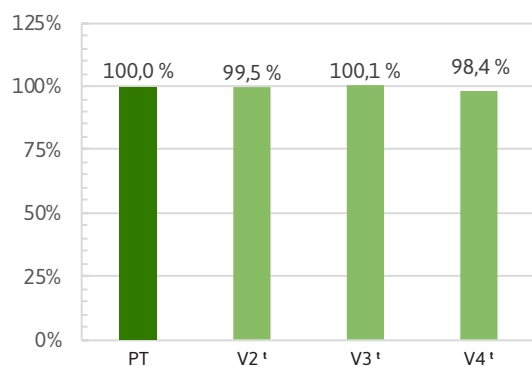
Tilajärjestelyt ja käyttö ovat rakennuksen ensimmäiset suunnitteluratkaisut, joilla pyritään vastaamaan tilaajan asettamiin rajaehtoihin: Käyttö määrittelee rakennuksen tarpeellisuuden ja tarkoituksen, jotka pyritään mahdollistamaan tilasuunnittelun keinoin. Vasta näiden ehdoilla syntyvät muut suunnitteluratkaisut, kuten rakennuksen muodonanto ja rakenteelliset ominaisuudet, tai sisäolosuhteet ja tekniset ratkaisut. Tilaohjelmalla ja -järjestelyillä on todettu olevan hyödyntämättä potentiaalia energiatehokkuuden puitteissa (Lindberg, 2015; Lylykangas et al., 2015). Toisaalta rakennuksen käyttöön liittyviin ratkaisuihin ja niiden energiatehokkuusvaikutuksiin ei löydy paljoakaan tutkimustietoa, vaikka useita erilaisia käytön arviointikeinoja on esitetty (Lindberg et al., 2018).

Tähän ohjekortiston osaan on poimittu yksittäisiä tilajärjestelyihin ja käyttöön liittyviä ominaisuuksia, joista on niukasti tai ei lainkaan tutkimustietoa. Toisaalta valittuina on ainoastaan sellaisia tekijöitä, joilla on lähtökohtaisesti oletettu olevan vaikutusta energiatehokkuuteen, mutta joiden vaikutusten suuruusluokkaa ei ole tunnistettu. Lisäksi tilaohjelmaan kiinteästi liittyviä ominaisuuksia, kuten 4.1.1. Lämmitetty nettoala tai 4.1.4. Pohjamuoto, tai käyttöön liittyviä ominaisuuksia, kuten 4.1.17. Ulko-ovien käyttö, löytyy tämän julkaisun muista osista, vaikka ne voisivat yhtä lailla sijaita tämänkin kappaleen yhteydessä. Tässä julkaisussa on myös pyritty ehdottamaan ja tutkimaan uudenlaisia konsepteja sekä konkreettisia suunnitteluratkaisuja rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi, joita ovat esimerkiksi 4.2.7. Pää- ja 4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke, 4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet ja 4.2.1. Avoimuusaste. Tilajärjestelyt ja käyttö edustavat suunnittelukohteen hierarkiapuun toiminnallisia tekijöitä.

*Henkilötiheyden sekä pää- ja sivukäyttöasteiden vaikutusta energiatehokkuuteen käsitellään tarkemmin tekijöiden kirjoittamassa kansainvälisessä journaliartikkelissa, jonka tiedot on merkitty alle. Lisäksi artikkelissa kehitetään pää- ja lisäkäyttövyöhykkeiden energiatehokkaat suunnitteluratkaisut sekä esitellään itsenäinen käyttötehokkuuden indikaattori.*

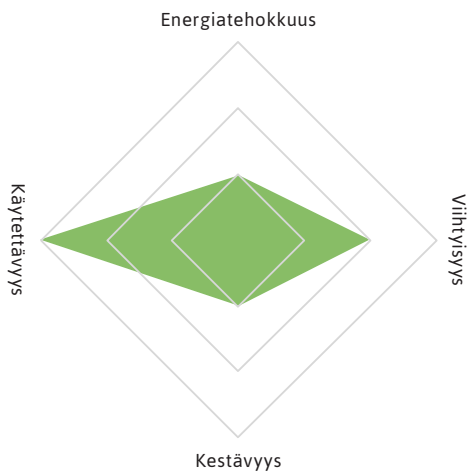
*Lindberg, T., Kaasalainen, T., Moisio, M., Mäkinen, A., Hedman, M. & Vinha, J. 2018. Potential of space zoning for energy efficiency through utilization efficiency [Tilavyöhykkeiden potentiaalinen vaikutus energiatehokkuuteen käytön kautta]. Advances in Building Energy Research. DOI: 10.1080/17512549.2018.1488619*

## 4.2.1. Avoimuusaste



**KUVA 4.2.1.a. Avoimuusasteen vaikutus ostoenergiankulutukseen**, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.2.1.b. Avoimuusasteen vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Rakennuksen sisätilan jakautuneisuus

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Kaikki tilat erillisiä

**Variantti 2<sup>†</sup>** Keskisuuret tilayhdistelmät

**Variantti 3<sup>†</sup>** Valtaosa tiloista yhtä

**Variantti 4<sup>†</sup>** Kaikki tilat yhtä

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2<sup>†</sup></b>	212 331 kWh/v	99,5 %	304 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3<sup>†</sup></b>	213 572 kWh/v	100,1 %	306 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4<sup>†</sup></b>	209 803 kWh/v	98,4 %	304 kWh/m <sup>2</sup> v

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Rakennuksen käyttö rajoittaa tilojen yhdistämismahdollisuuksia.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa on muutettu väliseinien määrää poistamalla väliseiniä ja siten yhdistämällä tiloja toisiinsa (ks. kuva 4.2.1.c). Väliseinien määrän muuttuessa muuttuvat myös tilojen lukumäärä ja koko. **Perustapaus** vastaa alkuperäistä ryhmäkotiä, jossa yhteistilojen lisäksi kullakin asukkaalla on oma asuinhuone ja kylpyhuone. **Variantissa 2** on yhdistetty vierekkäisiä tiloja toisiinsa erotellen asuin- ja muut tilat. **Variantissa 3** on yhdistetty asuintilat kulku- ja yhteisoleskelutiloihin. **Variantissa 4** ei ole väliseiniä lainkaan. Tapaukset ovat teoreettisia tarkoituksena selvittää tilaohjelman avoimuuden ja siten tilajakauman vaikutusta energiatehokkuuteen.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Yksittäisenä ominaisuutena tilojen avoimuusasteen vaikutus energiatehokkuuteen on pieni. Tilojen yhdistämisen ansiosta energiatehokkuus parani tässä vertailussa vain alle 2 %.

### Huomioita suunnitteluun

Tilojen yhdistäminen isommiksi, avoimemmiksi tiloiksi vähentää ostoenergiankulutusta, mutta vaikutus energiatehokkuuden kannalta jää pieneksi. Avoimuusasteella on kuitenkin välillistä vaikutusta muun muassa tilojen taloteknisiin säätöihin ja siten talotekniikkasuunnitteluun. Esimerkiksi tilojen eriyttäminen ja pilkkominen

pienemmiksi tiloiksi mahdollistaa olosuhteiden säätelyn käytössä olon ja käyttötavan mukaan. Näin ollen yhdistämisellä saattaisi olla käytännön kohteessa myös energiankulutusta lisäävä vaikutus tilojen käytöstä riippuen.

Avoimuusasteella on merkittävää vaikutusta tilojen käytettävyyteen ja monikäyttöisyyteen. Avotilat mahdollistavat usein paremman monikäyttöisyyden, mutta toisaalta jotkin toiminnot vaativat erillisiä tiloja esimerkiksi ääni- tai yksityisyysistä. Tilojen avoimuusasteella on myös vaikutusta viihtyisyyteen ja esteettisyyteen. Tilaajan määrittelemät tilaohjelma, tilojen käyttötarkoitukset ja muuntojoustavuuden määrä sekä arkkitehdin tilasuunnittelu vaikuttavat kohteen avoimuusasteeseen suunnittelussa.

#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67
4.2.7. Pääkäyttövyöhyke.....	s. 75
4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke.....	s. 77
4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet.....	s. 79
4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta.....	s. 97

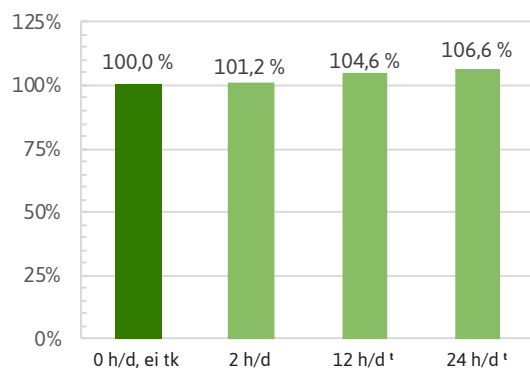


**KUVA 4.2.1.c. Simuloitujen varianttien pohjapiirrokset.**

*Avoimuusaste on merkittävä suunnitteluratkaisu esimerkiksi koulu-, päiväkotij- ja toimistorakennuksissa, joissa on siirrytty perinteisistä luokkatiloista ja koppelkonttoreista avotilamalleihin. Tämän teoreettisen tarkastelun perusteella uudenlaisilla avoimilla oppimisympäristöillä on yksistään tilasommittelunsa kautta vain pieni vaikutus energiatehokkuuteen. Merkittävämpiä vaikutuksia syntyy hyödynnettäessä tilojen käyttöön mukautuvaa talotekniikkaa, jonka optimointiin tilajaot vaikuttavat (ks. esimerkiksi 4.2.7. Pääkäyttövyöhyke).*

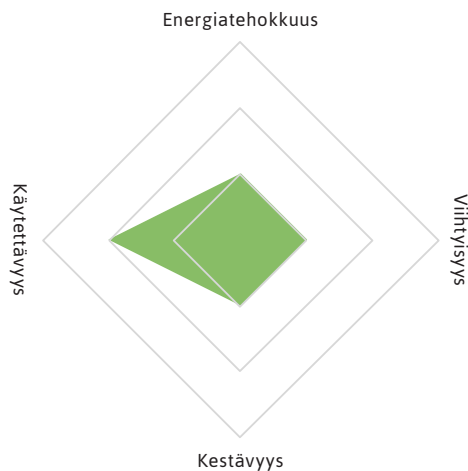


## 4.2.2. Tuulikaappi



**KUVA 4.2.2.a. Tuulikaapin vaikutus ostoenergiankulutukseen eri ulko-oven aukioloajoilla (h/d), ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**

† Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.2.2.b. Tuulikaapin vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ulko-oven aukioloaika, tuulikaapin olemassaolo

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ulko-ovi aina kiinni, ei tuulikaappia

**Variantti 2** Ulko-ovi auki 2 h/d (klo 12–14), tuulikaappi

**Variantti 3 †** Ulko-ovi auki 12 h/d (klo 07–19), tuulikaappi

**Variantti 4 †** Ulko-ovi aina auki 24 h/d, tuulikaappi

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus	
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %
Variantti 2	215 885 kWh/v	101,2 %
Variantti 3 †	223 186 kWh/v	104,6 %
Variantti 4 †	227 385 kWh/v	106,6 %

† Teoreettinen tapaus. Lämpimän tilan oven pitäminen jatkuvasti auki on ryhmäkodissa, kuten useimmissa muissakin rakennuksissa, erittäin epätodennäköistä.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Tarkastelussa on tutkittu vain yhtä ulko-ovea ja sen yhteydessä olevaa tuulikaappia (ks. kuva 4.2.2.c). Variantit on muodostettu siten, että **perustapauksessa** ei ole tuulikaappia lainkaan ja **varianteissa 2–4** on tuulikaappi kuvan 4.2.2.c mukaisesti. Varianteissa muuttuvat ulko-oven aukioloajat. Tuulikaapin sisäovi on aina kiinni. Laskentaohjelma kuitenkin olettaa sisäoven kautta kulkevan vähäistä ilmavirtausta. 12 tunnin päivittäinen oven aukipitoaika on määritelty tässä tapauksessa rakennustyyppistä johtuen teoreettiseksi, mutta saattaisi olla mahdollinen esimerkiksi liikerakennuksessa.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Energiatehokkuuden kannalta tuulikaapilla ei yksittäisenä ominaisuutena ole merkitystä, ellei oleteta ulko-ovien olevan auki. Kun rakennus simuloidaan erilaisilla ovien aukioloajoilla, on tuulikaapin merkitys energiatehokkuuteen merkittävä. Variantissa 5 (ovi on aina auki), on tuulikaapilla voitu vähentää energiankulutusta yli 16 % tuulikaapittomaan tilanteeseen nähden (ks. kuva 4.2.2.d).

### Huomioita suunnitteluun

Koska tuulikaapin merkitys on riippuvainen ulko-oven aukioloajasta, on tulos kiinteästi sidoksissa ohjekorttiin 4.1.17. Ulko-ovien käyttö. Ulko-ovien lukumäärä vaikuttaa myös tuulikaappien lukumäärään, mikäli jokaisen ulko-oven yhteyteen suunnitellaan myös tuulikaappi (ks. 4.1.16. Ulko-ovien lukumäärä). Näin ollen tapausten lisääntyessä voidaan olettaa myös vaikutuksen energiatehokkuuteen kasvavan.

Tuulikaappi vaikuttaa merkittävästi tilasuunnitteluun. Tuulikaappi on tarpeellinen erityisesti tapauksissa, joissa ulko-ovea avataan usein tai pidetään auki pitkiä aikoja. Tuulikaapin mitoitus käytön ja henkilöiden lukumäärän mukaan on tärkeä, sillä tuulikaappi menettää merkityksensä, mikäli sekä ulko-ovi että sisäovi ovat auki yhtäaikaaisesti. Lisäksi liian pieni tuulikaappi vaikeuttaa käytettävyyttä. Esimerkiksi kouluissa, joissa lapset tulevat sisälle välitunnin jälkeen yhtä aikaa, on tuulikaapin oltava riittävän suuri.

Tuulikaappien lisäämisen ja niiden riittävän suuren koon varmistamisen ei tulisi kasvattaa rakennuksen pinta-alaa, sillä samojen toimintojen voisi olettaa olevan rakennuksessa tuulikaapin väliseinistä huolimatta avotilaratkaisuna, jolloin vaikutusta energiatehokkuuteen pinta-alaa kasvattavana tekijänä ei ole. Tuulikaapin toimivuuteen vaikuttaa myös oviratkaisu: manuaalikäyttöisillä ovilla ovet voivat jäädä helposti auki, kun taas pyöröovent toimivat ovityypeistä parhaiten varmistaen, että toinen tuulikaapin ovista on aina kiinni toisen ollessa auki.

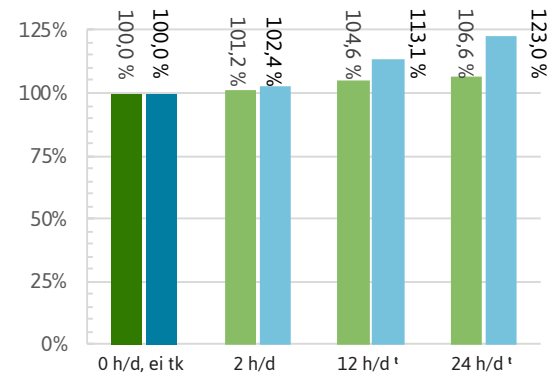
### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

4.1.16. Ulko-ovien lukumäärä.....	s. 57
4.1.17. Ulko-ovien käyttö.....	s. 59
4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67



KUVA 4.2.2.c. Simuloitujen varianttien pohjapiirroksat.

■ Tuulikaappi

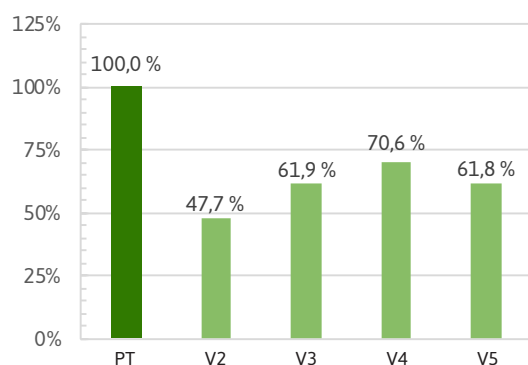


KUVA 4.2.2.d. Tuulikaapin vaikutus ostoenergiankulutukseen eri ulko-oven aukioloajoilla (h/d), ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.

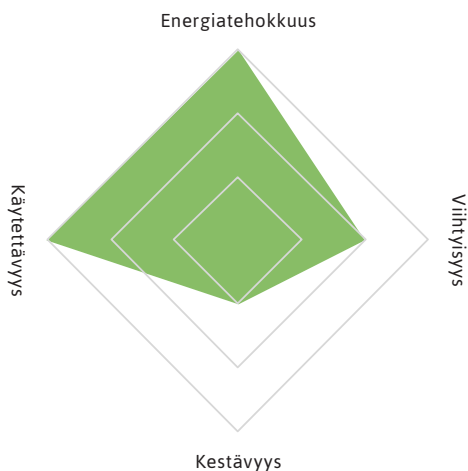
<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus

■ Tuulikaapin kanssa  
■ Ilman tuulikaappia

## 4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus



**KUVA 4.2.3.a. Käyttötarkoituksen vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.2.3.b. Käyttötarkoituksen vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Rakennuksen käyttötarkoitusluokka

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Majoitusliikerakennus

**Variantti 2** Asuinkerrostalo

**Variantti 3** Opetusrakennus

**Variantti 4** Liikerakennus

**Variantti 5** Toimistorakennus

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	101 710 kWh/v	48,0 %	149 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	132 063 kWh/v	61,9 %	189 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4</b>	150 629 kWh/v	70,6 %	260 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 5</b>	131 760 kWh/v	61,8 %	199 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu rakennuksen käyttötarkoitusluokka ja sitä kautta standardikäytön arvot, kuten käyttöajat, käyttöaste, lämpökuormat ja ilmanvaihdon ilmapvirrat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan (2012). Varianteiksi tarkasteluun on valittu pohjaratkaisulle ja tehostetun palveluasumisen ryhmäkodille mahdolliset ja parhaiten soveltuvat vaihtoehtoiset käyttötarkoitukset niin, että kyseinen perustapaus voisi suhteellisen helposti toimia tai olla muutettavissa mihin tahansa näistä käyttötarkoitusluokista esimerkiksi rakennuksen käyttötarkoituksen muutukseen liittyvien korjaushankkeiden yhteydessä. Itse rakennus ja sen fyysiset rakennusosat eivät muutu.

### Energiätehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Rakennuksen käyttötarkoitusluokan vaikutus laskennalliseen energiatehokkuuteen on erittäin merkittävä. Kaikilla varioiduilla käyttötarkoituksilla fyysisesti saman rakennuksen energiatehokkuus paranee huomattavasti, asuinrakennuksella jopa alle puoleen. Liikerakennuksen energiatehokkuus paranee esitetystä käyttötarkoituksista vähiten, mutta sekin noin 30 %. Rakenteellisen energiatehokkuuden voidaan ajatella pysyvän kutakuinkin ennallaan, sillä itse rakennus ei muutu fyysisesti.

Merkittävä vaikutus laskennalliseen energiankulutukseen perustuu siihen, että rakennuksen energiatehokkuus lasketaan käyttötarkoitusluokan mukaisilla standardikäytön asetusarvoilla, jotka perustuvat tavoiteltaviin sisäolosuhteisiin. Standardikäyttö määrittelee muun muassa rakennuksen käyttöajan, käyttöasteen, hen-

kilötiheyden, ilmanvaihdon määrän, valaistukseen ja käyttäjälaitteisiin kuluvan energian sekä lämpimän käyttöveden määrän. Näistä erityisesti ilmanvaihdon ilmavirralla on keskeinen rooli energiankulutuksessa. Lisäksi eri käyttötarkoitusluokille on asetettu erilaiset raja-arvot määräystenmukaisuuden osoittamiselle. Esimerkiksi majoitusliikerakennuksen, jota tehostetun palveluasumisen yksikkö edustaa, on 240 kWh/m<sup>2</sup>v ja opetusrakennuksella, jota koulut ja päiväkodit edustavat, on 170 kWh/m<sup>2</sup>v. (RakMK D3, 2012.)

#### *Huomioita suunnitteluun*

Vaikka tarkastelussa on selvitetty eri käyttötarkoitusten vaikutusta energiatehokkuuteen itse rakennuksen pysyessä muuttumattomana, käyttötarkoituksella on kuitenkin merkittävä vaikutus rakennuksen kokoon, muotoon, aukotukseen, arkkitehtoniseen ilmeeseen, tiloihin ja tilojen mitoitukseen. Rakennuksen käyttötarkoitus ja käytettävyyks toimivat lähtökohtina kaikelle suunnittelulle.

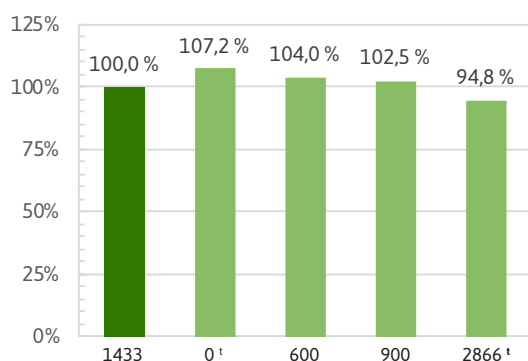
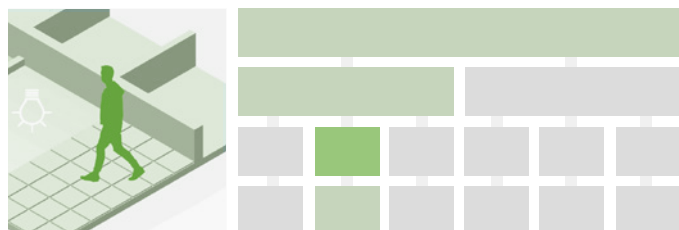
#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.2.4. Henkilötiheys.....	s. 69
4.2.5. Pääkäyttöaste.....	s. 71
4.3.5. Sisälämpötila.....	s. 91
4.3.6. Jäähdytyslämpötila.....	s. 93
4.3.7. Lämpimän käyttöveden kulutus.....	s. 95
4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta.....	s. 97
4.3.12. Kuluttajalaitteet.....	s. 105

*Rakennusten jakaminen eri käyttötarkoituluokkiin saattaa asettaa eri rakennustyypeille eriarvoiset mahdollisuudet saavuttaa vaaditut raja-arvot, joka ilmenee esimerkiksi tällaisessa tarkastelussa, jossa itse rakennus pysyy samana. Teoriassa sama rakennus on toisinaan energiatehokas lähes nollaenergiatalo ja toisinaan ei.*

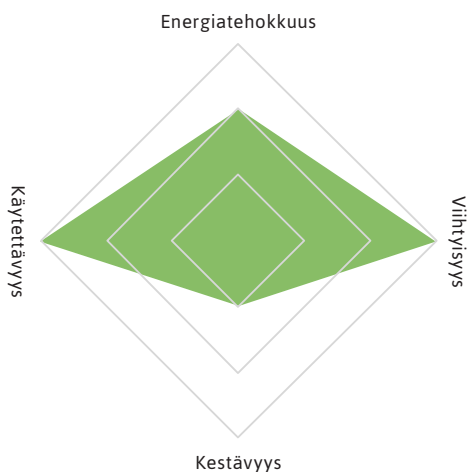
*Suunnittelun yhteydessä tavoitellut käyttötarkoituluokat ja niihin pyrkiminen saattaa aiheuttaa haasteita sellaisissa korjaushankkeissa, joissa toteutetaan rakennuksen käyttötarkoituksen muutos ja jolloin energialaskelmat tulee uusida. Korjauksen yhteydessä sama rakennus, joka toisessa luokassa täytti energiatehokkuusvaatimukset, saattaa uudessa käyttötarkoituksessaan vaatia merkittäviä energiatehokkuusparannuksia. Käyttötarkoituluokat voivat siten olla haasteena rakennusten muuntojoustavuuden näkökulmasta. Haastetta voitaisiin lieventää esimerkiksi karkeammalla käyttötarkoituluokkien jaottelulla niin, että nykyisten yhdeksän sijaan olisikin esimerkiksi vain kolme luokkaa, tai lieventämään raja-arvovaatimuksia korjaushankkeiden yhteydessä.*

## 4.2.4. Henkilötiheys



**KUVA 4.2.4.a. Henkilötiheyden (käyttäjien lukumäärä) vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.2.4.b. Henkilötiheyden vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohde** Peruskoulu

**Muuttuja(t)** Henkilömäärä rakennuksessa

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** 1433 henkilöä

**Variantti 2<sup>†</sup>** 0 henkilöä

**Variantti 3** 600 henkilöä

**Variantti 4** 900 henkilöä

**Variantti 5<sup>†</sup>** 2866 henkilöä

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus	
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen
<b>Perustapaus</b>	1 023 317 kWh/v	100,0 %
<b>Variantti 2</b>	1 097 052 kWh/v	107,2 %
<b>Variantti 3</b>	1 064 061 kWh/v	104,0 %
<b>Variantti 4</b>	1 048 474 kWh/v	102,5 %
<b>Variantti 5<sup>†</sup></b>	969 603 kWh/v	94,8 %

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Käytössä oleva rakennus ei ole jatkuvasti tyhjiillään, eikä toisaalta tavallisesti ole käytettävissä kaksinkertaisella henkilömäärällä suunnitteluarvoon nähden.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa on muutettu rakennuksessa olevien henkilöiden lukumäärää, jolloin muuttuu myös henkilöiden määrä neliometriä kohden itse rakennuksen pysyessä fyysisesti muuttumattomana. **Perustapauksen** henkilömäärä on RakMK D3 (2012) standardikäytön henkilötiheyden (5 m<sup>2</sup>/henkilö\*) mukainen 7 168 m<sup>2</sup> rakennukselle; **variantin 2** henkilömäärä vastaa tyhjää rakennusta; **variantin 4** henkilömäärä on rakennuksen todellisen suunnitelman mukainen; **variantin 5** henkilömäärä on standardikäyttöön nähden kaksinkertainen. Standardikäytön mukainen käyttöaste opetusrakennuksessa on 0,6, joka toimii kertoimena energialaskelmissa (RakMK D3, 2012).

### Energiätehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Henkilötiheyden eli henkilöiden lukumäärän kasvaminen pienentää ostoenergiankulutusta hieman vaikuttaen siten rakennuksen energiatehokkuuteen. Lisääntyvä henkilömäärä kasvattaa ihmisistä syntyvää lämpökuormaa, joka puolestaan pienentää tilojen lämmitys- ja ostoenergian tarvetta. Jopa epärealistisessa äärivariantissa, jossa henkilömäärä kaksinkertaistuu, energiankulutus kuitenkin paranee vain 5 %. Henkilömäärän lisääntyessä paranee myös rakennuksen käyttötehokkuus (ks. kuva 4.2.4.c). Kun käyttäjiä ei ole lainkaan, käyttötehokkuusluku lähestyy ääretöntä.

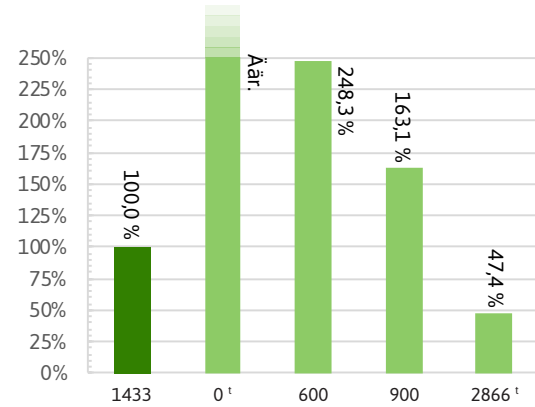
### Huomioita suunnitteluun

Henkilötiheyttä on tutkittu tässä tarkastelussa ainoastaan henkilöiden luovuttaman lämpökuorman kautta, vaikka henkilötiheydellä on luonnollisesti muitakin vaikutuksia energiatehokkuuteen. Valaistuksen ja laitteiden kuluttama energia lasketaan tavallisesti neliometriä kohden, joten henkilömäärällä ei ole vaikutusta standardikäytön mukaiseen energiankulutukseen näiltä osin. Ilmanvaihto on standardikäytön mukaisessa laskennassa vakio, mutta hiilidioksidiohjatussa ilmanvaihdossa henkilötiheydellä olisi merkittävä vaikutus ilmanvaihdon määrään talotekniikkasuunnittelun kautta (ks. 4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta).

Henkilötiheys on merkittävä ominaisuus tilojen käytettävyyden ja viihtyisyyden kannalta. Henkilötiheyden kasvaessa saavutetaan energiatehokkuutta, mutta samalla on haasteena laadun heikkeneminen esimerkiksi sopivan tilamitoituksen ja sisäilman laadun näkökulmista. Tarkoituksenmukainen henkilötiheys saadaan tarkastelemalla laatutekijöitä energiatehokkuuden rinnalla. Esimerkiksi koulujen suunnitteluohjeissa luokkatilojen tilamitoitus on keskimäärin 2,5 m<sup>2</sup>/henkilö oppilasmäärästä riippuen ja luokkatilan kaikki toiminnot huomioiden (RT 96-10939, s. 7), joiden lisäksi kouluissa on lukuisia muita eri käyttötarkoitusten mukaisia tiloja – tarkoituksenmukainen mitoitus on siis harkittava tapauskohtaisesti.

### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

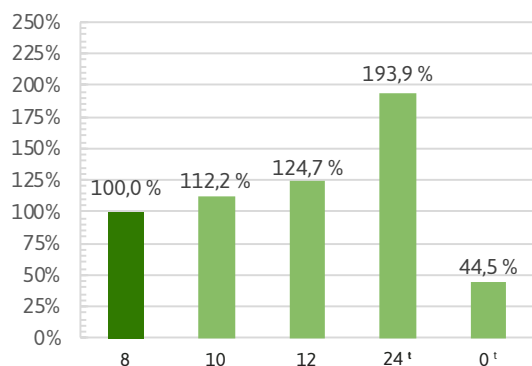
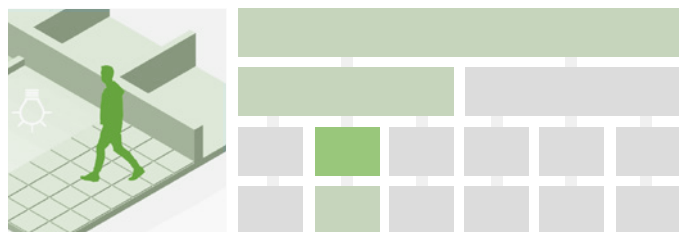
4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67
4.2.7. Pääkäyttövyyhyke.....	s. 75
4.3.5. Sisälämpötila .....	s. 91
4.3.6. Jäähdytyslämpötila.....	s. 93
4.3.7. Lämpimän käyttöveden kulutus.....	s. 95
4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta .....	s. 97
4.3.12. Kuluttajalaitteet.....	s. 105



**KUVA 4.2.4.c. Henkilötiheyden (käyttäjien lukumäärä) vaikutus käyttötehokkuuteen, käyttötehokkuusluku suhteessa perustapaukseen.**

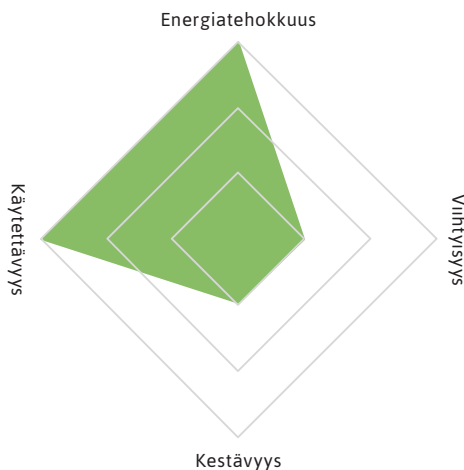
*Perustapauksessa on käytetty RakMK D3 (2012) mukaista standardikäytön henkilötiheyttä opetusrakennuksille (5 m<sup>2</sup>/henkilö), jota on sittemmin muutettu Ympäristöministeriön asetuksessa 5/13 (2013, s. 4) lukemaan 6 m<sup>2</sup>/henkilö. Laskelmat on suoritettu IDA ICE versiolla 4.7.1, jossa asetusarvona on 5 m<sup>2</sup>/henkilö.*

## 4.2.5. Pääkäyttöaste



**KUVA 4.2.5.a. Pääkäyttöasteen vaikutus ostoenergiankulutukseen**, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen. Tarkastelussa muutettu pääkäyttötuntien määrää arkisin.

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.2.5.b. Pääkäyttöasteen vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohde** Peruskoulu

**Muuttuja(t)** Pääkäytön määrä tunteina

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Pääkäyttöä 8 h arkisin, klo 8–16

**Variante 2** Pääkäyttöä 10 h arkisin, klo 7–17

**Variante 3** Pääkäyttöä 12 h arkisin, klo 6–18

**Variante 4<sup>†</sup>** Pääkäyttöä 24 h arkisin

**Variante 5<sup>†</sup>** Ei käyttöä

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus	
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen
<b>Perustapaus</b>	1 023 317 kWh/v	100,0 %
<b>Variante 2</b>	1 148 406 kWh/v	112,2 %
<b>Variante 3</b>	1 276 347 kWh/v	124,7 %
<b>Variante 4<sup>†</sup></b>	1 984 222 kWh/v	193,9 %
<b>Variante 5<sup>†</sup></b>	455 440 kWh/v	44,5 %

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Ympäri vuorokautinen pääkäyttö ei ole realistista käytetyssä rakennustyyppissä.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Pääkäytöllä tarkoitetaan rakennuksen ensisijaisen käyttötarkoituksen mukaista toimintaa ja pääkäyttöasteella tämän toiminnan määrää ajallisesti. Varianteissa on muutettu rakennuksen käyttöaikataulua. Käyttöaikataulu ohjaa ihmisistä, kuluttajalaitteista ja valaistuksesta tulevia lämpökuormia sekä energiankulutusta. Opetusrakennusten standardikäytön mukainen käyttöaste on käyttöaikana 0,6, joka toimii kertoimena energialaskelmissa (RakMK D3, 2012).

Vaikka rakennusta ei käytetä lainkaan, on sen lämpötila pyrittävä pitämään tässä tarkastelussa vakiona ja ilmanvaihto vähintään määräysten mukaisella minimitasolla. Aikataulu ohjaa ilmanvaihtoa niin, että standardikäytön mukaiset vakioilmavirrat (opetusrakennuksessa 3 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>) ovat päällä tuntia ennen käytön aloittamista ja tunnin käytön lopettamisen jälkeen. Muina aikoina rakennuksessa on ilmanvaihto minimi-ilmavirralla 0,15 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup> (RakMK D2, 2012). Tässä tarkastelussa pääkäytössä on standardikäytön mukaisesti 1 433 henkilöä.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Pääkäyttöasteen vaikutus energiatehokkuuteen on erittäin merkittävä. Kun rakennuksen käyttö lisääntyy, lisääntyy myös ostoenergiankulutus. Energiankulutus ei kuitenkaan lisääntynyt lineaarisesti käyttöasteen kanssa, vaan käytössä olevien tuntien puolitoistakertaistuesssa energiankulutus kasvaa vain noin neljäsosan (24,7

%, variantti 3). Kun käyttö puolestaan kolmikertaistuu ja rakennus on käytössä ympärivuorokautisesti, ostoenergiankulutus on yli 90 % suurempi, kuin perustapauksessa (93,9 %, variantti 4). Erityisen huomattavasti kun käyttöä ei ole lainkaan, energiakulutus on silti lähes puolet standardikäytöllä simuloidusta kulutuksesta (44,5 %, variantti 5).

Koska kaikki rakennukset suunnitellaan käyttämistä varten ja olisi ristiriitaista kannustaa rakennusten vähäiseen käyttöön, kuten ostoenergiankulutuksen tulokset antavat ymmärtää, on käyttöasteen merkitystä energiatehokkuuteen tutkittu lisäksi käyttötehokkuusluvun (energiankulutus/henkilökäyttötunti) kautta (ks. kuva 4.2.5.c). Kun käyttöaste kasvaa eli käyttö lisääntyy, käyttötehokkuusluku pienenee. Näin ollen tällä indikaattorilla tarkasteltuna energiatehokkuus paranee.

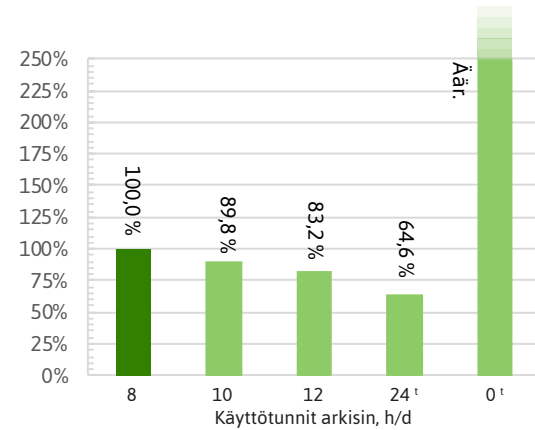
#### *Huomioita suunnitteluun*

Koska ostoenergiankulutus ei kasva lineaarisesti käyttöasteen lisäämisen kanssa, käytön lisäämistä ja käyttöasteen parantamista voidaan pitää suositeltavina toimenpiteinä rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi. Tätä tukevat myös käyttötehokkuusluvun avulla saadut tulokset, jotka on esitetty kuvassa 4.2.5.c. Näin ollen käytön suunnittelu osana energiatehokkuustarkasteluita olisi oleellinen näkökulma tulevaisuudessa. Lisäksi koska rakennus kuluttaa merkittävästi energiaa myös tyhjänä ollessaan talotekniikan toimiessa minimiarvoilla, tulisi rakennuksen tyhjänä olevien tuntien määrä pyrkiä minimoimaan.

Pääkäyttöasteen kasvattaminen vaikuttaa arkkitehtuurin tilasuunnitteluun merkittävästi edellyttäen sekä käytön ympärivuorokautista ja -vuotista suunnittelua että monipuolisen ja jatkuvan käytön mahdollistavia muuntojoustavia suunnitteluratkaisuja. Erääksi tällaiseksi arkkitehtuurin suunnitteluratkaisuksi esitetään tässä julkaisussa niin kutsuttua vyöhykkeistämistä (ks. 4.2.7. Pääkäyttövyöhyke; 4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke; 4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet).

#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

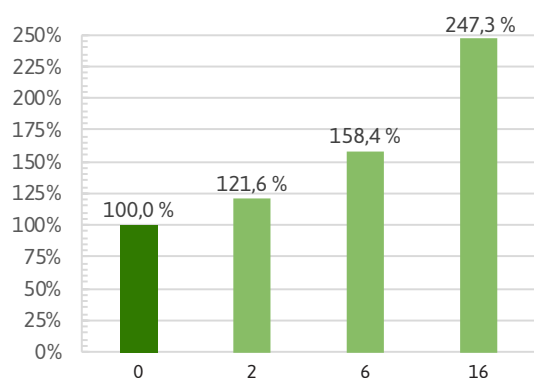
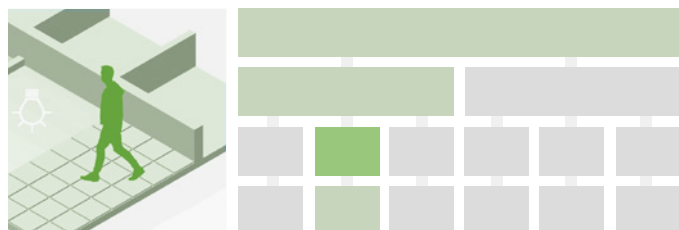
4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67
4.2.6. Lisäkäyttöaste.....	s. 73
4.2.7. Pääkäyttövyöhyke.....	s. 75
4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke.....	s. 77
4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet.....	s. 79
4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta,.....	s. 99



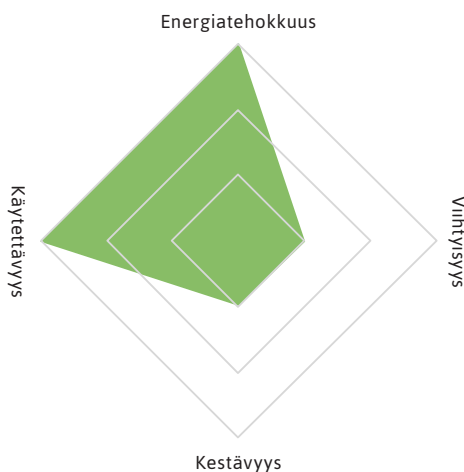
**KUVA 4.2.5.c. Käyttöasteen vaikutus käyttötehokkuuteen, käyttötehokkuusluku (kWh/(hlö·h)) suhteessa perustapaukseen.**



## 4.2.6. Lisäkäyttöaste



**KUVA 4.2.6.a. Lisäkäyttöasteen vaikutus ostoenergiankulutukseen**, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen. Tarkastelussa muutettu päivittäisten lisäkäyttötuntien määrää.



**KUVA 4.2.6.b. Lisäkäyttöasteen vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohde** Peruskoulu

**Muuttuja(t)** Lisäkäytön määrä tunteina

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ei lisäkäyttöä (vuotuiset käyttötunnit 1 253)

**Variantti 2** Lisäkäyttöä 2 h, ma–su, klo 16–18 (vuotuiset käyttötunnit 1 692)

**Variantti 3** Lisäkäyttöä 6 h, ma–su, klo 16–22 (vuotuiset käyttötunnit 2 570)

**Variantti 4** Lisäkäyttöä 16 h, ma–su, klo 16–08 (vuotuiset käyttötunnit 4 766)

### Simulaatiotulokset

Laskentatapaus	Ostoenergiankulutus	
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen
<b>Perustapaus</b>	1 023 317 kWh/v	100,0 %
<b>Variantti 2</b>	1 244 568 kWh/v	121,6 %
<b>Variantti 3</b>	1 621 348 kWh/v	158,4 %
<b>Variantti 4</b>	2 531 013 kWh/v	247,3 %

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa on muutettu rakennuksen lisäkäytön käyttöaikataulua. Lisäkäytöllä tarkoitetaan tässä tarkastelussa rakennuksessa iltaisin olevaa toimintaa, joka ei välttämättä vastaa rakennuksen pääkäyttötarkoitusta. Lisäkäyttöaste tarkoittaa niin ikään lisäkäytön määrää ajallisesti, standardikäytön mukaisen pääkäytön (1 433 henkilöä, 8 h arkipäivisin, klo 8–16, RakMK D3 (2012)) lisäksi (ks. 4.2.5. Pääkäyttöaste, perustapaus). Kaikissa varianteissa lisäkäytössä käyttäjiä on 300 henkilöä käyttöasteella 0,6, joka vaikuttaa muun muassa lämpökuormiin, ja ihmisten oletetaan olevan rakennuksen tiloissa tasaisesti, jolloin rakennus on kokonaisuudessaan käytössä myös lisäkäytön aikana. Talotekniset ratkaisut vastaavat ohjekortin 4.2.5. Pääkäyttöaste asetuksia Suomen rakentamismääräyskokoelman osien D2 (2012) ja D3 (2012) mukaisesti.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Lisäkäyttöasteen vaikutus energiatehokkuuteen on merkittävä. Kun käytössä oleva aika ja henkilömäärä kasvavat lisäkäytön myötä, kasvaa myös ostoenergiankulutus. Ostoenergiankulutus ei kuitenkaan kasva lineaarisesti käyttöasteen kanssa, aivan kuten havaittiin myös pääkäyttöastetta tarkastellessa (ks. 4.2.5. Pääkäyttöaste). Kun käyttötunteja on lähes kaksinkertainen määrä, energiankulutus ei kaksinkertaistu ollessaan vain lähes 60 % perustapausta suurempi (58,4 %, variantti 3). Pää- ja lisäkäyttötuntien yhteensä viisinkertaistuessa ostoenergiankulutus on noin 2,5-kertainen perustapaukseen verrattuna (247,3 %, variantti 4).

Lisäkäyttöasteen vaikutusta energiatehokkuuteen on tutkittu ostoenergiankulutuksen lisäksi käyttötehokkuusluvun avulla, jotta rakennusten käyttöä voidaan arvioida monipuolisesti energiatehokkuustarkasteluiden yhteydessä. Kuvassa 4.2.6.c nähdään, että ostoenergiankulutuksen lisäksi myös käyttötehokkuusluku kasvaa lisäkäyttöä lisättäessä. Tulos on päinvastainen pääkäyttöasteen tuloksen kanssa. Energiatehokkuus ei siis parane varianttien 2–4 lisäkäyttöasteen määrällä, ei ostoenergiankulutuksen eikä käyttötehokkuuden näkökulmista. Tuloksen voi ajatella johtuvan siitä, että lisäkäytössä olevat 300 henkilöä on sijoitettu tasaisesti koko rakennukseen, jolloin esimerkiksi ilmanvaihdon käyntiajat muodostuvat pitkiksi ja ilmanvaihtoon kuluva energia suhteellisen suureksi (ks. 4.2.7. Pääkäyttövyöhyke; 4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke). Tämän tyyppinen, ajallisesti ja henkilömäärällisesti vähäinen lisäkäyttö ei paranna rakennuksen energiatehokkuutta.

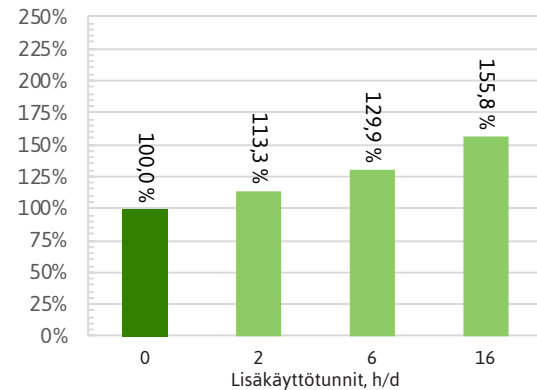
#### *Huomioita suunnitteluun*

Pääkäyttöasteen kohdalla havaittiin, että pääkäytön lisääminen rakennuksessa on kannattavaa. Sen sijaan lisäkäytön tarkastelun yhteydessä tulokset ovat päinvastaiset, eikä vähäinen lisäkäyttö parannakaan energiankulutusta. Tulos painottaa käytön suunnittelun tärkeyttä hankkeen suunnitteluvaiheissa. Tarkastelussa ilmenee, että ostoenergiankulutuksen kannalta on lähes yhtä kannattavaa lisätä pääkäyttöä neljällä tunnilla (ks. 4.2.5. Pääkäyttöaste, 1 433 henkilöä, variantti 3), kuin lisätä lisäkäyttöä kahdella tunnilla (300 henkilöä, variantti 2). Koska pääkäytön lisääminen ei ole aina realistista esimerkiksi koulu- ja työpäivien pidentämisinä, on lisäkäyttö suunniteltava riittävän suureksi ajallisesti ja henkilömäärällisesti, jotta se olisi energiatehokkuuden näkökulmasta kannattavaa.

Energiatehokkaan lisäkäytön mahdollistaminen vaikuttaa sekä arkkitehtuurin tilasuunnitteluun että talotekniseen suunnitteluun. Tilasuunnittelun näkökulmasta lisäkäytössä olevien tilojen rajoittaminen ja rakennuksen niin kutsuttu vyöhykeistäminen voisivat parantaa lisäkäytön tuloksia etenkin vähäisen lisäkäytön kohdalla (ks. 4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke). Tässä tarkastelussa on otettu huomioon ainoastaan iltaisin harjoitettu lisäkäyttö, mutta lisäkäytön laajentaminen peruskoulurakennuksen näkökulmasta kattamaan myös koko viikonlopun ja loma-ajat parantaisi tuloksia. Kohteen arkkitehtuurin ja tilasuunnittelun tulee olla monenlaisia lisäkäytön toimintoja mahdollistavaa, monikäyttöistä ja muuntojoustavaa, jolloin tulee ottaa huomioon myös rakennuksen käyttötarkoituksien asettamat rajoitteet (ks. 4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus). Tilojen kulkuyhteys- ja turvallisuusnäkökulmat nousevat myös esille. Talotekniikkasuunnittelun puolesta tarpeenmukainen, CO<sub>2</sub>-ohjattu ilmanvaihto vaikuttaisi tuloksiin niin ikään parantavasti (ks. 4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta).

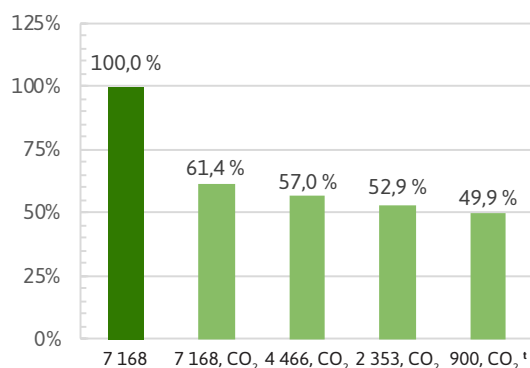
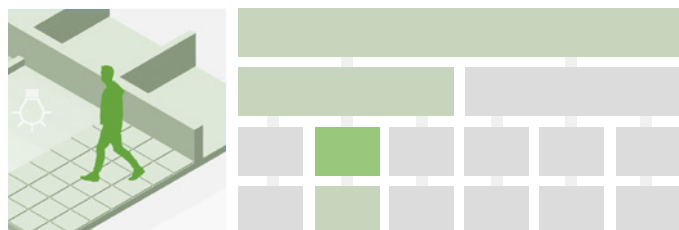
#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67
4.2.5. Pääkäyttöaste.....	s. 71
4.2.7. Pääkäyttövyöhyke.....	s. 75
4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke.....	s. 77
4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet.....	s. 79
4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta,.....	s. 97



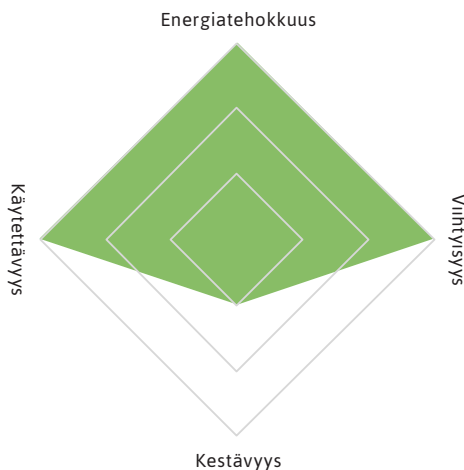
**KUVA 4.2.6.c. Lisäkäyttöasteen vaikutus käyttötehokkuuteen, käyttötehokkuusluku (kWh/(hlö·h)) suhteessa perustapaukseen.**

## 4.2.7. Pääkäyttövyöhyke



**KUVA 4.2.7.a. Pääkäyttövyöhykkeen laajuuden (m<sup>2</sup>) ja CO<sub>2</sub>-ohjauksen vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.2.7.b. Pääkäyttövyöhykkeen laajuuden (m<sup>2</sup>) vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Peruskoulu

**Muuttuja(t)** Pääkäyttövyöhykkeen pinta-ala, ilmanvaihto CO<sub>2</sub>-ohjauksen mukaan

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Käytössä 7 168 m<sup>2</sup> vyöhyke

**Variante 2** Käytössä 7 168 m<sup>2</sup> vyöhyke, ilmanvaihto CO<sub>2</sub>-ohjauksen mukaan

**Variante 3** Käytössä 4 466 m<sup>2</sup> vyöhyke, ilmanvaihto CO<sub>2</sub>-ohjauksen mukaan

**Variante 4** Käytössä 2 353 m<sup>2</sup> vyöhyke, ilmanvaihto CO<sub>2</sub>-ohjauksen mukaan

**Variante 5<sup>†</sup>** Käytössä 900 m<sup>2</sup> vyöhyke, ilmanvaihto CO<sub>2</sub>-ohjauksen mukaan

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus	
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen
<b>Perustapaus</b>	1 023 317 kWh/v	100,0 %
<b>Variante 2</b>	628 587 kWh/v	61,4 %
<b>Variante 3</b>	583 106 kWh/v	57,0 %
<b>Variante 4</b>	541 695 kWh/v	52,9 %
<b>Variante 5<sup>†</sup></b>	510 800 kWh/v	49,9 %

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Esitetty pinta-ala ei todellisuudessa riitä pääkäytön mukaiseen toimintaan (vrt. 4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke, variante 5).

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Vyöhykkeillä tarkoitetaan tilojen sijoittamista ryhmittäin, tässä tapauksessa käytön mukaisesti. Toisin sanoen tilojen ryhmittely rakennuksen pääkäyttötarkoituksen mukaisten toimintojen käyttäjän mukaisesti muodostaa rakennukseen niin kutsuttuja pääkäyttövyöhykkeitä. Varianteissa on muutettu rakennuksen pääkäytössä olevien tilojen eli pääkäyttövyöhykkeen pinta-alaa.

Koska **perustapaus** on tässä julkaisussa aina vakio (käytettyjen rakennustyyppien sisällä), on siinä käytetty RakMK D3 (2012) mukaista opetusrakennuksille määriteltyä standardikäyttöä, jossa henkilöiden lukumäärä on 1 433 ja ilmanvaihto vakioilmavirralla 3 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>. **Varianteissa 2–5** on käytetty rakennuksen suunniteltua henkilöömäärää eli 900 henkilöä. Lisäksi tarkasteluissa on käytetty tarpeenmukaista, hiilidioksidiohjattua ilmanvaihtoa, jotta voidaan tarkastella käytön vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen. Tällöin rakennuksen minimi-ilmavirta CO<sub>2</sub>-ohjauksessa on 0,15 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup> ja maksimi-ilmavirta on 4 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>. Laskennassa maksimi-ilmavirta on mitoitettu siten, ettei hiilidioksiditaso nouse millään variantilla, missään tilassa liian korkeaksi, vaan pysyy asetetuissa raja-arvoissa 700–1100 ppm. Käyttöaikataulut ovat kaikissa varianteissa standardikäytön mukaisia.

Varianteissa rakennuksen käyttäjät on jaettu kerroksittain tasaisesti kuvan 4.2.7.d vyöhykkeiden mukaisesti. Variantissa 5 käytössä on ainoastaan rakennuksen keskellä oleva atriumaulatila. Ihmisistä tulevien lämpökuormien lisäksi käytössä olevien vyöhykkei-

den tiloissa on RakMK D3 (2012) standardikäytön mukaiset kuormat käyttäjälaitteista ja valaistuksesta. Tiloissa, jotka eivät ole käytössä, ei myöskään ole näistä syntyviä lämpökuormia eikä toisaalta energiankulutusta.

#### *Energiätehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa*

Ero perustapauksen ja muiden varianttien ostoennergiankulutuksen tulosten välillä osoittaa, että vyöhykkeistämisen ja CO<sub>2</sub>-ohjauksen yhteisvaikutus energiatehokkuuteen on merkittävä. Toisaalta muilta arvoiltaan yhtenevämpiä variantteja 2–5 vertaamalla vaikutus on edelleen merkittävä ja näin ollen molempien vaikutus yksittäisinä ominaisuuksina on suuri. Hiilidioksidiohjatun ilmanvaihdon merkitys korostuu, kun käytössä oleva pinta-ala pienenee aiheuttaen luonnollisesti myös energiankulutuksen pienenemisen. Kun henkilömäärä ja käyttöaika pysyvät vakioina, paranee myös käyttötehokkuusluku (ks. kuva 4.2.7.c).

#### *Huomioita suunnitteluun*

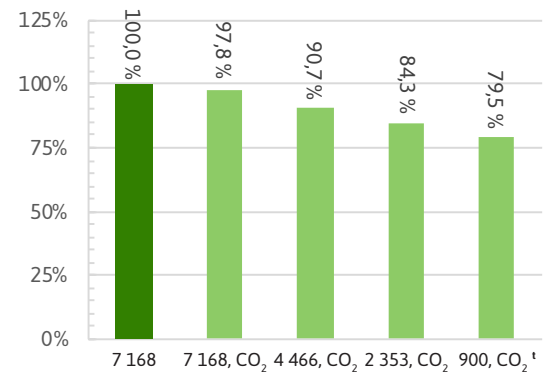
Tilojen vyöhykkeistämisen vaikuttaa energiatehokkuuteen tässä tarkastelussa erityisesti CO<sub>2</sub>-ohjauksella toimivan ilmanvaihdon kautta, kun käyttämättöminä olevien tilojen ilmanvaihto on minimitasolla. Näin ollen tarpeenmukaisen ilmanvaihdon suunnittelu yhdessä tilavyöhykkeiden suunnittelun kanssa on suositeltavaa. Myös muiden taloteknisten ominaisuuksien, kuten lämmityksen, yhdistäminen käyttövyöhykkeiden kanssa voisi parantaa rakennuksen energiatehokkuutta entisestään.

Vyöhykkeistämisen vaikuttaa merkittävästi myös rakennuksen käytettävyyteen ja viihtyisyyteen käytössä olevien tilojen määrän ja pinta-alan kautta. Tarkastelun tarkoituksena ei ole puristaa mahdollisimman paljon ihmisiä pieneen tilaan, vaan löytää käytön ja tilasuunnittelun keinoja energiatehokkuuden parantamiseksi. Siksi vyöhykkeiden suunnittelun ja käyttötehokkuustarkasteluiden rinnalla tulee aina tarkastella myös laadullisia tekijöitä. Koska käyttövyöhykkeiden pienentäminen ei aina ole realistinen vaihtoehto henkilömäärän pysyessä samana, on rakennuksen ja tilaohjelman suunnittelu muuntojoustavaksi ja monikäyttöiseksi tärkeää. Suunnitteluratkaisuna eri kokoisten vyöhykkeiden mahdollistaminen erilaisia käyttäjiä varten on suositeltavaa.

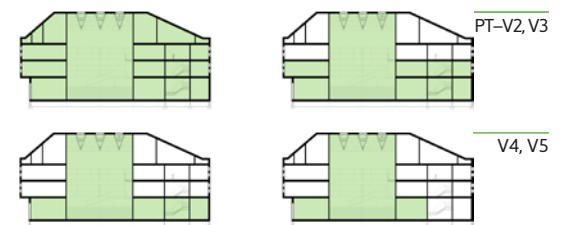
Vyöhykkeiden konseptin ja suunnitteluratkaisuiden kehittäminen sekä energiatehokkuustarkastelut ovat aiheellisia, sillä todellisuudessa esimerkiksi koulurakennukset ovat tyhjiillään useita tunteja vuorokaudessa viikonloppu- ja loma-ajan käyttäjien lisäksi. Lisäkäyttö on vain satunnaista, mistä huolimatta talotekniikka on usein päällä samoin asetuksin kuin pääkäytön aikaanakin. Koulujen vajaakäytön lisäksi tyhjänä olevaa rakennuskantaa on maassamme runsaasti. Järjestelmällisellä käytön, tila- ja talotekniikan yhteissuunnittelulla voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuutta merkittävästi niin ostoennergiankulutuksen kuin käyttötehokkuudenkin näkökulmista.

#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.1.1. Lämmitetty nettoala.....	s. 27
4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67
4.2.4. Henkilötiheys.....	s. 69
4.2.5. Pääkäyttöaste.....	s. 71
4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke.....	s. 77
4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta.....	s. 97



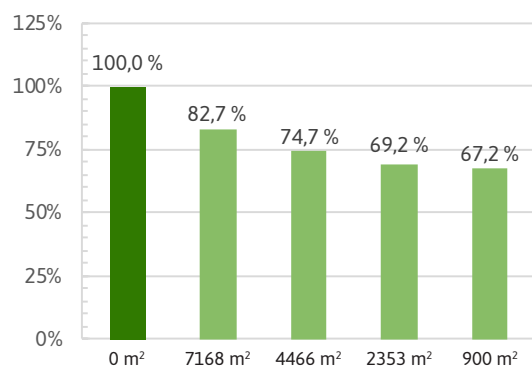
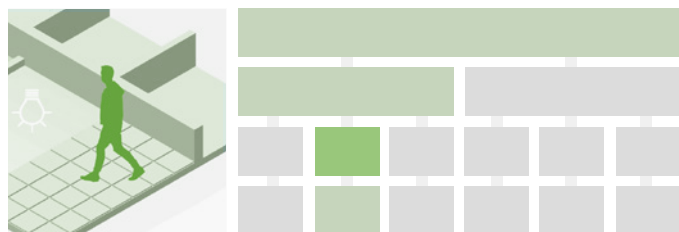
**KUVA 4.2.7.c. Pääkäyttövyöhykkeen laajuuden (m<sup>2</sup>) ja CO<sub>2</sub>-ohjauksen vaikutus käyttötehokkuuteen, käyttötehokkuusluku suhteessa perustapaukseen.**



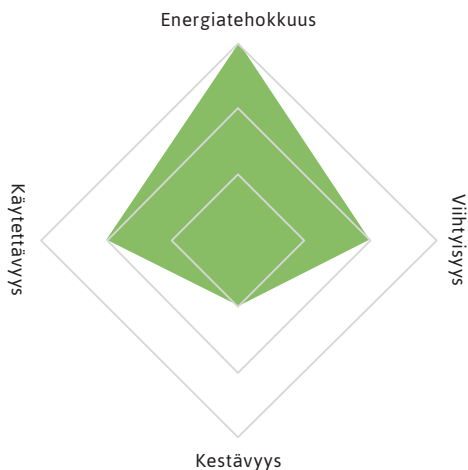
**KUVA 4.2.7.d. Simuloidut pääkäyttövyöhykkeet pystyleikkauksissa.**

*Todellisuudessa sellaista tarpeenmukaisen ilmanvaihdon laitetta, jonka minimiarvona on 0,15 ja maksimiarvo 4,0 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup> voidaan vielä tällä hetkellä pitää epärealistisena. Koska tässä tarkastelussa kyseessä on tutkimuksellinen tarkastelu, ja talotekniset ratkaisut kehittyvät nopeasti, on kyseisiä arvoja käytetty simuloinneissa sisäilman laadun varmistamiseksi. Tarkastelu osoittaa, että tällaiselle tuotteelle olisi tarvetta.*

## 4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke



KUVA 4.2.8.a. Lisäkäyttövyöhykkeen laajuuden (m<sup>2</sup>) vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.



KUVA 4.2.8.b. Lisäkäyttövyöhykkeen laajuuden (m<sup>2</sup>) vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohde** Peruskoulu

**Muuttuja(t)** Lisäkäyttövyöhykkeen pinta-ala, ilmanvaihto CO<sub>2</sub>-ohjauksen mukaan

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ei lisäkäyttöä

**Variante 2** Lisäkäytössä 7 168 m<sup>2</sup> vyöhyke, ilmanvaihto CO<sub>2</sub>-ohjauksen mukaan

**Variante 3** Lisäkäytössä 4 466 m<sup>2</sup> vyöhyke, ilmanvaihto CO<sub>2</sub>-ohjauksen mukaan

**Variante 4** Lisäkäytössä 2 353 m<sup>2</sup> vyöhyke, ilmanvaihto CO<sub>2</sub>-ohjauksen mukaan

**Variante 5** Lisäkäytössä 900 m<sup>2</sup> vyöhyke, ilmanvaihto CO<sub>2</sub>-ohjauksen mukaan

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus	
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen
<b>Perustapaus</b>	1 023 317 kWh/v	100,0 %
<b>Variante 2</b>	845 777 kWh/v	82,7 %
<b>Variante 3</b>	764 116 kWh/v	74,7 %
<b>Variante 4</b>	708 523 kWh/v	69,2 %
<b>Variante 5</b>	687 534 kWh/v	67,2 %

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Lisäkäyttövyöhykkeillä tarkoitetaan tilojen ryhmittelyä lisäkäytön, eli tässä tapauksessa koulurakennuksessa pääopetuskäytön lisäksi iltaisin olevan käytön mukaan. Varianteissa on muutettu lisäkäytössä olevien tilojen määrää eli lisäkäyttövyöhykkeen pinta-ala. Kaikissa varianteissa on standardikäytön mukaisesti pääkäyttöä 8 tuntia päivässä ja 5 päivää viikossa, klo 8–16, henkilömäärällä 1 433. Lisäkäyttöä on puolestaan kaikissa tapauksissa 6 tuntia päivässä ja 7 päivää viikossa, klo 16–22, henkilömäärällä 300 ja käyttöasteella 0,6, joka vaikuttaa muun muassa lämpökuormiin. Henkilöt on jaettu tasaisesti kunkin variantin vyöhykkeen mukaisiin tiloihin (ks. kuva 4.2.8.d), jotka vastaavat samoja vyöhykkeitä kuin 4.2.7. Pääkäyttövyöhyke tarkastelussakin. Talotekniset ratkaisut vastaavat niin ikään ohjekortin 4.2.7. Pääkäyttövyöhyke asetuksia RakMK osien D2 (2012) ja D3 (2012) mukaisesti.

**Perustapaus** vastaa RakMK D3 (2012) mukaista opetusrakennuksille määriteltyä standardikäyttöä, eikä rakennuksessa ole ilta- tai viikonloppukäyttöä. **Varianteissa 2–5** on pääkäytön lisäksi lisäkäyttöä iltaisin, ja ilmanvaihto toimii tarpeenmukaisesti hiilidioksidiohjauksella vastaavasti kuin edellisessä ohjekortissa 4.2.7. Pääkäyttövyöhyke. Ilmanvaihto on päällä kokonaiskäyttöajan lisäksi tuntia ennen käyttöä ja tunnin käytön loppumisen jälkeen, eli tässä tarkastelussa kaikkiaan arkisin klo 7–23 ja viikonloppuisin klo 15–23. Ilmanvaihto on minimillä aina silloin, kun tilat ovat tyhjinä käyttäjistä.

### *Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa*

Lisäkäyttövyöhykkeiden merkitys energiatehokkuuteen on samassa linjassa pääkäyttövyöhykkeiden tulosten kanssa, vaikka lisäkäyttöä on sekä ajallisesti että henkilömäärällisesti pääkäyttöä vähemmän: Lisäkäytössä olevien tilojen vyöhykeistämisen vaikutus energiatehokkuuteen on merkittävä. Tuloksen merkittävyyteen vaikuttavat yhdessä sekä vyöhykkeen mukaisesti pienenevä tarkasteltava pinta-ala että tarpeenmukainen ilmanvaihtoratkaisu.

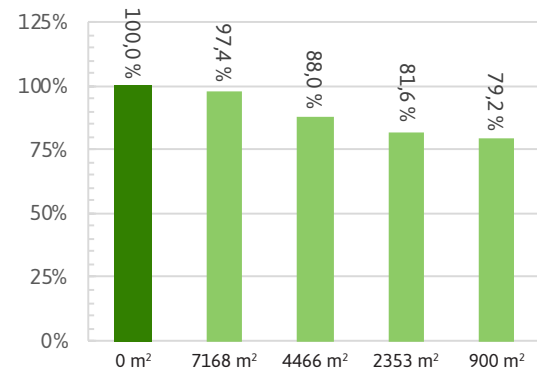
Lisäkäytön rajaaminen pienempiin, kulloisenkin käytön perusteella tarkoituksen mukaisiin tiloihin parantaa sekä ostoenergiankulutusta että käyttötehokkuutta (ks. kuva 4.2.8.c. Yhdessä tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjauksen kanssa lisäkäyttö ei heikennä energiatehokkuutta, vaikka käytössä olisikin koko rakennus, kuten 4.2.6. Lisäkäyttöasteen tapauksessa, ja vyöhykeistäminen parantaa tuloksia.

### *Huomioita suunnitteluun*

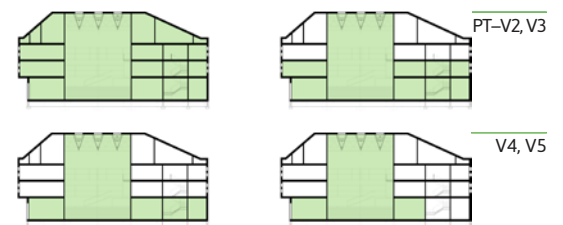
Sekä arkkitehtuurin tilasuunnittelun, talotekniikkasuunnittelun että käytön suunnittelun näkökulmista pätevät samat huomiot, kuin edellisessä ohjekortissa 4.2.7. Pääkäyttövyöhyke. Lisäkäyttö on kuitenkin usein realistisempi vaihtoehto rakennusten käytön tehostamiseen kuin itse pääkäytön lisääminen. Lisäkäytölle on ominaista pienempi henkilömäärä sekä lyhyempi käyttöaika, kuin pääkäytössä, joten riittävän pienien tilojen ja niiden muuntojoustavan yhdistelemisen tarve korostuu. Lisäksi lisäkäyttö vaatii erillisiä ulkoysteiksiä omiin vyöhykkeisiin sekä uudentyyppisiä, vyöhykkeiden välisiä turva- ja valvontajärjestelmäratkaisuja.

### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.1.1. Lämmitetty nettoala.....	s. 27
4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67
4.2.4. Henkilötiheys.....	s. 69
4.2.5. Pääkäyttöaste.....	s. 71
4.2.7. Pääkäyttövyöhyke.....	s. 75
4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta.....	s. 97

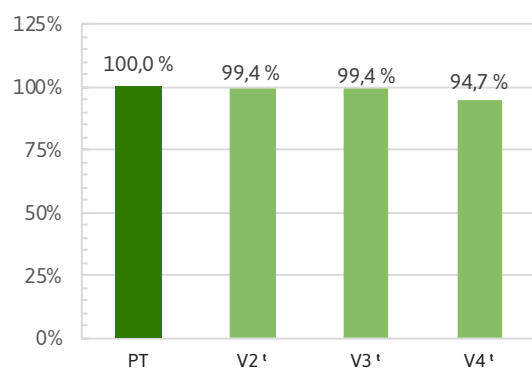
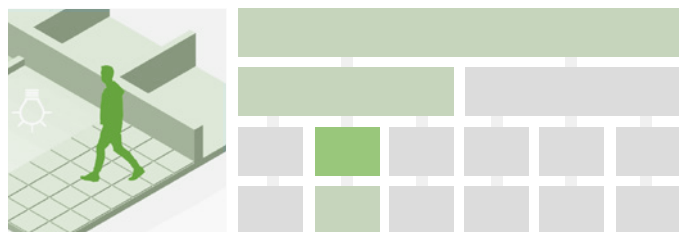


**KUVA 4.2.8.c. Lisäkäyttövyöhykkeen laajuuden (m²) vaikutus käyttötehokkuuteen, käyttötehokkuusluku suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.2.8.d. Simuloidut lisäkäyttövyöhykkeet pystyleikkauksissa.**

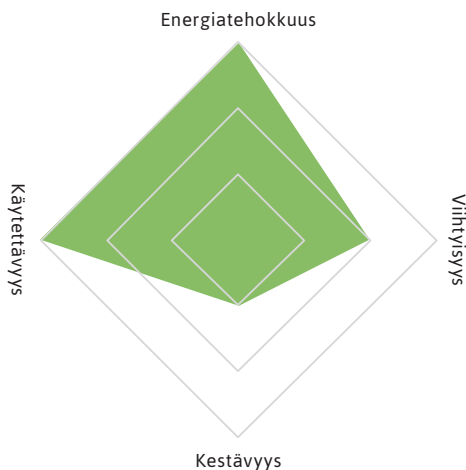
## 4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet



**KUVA 4.2.9.a. Lämpötilavyöhykkeiden vaikutus ostoenergiankulutukseen**, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus

\* E-lukulaskennassa otetaan huomioon vain puolilämpimät tilat, ei lämmittämättömiä



**KUVA 4.2.9.b. Lämpötilavyöhykkeiden vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Tilojen lämmitysaste

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Kaikki tilat lämpimiä, lämmitys 21 °C asti

**Variantsi 2<sup>†</sup>** Lämmittämätön käytävätila

**Variantsi 3<sup>†</sup>** Puolilämmin käytävätila, lämmitys 17 °C asti

**Variantsi 4<sup>†</sup>** Puolilämpimät käytävä- ja yhteistilat, lämmitys 17 °C asti

### Simulaatiotulokset

Laskenta-tapaus	Ostoenergiankulutus		
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	E-luku (2012)
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantsi 2 <sup>†</sup>	212 036 kWh/v	99,4 %	*
Variantsi 3 <sup>†</sup>	212 036 kWh/v	99,4 %	308 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantsi 4 <sup>†</sup>	202 091 kWh/v	94,7 %	295 kWh/m <sup>2</sup> v

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Ryhmäkotiyksikön tapauksessa kaikkien sisäisten, asukkaiden käyttämien tilojen on heikkokuntoisten asukkaiden lämpötilaherkkyuden vuoksi oltava lämmitettyjä, vaikka esimerkiksi asuinkerrostalon tapauksessa näin ei välttämättä tarvitsisi olla.

\* E-lukulaskennassa otetaan huomioon vain puolilämpimät tilat, ei lämmittämättömiä

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Lämpötilavyöhykkeillä tarkoitetaan tilojen ryhmittelyä eli vyöhykkeistämistä niiden lämmitystarpeen ja siten sisälämpötilan mukaan. Varianteissa on muutettu tilojen lämmitystä. **Perustapaus** vastaa standardikäytön mukaista lämmitystä, ja **variantteissa 2–4** on vähennetty tilojen lämmitystä niiden käyttötarkoitusten perusteella. Lämmityksestä ja sisälämpötilan muuttumisesta huolimatta tässä teoreettisessa tarkastelussa ei ole muokattu tiloja rajaavia rakenteita.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Vaikka tämän tarkastelun kohdalla tulee ottaa huomioon tarkastelun teoreettinen luonne, voidaan lämpövyöhykkeiden vaikutusta energiatehokkuuteen pitää kohtalaisena. Huomattavaa on, että varianttien 2 ja 3 tulokset ovat samat, minkä perusteella tässä tapauksessa käytävä pysyy vähintään 17 asteen lämpötilassa viereisistä tiloista kulkeutuvan lämmön avulla, ilman omaa lämmitystä. Vaikka variantissa 4 puolilämpimiä tiloja on lisätty vain niukasti, on ostoenergiankulutus laskenut. Näin ollen vähäinenskin lämpövyöhykkeiden hyödyntäminen vaikuttaa suositeltavalta. Vaikutuksen voidaan olettaa kasvavan, mikäli hyödynnetään tarpeenmukaista lämmitystä tilojen käytön mukaan.

### Huomioita suunnitteluun

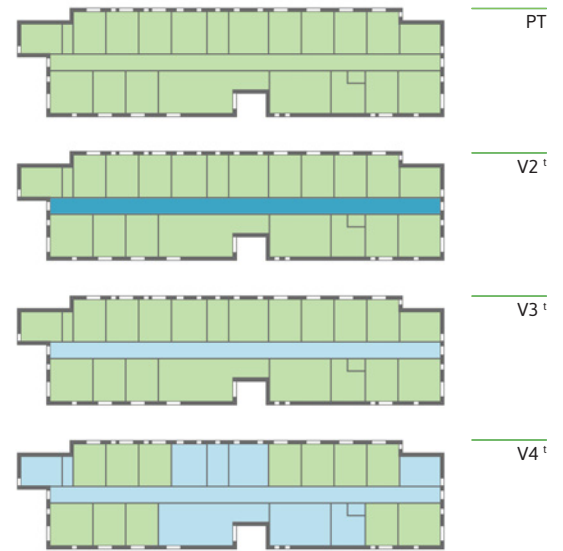
Lämmitettävän nettoalan ja tilavuuden pienentäminen pienentää luonnollisesti myös ostoenergiankulutusta, joten lämmitettävien tilojen tilatehokkuuden suunnitteleminen on oleellista. Tilojen lämpötila vaikuttaa niiden käytettävyyteen ja viihtyisyyteen merkittävästi. Vaikka esimerkiksi asuinhuoneiden tai muiden rakennuksen pääkäyttötarkoituksen mukaisten tilojen lämpötiloja ei pääsääntöisesti voida laskea muun muassa juurikin edellä mainituista käytettävyy- ja viihtyisyyssyistä, erilaisten aputilojen, kuten porrashuoneiden tai varastotilojen vaatimustasoa sekä lämpötiloja voidaan laskea energiatehokkuuden parantamiseksi.

Suunnittelemalla puolilämpimät tai kylmät tilat vaipan ulkopuolelle, saadaan yksinkertaistettua vaipparakenteita, pienennettyä lämmitettävää tilavuutta ja parannettua energiatehokkuutta. Kylmien ja puolilämpimien tilojen muotoilu on todennäköisesti useimmiten vaipparakenteiden muotoilua edullisempaa ja yksinkertaisempaa, jolloin voidaan saada vapauksia rakennuksen arkkitehtoniseen ilmeeseen ja muodonantoon. Ryhmittelemällä tilat lämpövyöhykkeiksi yksittäisten tilojen sijaan, saadaan järkeviä rakenteellisia kokonaisuuksia U-arvojen ja vaipparakenteiden näkökulmista.

Tilojen sijoittamisella suhteessa toisiinsa ja lämpövyöhykkeiden hyödyntämisellä voidaan vähentää vaipan lämpöhäviöitä esimerkiksi puolilämpimien tilojen ja niin kutsuttujen puskurivyöhykkeiden avulla. Puskurivyöhykkeellä tarkoitetaan puolilämpimiä tiloja, jotka estävän vaipan lämpöhäviöiden karkaamista suoraan ulos hyödyntäen vapautuvaa lämpöenergiaa passiivisesti. Toisaalta puolilämpimän tai lämmittämättömän vyöhykkeen suunnitteleminen lämmitettyjen tilojen keskelle, voi saada kaiken tai osan lämmityksestään suoraan lämpöhäviöiden kautta, kuten tämän tarkastelun variantin 3 tapauksessa. Vyöhykkeiden periaatetta voidaan hyödyntää lämpö- ja käyttövyöhykkeiden lisäksi esimerkiksi märkätila-, valaistus- ja luonnonvalovyöhykkeinä.

### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67
4.2.7. Pääkäyttövyöhyke.....	s. 75
4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke.....	s. 77
4.3.5. Sisälämpötila.....	s. 91



KUVA 4.2.9.c. Lämpötilavyöhykkeet laskentavarianteissa.

- Lämmin tila: lämmitys 21 °C asti
- Puolilämmin tila: lämmitys 17 °C asti
- Lämmittämätön tila



# 4.3. OLOSUHTEET JA TEKNISET RATKAISUT



## VALAISTUS

4.3.1. Päivänvalo-ohjaus .....	83
4.3.2. Luonnonvalon määrä.....	85
4.3.3. Sisäpintojen väri .....	87



## LÄMMITYS JA JÄÄHDYTYS

4.3.4. Lämmitysmuoto .....	89
4.3.5. Sisälämpötila .....	91
4.3.6. Jäähdytyslämpötila.....	93



## KÄYTTÖVESI

4.3.7. Lämpimän käyttöveden kulutus.....	95
--	----



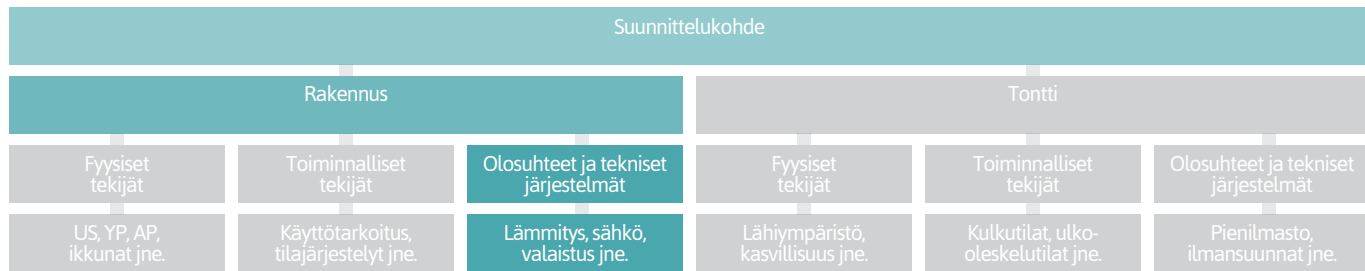
## ILMANVAIHTO

4.3.8. Ilmavirta .....	97
4.3.9. Painovoimainen ilmanvaihto.....	99
4.3.10. Lämmöntalteenotto .....	101



## SÄHKÖ

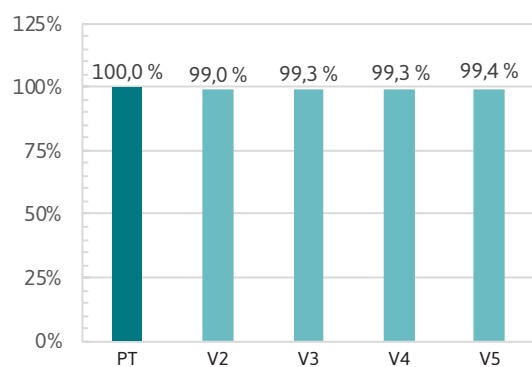
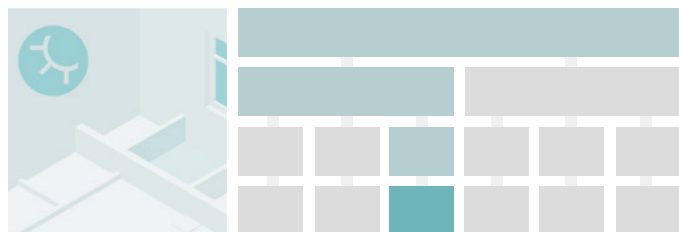
4.3.11. SFP-luku .....	103
4.3.12. Kuluttajalaitteet .....	105



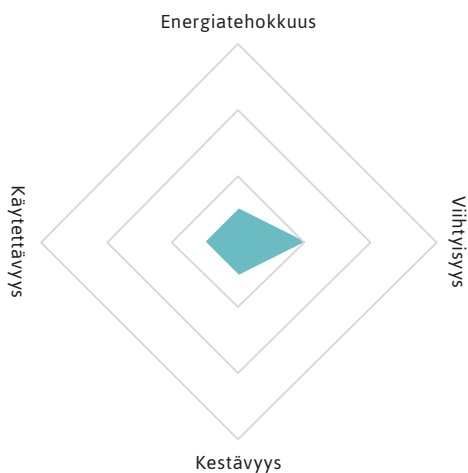
Koska rakennukset rakennetaan ensisijaisesti ihmisille, ovat rakennuksen sisäolosuhteet – terveellisyys, turvallisuus ja viihtyisyys – ensiarvoisen tärkeitä. Laadukkaat sisäolosuhteet mahdollistavat rakennuksen käytön ja tarkoituksenmukaisen toiminnan kunkin rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen. Sisäolosuhteisiin vaikuttavat useat passiiviset suunnitteluratkaisut, joita on esitetty edellisissä kappaleissa 4.1. Rakenteelliset ominaisuudet ja 4.2. Tilajärjestelyt ja käyttö, mutta nykyisen energiatehokkaan rakentamisen sisäolosuhteiden luomisen, varmistamisen ja tasalaatuisuuden takaamisen keskiössä ovat aktiiviset eli tekniset ratkaisut. Tästä syystä olosuhteet ja tekniset ratkaisut ovat myös tässä julkaisussa niputettu yhteisen otsikon alle. Energiatehokas rakentaminen on ollut runsaasti esillä mediassa sisäolosuhteiden näkökulmasta, minkä vuoksi olosuhteiden ja teknisten ratkaisujen monipuolinen tutkiminen on erityisen tärkeää.

Sisäolosuhteisiin liittyvät tekniset ratkaisut kattavat valaistuksen, lämmityksen, jäähdytyksen, lämpimän käyttöveden, ilmanvaihdon ja sähkönkulutuksen, joita on tarkasteltu ohjekortiston tässä osassa. Kustakin osa-alueesta on pyritty poimimaan tarkasteltavaksi yhdestä kolmeen yksittäistä merkittävää tai erityisesti arkkitehtisuunnittelun kannalta kiinnostavaa ominaisuutta, jotta saadaan selville ominaisuuksien vaikutus energiatehokkuuteen: ostoenergiankulutukseen ja toisinaan myös E-lukuun sen poiketessa merkittävästi ostoenergiankulutuksen tuloksista. Toisaalta tarkastelun avulla hahmotetaan kunkin ominaisuuden vaikutuksen suuruusluokka esimerkiksi rakenteellisiin tai tilallisiin ratkaisuihin nähden julkaisun sisäisesti vertailukelpoisten tulosten avulla. Olosuhteet ja tekniset ratkaisut edustavat suunnittelukohteen hierarkiapuussa nimensä mukaisesti rakennuksen olosuhteita ja teknisiä järjestelmiä fyysisten ja toiminnallisten ratkaisujen rinnalla.

### 4.3.1. Päivänvalo-ohjaus



**KUVA 4.3.1.a. Valaistustehon vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.3.1.b. Valaistustehon vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

#### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Valaistusteho, valaistus päivänvalo-ohjauksen mukaan

#### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Valaistusteho 14 W/m<sup>2</sup>, ei päivänvalo-ohjausta

**Variantti 2** Valaistusteho 3,5 W/m<sup>2</sup>, ei päivänvalo-ohjausta

**Variantti 3** Valaistusteho huonetyypeittäin, ei päivänvalo-ohjausta

**Variantti 4** Valaistusteho 14 W/m<sup>2</sup>, säätö päivänvalo-ohjauksen mukaan, 300 lux

**Variantti 5** Valaistusteho 14 W/m<sup>2</sup>, säätö päivänvalo-ohjauksen mukaan, 500 lux

#### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 2	211 265 kWh/v	99,0 %	277 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 3	211 886 kWh/v	99,3 %	289 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 4	211 719 kWh/v	99,3 %	298 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 5	212 097 kWh/v	99,4 %	301 kWh/m <sup>2</sup> v

#### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa on muutettu tilojen valaistustehoja ja valaistuksen ohjausta. **Perustapauksessa** valaistustehona on käytetty RakMK D3 (2012) mukaista standardikäytön arvoa 14 W/m<sup>2</sup> kaikissa tiloissa. **Variantissa 2** on valaistustehoa laskettu -75 % perustapaukseen nähden. **Variantissa 3** on määritelty tarpeenmukainen valaistusteho huonetyypeittäin: asuinhuone 8 W/m<sup>2</sup>, käytävä ja porrashuone 6 W/m<sup>2</sup>, keittiö ja ruokailutila 10 W/m<sup>2</sup>, pesuhuone ja wc 8 W/m<sup>2</sup>, toimisto 10 W/m<sup>2</sup>, aputilat ja varastot 6 W/m<sup>2</sup>. **Varianteissa 4 ja 5** on käytetty päivänvalo-ohjausta perustuen valaistusvoimakkuuteen 800 mm työtason korkeudella. Molemmissa päivänvalo-ohjausta hyödyntävissä varianteissa otetaan huomioon ikkunoista tuleva luonnonvalo, ja lisätään valaistuksen määrää niin, että saavutetaan tavoitellut 300 ja 500 luksin arvot valaistusteholla 14 W/m<sup>2</sup>.

#### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Valaistuksen vaikutus ostoenergiankulutukseen on kokonaisuudessa, yksittäisenä ominaisuutena vähäinen jäädessään tässä vertailussa prosentiksi jopa erittäin vähäkulutuksisissa variantissa 2 (99,0 %). Valaistuksen tuottama lämpöenergia lasketaan kokonaisuudessaan tiloihin tulevaksi lämpökuormaksi tasoittaen valaistuksen laskennallista energiankulutusta. Käytännössä eroa lämpökuormissa tulisi myös ikkunoiden kautta rakennuksesta poistuvan valon osalta, mutta tämän vaikutus tuloksiin olisi vähäinen.

### Huomioita suunnitteluun

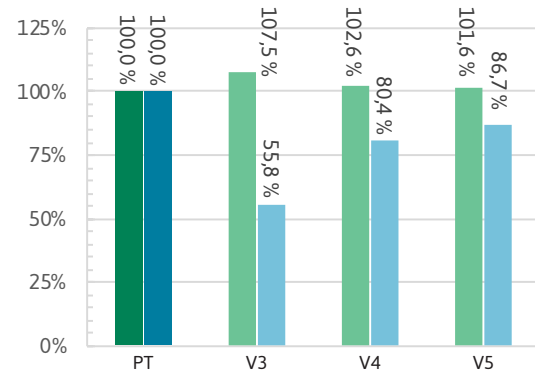
Kuva 4.3.1.c osoittaa, että valaistus toisaalta nostaa rakennuksen energiakulutusta, mutta toisaalta laskee tilojen lämmitysenergiantarvetta sekä vakioidulla, tarpeenmukaisella että päivänvalo-ohjatulla valaistusteholla tarkasteluna. Huonetyypeittäin määriteltyjen valaistustehojen avulla voidaan säästää valaistusenergiankulutuksessa lähes 40 % (44,2 %) tämän tarkastelun laskentatapauksissa. E-lukulaskennassa on huomattavaa, että sähkön kertoimet vaikuttavat tuloksiin oleellisesti. Ostoenergiankulutuksen ja E-luvun tuloksia vertailtaessa (ks. kuvat 4.3.1.a. ja 4.1.3.d) havaitaan, että E-luvulla laskettaessa tarpeenmukainen valaistusteho näyttyy päivänvalo-ohjausta kannattavampana, vaikka ostoenergiankulutuksen tulosten perusteella lukemat vastaavat toisiaan (variantit 3 ja 4).

Vaikka todellisuudessa valaistustarve on suurempi pimeään aikaan talvella, kuin valoisaan aikaan kesällä, lasketaan valaistuksen energiankulutus tasaisesti koko vuodelle. Näin ollen lisääntynyt lämpökuorma ei näy talvella lämmitystarpeen alenemisena. Toisaalta laskentatapa lisää laskennallista jäähdytystarvetta valaistuksesta tulevien lämpökuormien ollessa kesäisin todellisuudessa pienempiä, kuin millaisina ne laskelmissa esiintyvät. Vaikka valaistuksesta tulevat lämpökuormat vaikuttavat merkittävästi energialaskelmiin, niiden vaikutus vähenee valaistuksen kehittymisen ja esimerkiksi LED-valojen myötä.

Valaistuksen vaikutus rakennuksen laadullisiin tekijöihin, kuten viihtyisyyteen ja käytettävyyteen on yleisesti ottaen merkittävä, mutta itse valaistustehon tai valaistuksen ohjauksen vaikutus on pieni valaistusolosuhteen ollessa vakio. Valaistuksen määrä lukseina vaikuttaa kuitenkin merkittävästi edellä mainittuihin viihtyisyyteen ja käytettävyyteen. Kun rakennuksessa hyödynnetään päivänvalo-ohjausta, liittyy valaistuksen suunnittelu vahvasti arkkitehtuurin ikkuna-, varjostus- ja lasirakenteiden suunnitteluun, joiden avulla voidaan vähentää valaistustarvetta ja valaistukseen kuluva energiaa.

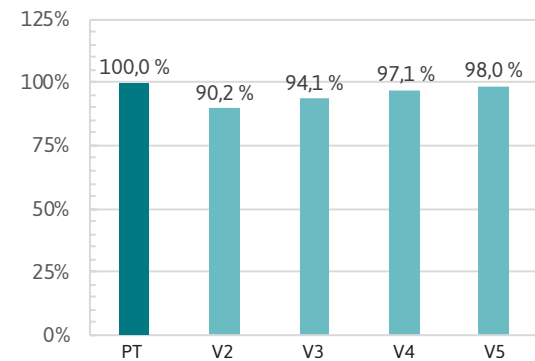
### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala .....	s. 49
4.1.15. Ikkunoiden varjostus .....	s. 55
4.3.2. Luonnonvalon määrä .....	s. 85



KUVA 4.3.1.c. Tilojen lämmitykseen ja valaistukseen kuluva energia suhteessa perustapaukseen.

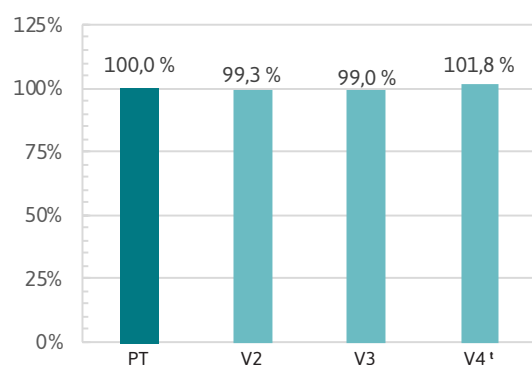
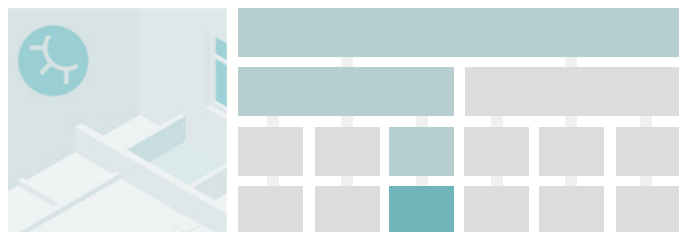
■ Lämmityksen ostoenergiankulutus  
■ Valaistuksen ostoenergiankulutus



KUVA 4.1.3.d. Valaistustehon vaikutus E-lukuun, E-luku suhteessa perustapaukseen.

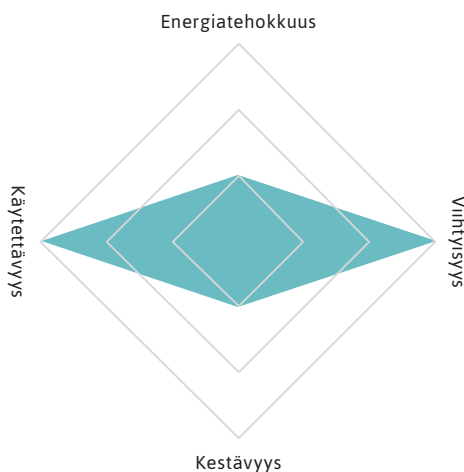
*Valaistuksen ajatellaan olevan keskeinen keino rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi. Tämän julkaisun tarkoituksena on tuottaa vertailukelpoisia, suuruusluokkaa kuvastavia laskentatuloksia, jotka osoittavat, että valaistuksen ja siihen liittyvien energiatehokkuusparannusten vaikutus koko rakennuksen energiatehokkuuteen on kuitenkin suhteessa vähäinen. On tosin huomioitava, että kokonaisenergiankulutuksen vähentyessä esimerkiksi energiatehokkaampien vaipparatkaisujen myötä valaistuksen osuus kasvaa.*

## 4.3.2. Luonnonvalon määrä



**KUVA 4.3.2.a. Ikkunoiden julkisivuosuuden vaikutus ostoenergiankulutukseen luonnonvalon kautta, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.3.2.b. Ikkunoiden julkisivuosuuden vaikutus arkkitehtoniseen laatuun luonnonvalon kautta.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ikkunoiden osuus julkisivusta, valaistus päivänvalo-ohjauksen mukaan

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ikkunat 16,5 % julkisivusta, ei päivänvalo-ohjausta

**Variantti 2** Ikkunat 16,5 % julkisivusta, valaistus päivänvalo-ohjauksen mukaan

**Variantti 3** Ikkunat 47,9 % julkisivusta, valaistus päivänvalo-ohjauksen mukaan

**Variantti 4<sup>†</sup>** Ikkunat 96,3 % julkisivusta, valaistus päivänvalo-ohjauksen mukaan

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 2	211 719 kWh/v	99,3 %	298 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 3	211 211 kWh/v	99,0 %	293 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 4 <sup>†</sup>	217 208 kWh/v	101,8 %	296 kWh/m <sup>2</sup> v

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Tehostetun palveluasumisen ryhmäkodissa täysin lasiset julkisivut eivät käytännössä ole realistisia.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa on muutettu ikkunapinta-alaa eli ikkunoiden prosentuaalista osuutta julkisivusta (ks. kuva 4.3.2.c). Ikkunoiden pinta-alan kasvaessa ulkoseinien ala vähennee vastaavasti julkisivujen alan pysyessä vakiona. **Perustapauksessa** valaistuksessa ei ole käytössä päivänvalo-ohjausta, ja valaistuksessa on käytetty RakMK D3 (2012) mukaista majoitusliikerakennuksen käyttöasteen kerrointa 0,3. **Varianteissa 2–4** on mukana päivänvalo-ohjaus niin, että valaistusvoimakkuus työtasolla on 300 luksia ulkoa tuleva päivänvalo huomioiden. Koska tarkasteluissa pyritään minimoimaan muuttujien määrä tulosten läpinäkyvyyden vuoksi, eikä tarkasteluissa perustapaus–variantti 4 ole otettu huomioon jäähdytystä, on **varianttiin 5** lisätty myös jäähdytys realismin vuoksi. Näiden lisäksi **varianttiin 6** on lisätty ikkunoiden välissä olevat, luonnonvalon mukaan vaakasuuntaisesti säätävät sälekaihtimet, jotka sulkeutuvat auringonsäteilyn määrän ollessa lasituksen sisäpinnassa vähintään 100 W/m<sup>2</sup>.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Luonnonvalon vaikutus energiatehokkuuteen ikkunoiden koon ja päivänvalo-ohjauksella toimivan valaistuksen kautta tarkasteltuna on pieni. Tässä vertailussa tarkasteltu, asumisen yhteydessä epärealistinen variantti, jossa lähes kaikki ulkoseinät ovat lasisia ja luonnonvalon määrä on maksimoitu, on energiatehokkuudel-

taan alle 2 % suurempi kuin perustapaus (1,8 %, variantti 4). Huomioitaessa syntyvä jäädytystarve olisi lasiseinäisen variantin ostoenergiankulutusvaikutus jo kohtalainen, 106,0 % perustapauksesta.

Luonnonvalon määrän ja hyödyntämisen voidaan ajatella kompensoivan isojen ikkunoiden heikompia U-arvoja ja energiatehokkuutta valaistukseen kuluvaan ostoenergiankulutuksen pienentämisenä. Koska vaikutus energiatehokkuuteen ei ole lineaarinen, voidaan kompensoivan vaikutuksen ajatella toimivan vain tiettyyn pisteeseen asti. Tämä on havaittavissa varianttien 3 ja 4 välillä ostoenergiankulutuksen ensin pienentyessä ja sitten jälleen noustessa.

Kuvassa 4.3.2.d on esitetty varianttien välinen muutos lämmitys- ja valaistusenergiankulutuksissa. Kuvaajasta nähdään, että valaistukseen kuluva energiaa voidaan säästää jopa yli 40 % (40,9 %, variantti 4). Tämän vaikutus kokonaisuudessa, kun tarkastellaan rakennuksen kaikkia ominaisuuksia, jää kuitenkin pieneksi, kuten havaittiin myös ohjekortissa 4.3.2. Päivänvalo-ohjaus.

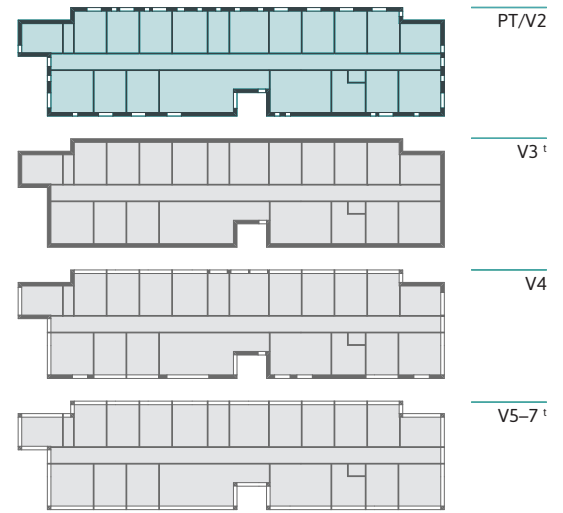
#### Huomioita suunnitteluun

Verrattaessa tuloksia ohjekortin 4.1.12 Ikkunoiden pinta-ala tuloksiin huomataan, että päivänvalo-ohjauksella luonnonvaloa hyödyntäen voidaan parantaa energiatehokkuutta hieman. Esimerkiksi molempien ohjekorttien varianttien 4 ero on 2,7 % ja jäädytyksen huomioivien varianttien 5 ero 1,5 %. Näin ollen päivänvalo-ohjauksen suunnitteleminen on suositeltavaa. Luonnonvaloa tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava myös ikkunan muut vaikutukset energiatehokkuuteen, kuten johtumishäviöt, lämpökuormat ja jäädytystarve.

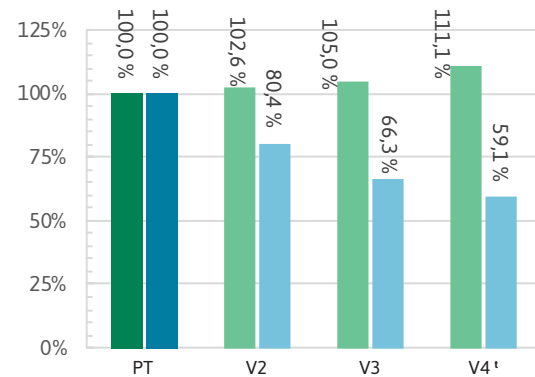
Luonnonvalon hyödyntäminen valaistukseen kuluvaan ostoenergiankulutusta pienentävänä tekijänä on yksi esimerkki ikkunan tuottamista energiatehokkuusvaihteluista ja sisäolosuhteista. Sen sijaan ikkunoilla ja luonnonvalon määrällä on useita merkittäviä laadullisia ominaisuuksia. Luonnonvaloa ei voida korvata keinovalolla, sillä luonnonvalolla on lukuisia terveyteen ja jaksamiseen vaikuttavia ominaisuuksia. Luonnonvalosta määrätään myös Suomen lainsäädännössä esimerkiksi asunosuunnittelun kohdalla (RakMK G1, 2005). Luonnonvalon määrän vaikutus rakennuksen viihtyisyyteen ja käytettävyyteen on merkittävä.

#### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

4.1.11. Ikkunoiden suuntaus.....	s. 47
4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala .....	s. 49
4.1.15. Ikkunoiden varjostus .....	s. 55
4.3.1. Päivänvalo-ohjaus .....	s. 83
4.3.6. Jäädytyslämpötila.....	s. 93



KUVA 4.3.2.c. Simuloitujen varianttien pohjapiirroksat.

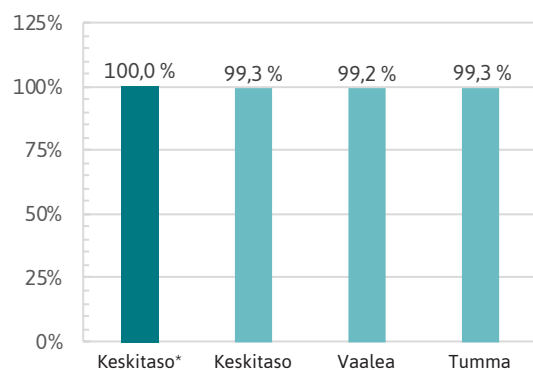
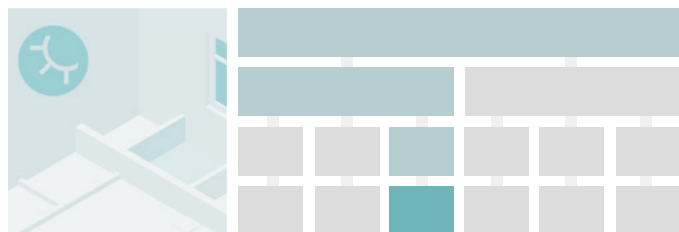


KUVA 4.3.2.d. Tilojen lämmitykseen ja valaistukseen kuluva energia suhteessa perustapaukseen.

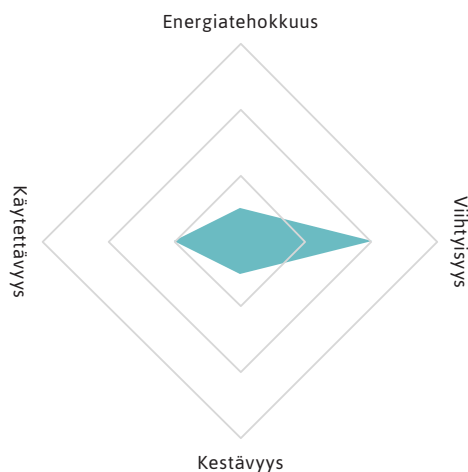
<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus

■ Lämmityksen energiankulutus  
■ Valaistuksen energiankulutus

### 4.3.3. Sisäpintojen väri



**KUVA 4.3.3.a. Sisäpintojen värin vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.3.3.b. Sisäpintojen värin vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

#### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Sisäpintojen väri eli lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus, valaistus päivänvalo-ohjauksen mukaan

#### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Keskitumma, lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus 0,5, ei päivänvalo-ohjausta\*

**Variantti 2** Keskitumma, lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus 0,5, valaistus päivänvalo-ohjauksen mukaan

**Variantti 3** Vaalea, lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus 0,7, valaistus päivänvalo-ohjauksen mukaan

**Variantti 4** Tumma, lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus 0,3, valaistus päivänvalo-ohjauksen mukaan

#### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	211 719 kWh/v	99,3 %	298 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	211 557 kWh/v	99,2 %	296 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4</b>	211 930 kWh/v	99,3 %	300 kWh/m <sup>2</sup> v

#### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu rakennuksen sisäpintojen värityys (ks. kuva 4.3.3.c) ja sitä kautta lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus. Pitkäaaltoinen säteily on kaikissa varianteissa 0,9. Tarkoituksena on selvittää sisäpintojen värin vaikutusta valaistustarpeeseen ja siten energiankulutukseen. **Perustapauksessa** sisäpintojen värityys on IDA ICE -simulointiohjelman oletuksen mukainen, eikä käytössä ole päivänvalo-ohjausta. **Varianteissa 2–4** sisäpintojen värien tummuus vaihtelee, ja päivänvalo-ohjaus on otettu simuloinneissa huomioon niin, että valaistusvoimakkuus 800 mm korkeudessa työtasolla on 300 luksia ulkoa tuleva päivänvalo huomioiden. Valaistuksessa on käytetty RakMK D3 (2012) mukaista majoitusliikerakennuksen käyttöasteen kerrointa 0,3.

#### Energiatoteutuksellinen merkitys kokonaisuudessa

Sisäpintojen värin vaikutus ostoenergiankulutukseen valaistustarpeen kautta on yksittäisenä ominaisuutena pieni jäädessä jokaisessa esitettyssä variantissa alle prosentin suuruiseksi (max. 0,8 %, variantit 3 ja 4) päivänvalo-ohjaus huomioiden. Ero tummimman ja valkoisen värin välillä on vain 0,1 %. Vaikutus sisätilojen viihtyisyyteen on sen sijaan energiatoteutusvaikutusta suurempi.

### *Huomioita suunnitteluun*

Suomen kaltaisessa pääosin lauhkeassa ilmastossa, jossa pimeää vuodenaikaa on runsaasti, on pintojen värillä sisäolosuhteiden kannalta enemmän merkitystä sisäkuin ulkotiloissa. Sisätiloissa vaaleat sisäpinnat heijastavat tummia pintoja enemmän luonnonvaloa vaikuttaen ennen kaikkea rakennuksen viihtyisyyteen. Koska vaikutus energiatehokkuuteen on vähäinen, voidaan suunnitteluvalinnat tehdä lähinnä arkkitehtonisista ja toiminnallisista lähtökohdista.

Sisäpintojen värin vaikutukseen vaikuttaa myös tilan geometria niin, että värivallinnan merkityksen voidaan katsoa kasvavan tilan syventymisen tai madaltumisen myötä. Toisaalta myös pinnan karkeus tai kiiltävyys, absorboivuus ja heijastavuus, vaikuttavat värien ja valon käyttäytymiseen. Sisätilojen väritystä ja eri värien aktivoivia vaikutuksia on hyödynnetty eri tulkintoineen muun muassa kouluissa, joissa keltaisen värin ajatellaan toimivan innostavana ja oranssin oppimisprosessia aktivoivana, ja sairaaloissa, joissa sinisen ajatellaan toimivan rauhoittavana värinä.

### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

- 4.1.10. Vaipan ulkopintojen väri .....s. 45  
4.3.1. Päivänvalo-ohjaus .....s. 83

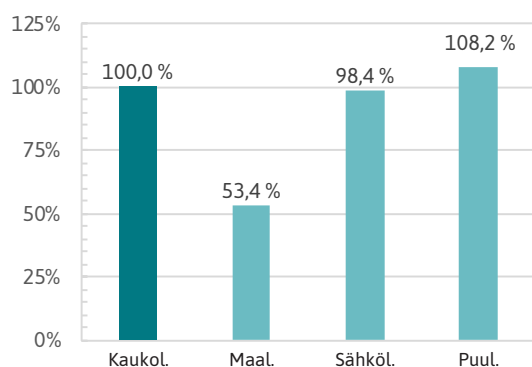
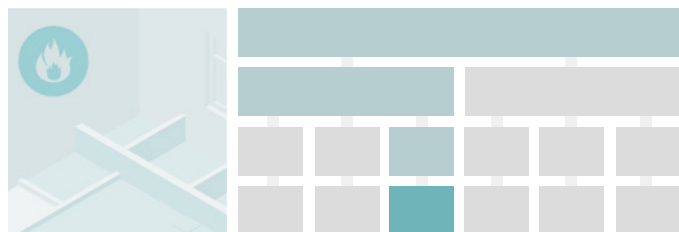


PT/V2, V3, V4

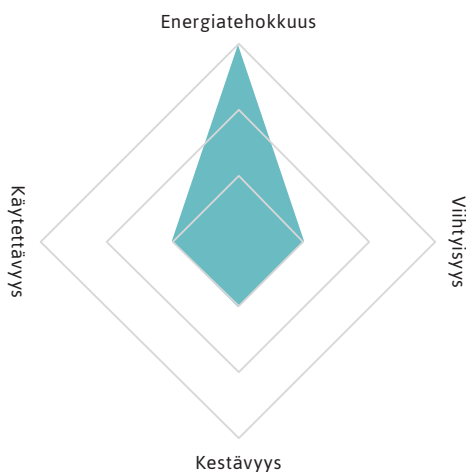
**KUVA 4.3.3.c. Pintojen värimallit.** Lyhytaaltoisen säteilyn heijastavuus ei riipu pelkästään pinnan tummuudesta, joten kuva on vain viitteellinen.



## 4.3.4. Lämmitysmuoto



**KUVA 4.3.4.a. Lämmitysmuodon vaikutus ostoenergiankulutukseen,** ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.



**KUVA 4.3.4.b. Lämmitysmuodon vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohde** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Lämmitysmuoto

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Kaukolämpö

**Variantti 2** Maalämpö

**Variantti 3** Sähkölämmitys

**Variantti 4** Puulämmitys

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	113 929 kWh/v	53,4 %	286 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	209 983 kWh/v	98,4 %	527 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4</b>	230 710 kWh/v	108,2 %	274 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu rakennuksen lämmitysmuoto itse rakennuksen ja sen fyysisten elementtien pysyessä muuttumattomina. Lämmitysmuodon valinta vaikuttaa ostoenergiankulutuksen lisäksi ennen kaikkea E-lukuun energiamuotojen kertoimien kautta. **Variantin 3** sähkölämmityksenä toimii suora sähkö.

### Energiatoteutuksellinen merkitys kokonaisuudessa

Lämmitysmuodon vaikutus energiatoteutukseen on erittäin merkittävä. Maalämmöllä ostoenergiankulutus lähes puolittuu (53,4 %, variantti 2), kun taas puulämmityksellä energiankulutus hieman kasvaa (8,2 %, variantti 4). Lämmitysmuodolla ei puolestaan ole juurikaan vaikutusta rakennuksen laadullisiin tekijöihin, kun sisäolosuhteet pidetään vakiona lämmitysmuodon ratkaisusta riippumatta.

Tarkastelun tulokset osoittavat, että lämmitysmuodon vaikutus ostoenergiankulutukseen, esimerkkinä teknisestä ratkaisusta, on suuri suhteessa erilaisiin tässä julkaisussa tarkasteltuihin passiivisiin suunnitteluratkaisuihin. Esimerkiksi verrattaessa lämmitysmuodon ja 4.1.4. Rakennuksen pohjamuodon, jonka on ajateltu olevan merkittävä energiatoteutukseen vaikuttava suunnitteluratkaisu, vaikutusta energiatoteutukseen vaikuttaa lämmitysmuoto tässä tarkastelussa samassa ryhmäkotiyksikössä noin 50 %, kun pohjamuoto vaikuttaa vain alle 10 %.

### Huomioita suunnitteluun

Kuvassa 4.3.4.c on esitetty tarkasteltujen varianttien E-luvut, jotka poikkeavat merkittävästi ostoenergiankulutuksen tuloksista. Ero johtuu E-lukulaskennan kertoimista. Esimerkiksi sähkölämmityksen ostoenergiankulutus on hieman pienempi,

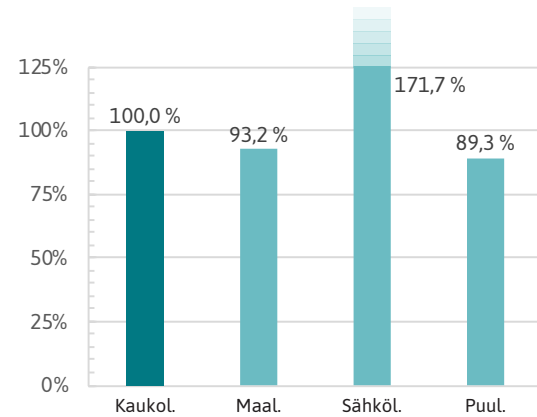
kuin kaukolämmön, mutta E-luku on merkittävästi suurempi. Lämmitysmuodolla on merkitystä energiatehokkuuteen myös tuoton hyötysuhteiden kautta. Kaukolämmöllä hyötysuhteena on 0,97, kun taas sähkölämmityksen hyötysuhteena voidaan pitää 1,0.

E-lukua tarkastellessa suunnittelun kannalta on huomioitava, että kertoimet vaihtuvat lainsäädännön ja poliittisten päätösten muutosten myötä, minkä vuoksi esimerkiksi lämmitysmuodon vaikutusta energiatehokkuuteen on suositeltavaa tarkastella myös ostoenergiankulutuksen kautta. Suomessa palvelurakennuksissa tyypillinen lämmitysmuoto on kaukolämpö, mutta uusiutuvan energiantuottomuodoista maalämpö, sekä erilaiset lämpöpumput muutoinkin, ovat yleistymässä.

Arkkitehtisuunnitteluun lämmitysmuodon valinta vaikuttaa lähinnä teknisten tilojen ja tilavarausten suunnittelun näkökulmasta. Toisaalta jotkin uusiutuvan energian tuottojärjestelmät voivat vaikuttaa rakennuksen ulkoasuun myös visuaalisesti, kuten aurinkopaneelit.

#### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

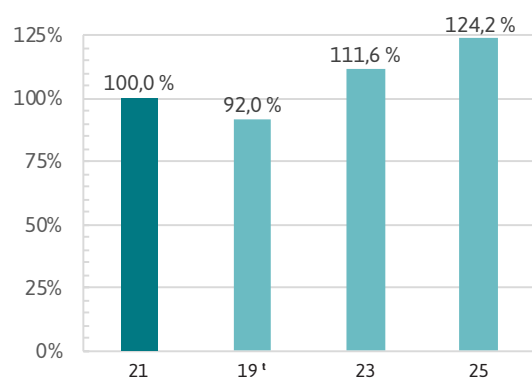
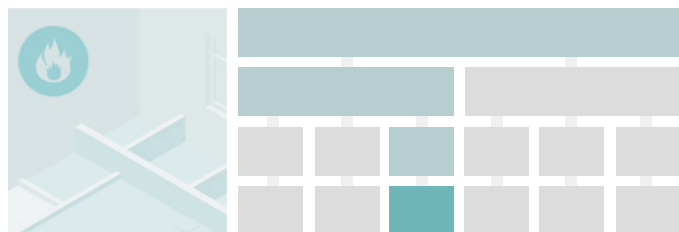
- 4.3.5. Sisälämpötila .....s. 91  
 4.3.6. Jäähdytyslämpötila.....s. 93



**KUVA 4.3.4.c. Lämmitysmuodon vaikutus E-lukuun, E-luku suhteessa perustapaukseen.**

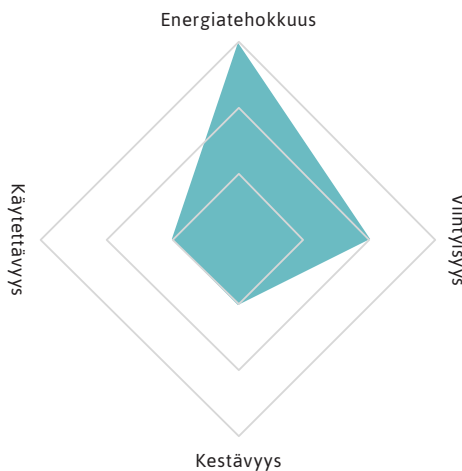
*1.1.2018 voimaan astuneessa Valtioneuvoston asetuksessa 788/2017 rakennuksessa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista (2017) muuttuivat myös energiamuotojen kertoimet. Sähkön kerroin pieneni 1,70:stä 1,20:een, kaukolämmön 0,70:stä 0,50:een ja kaukojäähdytyksen 0,40:stä 0,28:een. Fossiilisten polttoaineiden kerroin pysyi 1,00:na ja rakennuksissa käytettävien uusiutuvien polttoaineiden kerroin 0,50:na. On huomattavaa, että kertoimien muuttuessa vertailukelpoisuus edellisillä kertoimilla laskettujen rakennusten E-lukujen kanssa heikkenee. Koska tämän julkaisun simulaatiot on tehty vuosina 2015–2017, on tarkastelut laskettu vuonna 2012 asetetuilla kertoimilla.*

## 4.3.5. Sisälämpötila



**KUVA 4.3.5.a. Sisälämpötilan (°C) vaikutus ostoenergiankulutukseen**, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.3.5.b. Sisälämpötilan vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Sisälämpötilan lämmitysraja

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Sisälämpötilan lämmitysraja 21 °C

**Variantsi 2<sup>†</sup>** Sisälämpötilan lämmitysraja 19 °C

**Variantsi 3** Sisälämpötilan lämmitysraja 23 °C

**Variantsi 4** Sisälämpötilan lämmitysraja 25 °C

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus	
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %
Variantsi 2 <sup>†</sup>	196 278 kWh/v	92,0 %
Variantsi 3	238 138 kWh/v	111,6 %
Variantsi 4	264 937 kWh/v	124,2 %

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Sisälämpötila on riittämätön käytettäväksi ryhmäkotiyksikössä kauttaaltaan.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu rakennuksen sisälämpötila kaikissa tiloissa. **Perustapauksessa** sisälämpötila on 21 °C standardikäytön mukaisesti (RakMK D3, 2012). Tässä tarkastelussa ei ole otettu huomioon jäädytystä, jota tarkastellaan erikseen seuraavan ohjekortin 4.3.6. Jäähdytyslämpötila kohdalla.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Sisälämpötilan vaikutus energiatehokkuuteen on yksittäisenä ominaisuutena merkittävä. Tässä vertailussa kahden asteen nosto sisälämpötilassa, 21 °C:sta 23 °C:een, lisää vuotuista ostoenergiankulutusta yli 11 %. Vastaavasti kahden asteen lasku pienentää ostoenergiankulutusta 8 %. Neljän asteen lämpötilan nosto puolestaan lisää ostoenergiankulutusta yli 24 %.

### Huomioita suunnitteluun

Mitä korkeampi on sisälämpötila, sitä suurempi on myös rakennuksen ostoenergiankulutus. Toisaalta, mitä suurempia ja mitä enemmän tiloja lämmitetään korkeisiin lämpötiloihin, sitä suurempi on energiankulutus. Näin ollen tässä julkaisussa aikaisemmin esitetyt vyöhykkeet ovat hyvä esimerkkisuunnitteluratkaisu rakennuksen energiankulutuksen parantamiseksi sisälämpötilan tarkastelun yhteydessä (ks. 4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet). Koska rakennuksen kaikkien tilojen, kuten asuin-

huoneiden, sisälämpötilaa ei aina voida laskea, tilojen sisälämpötila tulee harkita tapauskohtaisesti. Tilakohtaisen lämpötilavakioinnin lisäksi voidaan lämpötilaa myös säätää käyttäjän mukaan.

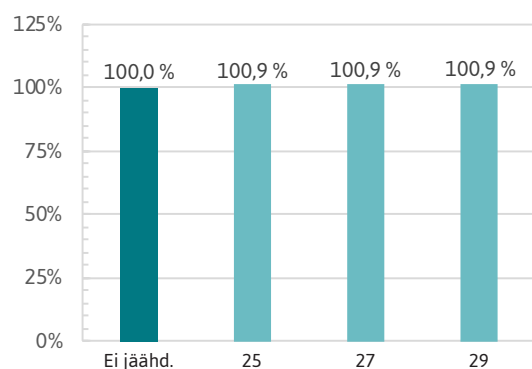
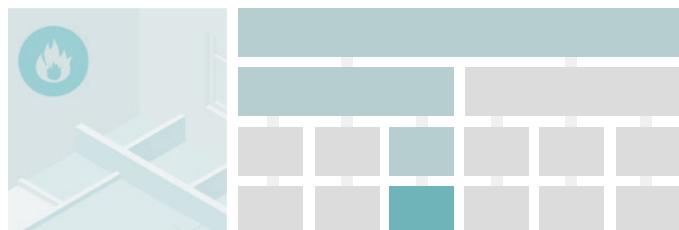
Sisälämpötilaan vaikuttavat lämmityksen lisäksi muun muassa lämpökuormat, ikkunoiden koko ja suuntaus, ikkunoiden varjostus, rakenteiden U-arvot, vaipan ilmatiiveys, ilmanvaihto ja jäähdytys. Sisälämpötila on siis ominaisuutena monen tekijän summa ja niiden muodostama kokonaisuus.

Sopiva sisälämpötila riippuu muun muassa rakennuksen tai tilojen käyttötarkoituksesta sekä käyttäjätottumuksista. Tilojen lämpötilalla on käänteisesti vaikutusta tilojen käytettävyyteen, sekä merkittävää vaikutusta viihtyisyyteen. Koska sisälämpötilalla on vaikutusta sisäolosuhteiden lisäksi rakennuksen rakenne- ja kosteusteknisiin ominaisuuksiin, tulee nämä ottaa huomioon sisälämpötilojen suunnittelun tai muuttamisen yhteydessä.

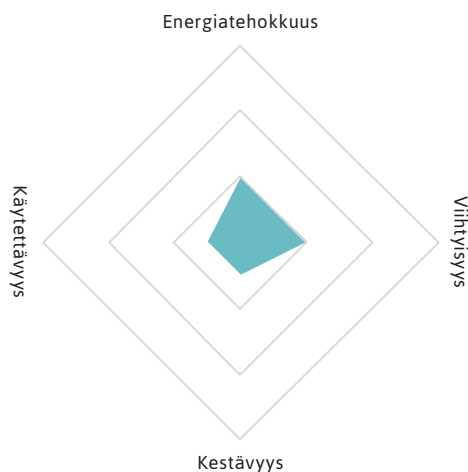
#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67
4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet.....	s. 79
4.3.6. Jäähdytyslämpötila.....	s. 93

## 4.3.6. Jäähdytyslämpötila



**KUVA 4.3.6.a. Jäähdytyslämpötilan (°C) vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.3.6.b. Jäähdytyslämpötilan vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohde** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Sisätilojen jäähdytyslämpötila

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ei jäähdytystä

**Variantti 2** Jäähdytyslämpötila 25 °C

**Variantti 3** Jäähdytyslämpötila 27 °C

**Variantti 4** Jäähdytyslämpötila 29 °C

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	215 154 kWh/v	100,9 %	311 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	215 155 kWh/v	100,9 %	311 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4</b>	215 155 kWh/v	100,9 %	311 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu jäähdytyksen lämpötilaraja eli lämpötila, jonka ylittyessä jäähdytys kytkeytyy päälle. Lämmitys on toteutettu käyttäen IDA ICE:n sähköllä toimivaa ideaalista jäähdytyslaitetta tilassa sekä ilmanvaihtolaitteiston jäähdytyspatteria (hyötysuhde 0,45). Lämpökuormat valaistuksesta, ihmisistä ja laitteista on pidetty vakiona. Lisäksi on otettu huomioon ikkunoiden kautta tuleva aurinkoenergia. **Perustapauksessa** ei ole jäähdytystä lainkaan, kun taas **varianteissa 2–4** on kasvatettu koneellisen jäähdytyslämpötilaa aina kahdella asteella.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Jäähdytyslämpötilan vaikutus energiatehokkuuteen on tässä tarkastelussa vähäinen, sillä itse jäähdytystarve on tässä tapauksessa pieni. Tulokset ovat lähes tai täysin samat jäähdytyslämpötilan nostamisesta huolimatta (0,9 %, variantit 2–4), mistä voidaan päätellä, että lämpötila nousee vain harvoin yli 25 asteen eikä koskaan yli 27 asteen. Tulosten samakaltaisuuteen ja pieneen jäähdytystarpeeseen vaikuttavat suhteellisen pienet ikkunat, vähäinen henkilömäärä ja hillityt lämpökuormat sekä henkilöistä että laitteista.

### Huomioita suunnitteluun

Jäähdytystarpeeseen vaikuttavat rakennuksen lämpöhäviöiden ja lämpökuormien suhde, minkä perusteella tärkeänä suunnitteluratkaisuna on löytää näiden kahden välinen tasapaino. Mitä pienemmät häviöt, sitä suuremmat ovat lämpökuormista aiheutuva ylikuumenemisen riski.

Jäähdytystarvetta voi minimoida suunnittelun keinoin muun muassa varjostuksen ja tuuletuksen avulla. Muita jäähdytystarpeeseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa ikkunoiden suuntaus ja varjostus, rakenteiden U-arvot, vaipan ilmatiiveys sekä ilmanvaihto. Passiivisten jäähdytyskeinojen avulla voidaan pienentää jäähdytystarvetta tai toisinaan jopa välttää jäähdytystarve kokonaan.

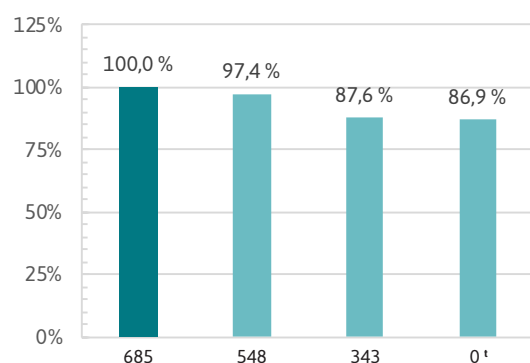
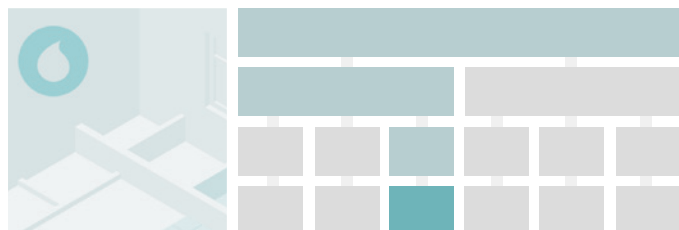
Jäähdytystarve ei vaikuta merkittävästi laadullisiin tekijöihin, kun jäähdytystarpeen määrästä huolimatta sisäolosuhteet ja sisälämpötila pyritään pitämään vakioina. Vaikutus viihtyisyyteen on havaittavissa vain silloin, kun jäähdytystä tarvitaan enemmän, kuin laitteiston kapasiteetti antaa myöten, tai jos jäähdytystavasta aiheutuu melua tai vetoa.

#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala .....	s. 49
4.1.15. Ikkunoiden varjostus .....	s. 55
4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus .....	s. 67
4.2.4. Henkilötiheys .....	s. 69
4.3.4. Sisälämpötila .....	s. 91

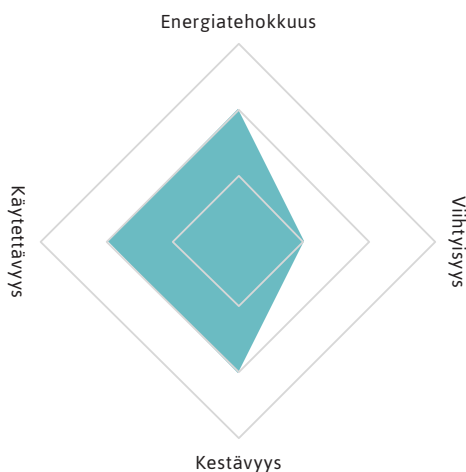
*Jäähdytystä ei perinteisesti ole tarvittu asuinrakentamisessa Suomen ilmastossa, mutta sen käyttö rakentamisessa on yleistynyt tiukentuneiden energiatehokkuusmääräysten ja parempien vaipparakenteiden myötä. Suomen kaltaisessa kylmässä ilmastossa jäähdytystarve on usein vältettävissä passiivisin, perinteisin arkkitehtisuunnittelun keinoin.*

## 4.3.7. Lämpimän käyttöveden kulutus



**KUVA 4.3.7.a. Lämpimän käyttöveden kulutuksen (l/m<sup>2</sup>/v) vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.3.7.b. Lämpimän käyttöveden kulutuksen vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Lämpimän käyttöveden kulutus

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** 685 l/m<sup>2</sup>/v

**Variantti 2** 548 l/m<sup>2</sup>/v

**Variantti 3** 343 l/m<sup>2</sup>/v

**Variantti 4<sup>†</sup>** 0 l/m<sup>2</sup>/v

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	207 725 kWh/v	97,4 %	303 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	199 366 kWh/v	93,5 %	292 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4<sup>†</sup></b>	185 411 kWh/v	86,9 %	280 kWh/m <sup>2</sup> v

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Ryhmäkotirakennuksessa tapahtuu aina vuotuista lämpimän käyttöveden kulutusta.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu lämpimän käyttöveden kulutus litroina neliometriä kohden vuodessa. **Perustapauksena** on standardikäytön mukainen 685 l/m<sup>2</sup>/v (RakMK D3, 2012). **Variantissa 2** lämpimän käyttöveden kulutus muuttuu suhteessa perustapaukseen -20 %, **variantissa 3** -50 % ja **variantissa 4** -100 %.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Lämpimän käyttöveden osuus koko rakennuksen energiankulutuksesta voidaan tämän tarkastelun perusteella katsoa olevan yli 10 % (13,1 %, variantti 4). Lämpimän käyttöveden määrän vaikutus koko rakennuksen energiatehokkuuteen on täten yksittäisenä ominaisuutena teoriassa erittäin merkittävä. Vaikutus jää kuitenkin vähäisemmäksi, joskin silti huomattavaksi, tarkasteltaessa realistisia varianteja perustapaus–variantti 3.

### Huomioita suunnitteluun

Lämpimän käyttöveden kulutuksen pienentäminen vaikuttaa suoraan energiatehokkuuteen parantavasti. Käyttöveden kulutuksen määrään vaikuttavat luonnollisesti käyttäjien määrä sekä rakennuksen käyttötarkoitus. Vaikuttavana tekijänä on käytetyn veden määrän lisäksi sen lämpötila ja lämmittäminen. Suunnitteluratkaisuina sekä veden määrää että lämpötilaa voidaan rajoittaa ja seurata vettä säästävin vesikalustein sekä vesimittarein. Viime kädessä lämpimän käyttöveden kulutus riippuu merkittävästi käyttäjistä ja käyttäjätottumuksista, sillä lämmin

käyttövesi on yksi merkittävimmistä mukavuustekijöistä rakennuksissa. Näin ollen laadullisina tekijöinä lämpimän käyttöveden kulutuksella on merkitystä myös käytettävyyteen, kestävyyteen ja viihtyisyyteen.

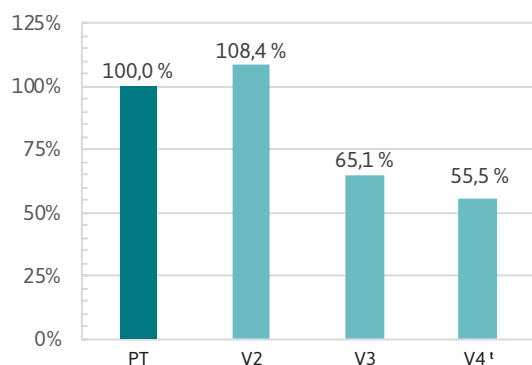
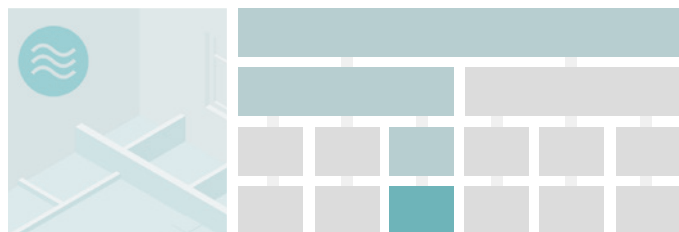
Arkkitehti- ja talotekniikkasuunnitteluun vaikuttavat myös lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus, reititys ja tilavaraukset, sekä kiertojohdon kautta syntyvien jakeluhäviöiden minimoiminen. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 (2012) on häviöiksi määritelty 0,428 W/m<sup>2</sup> lattiapinta-alan mukaan. Lämpöhäviöiden vaikutuksen energiatehokkuuteen voidaan kuitenkin ajatella olevan pientä hyvien eristysten ja suunnittelun vuoksi, erityisesti kiertojohdon kulkiessa lämmitetyn rakennusvaipan sisäpuolella. Lämpimän käyttöveden kiertojohtojen pituuteen voidaan kuitenkin vaikuttaa tilasuunnittelun keinoin esimerkiksi soveltamalla tässä julkaisussa esitettyä vyöhykeajattelua myös märkätilojen kohdalla niin kutsuttuina märkätilavyöhykkeinä (ks. 4.2.7. Pääkäyttö-; 4.2.8. Lisäkäyttö-; 4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet), sekä huomioimalla vesikalusteiden etäisyydet suunnittelussa.

#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67
4.2.4. Henkilötiheys .....	s. 69
4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet .....	s. 79

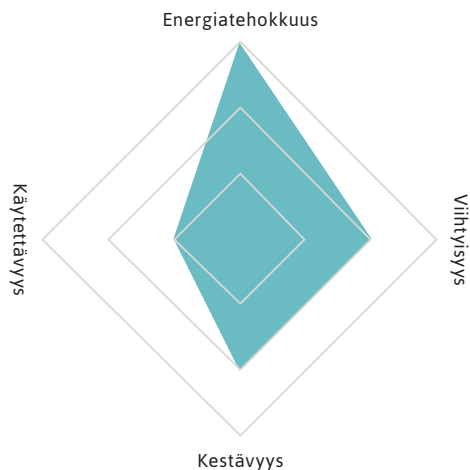


## 4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta



**KUVA 4.3.8.a. Ilmanvaihdon ilmavirran vaikutus ostoenergiakulutukseen**, ostoenergiakulutus suhteessa perustapaukseen, tarkastelussa koulurakennus.

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.3.8.b. Ilmanvaihdon ilmavirran vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohde** Peruskoulu

**Muuttuja(t)** Ilmanvaihdon ilmavirta

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Vakioilmavirta

**Variantti 2** Ilmavirrat huonetyypeittäin

**Variantti 3** Tarpeenmukainen ilmavirta CO<sub>2</sub>-ohjauksella

**Variantti 4<sup>†</sup>** Minimi-ilmavirta

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiakulutus		
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	E-luku (2012)
<b>Perustapaus</b>	1 023 317 kWh/v	100,0 %	154 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	1 109 752 kWh/v	108,4 %	155 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	665 735 kWh/v	65,1 %	114 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4<sup>†</sup></b>	567 653 kWh/v	55,5 %	102 kWh/m <sup>2</sup> v

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Jatkuva minimi-ilmavirta on sisäolosuhteiden kannalta käytön aikana riittämätön.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuvat rakennuksen ilmanvaihdon ilmavirrat. **Perustapauksessa** on käytetty RakMK D3 (2012) mukaista vakioilmavirtaa opetusrakennuksille, jossa ilmanvaihdon vakioilmavirta on 3 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>. Henkilöitä on niin ikään standardikäytönmukaisesti 1 433 tasaisesti koko rakennuksessa käyttöasteen kertoimella 0,6. **Variantissa 2** on käytetty RakMK D2 (2012) mukaisesti mitoitettuja ilmavirtoja huonetyypeittäin seuraavasti: opetustilat 2,4; luentosalit 5,3; käytävä 4,0; ryhmätyö 1,6; wc 5,0; toimisto 1,5; aputilat 0,35; ja ruokala sekä keittiö 4,0 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>. Kaikissa tiloissa minimi-ilmavirtana on käytetty 0,15 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>. **Variantissa 3** on käytetty tarpeenmukaista, hiilidioksidipitoisuuden mukaan ohjattua ilmanvaihtoa raja-arvoilla 400–1100 ppm siten, että koko rakennuksen minimi-ilmavirta on 0,15 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup> ja maksimi-ilmavirta 4,0 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>. **Variantissa 4** koko talossa on käytetty minimi-ilmavirtaa 0,15 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup> riippumatta käyttöajoista.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Ilmanvaihdon ilmavirran vaikutus energiatehokkuuteen on merkittävä, ja ilmanvaihdon ohjaus hiilidioksidipitoisuuden mukaan yksi merkittävimmistä yksittäisistä tämän julkaisun puitteissa esitetyistä energiatehokkuutta parantavista ominaisuuksista. Ilmanvaihdon ohjaaminen hiilidioksiditasoon mukaan parantaa energiatehokkuutta tarkastelussa koulurakennuksessa standardikäytöllä lähes 35 %. Huomattavaa on, kuinka lähelle hiilidioksidiohjatulla ilmanvaihtoratkaisulla päästään minimi-ilmavirralla toteutettua, käytännössä epärealistista varianttia 4. Vaikka teoreettisessa variantissa 4 minimi-ilmavirta ei riitä riittävän sisäilman laadun ylläpitämiseksi, pysyy jo variantissa 3 sisäilman laatu 400–1100 ppm välillä hyvien energiatehokkuustulosten lisäksi.

### *Huomioita suunnitteluun*

Tarkastelussa energiankulutukseen vaikuttavat niin valittu ilmanvaihdon laskennallinen ja toteutettu tapa kuin ilmanvaihdon ilmavirran määräkin. Energiaa kuluu itse ilmanvaihdon lisäksi muun muassa tuloilman lämmittämiseen lämmöntalteenottojärjestelmän lisäksi. Tässä tarkastelussa tuloilman lämpötilaksi on asetettu 18 °C ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi 45 %. Mitä suurempi ilmavirta on, sitä enemmän kuluu energiaa tuloilman lämpenemiseen tilassa. Toisaalta suurempi ilmavirta kuluttaa myös enemmän energiaa ilman siirtämiseen. Ilmavirrat vaikuttavat näin ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutukseen SFP-luvun eli sähkömäärän kautta (ks. 4.3.11. Ilmanvaihdon SFP-luku).

Tulosten perusteella tarkastelluissa tiloissa tavoiteltu sisäilman laatuaste hiilidioksidipitoisuuden suhteen saavutetaan huomattavasti pienemmällä ilmamäärällä kuin standardikäytössä tai aiemmin voimassa olleessa RakMK D2 (2012) ohjeistetaan, joten ilmanvaihdosta löytyy potentiaalia ostoenergiankulutuksen pienentämiseksi ja energiatehokkuuden parantamiseksi. Ilmanvaihdon määrällä ja ohjauksella on kuitenkin merkittävää vaikutusta rakenteiden terveellisyyteen, turvallisuuteen ja riskittömyyteen, jotka ovat etusijalla suunnitteluratkaisuja tehtäessä. Ilmavirtojen pienentyessä on lisäksi huomioitava lämpötilojen noususta mahdollisesti aiheutuva jäädytystarve sekä ilman epäpuhtauksien poistuminen sisäilmasta.

Ilmanvaihdon ilmavirta vaikuttaa myös ilmanvaihdon huuhtelevuuteen eli siihen, että tilojen kaikissa osissa ja nurkissa vaihtuu ilma. Pienillä ilmavirroilla huuhtelevuus saattaa jäädä heikoksi asettaen haasteita ilmanvaihdon päätelaitteiden suunnittelulle. Ilmanvaihdon ja ilmavirran suunnittelu on keskeistä energiatehokkaaseen rakennukseen pyrittäessä.

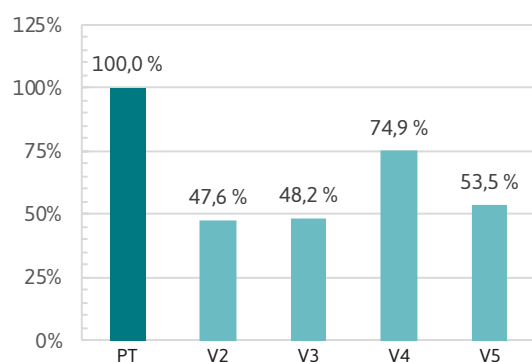
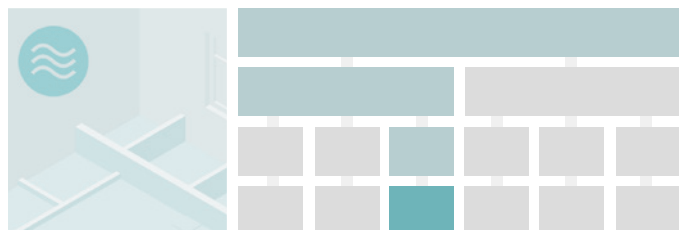
Ilmanvaihdon ohjaus ja ilmamäärä vaikuttavat laatuolosuhteisiin viihtyisyyden eli tässä tapauksessa sisäolosuhteiden kautta. Sisäilman laatuun vaikuttavat hiilidioksiditaso, sisälämpötila, suhteellinen kosteus, epäpuhtaudet ja hajut, jotka kaikki ovat yhteydessä ilmanvaihdon toimivuuteen. Laatuolosuhteiden kestävyys viittaa edellä mainittuihin terveellisyyteen, turvallisuuteen ja riskittömyyteen. Arkikitehtisuunnittelussa tarpeenmukaista ilmanvaihtoa voidaan mahdollistaa tässä julkaisussa esitettyjen vyöhykkeiden avulla (ks. 4.2.7. Pääkäyttö-; 4.2.8. Lisäkäyttö-; 4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet). Rakennuksen ja tilojen monikäyttöisyys ja muunneltavuus asettavat myös haasteita ilmanvaihdon suunnittelulle, mihin yhtenä ratkaisuna toimiikin tarpeenmukainen ilmanvaihto.

### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

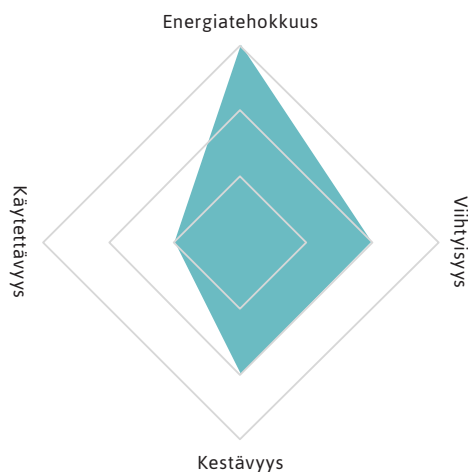
4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67
4.2.4. Henkilötiheys.....	s. 69
4.2.5. Pääkäyttöaste.....	s. 71
4.2.6. Lisäkäyttöaste.....	s. 73
4.2.7. Pääkäyttövyöhyke.....	s. 75
4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke.....	s. 77
4.3.9. Painovoimainen ilmanvaihto.....	s. 99
4.3.10. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto.....	s. 101
4.3.11. Ilmanvaihdon SFP-luku.....	s. 103

\* Minimi- ja maksimi-ilmavirrat on mitoitettu siten, etteivät hiilidioksiditasot nouse minkään variantin missään tiloissa yli sallitun raja-arvon 1100 ppm. Lisäksi hiilidioksiditasot on mitoitettu kaikkien peruskouluvarianttien maksimihenkilötiheydelle 1 m<sup>2</sup>/hlö (ks. 4.2.4. Henkilötiheys). Nykyisillä ilmanvaihtokoneilla näin laajaa teoreettista säätöasteikkoa (0,15–4,0 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>) ei ole realistista toteuttaa, mikä tulee ottaa huomioon tuloksia tarkastellessa (ks. 4.2.7. Pääkäyttövyöhyke). Ulkoilman hiilidioksidipitoisuutena on käytetty 400 ppm.

### 4.3.9. Painovoimainen ilmanvaihto



**KUVA 4.3.9.a. Painovoimaisen ilmanvaihdon vaikutus osastoenergiankulutukseen, osastoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.3.9.b. Painovoimaisen ilmanvaihdon vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

#### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ilmanvaihdon toteutustapa

#### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Vakioilmavirta

**Variantsi 2** Painovoimainen ilmanvaihto

**Variantsi 3** Painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen jäähdytys

**Variantsi 4** Painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen yötuuletus

**Variantsi 5** Painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen jäähdytys, ikkunatuuletus 15 min/d

#### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Osastoenergiankulutus	
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %
<b>Variantsi 2</b>	101 448 kWh/v	47,6 %
<b>Variantsi 3</b>	102 856 kWh/v	48,2 %
<b>Variantsi 4</b>	159 755 kWh/v	74,9 %
<b>Variantsi 5</b>	114 170 kWh/v	53,5 %

#### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu rakennuksen ilmanvaihdon toteutustapa ja sitä kautta ilmavirrat. **Perustapauksessa** on käytetty RakMK D3 (2012) mukaista vakioilmavirtaa majoitusliikerakennukselle, jossa ilmavirta on 2 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>. **Variantsissa 2** on käytetty painovoimaista ilmanvaihtoa koko rakennuksessa niin, että ilmavaihtoa tapahtuu suoraan jokaisesta tilasta. Lisäksi ulkoseinille on määritelty painekertoimet simulointiohjelmassa niin, että AIVC:n (Air Infiltration and Ventilation Centre) määrittelemä tuulen tunkeutuminen rakenteiden läpi on tasoa ”osittain suojaamaton”. Sisälämpötilojen hallitsemiseksi **variantissa 3** painovoimaisen ilmanvaihdon lisäksi on käytetty koneellista jäähdytystä. **Variantsissa 4** painovoimaisen ilmanvaihdon lisäksi on puolestaan käytetty koneellista yötuuletusta. Tämä yöaikaan toimiva koneellinen tulo–poisto-ilmanvaihto on päällä arkisin klo 22:00–07:00, mikäli sisälämpötila nousee yli 22 °C ja ulkolämpötila on yli 12 °C. Tässä tapauksessa lämmön- talteenottoa ei ole otettu huomioon. **Variantsissa 5** painovoimaisen ilmanvaihdon lisäksi kaikki ikkunat ovat puoliksi auki jokaisena vuoden päivänä 15 minuutin ajan klo 12:00–12:15. Viimeisessä variantissa on jälleen käytössä koneellinen jäähdytys.

#### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Laskentatulosten perusteella painovoimainen ilmanvaihto antaa merkittävästi parempia tuloksia, kuin vakioilmavirralla toteutettu ilmanvaihtoratkaisu energi- ankulutuksen ollessa alle puolet perustapauksesta (47,6 %, variantsi 2). Koska painovoimaisen ilmanvaihdon yhteydessä nousevat vahvasti esille sisäilman laatuun

liittyvät kysymykset, on niitä pyritty tarkastelemaan tässä yhteydessä. Huomattavaa on, että hiilidioksidipitoisuudet eivät nouse tässä tarkastelussa tavoitellun raja-arvon (1100 ppm) yläpuolelle. Sen sijaan sisälämpötila nousee tavoitearvoa (25 °C) korkeammaksi, minkä vuoksi varianteissa 3–5 on tarkasteltu erilaisia jäähdytys- ja tuuletusratkaisuja painovoimaisen ilmanvaihdon yhteydessä. Kaikki nämä ratkaisut ovat edelleen tuloksiltaan huomattavia perustapaukseen verrattuna.

#### *Huomioita suunnitteluun*

Kuten edellisessä ohjekortissa 4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta todettiin, ilmanvaihtoratkaisun ja ilmavirran merkitys energiatehokkaassa rakentamisessa on suuri, joten sen suunnitteleminen on keskeinen energiatehokkuusratkaisu. Painovoimaisen ilmanvaihdon energiatehokkuudellinen etu perustuu ensisijaisesti siihen, että ilmaa vaihtuu vähemmän kuin tavallisilla koneellisen ilmanvaihdon vakioasetuksilla. Puhtaasti energiankulutuksen säästöön painovoimainen ilmanvaihto on tämän tarkastelun tulosten perusteella mahdollinen ratkaisu. Yhdessä jäähdytyksen kanssa tämä on myös sisäolosuhteiltaan mahdollinen rakennuksen käyttötarkoitus ja sisäilmakriteerit huomioiden. Haasteena painovoimaisessa ilmanvaihdossa on sen hallitsemattomuus ja epätasaisuus sekä sen vaatima käyttäjän aktiivisuus esimerkiksi tuuletuksen tehostamiseksi ikkunoita avaamalla.

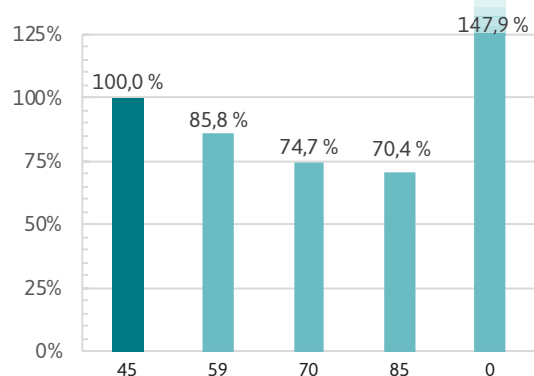
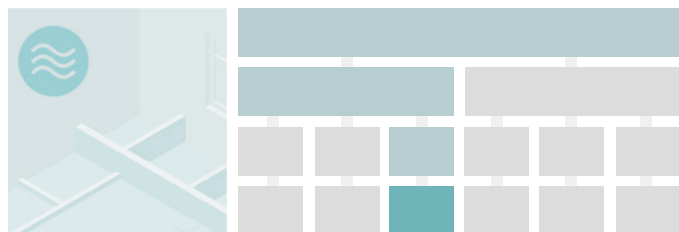
Tässä tarkastelussa on huomattava, että tarkasteltu esimerkkikohde on yksikerroksinen, varsin pieni kohde. Tällöin painovoimainen ilmanvaihto on ratkaistavissa suoraan jokaisesta tilasta, ja painekertoimilla laskettua vaipan pinta-alaa on suhteessa paljon. Esimerkkikohteen käyttötarkoituksena on tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti (majoitusliikerakennus), jossa painovoimaisella ilmanvaihdolla pystytään saavuttamaan riittävä sisäilman laatu ja sisälämpötila yötuuletuksen tai jäähdytyksen kanssa. Rakennuksen käyttötarkoitus, mittakaava ja arkkitehtoninen ratkaisu vaikuttavat tulosten sovellettavuuteen. Korkeammassa rakennuksessa edellytykset painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuudelle paranevat paine-erojen kasvaessa.

Ilmanvaihdolla on vaikutusta rakennuksen terveellisyyteen, turvallisuuteen ja riskittömyyteen, jotka tulee ottaa huomioon ensiarvoisina ilmanvaihtoon liittyvien suunnitteluratkaisujen ja -valintojen yhteydessä. Riskejä voivat aiheuttaa riittämätön ilmanvaihdon määrä tai huuhtelevuus sekä alipaine yhdessä rakenteiden huonon tiiveyden kanssa (ks. 4.1.7. Vaipan tiiveys). Ilmanvaihdon ohjaus ja ilmamäärä vaikuttavat laatutekijöihin viihtyisyyden eli tässä tapauksessa sisäolosuhteiden kautta ohjekortin 4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta mukaisesti.

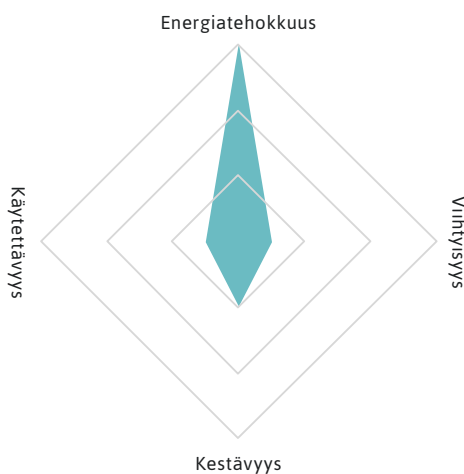
#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.1.7. Vaipan tiiveys.....	s. 39
4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67
4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta.....	s. 97

### 4.3.10. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto



**KUVA 4.3.10.a. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen (%) vaikutus osastoenergiankulutukseen, osastoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.3.10.b. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

#### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

#### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 45 %

**Variantti 2** Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 59 %

**Variantti 3** Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 70 %

**Variantti 4** Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 85 %

**Variantti 5** Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 0 %

#### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	182 936 kWh/v	85,8 %	275 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	159 249 kWh/v	74,7 %	251 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4</b>	150 109 kWh/v	70,4 %	241 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 5</b>	315 543 kWh/v	147,9 %	413 kWh/m <sup>2</sup> v

#### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde eli lämpötilasuhde. Hyötysuhde yleisesti kertoo, kuinka paljon lämmöntalteenotto pystyy lämmittämään tuloilmaa poistoilmasta otetulla lämmöllä. Vuosihyötysuhde on keskiarvoinen luku koko vuodelta, johon vaikuttavat lisäksi muun muassa sääolosuhteet ja jäätyminenesto, ja siksi prosentteina ilmoitettava vuosihyötysuhde on lämpötilasuhdetta hieman pienempi.

Tässä tarkastelussa ilmanvaihtokoneen ilmavirrat ovat kaikissa varianteissa standardikäytön mukaisesti 2 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>, jäteilmän minimilämpötila 3 °C, lämpötilan nousu puhaltimessa 0,5 °C sekä tuloilman lämpötila 18 °C. Käytetyt ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet ja niitä vastaavat lämpötilasuhteet ovat **perustapauksessa** 45 %/0,45; **variantissa 2** 59 %/0,60; **variantissa 3** 70 %/0,75; **variantissa 4** 76 %/0,85; ja **variantissa 5** 0 %/0,00. Vuosihyötysuhteet ja niihin verrattavat lämpötilasuhteet on määriteltä RakMK D3:n LTO-laskimella (LTO-laskin, 2012).

#### Energiatohokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteella on merkittävä vaikutus rakennuksen energiatohokkuuteen. Kun ilmavirtana käytetään standardikäytön mukaista vakioilmavirtaa majoitusliikerakennukselle, on ero perustapaukseen nähden lähes kolmasosan suuruinen (variantti 4, 29,6 %). Sen sijaan, jos lämmöntalteenottojärjestelmää ei ole lainkaan, kasvaa osastoenergiankulutus lähes puolella (variantti 5, 47,9 %).

### *Huomioita suunnitteluun*

Lämmöntalteenotto on jo varsin vakiintunut ratkaisu koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon yhteydessä, ja yhä tehokkaammilla vuosihyötysuhteilla varustettuja järjestelmiä kehitetään edelleen. On kuitenkin huomattavaa, että lämmöntalteenottojärjestelmä liittyy nimenomaan koneelliseen ilmanvaihtoon, ei edellisessä ohjekortissa esiteltyyn painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Painovoimaiseen ilmanvaihtoon yhdistettynä kyseessä voidaan katsoa olevan enemmän tai vähemmän hybridiratkaisu. Lämmöntalteenottoperiaatetta voidaan niin ikään soveltaa myös lämpimän käyttöveden ja jäteveden lämmöntalteenottoon.

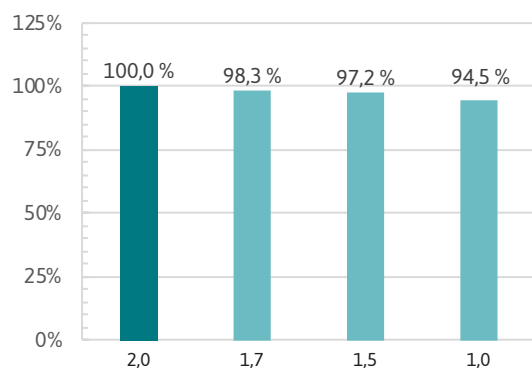
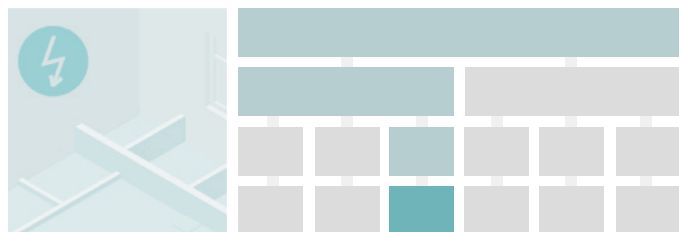
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen vaikutus laatutekijöihin, viihtyisyyteen ja käytettävyyteen on pieni. Arkkitehtuurin tilasuunnittelussa tulee ottaa huomioon lämmöntalteenottojärjestelmien vaatimat tilavaraukset, mutta muuten järjestelmällä ei ole vaikutusta rakennuksen arkkitehtoniseen ilmeeseen.

### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

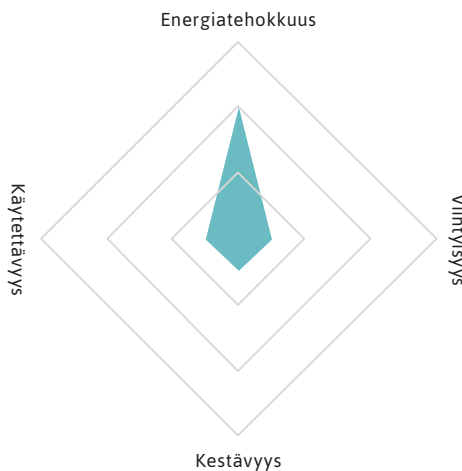
4.1.7.	Vaipan tiiveys .....	s. 39
4.3.8.	Lämpimän käyttöveden kulutus.....	s. 96
4.3.8.	Ilmanvaihdon ilmavirta .....	s. 97
4.3.9.	Painovoimainen ilmanvaihto .....	s. 99
4.3.11.	Ilmanvaihdon SFP-luku .....	s. 103

*Lämmöntalteenoton energiatehokkuusvaikutus on suorassa suhteessa poistoilmavirran määrään. Ilmanvaihdon ilmavirtojen pienentyessä esimerkiksi CO<sub>2</sub>-ohjauksen käyttämisen myötä myös lämmöntalteenoton merkitys pienenee.*

### 4.3.11. Ilmanvaihdon SFP-luku



KUVA 4.3.11.a. Ilmanvaihdon SFP-luvun (kW (m³/s)) vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.



KUVA 4.3.11.b. Ilmanvaihdon SFP-luvun vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.

#### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ilmanvaihdon SFP-luku

#### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ilmanvaihdon SFP-luku 2,0 kW/(m³/s)

**Variantti 2** Ilmanvaihdon SFP-luku 1,7 kW/(m³/s)

**Variantti 3** Ilmanvaihdon SFP-luku 1,5 kW/(m³/s)

**Variantti 4** Ilmanvaihdon SFP-luku 1,0 kW/(m³/s)

#### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m²v
<b>Variantti 2</b>	209 764 kWh/v	98,3 %	298 kWh/m²v
<b>Variantti 3</b>	207 415 kWh/v	97,2 %	292 kWh/m²v
<b>Variantti 4</b>	201 510 kWh/v	94,5 %	277 kWh/m²v

#### Varianttien muodostamisperiaatteet

SFP-luku (Specific Fan Power) eli ilmanvaihdon ominaissähköteho kuvaa ilmanvaihtojärjestelmän sähkötehokkuutta. SFP-luku ilmaisee, kuinka paljon sähkötehoa rakennuksen ilmanvaihto tarvitsee yhden ilmakuution siirtämiseen sekunnissa. Mitä pienempi on SFP-luku, sitä parempi on myös energiatehokkuus. Toisaalta mitä suurempi on ilmavirta, sitä suurempi merkitys myös SFP-luvulla on energiatehokkuuteen.

Tämän tarkastelun varianteissa muuttuu ilmanvaihdon SFP-luku. **Perustapaus** vastaa standardikäytön mukaista arvoa, ja **varianteissa 2–5** on pienennetty lukua asteittain.

#### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Ilmanvaihdon SFP-luvun vaikutus energiatehokkuuteen on yksittäisenä ominaisuutena kohtalainen. Variantissa 4 SFP-luvun ollessa 1,0 kW/(m³/s) laskee ostoenergiankulutus perustapaukseen nähden yli 5 %. Vaikka SFP-luvun ei ajattelisi olevan merkittävä itsessään, on yleisesti ilmanvaihdon merkitys energiatehokkuuteen kokonaisuudessaan suuri, ja siihen liittyvillä osatekijöillä on siten vaikutusta suuremman kokonaisuuden osana.

Koska SFP-luku vaikuttaa suoraan sähkön kulutukseen, on sen vaikutus E-lukuun merkittävä (ks. kuva 4.3.11.c). E-lukuun vaikuttaa erityisesti energiamuotojen kerroin, joka sähkön kohdalla muuttui 1.1.2018 alkaen 1,70:sta 1,20:een (ks. 4.3.4. Lämmitysmuoto). Tässä tarkastelussa on kuitenkin käytetty simulointien tekoherkellä voimassa ollutta sähkön energiamuotokerrointa 1,70. Uusien asetusten luonnoksissa

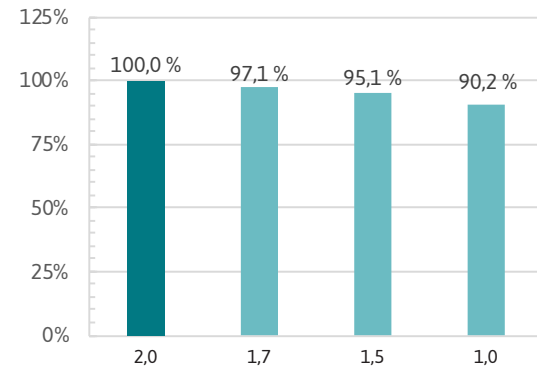
on myös esitetty SFP-luvun tiukentamista sekä tulo- ja poistoilmanvaihdon että pelkän poistoilmavaihdon yhteydessä. Ensimmäisen kohdalla muutos olisi nykyisestä luvusta 2,0 lukuun 1,8 kW/(m<sup>3</sup>/s) ja jälkimmäisessä luvusta 1,0 lukuun 0,9 kW/(m<sup>3</sup>/s).

#### *Huomioita suunnitteluun*

SFP-luku riippuu valitusta laitteistosta, ilmanvaihdon ilmavirrasta ja määrästä (ks. 4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta). Tämän ominaisuuden huomioiminen on siis talotekniikkasuunnittelijan, eikä niinkään sähkösuunnittelijan vastuulla rakennustasolla. Arkkitehtisuunnitteluun tai laatu-tekijöihin SFP-luvulla ei ole vaikutusta, kun sisäolosuhteet ovat ilmanvaihdon ominaissähkötehosta huolimatta vakiot.

#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

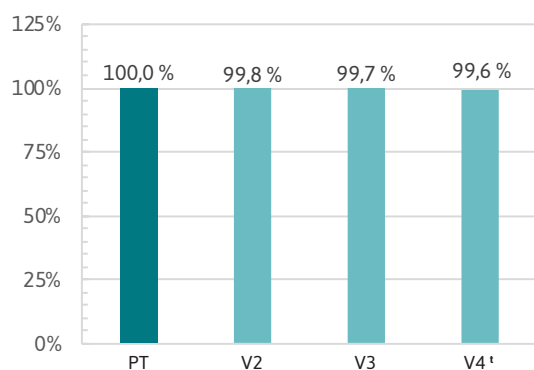
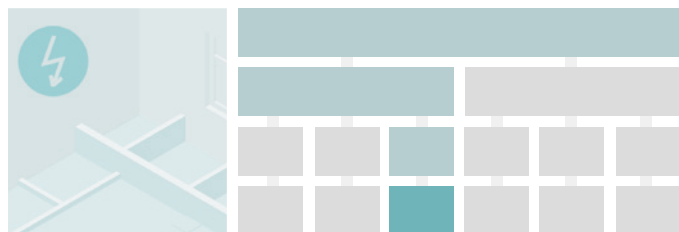
4.3.4. Lämmitysmuoto.....	s. 89
4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta .....	s. 97
4.3.12. Kuluttajalaitteet.....	s. 105



**KUVA 4.3.11.c. Ilmanvaihdon SFP-luvun (kW (m<sup>3</sup>/s)) vaikutus E-lukuun, E-luku suhteessa perustapakseen.**

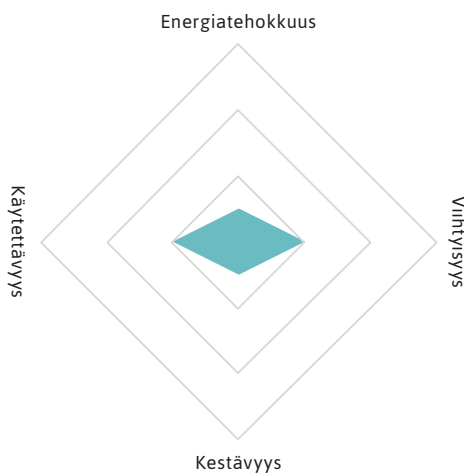


## 4.3.12. Kuluttajalaitteet



**KUVA 4.3.12.a. Kuluttajalaitteiden sähkönkulutuksen vaikutus ostoenergiankulutukseen**, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus



**KUVA 4.3.12.b. Kuluttajalaitteiden sähkönkulutuksen vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Kuluttajalaitteiden sähkönkulutus, valaistusteho

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Kuluttajalaitteiden sähkönkulutus 4 W/m<sup>2</sup>

**Variantti 2** Kuluttajalaitteiden sähkönkulutus 2 W/m<sup>2</sup>

**Variantti 3** Kuluttajalaitteiden sähkönkulutus 1 W/m<sup>2</sup>

**Variantti 4<sup>†</sup>** Kuluttajalaitteiden sähkönkulutus 0 W/m<sup>2</sup>

### Simulaatiotulokset

Laskentatapaus	Ostoenergiankulutus	
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %
Variantti 2	212 823 kWh/v	99,8 %
Variantti 3	212 610 kWh/v	99,7 %
Variantti 4 <sup>†</sup>	212 449 kWh/v	99,6 %

<sup>†</sup> Teoreettinen tapaus. Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus käytössä olevassa rakennuksessa on aina enemmän kuin 0 W/m<sup>2</sup>.

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Varianteissa muuttuu kuluttajalaitteisiin käytetyn sähköenergian määrä. **Perustapauksessa** on käytetty RakMK D3 (2012) standardikäytön arvoa laitesähkölle. Valaistuksen valaistusteho on standardikäytön mukaisesti 14 W/m<sup>2</sup>. **Variantissa 2** on laitesähkön kulutus -50 % ja **variantissa 3** -75 % perustapauksesta. **Variantissa 4** ei ole laitesähkön kulutusta lainkaan. Laitteiden kuluttama sähköenergia laskeaan kokonaisuudessaan tiloihin tulevaksi lämpökuormaksi.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Tulokset osoittavat, että laitesähkön määrän vaikutus energiatehokkuuteen yksittäisenä ominaisuutena on vähäinen (perustapaus–variantti 4). Täydentävinä tarkasteluina simuloitiin myös variantti 3 valaistusteholla 3,5 W/m<sup>2</sup> ja variantti 4 ilman valaistusta – vaikutus ostoenergiankulutukseen oli edelleen vain noin yksi prosentti.

Voidaan siis todeta, että paitsi laitesähkön itsensä, niin myös laitesähkön ja valaistuksen yhteisvaikutus ostoenergiankulutukseen on tarkastelurakennuksen käytöllä pieni. Kuluttajalaitteilla, kuten valaistuksellakin, on kuitenkin merkittävä vaikutus E-lukuun sähkön energiamuotokertoimien kautta (ks. 4.3.4. Lämmitysmuoto). Kuva 4.3.12.c osoittaa, että vaikutus E-lukuun on merkittävästi suurempi kuin ostoenergiankulutukseen.

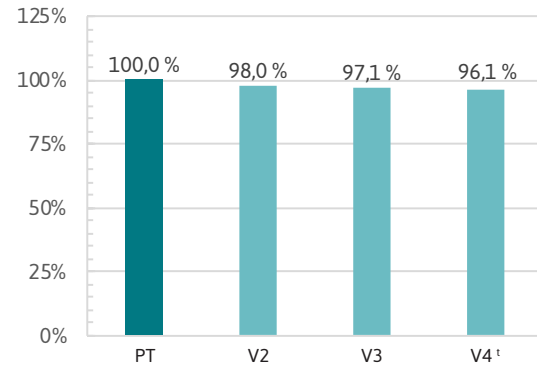
Koko rakennuksen ostoenergiankulutuksesta kuluttajalaitteiden osuus on noin 3 %, valaistuksen noin 12 %. Kuluttajalaitteisiin ja valaistukseen käytetty energia lasketaan kokonaisuudessaan tiloihin tulevaksi lämpökuormaksi, joka tasoittaa valaistuksen ja laitteiden energiankulutuksen merkitystä laskennallisessa kokonaisuudessa.

#### *Huomioita suunnitteluun*

Kuluttajalaitteiden valintaan vaikuttaa esimerkiksi arkkitehti, sisustusarkkitehti tai urakoitsija. Kiintokalusteiden osalta suunnittelulla voidaan vaikuttaa laitevalintoihin, mutta henkilökohtaisista irtokalusteista, niiden energiatehokkuudesta ja käytöstä vastaavat käyttäjät. Laitteiden tarpeeseen vaikuttavat rakennuksen ja tilojen käyttötarkoitukset. Käyttäjälaitteiden sähkönkulutuksella ei ole merkittävää vaikutusta arkkitehtonisiin laatutekijöihin itse laitevalintojen lisäksi.

#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.2.3.	Rakennuksen käyttötarkoitus.....	s. 67
4.3.1.	Päivänvalo-ohjaus .....	s. 83
4.3.2.	Luonnonvalon määrä.....	s. 85
4.3.4.	Lämmitysmuoto.....	s. 89



**KUVA 4.3.12.c. Kuluttajalaitteiden sähkönkulutuksen vaikutus E-lukuun, E-luku suhteessa perustapaukseen.**

# 4.4. TONTIN OMINAISUUDET



---

## YMPÄRISTÖOLOSUHTEET

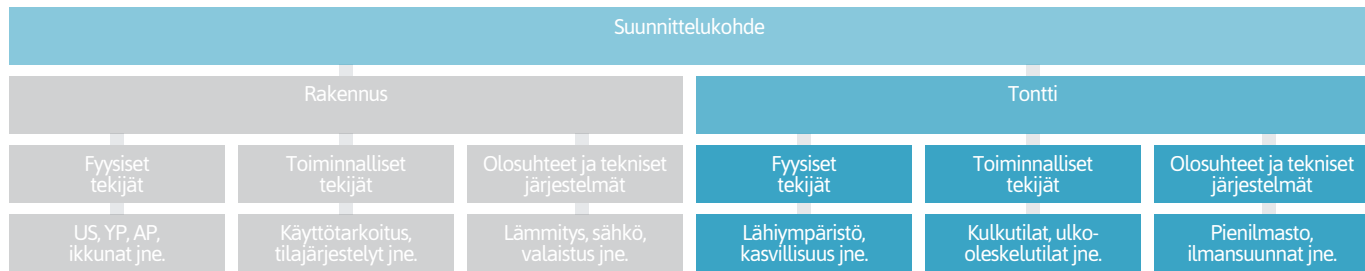
4.4.1. Sijaintipaikkakunta.....	109
4.4.2. Ympäristön varjostus.....	111
4.4.3. Tuuliolosuhteet.....	113



---

## ULKORATKAISUT

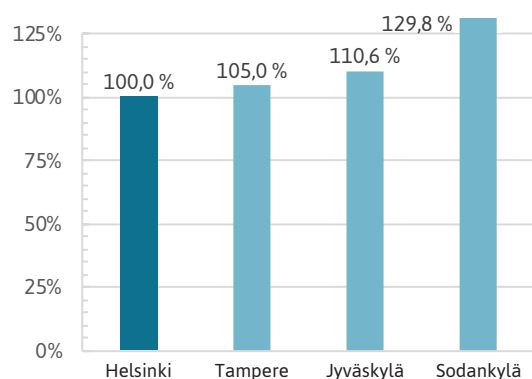
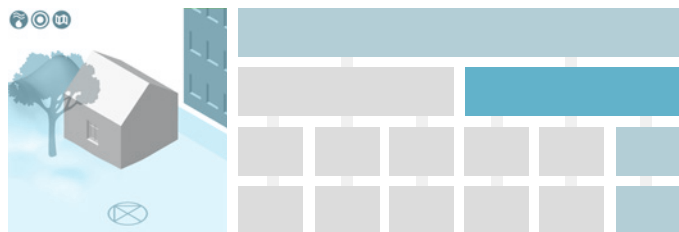
4.4.4. Sulanapito.....	115
------------------------	-----



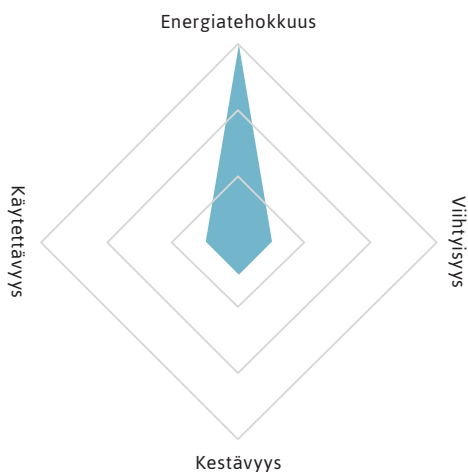
Rakennuspaikka asettaa aina lähtökohdat suunnittelulle, vaikuttaen niin rakenteellisiin, toiminnallisiin kuin teknisiin ratkaisuihin. Vastaavasti rakennuspaikan ominaisuuksia voidaan tarkastella näiden samojen kategorioiden kautta. Vaikka rakennuksen suunnittelijan mahdollisuudet vaikuttaa tontin ja etenkin sen ympäristön ominaisuuksiin ovat rajalliset, on näiden ominaisuuksien vaikutusten tiedostaminen oleellista.

Tämän julkaisun pääpaino on itse rakennuksen suunnittelussa. Näin ollen tontin ominaisuuksia on ohjekortistossa tarkasteltu vain suppeasti, poimien muutamia erityisen merkitykselliseksi arveltuja tai rakennussuunnitteluun erityisen kiinteästi kytkeytyviä tekijöitä. Suunnittelukohteen hierarkiapuussa tontin ominaisuuksia voidaan tarkastella omana, rakennukselle rinnasteisena osa-alueenaan, vastaavalla jaottelulla.

## 4.4.1. Sijaintipaikkakunta



**KUVA 4.4.1.a. Sijaintipaikkakunnan vaikutus osastoenergiankulutukseen, osastoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.4.1.b. Sijaintipaikkakunnan vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Sijaintipaikkakunta

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Sijainti Helsingissä

**Variantti 2** Sijainti Tampereella

**Variantti 3** Sijainti Jyväskylässä

**Variantti 4** Sijainti Sodankylässä

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Osastoenergiankulutus	
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %
<b>Variantti 2</b>	223 983 kWh/v	105,0 %
<b>Variantti 3</b>	235 964 kWh/v	110,6 %
<b>Variantti 4</b>	276 825 kWh/v	129,8 %

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Variantit on muodostettu käyttämällä eri kaupunkien referenssivuoden 2012 sää-tietoja ja vastaavaa sijaintia. Tavallisesti E-luku lasketaan Helsingin säätiedoilla, mutta tässä tarkastelussa osastoenergiankulutuksen lisäksi myös E-luku on laskettu paikkakunnittaisilla säätiedoilla silloin, kun ne on ollut saatavissa. **Perustapauk-sessa** on käytetty sijaintina Helsinkiä ja säätietoina Helsinki-Vantaata (säävyöhyke I), **Variantissa 2** sijaintina Tamperetta ja säätietoina Helsinki-Vantaata (lähin saata-vissa oleva säädäta), **Variantissa 3** sijaintina ja säätietoina Jyväskylää (säävyöhyke III), **Variantissa 4** sijaintina ja säätietoina Sodankylää (säävyöhyke IV).

### Energiätehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Sijaintipaikkakunnan vaikutus osastoenergiankulutukseen on erittäin merkittävä, ensisijaisesti muuttuvan lämmitystarpeen vuoksi. Sodankylän ja Helsingin sijain-neilla on lähes 30 % ero osastoenergiankulutuksessa, ja jo Jyväskylän ja Helsingin välillä ero on 10 %. Tässä tarkastelussa ei ole otettu huomioon sijainnin vaiku-tusta luonnonvalon saantiin ja edelleen valaistustarpeeseen, mikä saattaisi kas-vattaa eroja entisestään. Myöskään mahdollista lisääntyvää sulanapitotarvetta ei ole otettu huomioon (ks. 4.4.4. Sulanapito). Vastavuoroisesti joissakin tapauksissa lämpimämmässä ilmastossa syntyvä jäähdytystarve kaventaa eroja, vaikka tällä tarkastelukohteella ylitämpenemistä ei esiintynyt (ks. 4.3.6. Jäähdytyslämpötila).

### Huomioita suunnitteluun

Sijaintipaikkakunta ei tavallisimmin ole valittavissa energiatehokasta suunnittelu-ratkaisua etsittäessä. Sen vaikutus niin energiankulutukseen kuin toiminnallisuu-teenkin on kuitenkin suunnittelussa lähtökohtaisen keskeisessä roolissa.

Sijainti vaikuttaa rakennuksen ostoenergiankulutukseen sekä ulkoilman lämpötilojen että auringon kokonaissäteilyenergian kautta. Erilaisten aurinkokulmien myötä sijainti tulee ottaa huomioon ikkuna-aukotuksen suunnittelussa, jotta passiivisen aurinkoenergian sekä luonnonvalon hyödyntäminen voidaan maksimoida. Toisaalta samalla on huomioitava ilmaston vaikutus ikkunoiden kautta tapahtuviin lämpöhäviöihin. Teoreettisen säteilyenergiansaannin optimoinnin lisäksi ei tule unohtaa käytännön toimivuutta: matalalta paistava aurinko ei saisi aiheuttaa häikäisyä, joka pakottaisi verhojen tai kaihtimien kiinni pitämiseen. Näin ollen tilojen tarkemmat käytöt kalustuksineen ja vaihtoehtoineen on huomioitava riittävän aikaisessa vaiheessa suunnittelua.

Yleisesti ottaen sijaintipaikkakunta vaikuttaa siihen, miten energiatehokkaita ratkaisuita rakennuskokonaisuudessa on tehtävä tietyn energiankulutuksen saavuttamiseksi. Näillä puolestaan on muissa ohjekorteissa käsitellyt vaikutuksensa arkkitehtisuunnitteluun esimerkiksi rakenteiden paksunemisen myötä (ks. 4.1.6. Vaipan U-arvot).

#### *Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

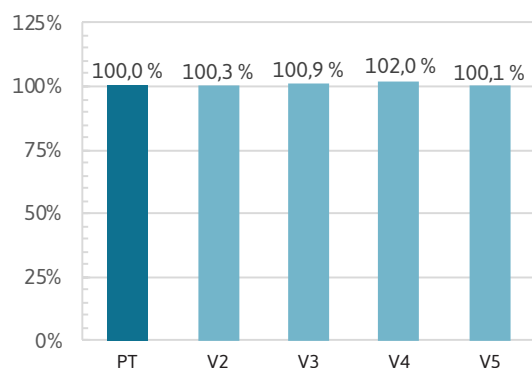
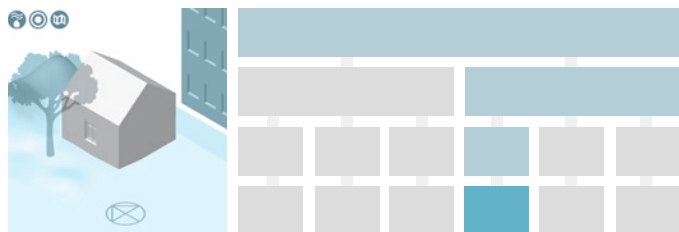
4.1.6. Vaipan U-arvot.....	s. 37
4.1.8. Vaipan viivamaiset kylmäsiilat.....	s. 41
4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala.....	s. 49

*Vaikka suomalainen energialaskenta ei E-lukua käytettäessä ota huomioon sijaintia, on suomalaisessa passiivitalon määritelmässä otettu huomioon ilmasto-olosuhteet: passiivitalon kriteereiden katsotaan täyttyvän Pohjois-Suomessa jo noin 30 kWh/m<sup>2</sup> lämmitysenergiankulutuksella, kun taas Etelä-Suomessa vastaava raja on noin 20 kWh/m<sup>2</sup>.*

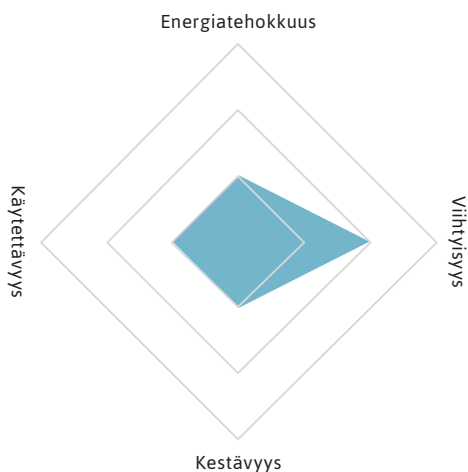


**KUVA 4.4.1.c. Tarkasteluvarianttien paikkakuntien sijainnit.**

## 4.4.2. Ympäristön varjostus



KUVA 4.4.2.a. Ympäristön varjostuksen vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.



KUVA 4.4.2.b. Ympäristön varjostuksen vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Ympäristön varjostavat rakennukset ja puut

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ei varjostavia naapurirakennuksia tai puita

**Variantti 2** Ympäröivien rakennusten korkeus 3 m

**Variantti 3** Ympäröivien rakennusten korkeus 6 m

**Variantti 4** Ympäröivien rakennusten korkeus 12 m

**Variantti 5** Varjostavia puita etelän puolella

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 2	213 943 kWh/v	100,3 %	308 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 3	215 266 kWh/v	100,9 %	309 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 4	217 636 kWh/v	102,0 %	311 kWh/m <sup>2</sup> v
Variantti 5	213 620 kWh/v	100,1 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

**Perustapauksessa** rakennuksen ympäristössä ei ole varjostavia naapureita tai kasvillisuutta. **Varianteissa 2–4** rakennusta ympäröivät kuvan 4.4.2.c mukaisesti naapurirakennukset, joiden korkeudet ovat varianteittain 3, 6, ja 12 m. **Variantissa 5** rakennuksen eteläpuolella sijaitsee ikivihreitä puita kuvan 4.4.2.d mukaisesti.

### Energiatotehdokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Ympäristön varjostuksen vaikutus energiatotehdokkuuteen on tarkastelluissa tapauksissa yksittäisenä ominaisuutena pieni. Variantissa 4, jossa naapurirakennukset ovat neljä kertaa kohderakennuksen korkuisia, on lisäys ostoenergiankulutukseen vain 2 %. Käytännössä vaikutus riippuu myös varjostavien elementtien etäisyydestä, joka on verrattavissa naapurirakennusten muuttuvaan korkeuteen, ja istutusten sijainnista suhteessa aukotukseen sekä lehtipuiden tapauksessa talvisesta lehdetömyydestä, joita tässä tarkastelussa ei ole varioitu.

### Huomioita suunnitteluun

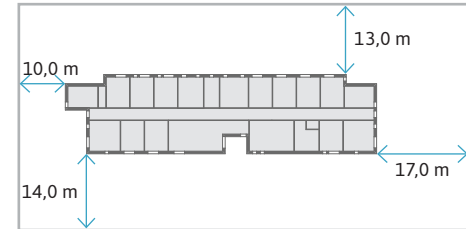
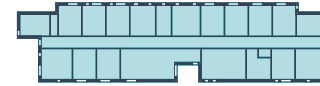
Ympäristön varjostus vaikuttaa passiivisen aurinkoenergian ja luonnonvalon määrään, ensisijaisesti ikkunoiden kautta – umpiseinien ja -katon kohdalla vaikutus lämmitystarpeeseen on vähäisempi ja valaistustarpeeseen luonnollisesti lähes olematon. Riippuen mahdollisesta yllälämpenemisestä vaikutus voi olla energiatotehdokkuuden kannalta edullinen tai haitallinen. Varjostustarvetta syntyy eniten isoilla, etelään suunnatuilla ikkunoilla, rakennuksissa joissa lämpöhäviöt ovat muuten pienet.

Naapurirakennusten varjostus vähentää rakennukseen tulevaa passiivista aurinkoenergiaa ja heikentää sitä kautta energiatehokkuutta olettaen, ettei muutoin synny yllämpenemistä. Vaikutuksen suuruuteen vaikuttavat naapurirakennusten sijainti suhteessa aukotukseen, rakennusten korkeus ja rakennusten julkisivupintojen heijastavuus. Tämän tarkastelun perusteella vaikutus on kuitenkin pieni, jolloin toiminnalliset ja viihtyisyystekijät todennäköisimmin muodostuisivat ongelmaksi energiatehokkuutta aiemmin.

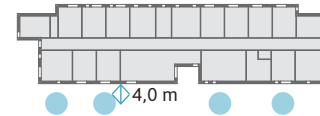
Puiden varjostava vaikutus on periaatteiltaan vastaava kuin naapurirakennusten. Talveksi lehtensä pudottavien lajien käyttäminen kuitenkin mahdollistaa vuodenaikojen vaihtuviin tarpeisiin vastaamisen suojaamalla ylikuumentumiselta kesällä ja päästämällä lämpöä sisään talvella.

#### Keskeisimmin liittyvät ohjekortit

4.1.11. Ikkunoiden suuntaus.....	s. 47
4.1.12. Ikkunoiden pinta-ala .....	s. 49
4.1.15. Ikkunoiden varjostus .....	s. 55
4.3.6. Jäähdytyslämpötila.....	s. 93



**KUVA 4.4.2.c.** Ympäröiviä rakennuksia edustavan rakenteen sijainti suhteessa tarkastelurakennukseen..

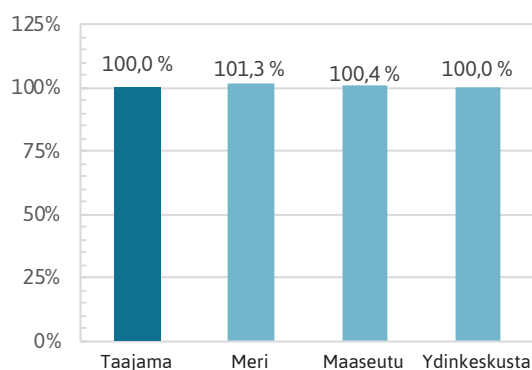
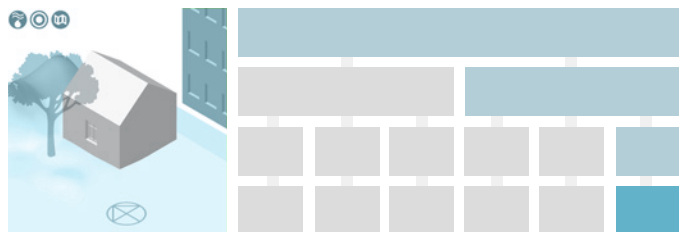


**KUVA 4.4.2.d.** Varjostavien puiden sijainti suhteessa tarkastelurakennukseen. Puiden auringonsäteilynläpäisevyys on 50 % ja korkeus 5 m.

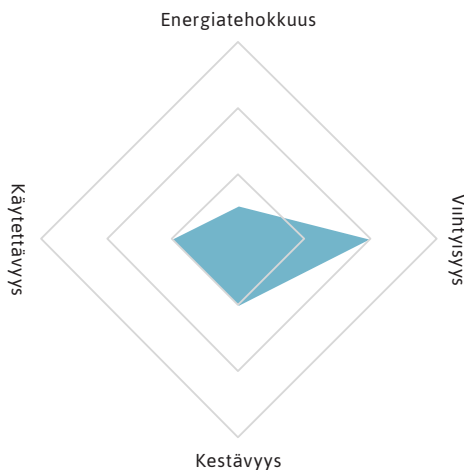
*Ympäristön varjostus on tavallisesti yhdistelmä suunnittelijan hallittavissa ja hallitsemattomissa olevia seikkoja. Keskeinen vaikutus on kaavoituksella, joka voi muun muassa säädellä hyvinkin tarkkaan, mihin kohtiin omaa ja viereisiä tontteja voidaan sijoittaa minkäkin korkuinen rakennus.*



## 4.4.3. Tuuliolosuhteet



**KUVA 4.4.3.a. Tontin tuuliolosuhteiden vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.4.3.b. Tontin tuuliolosuhteiden vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohde** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Tontin tuuliolosuhteet

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Taajama

**Variantti 2** Meri

**Variantti 3** Maaseutu

**Variantti 4** Ydinkeskusta

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus		E-luku (2012)
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen	
<b>Perustapaus</b>	213 318 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 2</b>	216 013 kWh/v	101,3 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 3</b>	214 245 kWh/v	100,4 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v
<b>Variantti 4</b>	213 325 kWh/v	100,0 %	307 kWh/m <sup>2</sup> v

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Variantit on muodostettu vaihtamalla simulaatioissa käytettävää IDA ICE -tuuli-profilia. Profilit edustavat tuuliolosuhteita erilaisissa ympäristöissä. Seinien painekertoimet, jotka vaikuttavat tuulen tunkeutumiseen rakenteiden läpi, on pidetty AIVC:n (Air Infiltration and Ventilation Centre) määritelmän ”osittain suojaamaton” mukaisesti vakioituina.

### Energitehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Tuuliolosuhteiden vaikutus energiankulutukseen on tämän tarkastelun perusteella pieni: suhteessa taajamassa sijaitsevaan perustapaukseen ero on meriympäristössäkin vain 1,3 %.

### Huomioita suunnitteluun

Tontin tuulisuus lisää hieman energiankulutusta. Vaikutus on sitä suurempi mitä heikompi rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyys on, eli tavanomaisilla ilmatii- viillä nykyrakenteilla vähäinen. Vaikutus on myös suurempi korkeilla kuin matalilla rakennuksilla. Käytettäessä painovoimaista ilmanvaihtoa (ks. 4.3.9. Painovoimainen ilmanvaihto) on lisäksi huomioitava tuuliolosuhteiden vaikutus ilman vaihtu- vuuteen ja tuuletettavuuteen.

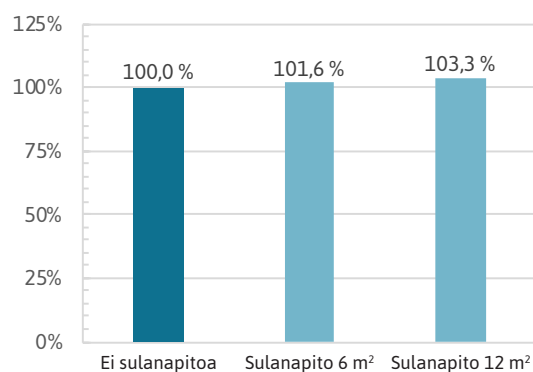
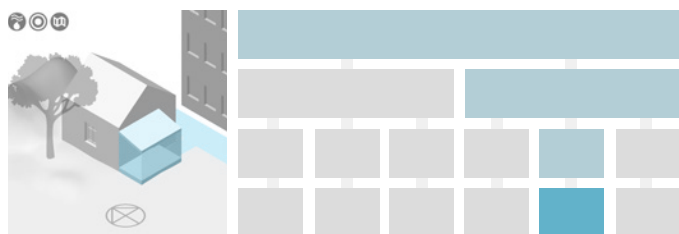
Lähialueen yleisen avoimuuden lisäksi tuulen nopeuteen rakennuksen välittömässä yhteydessä vaikuttaa oleellisesti rakennuksen ja ympäristön tarkempi geometria: esimerkiksi kapeat rakennusmassojen väliset tilat kasvattavat sopivasta suunnasta puhaltavan tuulen nopeutta, kun taas läheiset mäet saattavat suojata rakennusta – tai päinvastaisesti kiihdyttää pieniä ilmavirtauksia. Pääasiallisesti kyse on kuitenkin maantieteellisen sijainnin tavoin lähtötilanteesta, johon reagoidaan.

Ulkotilojen viihtyisyyden kannalta tuuliolosuhteilla on merkittävä vaikutus. Suositeltavinta on mahdollisuuksien mukaan suunnitella rakennusmassat siten, ettei varsinkaan oleskeluun tarkoitetuista ulkoalueista muodostu kohtuuttoman tuulisia. Mikäli tämä ei riittävässä määrin ole mahdollista, tulisi tilanne ratkaista esimerkiksi istutuksin tai tarvittaessa aidoin tai muin vastaavin rakentein.

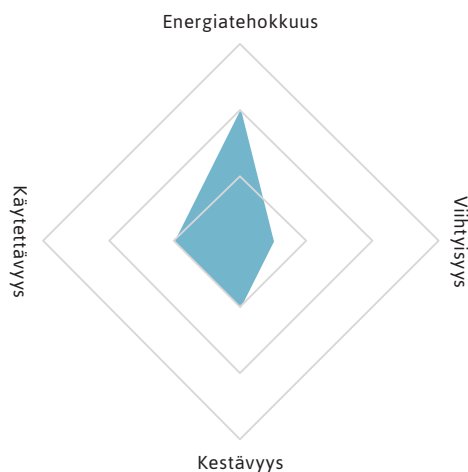
*Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.1.4.	Pohjamuoto.....	s. 33
4.1.6.	Vaipan U-arvot.....	s. 37
4.4.2.	Ympäristön varjostus.....	s. 111

## 4.4.4. Sulanapito



**KUVA 4.4.4.a. Sisäänkäynnin edustan sulanapidon vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**



**KUVA 4.4.4.b. Sisäänkäynnin edustan sulanapidon vaikutus arkkitehtoniseen laatuun.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti

**Muuttuja(t)** Sisäänkäynnin edustan sulanapito

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Ei sulanapitoa

**Variantti 2** Sulanapito talvisin 6 m<sup>2</sup> alueella

**Variantti 3** Sulanapito talvisin 12 m<sup>2</sup> alueella

### Simulaatiotulokset

Laskenta- tapaus	Ostoenergiankulutus	
	Yhteensä	Suhteessa perustapaukseen
Perustapaus	213 318 kWh/v	100,0 %
Variantti 2	216 832 kWh/v	101,6 %
Variantti 3	220 345 kWh/v	103,3 %

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Sulanapidolla tarkoitetaan tässä tarkastelussa ulkoalueen maan talvista lämmittämistä jäätymisen estämiseksi. **Perustapauksessa** ei ole sulanapitoa. **Varianttissa 2** on sisäänkäynnin edustalla sähkökaapelilla toteutettua sulanapitoa 200 W/m<sup>2</sup>, 6 m<sup>2</sup> alueella ja **variantissa 3** 12 m<sup>2</sup> alueella (ks. kuva 4.4.4.c). Sulanapito on päällä neljä kuukautta vuodesta.

### Energiatehokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa

Tontin sulanapitotarpeen vaikutus energiatehokkuuteen on kohtalainen. Tässä vertailussa sulatus on enimmillään päällä kolmasosan vuodesta, melko pienellä alueella, mutta lisäys energiankulutukseen on silti yli 3 % (variantti 3, 103,3 %).

### Huomioita suunnitteluun

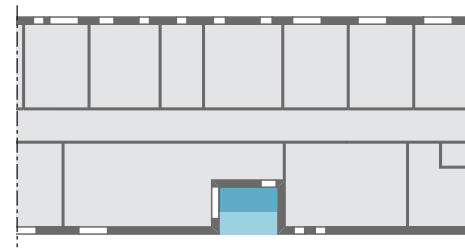
Sulanapidon vaikutus energiatehokkuuteen on moneen muuhun tekijään nähden erityisen merkittävä siksi, ettei siitä aiheutuvaa lämpökuormaa voida lainkaan hyödyntää itse rakennuksessa. Toisaalta tavanomaisessa energialaskennassa sulanapito ei näy lainkaan, koska E-lukulaskenta ei sitä huomioi. Vastaava tilanne on piharatkaisuiden osalta myös esimerkiksi ulkovalaistuksen ja vesikourujen sulanapidon kohdalla.

Sulanapitotarvetta voidaan vähentää huolehtimalla tarkoituksenmukaisten alueiden riittävästä kattamisesta ja pintavesien pois johtamisesta sekä sijoittelemalla sisäänkäynnit ja kulkuväylät tehokkaasti. Näin ollen arkkitehtisuunnittelulla voidaan vähentää sulanapitotarvetta tai jopa poistaa se kokonaan parantaen rakennuksen käytännön energiatehokkuutta. Mitä vähemmän sulana pidettäville alueille pääsee lunta tai jäätyvää vettä, sitä vähäisempi sulatusteho tai -aika riittää – parhaassa tapauksessa sulatusta ei tarvita lainkaan. Vastaavasti sisäänkäyntien teho-

kas sijoittelu vähentää katettavien tai muutoin sulana pidettävien ulkoalueiden määrää. Myös sulana pidettävien alueiden sijoittelu suhteessa ilmansuuntiin ja varjostavaan ympäristöön vaikuttaa tarvittavaan sulatustehon määrään: etelä-julkisivulle sijoitetun, aurinkoisen sisäänkäynnin edusta on huomattavasti pohjoisenpuoleista vastinetta vähemmän altis jäätymiselle.

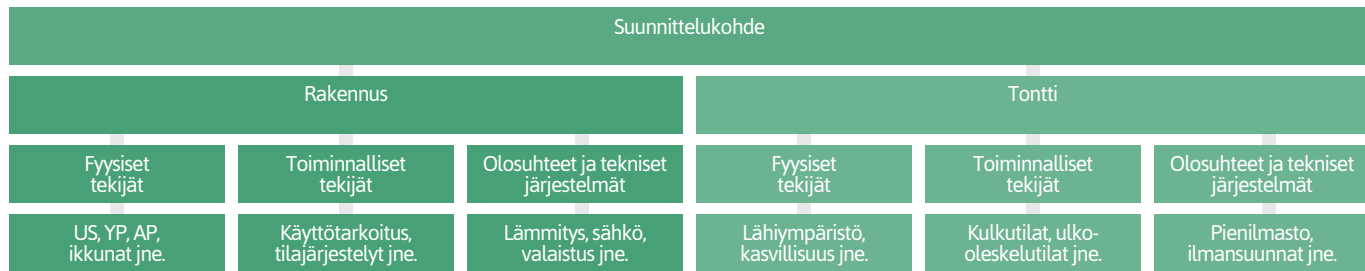
*Keskeisimmin liittyvät ohjekortit*

4.1.16. Ulko-ovien lukumäärä.....s. 57



**KUVA 4.4.4.c.** Sulanapidon alueet varianteissa 2 ja 3.

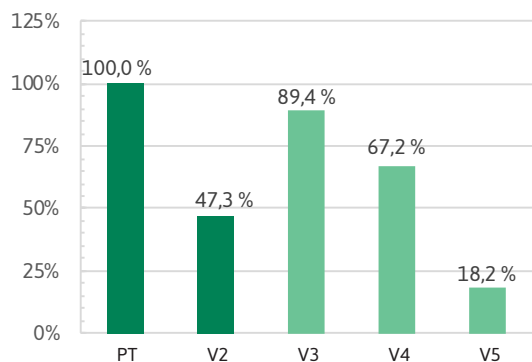
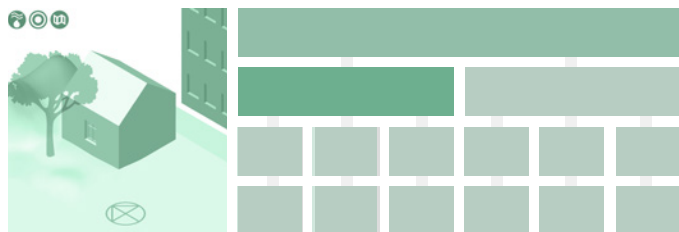
## 4.5. PARHAAT YHDISTELMÄT



Toimiva, energiatehokas rakennus on monimutkainen kokonaisuus, jota voidaan ja tuleekin lähestyä useista eri näkökulmista. Kuten edeltävistä ohjekortiston osista ilmenee, vaihtelee eri suunnitteluratkaisujen vaikuttavuus niin energiatehokkuuteen kuin muuhun arkkitehtoniseen laatuunkin erittäin merkittävästi.

Tässä osassa on tarkasteltu laajempien suunnitteluratkaisukokonaisuuksien vaikutuksia energiatehokkuuteen ohjekortiston aihealueisiin perustuvalla jaottelulla. Kuhunkin varianttiin muokatut ominaisuudet ja niiden arvot on valittu huomioiden realististen kokonaisuuksien muodostuminen ja tapausten vertailtavuus. Suunnittelukohteen hierarkiapuussa tarkastelu kattaa koko suunnittelukohteen, laadittujen varianttien muodostuessa rakennuksen ominaisuuksista ja tontin pysyessä muuttumattomana.

## 4.5. Kokonaisuus



**KUVA 4.5.a. Suunnitteluratkaisuyhdistelmien vaikutus ostoenergiankulutukseen, ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen.**

### Lähtötiedot

**Esimerkkikohte** Tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti/Peruskoulu

**Muuttuja(t)** Aihealueittaiset ominaisuusyhdistelmät

### Laskentatapaukset

**Perustapaus** Standardikäyttö ja lämpöhäviöiden taseuslaskennan vertailuarvot

**Variante 2** Fyysiset ominaisuudet, rakennusmassa

**Variante 3** Fyysiset ominaisuudet, vaippa

**Variante 4** Tilajärjestelyt ja käyttö

**Variante 5** Olosuhteet ja tekniset ratkaisut

### Simulaatiotulokset

**Laskentatapaus** Ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen

**Perustapaus** 100,0 %

**Variante 2** 47,3 %

**Variante 3** 89,4 %

**Variante 4** 67,2 %

**Variante 5** 18,2 %

### Varianttien muodostamisperiaatteet

Yhdistelmävarianttien kautta on tutkittu rakennuksen suunnittelun laajempien osa-alueiden (fyysiset ominaisuudet, tilajärjestelyt ja käyttö, olosuhteet ja tekniset ratkaisut) vaikutusta energiatehokkuuteen. Varianteissa muuttuvat useat eri ominaisuudet kerralla. Tarkastelussa vertailuvarianttien ominaisuuksille on valittu edeltävistä yksittäisistä simulointitapauksista parhaat realistiset arvoyhdistelmät aihealueittain.

**Perustapauksina** toimivat tehostetun palveluasumisen ryhmäkoti sekä peruskoulu, joiden ominaisuudet on kuvattu luvussa 3.4. Tarkastelumallit. Ostoenergiankulutuksen muutosta varianteissa tarkastellaan suhteessa kulloinkin käytettyyn perustapaukseen: **varianteissa 2–3 ja 5** ryhmäkoti, **variantissa 4** peruskoulu.

**Varianteiin 2** on valittu rakennetun ympäristön mittakaavatasolta parhaat realistiset rakennusmassan ominaisuudet, **varianttiin 3** rakennusvaipan parhaat realistiset ominaisuudet, **varianttiin 4** toiminnallisten tekijöiden parhaat realistiset ominaisuudet ja **varianttiin 5** rakennuksen teknisten ratkaisuiden ja olosuhdetekijöiden parhaat realistiset ominaisuudet. Varianteissa muokatut ominaisuudet, niiden arvot, sekä referensseinä käytetyt yksittäistarkastelut on listattu taulukossa 4.5.a. Taulukossa esittämättömät ominaisuudet on pidetty kulloinkin käytetyn perustapauksen mukaisina. Kokonaisuuden hahmotettavuuden vuoksi jotkin aihepiiriinsään keskeiset ominaisuudet on sisällytetty taulukkoon, vaikka niiden arvoja ei olisi muokattu perustapauksesta.

MUUTTUJA	ARVO	LIITTYVÄ OHJEKORTTI JA VARIANTTI
<b>Variantti 2</b>		
Lämmitetty nettoala	677 m <sup>2</sup>	4.1.1. Lämmitetty nettoala, PT
Rakennuksen massa	Tyypimalli L	4.1.3. Rakennusmassa, V5
Käyttötarkoitusluokka	Asuinkerrostalo	4.2.3. Rakennuksen käyttötarkoitus, V2
<b>Variantti 3</b>		
Pohjamuoto	Neliö	4.1.4. Pohjamuoto, V3
Vaipan U-arvot	A 1010/2017 mukaiset	4.1.6. Vaipan U-arvot, V3
Vaipan ilmavuotoluku (q <sub>50</sub> )	0,5	4.1.7. Vaipan tiiveys, V4
Viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssit	RakMK D5 parhaat taulukkoarvot	4.1.8. Vaipan viivamaiset kylmäsilat, V5
Vaipan ulkopintojen väri	Tumma	4.1.10. Vaipan ulkopintojen väri, V4
<b>Variantti 4</b>		
Pääkäytön käyttäjämäärä	900 hlö	4.2.4. Henkilötiheys, V4
Pääkäyttöaikataulu	8 h arkisin	4.2.5. Pääkäyttöaste, PT
Lisäkäyttöaste	300 hlö, 6 h ma–su	4.2.6. Lisäkäyttöaste, V3
Pääkäyttövöhykkeen pinta-ala	7 168 m <sup>2</sup>	4.2.7. Pääkäyttövöhyke, V2
Lisäkäyttövöhykkeen pinta-ala	900 m <sup>2</sup>	4.2.8. Lisäkäyttövöhyke, V5
Ilmanvaihdon ilmavirta	CO <sub>2</sub> -ohjaus	4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta, V3
<b>Variantti 5</b>		
Valaistuksen säätö, tavoitetaso ja teho	Päivänvalo-ohjaus 0–300 lux, huonetyypeittäinen	4.3.1. Päivänvalo-ohjaus, V3 ja V4
Lämmitysmuoto	Maalämpö	4.3.4. Lämmitysmuoto, V2
Jäähdytyksen lämpötilaraja	25 °C	4.3.6. Jäähdytyslämpötila, V2
Lämpimän käyttöveden kulutus	548 l/m <sup>2</sup> /a	4.3.7. Lämpimän käyttöveden kulutus, V2
Ilmanvaihdon ilmavirta	CO <sub>2</sub> -ohjaus	4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta, V3
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	85 %	4.3.10. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto, V4
Ilmanvaihdon SFP-luku	1,0 kW/(m <sup>3</sup> /s)	4.3.11. Ilmanvaihdon SFP-luku, V4

#### *Energiatohokkuudellinen merkitys kokonaisuudessa*

Ostoenergiankulutuksen jakautuminen perustapauksissa ja varianteissa on esitetty kuvissa 4.5.b–c. Perustapausten ostoenergiankulutuksissa suurin yksittäinen osaluokka on ilmanvaihdon lämmitys sekä ryhmäkodissa että peruskoulussa. Erityisesti standardikäytön mukainen ilmavirta vaikuttaa merkittävästi energiankulutukseen (vrt. variantti 2 sekä CO<sub>2</sub>-ohjausta käyttävät variantit 4 ja 5).

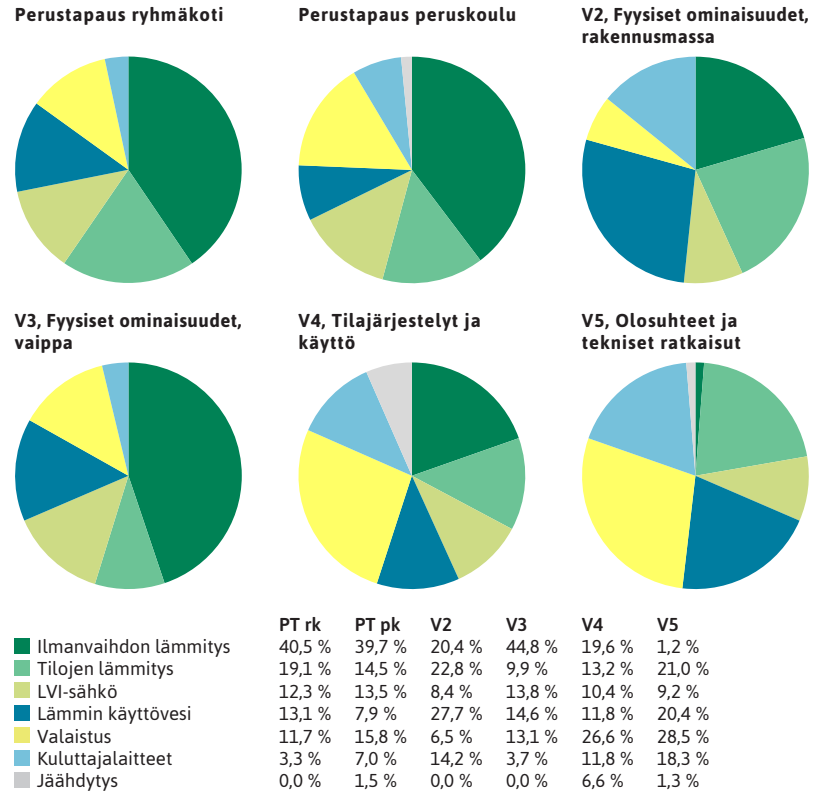
Variantissa 2 rakennusmassatason ominaisuuksia muokattaessa energiankulutus väheni perustapauksesta alle puoleen (47,3 %). Suurin osa erosta selittyy rakennuksen vaihtuneella käyttötarkoituksella, jossa standardikäytön mukaiset arvot määrittelevät esimerkiksi vakioilmavirran suuruuden – ilmavirta on asuinrakennuksilla huomattavasti ryhmäkoteja eli majoitusliikerakennuksia pienempi (RakMK D3 2012, s. 18). Tämän myötä variantissa ilmanvaihdon lämmitykseen kulunut energia puolittui perustapauksesta.

Variantissa 3 energiatohokkaat vaipparatkaisut pudottavat ostoenergiankulutusta perustapauksesta noin kymmenyksellä. Variantin energiankulutuksesta selkeästi suurimman yksittäisen osaluokan muodostaa ilmanvaihdon lämmitys. Kun vaipan ominaisuudet paranevat, pienenee vastaavasti tilojen lämmitysenergian tarve. Samalla ilmanvaihdon osuus kokonaisuudessa kasvaa, kun ilmanvaihdon ilmavirta

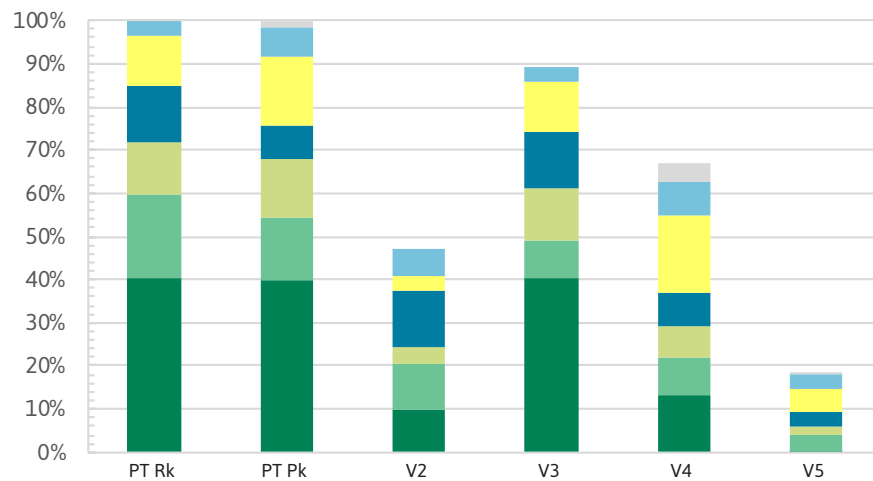
**TAULUKKO 4.5.a. Yhdistelmävarianteissa käytetyt muuttajat, niiden arvot sekä kuhunkin muuttajaan liittyvä itsenäinen ohjekortti ja variantti.**



**KUVA 4.5.b. Ostoenergiankulutuksen jakautuminen laskentatapauksissa.** Varianttien kokonaisostoenergiankulutus vaihtelee, joten on huomattava, että sektorit ovat kuvaajien välillä vertailtavissa vain eri osa-alueiden suhteina, eivät absoluuttisina energiamäärinä.



**KUVA 4.5.c. Ostoenergiankulutuksen jakautuminen laskentatapauksissa.** Varianttien 2–5 palkkien korkeudet on suhteutettu perustapauksiensa energiankulutuksiin.



ja tavoitelämpötila pysyvät muuttumattomina. Huomattavaa on myös, että LVI:n sähkönkulutus on tässä variantissa jo suurempi kuin tilojen lämmitys. Lukemassa ovat mukana muun muassa lämmitysjärjestelmän ja käyttöveden laitteet, joiden osuus on kuitenkin verraten pieni.

Variantissa 4 saavutetaan toiminnallisten ratkaisujen muutoksilla noin kolmanneksen vähennys ostoenergiankulutukseen. Jäljelle jäävässä energiankulutuksessa valaistuksen osuus on perustapauksen ratkaisut säilyttäen suurin yksittäinen tekijä, 26,6 % kokonaisuudesta. Lisääntyvän käyttöajan myötä valaistukseen kuluva energia nousi 13,2 % perustapauksesta. Huomattavaa on, että pääkäytön aikaisen henkilömäärän pudottaminen standardikäytön mukaisesta 1 433:sta suunnitelman mukaiseen 900 henkilöön johtaa lisäkäytön kanssa vain kuudenneksen pudotukseen vuotuisissa käyttötunneissa. Näin ollen energiankulutus henkilökäyttötuntia kohden ei laske yhtä paljon kuin ostoenergiankulutus, joskin muutos on edelleen energiatehokkuuden kannalta eduksi.

Variantissa 5 suurimmat yksittäiset pudotukset ostoenergiankulutukseen syntyvät ilmanvaihdon CO<sub>2</sub>-ohjauksesta ja maalämmön käyttämisestä, jotka tiputtavat ilmanvaihdon lämmityksen energiankulutuksen lähes olemattomiin. Lisäksi maalämmön myötä lämpimän käyttöveden energiankulutus putoaa vajaan kolmanneksen (28,4 %) perustapauksesta. Variantista suoritettiin myös vertaileva simulaatio käyttäen sähkölämmitystä. Tällöin kokonaisostoenergiankulutus oli esitettyyn nähden noin kaksinkertainen, 33,6 % perustapauksesta. Variantissa 5 merkittäväksi energiankulutuksen osa-alueeksi jää valaistus. Päivänvalo-ohjauksen myötä senkin absoluuttinen energiankulutus kuitenkin vähenee alle puoleen (44,5 %) perustapauksesta.

#### *Huomioita suunnitteluun*

Energiatehokkuus muodostuu useista osa-alueista, ja vain harvalla yksittäisellä tekijällä sinällään on suurta vaikutusta. Suurin osa rakennuksen ostoenergiankulutuksesta syntyy Suomessa tavallisesti lämmityksestä (ks. esimerkkinä kuva 4.5.b). Vastaavasti energiatehokkuudellisesti erityisen merkittävää on ilmanvaihdon ilmamäärän tarkoituksenmukaisuus, jolla on suora vaikutus niin lämmitys- kuin toisaalta jäähdytystarpeeseenkin. Yhdistelmävarianttien perusteella, ja kuten jo edeltävissä ohjekorteissa osaltaan ilmeni, suurin potentiaali energiatehokkuuden parantamiselle onkin rakennuksen todellisen käytön mukaan suunnitelluissa ja siihen mukautuvissa teknisissä ratkaisuissa (ks. kuva 4.5.c), erityisesti ilmanvaihdon osalta. Teknisten ja toiminnallisten ratkaisujen suunnitteleminen yhdessä myös varmistaa rakennuksen kokonaisvaltaisen tarkoituksenmukaisuuden.

Tekijöiden vaikutuksia tarkasteltaessa huomioitavaa on, että kukin energiatehokkuuden vuoksi tehtävä ratkaisu vaikuttaa usein myös seuraavien valintojen mielekkäisiin vaihtoehtoihin. Esimerkiksi valaistuksen osuus on tarkastelluissa perustapauksissa pienehkö, mutta varianteissa 4 ja 5 jo yli neljännes kokonaisostoenergiankulutuksesta (ks. kuva 4.5.b). Näin ollen pyrittäessä parantamaan energiatehokkuutta näistä varianteista edelleen olisi harkittava uudelleen, minkä osa-alueen kautta tämä tehdään.

Käytännön suunnittelukohteessa keskeistä on myös energiatehokkuuteen vaikuttavan suunnitteluratkaisun kustannustehokkuus. Esimerkiksi käytön mukaan säätyvä ilmanvaihtojärjestelmä saattaa olla huomattavasti edullisempi kuin vastaavan ostoenergiankulutuksen laskun aikaan saava vaipan U-arvojen parantaminen. Vastaavasti vaikka valaistuksen energiatehokkuuden vaikutus kokonaisuudessa olisi pieni, saattisi myös energiatehokkaan ratkaisun kustannusvaikutus olla riittävän pieni, jotta se kannattaisi edelleen valita. Lisäksi on monen tekijän kohdalla huomioitava mahdollinen omavaraisenergiantuotanto.

Yksittäisten muuttujien tarkastelun ohessa samoilla kohteilla suoritettuna yhdistelmävertailut korostavat sitä, miten hankalaa energiatehokkuuteen vaikuttavien tekijöiden arvioiminen ilman näitä yksittäistarkasteluita on. Jo tämän kohdan aihealueittain muodostetuissa varianteissa yksittäisen tekijän vaikutus ostoenergiankulutukseen alkaa hämärtyä – yhdisteltäessä tekijöitä vapaasti koko valikoi-  
masta olisi yksittäisten suunnitteluratkaisujen vaikutusten luotettava määrittely vielä huomattavasti vaikeampaa. Käytännön suunnittelussa kyse kuitenkin on usein juurikin kohteeseen luontevilta vaikuttavien ratkaisujen poimintaa laajasta paletista. Painotettiin suunnittelussa sitten energiatehokkuutta, ekologisuutta, elämyksellisyyttä tai taloudellisuutta korostuu onnistuneen lopputuloksen aikaan saamisessa kokonaisuuden hallinta. Tällöin on oleellista olla valmiina riittävä tieto siitä, minkä ratkaisujen voidaan odottaa vaikuttavan lopputulokseen missäkin määrin, jotta merkittävät valinnat voidaan tehdä riittävän aikaisessa vaiheessa, mahdolliset vaadittavat kompromissit huomioiden.



# 5. YHTEENVETO



Suoritetuissa laskentatarkasteluissa ja niiden analyysissa korostuu ennen kaikkea kokonaisvaltaisen suunnittelun tärkeys energiatehokasta ja toimivaa rakennusta tavoiteltaessa. Yksittäisillä suunnitteluratkaisuilla saavutetaan vain harvoin valtavaa pudotusta energiankulutukseen. Silloinkin kun tämä olisi mahdollista, voitaisiin tilannetta parantaa entisestään huomioimalla myös muita liittyviä näkökulmia. Eräänä esimerkkinä voidaan pitää tarpeenmukaista, mukautuvaa ilmanvaihtoa: Ratkaisu itsessään vähentää ostoenergiankulutusta huomattavasti jopa tilakoh- taiseen mitoitukseen verrattuna, mutta tämän lisäksi se mahdollistaa tilankäytön joustavuuden myötä huomattavia parannuksia käyttötehokkuuteen.

Tähän lukuun on ensiksi nostettu poimintoja sellaisista tekijöistä, jotka tarkaste- luissa osoittautuivat erityisen merkittäviksi joko energiatehokkuuden tai arkkiteh- tonisen laadun kannalta. Poiminnat on rajattu kolmeen kummassakin kategoriassa ja tehty vain sellaisista tekijöistä, joihin tietyn kohteen suunnittelulla voidaan vai- kuttaa. Näin ollen mukana ei ole esimerkiksi sijaintipaikkakuntaa tai rakennuksen käyttötarkoitusta. Merkittävyyden arviointi on lisäksi rajattu realistisiin varianttei- hin, eli puhtaasti teoreettisia tapauksia ei ole otettu huomioon. Variantteihin vali- tujen muuttujien arvojen poikkeavuutta perustapauksesta ei ole suhteutettu eri tarkasteluiden välillä. Näin ollen myöskään oheisia poimintoja ei ole tehty suoraan numeeristen tulosten perusteella – valinnoissa on otettu huomioon niin merkittä- vyyss kokonaisuudessa kuin toteutuksen haastavuuskin. Osa poimituista tekijöistä saattaisi sopia myös toiseen oheisista kategorioista, vaikka kukin on valittu vain yhteen. Poimintojen jälkeen luvussa arvioidaan tutkimuksen sovellettavuutta ja rajoitteita sekä avataan esiin nousseita jatkotutkimusaiheita.

## 5.1. ENERGIATEHOKKUUDEN KANNALTA MERKITTÄVIMMÄT RATKAISUT

Yksittäisten rakenteellisten ja massoitteellisten ratkaisujen vaikutus energian- kulutukseen oli tässä tutkimuksessa kauttaaltaan varsin matala verrattuna talo- tekniisiin valintoihin sekä käytön suunnitteluun. Arkkitehtuurin keinoista merkit- tävin energiatehokkuudellinen vaikutuspotentiaali on juurikin käyttöä vastaa- valla tilasuunnittelulla yhdessä tarkoituksenmukaisen talotekniikan kanssa, millä mahdollistetaan rakennuksen mahdollisimman tehokas hyödyntäminen ja täten pieni energiankulutus saatuun hyötyyn nähden. Näillä, etenkin käytöllä, oli myös tarkastelluista tekijöistä merkittävin vaikutus yleiseen arkkitehtoniseen laatuun.

### 5.1.1. KÄYTÖN HUOMIOIMINEN

Niin rakennuksen käyttöasteeseen kuin vyöhykkeistämiseenkin liittyvät tekijät oli- vat tarkasteluissa kauttaaltaan energiatehokkuuden kannalta hyvin merkittäviä. Tarkasteluiden ohessa korostui toisaalta myös se, että parhaan lopputuloksen saa- vuttamiseksi huolellinen käytön suunnittelu tulee aina yhdistää käyttöä vastaaviin ja siihen mukautuviin tekniisiin järjestelmiin (ks. esim. 4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta).

Käytön tehostamisen energiatehokkuudellinen kannattavuus perustuu suotuisampaan rakennuksesta saatavan hyödyn ja energiankulutuksen suhteeseen, oli kyse sitten käyttöasteen kasvattamisesta tai käytössä olevien alueiden vyöhykkeistämisestä. Näin ollen vaikutuksen laskennallinen havaitseminen vaatii vakiintuneesta pinta-alapohjaisesta laskentatavasta poikkeamista, koska käytön lisääntyessä absoluuttinen energiankulutus kasvaa, vaikka henkilökäyttötuntia kohden energiaa kuluukin vähemmän (ks. esim. 4.2.5. Pääkäyttöaste). Periaatteellisesti käyttövyöhykkeiden hyödyntäminen voidaan rinnastaa rakennuksen koon optimointiin (ks. 4.1.1. Lämmitetty nettoala): Mitä vähemmän pinta-alaa tiettyyn toimintaan käytetään, sitä vähemmän energiaa kokonaisuudessaan kuluu, mutta sitä suurempi energiankulutus on neliometriä kohden. Vaikka vakiintunut energiatehokkuuden laskentatapa suosii pinta-alapohjaisuutensa myötä suuria rakennuksia, on käytännön energiatehokkuuden kannalta ehdottoman keskeistä kiinnittää huomiota myös rakennuksen tehokkaaseen mitoitukseen.

Toteutuakseen käytännössä sekä käyttöasteen nostaminen että vyöhykkeistämisen hyödyntäminen edellyttävät sellaisen suunnitelman laatimista, joka on niin tilojensa kuin tekniikkansakin puolesta joustava. Näin ollen eri vaihtoehtojen avarakatseinen ja kokonaisvaltainen huomioiminen on keskeisessä roolissa rakennushankkeen alusta alkaen.

### 5.1.2. ILMANVAIHTO

Ilmanvaihtoon liittyvät tekijät yleisesti osoittautuivat tutkimuksessa erittäin keskeisiksi energiatehokkuuden kannalta. Merkittävä vaikutus oli niin ilmanvaihdon ilmavirralla, SFP-luvulla, lämmöntalteenotolla kuin mahdollisella painovoimaisen ilmanvaihdon käytölläkin (ks. kortit 4.3.8, 4.3.11, 4.3.10 ja 4.3.9).

Ilmanvaihdon ilmavirran, kuten painovoimaisen ilmanvaihdonkin, energiatehokkuusvaikutus perustuu ensisijaisesti lämmitysenergiankulutuksen pienemiseen vaihtuvan ilmamäärän vähentyessä. Painovoimaisessa ilmavaihdossa säädetään myös ilmanvaihtolaitteiden energiankulutus, mutta samalla menetetään lämmöntalteenoton hyöty. Toisaalta tämä hyöty on myös sitä pienempi, mitä vähemmän ilmaa vaihdetaan. Koneellisissa ratkaisuissa ilmamäärää voidaan säädellä seuraavin tavoin: rakennustyyppikohtainen vakioilmavirta, tilatyyppikohtainen vakioilmavirta, rakennus- tai tilatyyppikohtainen aikataulutettu ilmavirta, tai tarpeenmukaisesti säätyvä ilmavirta (esimerkiksi hiilidioksidiohjauksella). Saavutettavat energiatehokkuushyödyt ovat sitä suuremmat, mitä paremmin talotekniikan toiminta sovitetaan rakennuksen todelliseen käyttöön.

### 5.1.3. LÄMMITYS

Kaikkien lämmitykseen liittyvien tekijöiden energiatehokkuusvaikutus kytkeytyy tavoiteltuun sisälämpötilaan (ks. 4.3.5. Sisälämpötila), sillä Suomen olosuhteissa valtaosa energiankulutuksesta syntyy tavallisesti lämmitystarpeesta erityisen energiatehokkaillakin rakenteilla. Käytännössä siihen, paljonko energiaa tavoit-

elämpötilan ylläpitämiseen tarvitaan, vaikuttavat muun muassa ilmasto (ks. 4.4.1. Sijaintipaikkakunta), ilmanvaihdon ilmamäärä (ks. 4.3.8. Ilmanvaihdon ilmavirta), rakennuksen rakenteelliset ominaisuudet (ks. esim. 4.1.6. Vaipan U-arvot) ja lämmitysmuoto (ks. 4.3.4. Lämmitysmuoto). Etenkin maan eteläosissa lämmitystarve voidaan saada hyvinkin alhaiseksi panostamalla edeltäviin ominaisuuksiin.

Sisälämpötilan energiatehokas säätely on myös kiinteästi kytköksissä rakennuksen käytön suunnitteluun: tavoiteolosuhteiltaan samanlaisten tilojen tulee sijoittua mahdollisuuksien mukaan rinnakkain (ks. 4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet), lämpötilaa on kyettävä säätelemään tilakohtaisesti ja tilojen käyttö on voitava ajoittaa siten, että lämmitysajat voidaan optimoida. Aiheellista on myös harkita sijainti rakennusmassassa kokonaisuudessaan, huomioiden lämmön johtuminen viereisiin tiloihin, tilojen sijainti suhteessa vaippaan ja auringonsäteilyn saanti (ks. esim. 4.1.11. Ikkunoiden suuntaus). Lämpöolosuhteet rakennuksessa eivät siis perustu ainoastaan talotekniikkasuunnittelijoiden, vaan ensisijaisesti arkkitehtien tekemiin suunnitteluratkaisuihin ja näiden antamiin lähtökohtiin.

## 5.2. ARKKITEHTONISEN LAADUN KANNALTA MERKITTÄVIMMÄT RATKAISUT

Arkkitehtonisella laadulla tarkoitetaan tässä yhteydessä luvun 3.6.4. Arkkitehtoninen laatu mukaisesti rakennuksen käytettävyyttä, viihtyisyyttä sekä teknistä toiminnallisuutta ja ympäristöystävällisyyttä. Poiminat perustuvat ohjekorteilla esitettyjen merkittävyyksien tavoin tutkimushankkeen työpajoissa ja tutkimusosapuolten haastatteluista muodostettuihin näkemyksiin.

### 5.2.1. KÄYTTÄJIEN LUKUMÄÄRÄ

Rakennusta ja edelleen sen eri tiloja käyttävien henkilöiden määrä on keskeinen lähtökohta arkkitehtisuunnittelussa. Mitä suurempaa käyttäjämäärää suhteessa tilojen kokoon (ks. 4.2.4. Henkilötiheys) tavoitellaan, sitä huolellisemmin tilojen käyttö on suunniteltava. Väljyys ja ahtaus eivät ole suoraan kiinni päivittäisestä käyttäjämäärästä, vaan riippuvat muun muassa käyttöaikatauluista, tilasommitelmista ja kulkuyhteyksistä. Henkilötiheyden kasvattaminen kompaktin mitoituksen kautta asettaa myös haasteita rakennuksen joustavuudelle ja täten pitkän tähtäimen toiminnalliselle kestävyydelle. Äärimmäisen kompakti ja käyttöspesifi mitoitus on lähtökohtaisesti vähemmän joustavaa, ellei tilarajauksia voida muokata. Eri käyttötarkoitukset vaativat eri määrän tilaa jo kalustuksenkin puolesta, minkä lisäksi avaruudella muutoin on ilmeinen vaikutuksensa niin käytännön toimivuuteen kuin viihtyisyyteenkin, jälleen myös toiminnasta riippuen. Huomattavaa on, että vastaavat suunnitteluseikat muodostuvat eri näkökulmista keskeisiksi myös rakennuksen kokoon ja vyöhykkeistämiseen liittyvissä valinnoissa (ks. 4.1.1. Lämmitetty nettoala, 4.2.7. Pääkäyttö vyöhyke ja 4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke).



Kohtuullisella käyttäjämäärän muutoksella henkilötiheyden vaikutus ostoenergiankulutukseen on varsin hillitty. Väkimäärän lisääntyessä lämmitystä vaaditaan vähemmän kun taas jäähdytystä ja esimerkiksi käyttövettä enemmän. Kun puolestaan tarkastellaan käyttötehokkuutta eli ostoenergiankulutusta henkilökäyttötuntia kohden, on vaikutus huomattavasti suurempi.

### 5.2.2. VYÖHYKKEET

Rakennuksen vyöhykkeistäminen vaikuttaa ensisijaisesti arkkitehtisuunnittelulle asetettaviin vaatimuksiin laadukkaan lopputuloksen aikaan saamiseksi. Tämän myötä vaikutukset ulottuvat edelleen varsinaiseen arkkitehtoniseen laatuun: oikealla tapaa rajattavissa olevat tilat ja toiminnot parantavat kunkin tilan käytettävyyttä sekä rakennuksen kokonaisvaltaista käytön joustavuutta eri aikaväleillä ja täten niin viihtyisyyttä, toimivuutta kuin kestävyyttäkin. Olosuhdevaatimusten kuten lämpötilan mukaan muodostetut vyöhykkeet puolestaan edesauttavat rakennuksen teknistä toimivuutta ja kestävyyttä sekä vaikuttavat tilojen sommitteluun.

Tilallisen toimivuuden lisäksi vyöhykkeiden täysipainoinen hyödyntäminen edellyttää myös teknisten järjestelmien tarkoituksenmukaista suunnittelua, niin toimivuuden kuin energiatehokkuudenkin kannalta. Onnistuneesti suunniteltuna vyöhykkeistäminen mahdollistaa muun muassa lämmityksen ja jäähdytyksen tilakohtaisen tarkoituksenmukaisuuden (ks. 4.2.9. Lämpötilavyöhykkeet), olosuhteiden säätelyn todellisen käytössä olevien tilojen määrän mukaan (ks. 4.2.7. Pääkäyttövyöhyke) sekä rakennuksen tehokkaan, pääkäyttöajan ulkopuolisen osittaiskäytön (ks. 4.2.8. Lisäkäyttövyöhyke).

### 5.2.3. IKKUNAT

Ikkunasuunnittelu vaikuttaa erittäin oleellisesti muun muassa näkymiin ja maisemiin, yksityisyyteen, yleiseen tilavuuden ja avaruuden tuntuun sekä luonnonvalon määrään, jotka kaikki ovat keskeisiä arkkitehtonisia laatutekijöitä. Arkkitehtonisen laadun kannalta tämän tutkimuksen tarkastelluista tekijöistä tärkeimpinä voidaan pitää ikkunoiden suuntausta ja pinta-alaa (ks. vastaavat ohjekortit 4.1.12 ja 4.1.13), mutta myös lasin ominaisuuksilla (ks. 4.1.14. Ikkunoiden g-arvo) ja varjostavilla elementeillä (ks. 4.1.15. Ikkunoiden varjostus) on merkittävä vaikutus.

Ikkunapinta-alan vaikutus ostoenergiankulutukseen oli laskentatarkasteluissa huomattavasti odotettua vähäisempi siitä huolimatta, että perustapauksessa käytetty ikkunoiden U-arvo  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  on melko korkea. Kehittyvillä materiaaleilla ja rakenteilla vaikutuksen voidaan olettaa kutistuvan entisestään. Ikkunoiden suuntaus vaikutti niin ikään ostoenergiankulutukseen huomattavasti odotettua vähemmän varianttien varsin kärjistetyistä aukotusratkaisuista huolimatta. Näin ollen ei siis ole energiatehokkuudellista syytä tehdä kompromisseja rakennuksen viihtyisyyteen ja käytettävyyteen ikkuna-aukotusta minimoimalla tai perustamalla sen suuntaus yksinomaan auringon lämmön ja valon saantiin. Molemmat edeltävät havainnot ovat erittäin merkittäviä huomioiden, että ympäristötavoitteista huolimatta rakennukset tulisi ensisijaisesti rakentaa käyttäjälähtöisesti.

### 5.3. TULOSTEN SOVELLETTAVUUS

Yleisluontoisten tulosten ja havaintojen muodostamiseen vaikuttaa keskeisesti valittu lähdeaineisto, mukaan lukien aineiston rajausta ja rajallisuus. Tässä kappaleessa arvioidaan tutkimuksen tulosten sovellettavuutta ja toisaalta rajoitteita muun muassa tutkimusmenetelmään liittyvien valintojen puitteissa.

Tutkimuksen tätä julkaisua varten suoritettujen energiasimulaatioiden on tehty pääosin kukin yhdellä rakennustyyppillä: peruskoululla tai ikääntyneiden tehostetun palveluasumisen ryhmäkodilla. Näillä kullakin on muun muassa omat käyttöaikataulunsa, lämpö- ja laitekuormansa. Lähtökohtaisesti useimmat tarkastellut ominaisuudet eivät ole rakennustyyppiin riippuvaisia, vaan havainnot pätevät myös muilla käyttötarkoituksilla ja massallisilla ratkaisulla, vaikka täsmälliset lukemat muuttuisivatkin. Muun muassa erilaiset sisäolosuhdevaatimukset saattaisivat kuitenkin vaikuttaa esimerkiksi siihen, millaiset rakenne- ja tekniikkaratkaisut esiintyisivät energiatehokkaimpina. Lisäksi jotkin teoreettisiksi nimetyt variantit voisivat eri rakennustyyppissä ollakin realistisia ja päinvastoin. Tapauksissa, joissa rakennustyyppillä on katsottu olevan erityisen merkittävä vaikutus saatuihin tuloksiin, on asia nostettu esiin tuloksia käsiteltäessä.

Rakennustyyppiin lisäksi laskennassa käytetyt vakioidut ympäristön ja rakenteiden ominaisuudet vaikuttavat väistämättä jossakin määrin saatuihin tuloksiin. Esimerkiksi rakennusvaipan U-arvot vaikuttavat sen eri osien pinta-alan merkittävyyteen ja rakennuksen korkeus nurkkien lukumäärän merkittävyyteen. Rakennuksen geometrialla yleisesti on vaikutusta tuloksiin. Sijaintipaikkakuntatarkastelua lukuun ottamatta simulaatiot suoritettiin ainoastaan Helsingin ilmastossa. Pohjoisemman sijainnin kylmemmät lämpötilat ja erilaiset aurinkokulmat antaisivat erilaisia, joskin mahdollisesti samansuuntaisia, tuloksia esimerkiksi ikkuna-aukotuksen suhteen. Kuten rakennustyyppiin vaikutuksenkin suhteen, laskentatulosten tulkinnassa on myös arvioitu vakioitujen ominaisuuksien mahdollisia vaikutuksia tuloksiin. Lisäksi paikoittain on suoritettu täydentäviä simulaatiotarkasteluita näiden vaikutusten tai niiden puutteen havaitsemiseksi.

Yleisesti ottaen kunkin ominaisuuden vaikuttavuus on väistämättä sidoksissa laskennassa vakioitujen muiden ominaisuuksien arvoihin, ja tarkoin harkitutkin tarkastelukohteet ovat väistämättä yksittäistapauksia. Näin ollen esitettyjä, keskenään vertailukelpoisia tuloksia tulee tarkastella absoluuttisten lukemien sijaan suuruusluokkaa kuvaavina. Tässä roolissa tulokset ovat vastaavasti sujuvasti sovellettavissa projektin eri vaiheissa alustavasta suunnittelusta lähtien. Koska ohjekortiston sisällön ymmärtäminen ei selventävän tekstisisällön myötä myöskään edellytä energia-alan tai esimerkiksi arkkitehtuurin erityisasiantuntemusta, voidaan sitä hyödyntää havainnollistavana välineenä eri osapuolten välisissä keskusteluissa.

## 5.4. JATKOTUTKIMUSAIHEITA

Tutkimuksen aikana nousi esiin lukuisia teemoja, joiden laajempi tai syvällisempi tarkastelu olisi mielenkiintoista ja aiheellista, mutta tämän hankkeen rajauksen ulkopuolella. Tässä luvussa esitetään lyhyt katsaus näistä jatkotutkimusaiheista.

Tulosten laajan yleistettävyyden todentamiseksi olisi perusteltua suorittaa tarkastelluilla tekijöillä lisäsimulaatioita esimerkiksi käyttötarkoitukseltaan, sijainniltaan ja muodoltaan erilaisilla rakennuksilla. Erityisesti tarkastelun laajentaminen tavallisiin asuinkerrostaloihin olisi aiheellista sovellettavuuden varmistamiseksi – asuinkerrostalojen osuus Suomen rakennuskannasta on huomattavasti palvelurakennuksia suurempi, ja ne ovat yhtä lailla tulossa lähes nollaenergiavaatimusten piiriin. Maantieteellinen sijainti puolestaan vaikuttaa ostoenergiankulutuksen lähtökohtaiseen jakautumiseen rakennuksessa, esimerkiksi erilaisten lämmitys- ja jäähdytystarpeiden sekä luonnonvalon saannin kautta muuttaen täten eri tekijöiden suhteellista merkittävyyttä. Vastaava vaikutus on myös muun muassa perustapauksen rakenteilla ja teknisillä ratkaisuilla. Näin ollen jatkotarkasteluita olisi mielekästä suorittaa myös esimerkiksi tämän julkaisun 4.5. Parhaat yhdistelmät-luvun variantteja perustapauksina käyttäen.

Kohdennettaessa jatkotutkimusta täsmällisemmin erityisen oleellista olisi tarkastella aiemmin tässä luvussa merkittäviksi nimettyjä aihealueita: käytön huomioimista, ilmanvaihtoa, lämmitystä, käyttäjien lukumäärää, vyöhykkeitä ja ikkunoita.. Hienojakoisempien teemoittaisten varianttien ja välittömien suunnitteluvaikutusten lisäksi tulisi tarkastella arkkitehtonisesti ja energiatehokkuudellisesti merkittävien ominaisuuksien yhteisvaikutuksia. Yhtenä esimerkkinä voitaisiin tarkastella sitä, miten erilaiset vyöhykkeistämisen periaatteet vaikuttavat tilojen sommiteluun kokonaisuudessa sekä käytännön talotekniikan ja rakenteiden suunnitteluun.

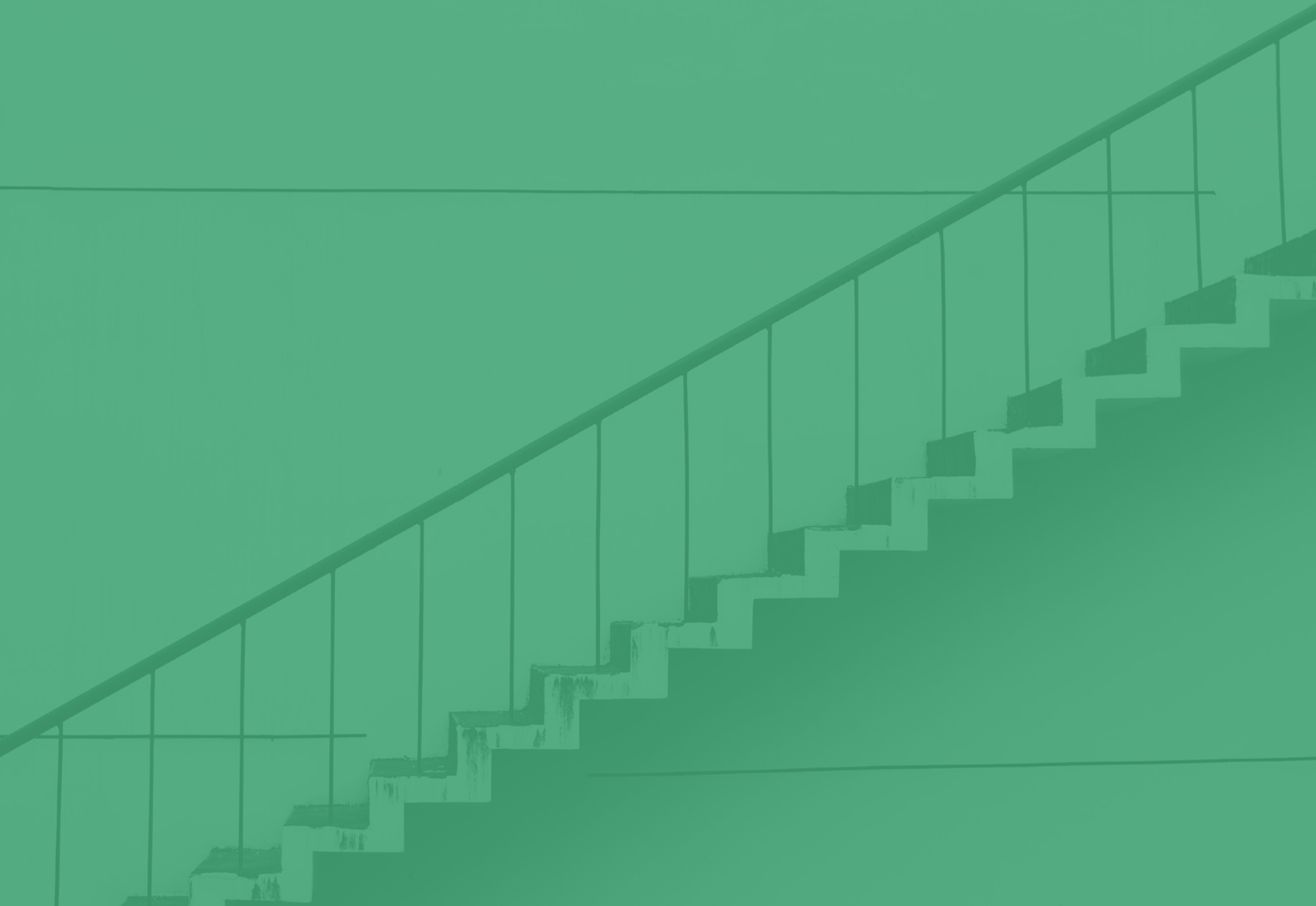
Jo tässä tutkimuksessa laadittuun kortistoon sisällytettyjen tekijöiden syvemmän tarkastelun lisäksi selkeä jatkotutkimuksen kohde olisivat suunnittelukohteeseen kuuluvat, rakennuksen ulkopuoliset ratkaisut. Näihin voitaisiin sisällyttää jo tutkimuksessa mukana olleiden sulanapidon ja kasvillisuuden tarkemman käsittelyn lisäksi muun muassa valaistus ja maastonmuodot sekä laajemmat rakennuskokonaisuudet. Nämä valinnat ovat yksittäisen kohteen suunnittelun lisäksi keskeisiä kaavoituksessa, joka niin ikään kuuluu arkkitehdin tehtäviin. Luvussa 3.2.1. Hierarkiapuu kuvastuu tarkastelu voitaisiin toteuttaa samalla tavoin kuin tässä julkaisussa rakennuksen osalta.

Uusien tekijöiden ja niiden yhdistelmien tutkimisen lisäksi aiheellista olisi ottaa mukaan myös tässä julkaisussa sivuutettuja tai vain osittain käytettyjä arviointitapoja ja indikaattoreita. Energiatehokkuudesta voitaisiin edetä kokonaisvaltaisempaan ekologiseen näkökulmaan ottamalla mukaan arviointiin ainakin materiaali- ja resurssitehokkuus sekä emissio- ja hiilijalanjälkitarkastelut. Käytön tehostamisen kannalta voitaisiin tarkastella myös tilatehokkuutta ( $m^2/hlö$ ) tässä julkaisussa esitetyn käyttötehokkuusluvun rinnalla. Huomion arvoista kyseisessä vertailussa olisi esimerkiksi se, miten henkilöä kohden varatun neliömäärän karsiminen vaikuttaa mahdollisesti vähenevän joustavuuden kautta käyttötehokkuuteen. Käytännön

toteutusten kannalta kaikkien suunnitteluratkaisujen osalta olisi eduksi suorittaa suuntaa antavia kustannusvaikutusten tarkasteluita, jotta käytettävissä olevat resurssit voitaisiin helpommin kohdentaa tarkoituksenmukaisesti.

Energiatehokkuuteen liittyvä lainsäädäntö ja siten aihe tutkimuskenttänä ovat jatkuvassa muutoksessa. Näin ollen uusia tutkimusaiheita ja -näkökulmia myös nousee esiin jatkuvasti. Tämän tutkimuksen tavoitteenasettelu perustui aloitusajankohdan tilanteeseen, minkä jälkeen aiheen käsittelyä on kuitenkin hankkeen edetessä ohjattu ja syvennetty. Vastaavasti jatkotutkimuksessa on keskeistä varmistaa tutkimusprosessin mukautuvuus erityisesti pitkää hankekokonaisuutta suunniteltaessa. Reagoiminen ajantasaiseen tietoon, niin itse tuotettuun kuin ulkopuolelta saatuunkin, mahdollisti tämän tutkimuksen ajantasaisen lopputuloksen ja on keskeinen edellytys myös mahdollisissa tulevilla hankkeilla.

# 6. LÄHTEET



## 6.1. KIRJALLISUUSLÄHTEET

**A 1/14.** Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/{5B200F3E-0AC1-4018-8F07-D84CD79B0CF6}/134381>.

**A 5/13.** Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/{5B200F3E-0AC1-4018-8F07-D84CD79B0CF6}/134381>.

**A 176/2013.** Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130176>.

**A 1010/2017.** Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (Luonnos 16.2.2017). Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/{4C0E513E-7596-473A-BE75-04DA10181A23}/125734>.

**A 1009/2017.** Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>.

**Bionova Oy. 2017.** Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Viitattu 6.11.2018. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Vahahiilinen\\_rakentaminen/Tiekartta\\_rakennuksen\\_elinkaaren\\_hiilijalanjaljen\\_huomioimiseksi](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Tiekartta_rakennuksen_elinkaaren_hiilijalanjaljen_huomioimiseksi).

**Direktiivi 2010/31/EU.** Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta (uudelleenlaadittu). Euroopan unionin virallinen lehti 18.6.2010. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:fi:PDF>.

**Euroopan komissio. 2016.** SWD/2016/4040 commission staff working document: Good practice in energy efficiency. Part 1/4: Accompanying the document Proposal for a Directive of European Parliament and of the Council amending Directive 2012/27/EU on Energy Efficiency.

**Forsström, J., Lahti, P., Pursiheimo, E., Rämä, M., Shemeikka, J., Sipilä, K., Tuominen, P. & Wahlgren, I. 2011.** *Measuring Energy Efficiency: Indicators and potentials in buildings, communities and energy systems* [Energiatehokkuuslaskenta: Rakennuksen, yhdyskuntien, yhteisöjen ja energijärjestelmien potentiaali ja indikaattorit]. Valtion teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, VTT Research Notes 2581, Kuopio.

**Huovila, A., Tuominen, P. & Airaksinen, M. 2017.** *Effects of Building Occupancy on Indicators of Energy Efficiency* [Rakennuksen käytön vaikutukset energiatehokkuuden indikaattoreihin]. MDPI: Energies 10 (2017) 628.

**Häkkinen, T. & Ruuska, A. 2016.** *Keskimääräinen asuinkerrostalo*. VTT. Viitattu 25.4.2018. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Tiekartta\\_rakennusmateriaalien\\_hiilijala\(40813\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Tiekartta_rakennusmateriaalien_hiilijala(40813)).

**Investment Property Databank. 2010.** *IPD environment code: Measuring the environmental performance of buildings*. Viitattu 3.7.2018. Saatavissa: <http://www.sballiance.org/wp-content/uploads/2014/04/IPDEnvironment-Code-2010.pdf>.

**Jääskeläinen, M. 2010.** *Hyvin suunniteltu pientalo – Työkalu pientalon suunnitteluun*. Oulun rakennusvalvonta.

**Kurnitski, Jarek. 2012.** *Energiamääräykset 2012 – opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen*. Suomen Rakennusmedia Oy, Helsinki.

**L 50/2013.** *Laki rakennuksen energiatodistuksesta*. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050>.

**Lindberg, T. 2015.** *Vihreä asuinkerrostalo: Selvitys ekologisen asuinkerrostalon passiivisista suunnitteluratkaisuista energiatehokkuuden ja hiilijalanjäljen näkökulmista* (Diplomityö). Tampereen teknillinen yliopisto, Arkkitehtuurin laitos, Asuntosuunnittelu, Julkaisu 21. Tammerprint Oy: ISBN 978-952-15-3644-1 (nid.) ISBN 978-952-15-3645-8 (PDF) ISSN 2242-4598.

**Lindberg, T., Kaasalainen, T., Moisio, M., Mäkinen, A., Hedman, M. & Vinha, J. 2018.** *Potential of space zoning for energy efficiency through utilization efficiency* [Tilavyöhykkeiden potentiaalinen vaikutus energiatehokkuuteen käytön kautta]. *Advances in Building Energy Research*. DOI: 10.1080/17512549.2018.1488619

**Lylykangas, K., Andersson, A., Kiuru, J., Nieminen, J. & Päätalo, J. 2015.** *Rakenteellinen energiatehokkuus: Opas 2015*. Helsinki: Ympäristöministeriö.

**Lylykangas, K. & Nieminen, J. 2015.** *Passiivitalon luonnossuunnittelu*. Viitattu 19.10.2015. Saatavissa: <http://www.passiivi.info/data.php?sivu=luonnos>.

**RakMK C3 2007.** Rakennusten lämmöneristys Määräykset 2007. Ympäristöministeriö, Helsinki.

**RakMK D2 2012.** *Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto – Määräykset ja ohjeet 2012*. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, Helsinki.

**RakMK D3 2012.** *Rakennusten energiatehokkuus – Määräykset ja ohjeet 2012*. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, Helsinki.

**RakMK D5 2012.** *Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta – Ohjeet 2012*. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, Helsinki.

**Sekki, T. 2017.** *Evaluation of Energy Efficiency in Educational Buildings* [Opetusrakennusten energiatehokkuuden arviointi] (Väitöskirja). Aalto yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta. Unigrafia Oy: ISBN 978-953-60-7359-0 (printed), ISBN 978-952-60-7358-3 (pdf), ISSN-L 1799-4934.

**Sekki, T., Airaksinen, M. & Saari, A. 2015.** *Impact of building usage and occupancy on energy consumption in Finnish daycare and school buildings* [Rakennusten käytön ja läsnäolon vaikutus energiankulutukseen suomalaisissa päiväkotij- ja koulurakennuksissa]. Elsevier: *Energy and Buildings* 105 (2015) 247–257.

**SFS-EN ISO 13370. 2008.** *Rakennusten lämpötekniset ominaisuudet. Lämmön johtuminen maan kautta. Laskentamenetelmät*. Suomen Standardisoimisliitto SFS, Helsinki.

**Vehviläinen, I., Pesola, A., Jääskeläinen, S., Kalenoja, H., Lahti, P., Mäkelä, K. & Ristimäki, M. 2010.** *Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt*. Sitran selvityksiä 39, Helsinki.

**Vitruvius. 1914.** *The ten books on architecture* (Morgan, M.H. käännös) [Kymmenen kirjaa arkkitehtuurista]. Oxford University Press, Lontoo. (Alkuperäisteos eaa.)

**Vuorinen, J. 2017.** *Tulevaisuuden koulu – Arkkitehtuurin neljä näkökulmaa ekologiseen rakentamiseen* (Diplomityö). Tampereen teknillinen yliopisto, Arkkitehtuurin laboratorio, Asuntosuunnittelu, Julkaisu 29. Juvenes Print – Suomen yliopistopaino Oy: ISBN 978-952-15-3962-6, ISSN 2489-429X.

## 6.2. KUVALÄHTEET

Muut kuin alla listatut kuvat tekijöiden omia. Alla listatut kuvat kyseisten sivustojen lisenssiehtojen mukaisesti vapaasti käytettäviä.

Kansi: **João Jesus**. Ladattu 13.9.2018. <https://www.pexels.com/photo/clear-glass-window-with-brown-and-white-wooden-frame-921294/>.

Taustakuva s. III, Esipuhe: **Scott Webb**. Ladattu 13.9.2018. <https://www.pexels.com/photo/architecture-color-empty-fence-136097/>.

Taustakuva s. 1, Johdanto: **Peter Heeling. 2017**. Ladattu 13.9.2018. <https://skitterphoto.com/photos/2855/green-door-of-a-wooden-house/>.

Taustakuva s.5, Energialaskenta: **Krzysztof Puszczynski**. Ladattu 13.9.2018. <https://www.pexels.com/photo/idea-bulb-paper-sketch-8704/>.

Taustakuva s. 11, Ohjekortiston muodostamisperiaatteet: **StockSnap. 2015**. Ladattu 13.9.2018. <https://pixabay.com/en/building-construction-concrete-926001/>.

Taustakuva s. 23, Ohjekortisto: **ElasticComputeFarm. 2016**. Ladattu 13.9.2018. <https://pixabay.com/en/floor-plan-blueprint-house-home-1474454/>.

Taustakuva s. 125, Yhteenveto: **Scott Webb**. Ladattu 13.9.2018. <https://www.pexels.com/photo/gray-wall-with-windows-with-silver-frame-1029614/>.

Taustakuva s. 133, Lähteet: **yyouhz. 2015**. Ladattu 13.9.2018. <https://pixabay.com/en/the-scenery-building-photography-2292016/>.

Taustakuva s. 137, Liitteet: **João Jesus**. Ladattu 13.9.2018. <https://www.pexels.com/photo/architectural-architectural-design-architecture-beautiful-921319/>.



# 7. LIITTEET



## LIITE 1. KUUKAUSITASON TARKASTELUT

Kuukausitason tarkasteluilla selvitetiin hankkeen alussa yleisellä tasolla rakennusmassallisten ja muodonannollisten tekijöiden vaikutusta rakennuksen energia- tehokkuuteen. Kuukausitason energialaskennassa on käytetty D.O.F. Tech Oy:n ja Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n tarjoamaa laskentapalvelut.fi -laskentatyökalua (www.laskentapalvelut.fi). Laskentatuloksia on tarkasteltu E-lukuina, joiden keskinäinen vertailukelpoisuus on varmistettu ominaisuuksia vakioimalla. Tässä liitteessä kuvataan tiivistetysti tarkemmat tiedot kuukausitason laskennasta, sen tarkastelumalleista ja tuloksista.

### L 1.1. TARKASTELUMALLIT

Kuukausitason laskennassa käytettävät tietomallit on laadittu käyttäen Graphisoft ArchiCAD 19.0 -ohjelmaa. Ryhmäkotien aineisto koostui 30 kohteen pääpiirustuksista, joiden avulla on muodostettu kerroksittaiset tarkastelumallit (kuva L 1.1.a.). Ryhmäkotien kohdalla yksikön lämmitetty nettoala vaihtelee yksikön todellisen pinta-alan mukaan. (ks. kappale 3.3.1. Rajausta ja lähdeaineisto – Ryhmäkodit)

Peruskoulujen aineisto koostui kuudesta kilpailuehdotuksesta Jätkäsaaren peruskouluksi (kuva L 1.1.b.). Tulosten vertailtavuuden vuoksi tarkasteluaineiston kohteiden nettoala vakioitiin kuukausitason laskelmissa 7 500 m<sup>2</sup>:iin. Nettoala vastaa ehdotusten keskiarvoa, joka oli 7 518 m<sup>2</sup>. Rakennusmassat on ulkomiotoiltaan ja -muodoltaan pidetty alkuperäisten kilpailuehdotusten mukaisina, eikä rakennusvo-lyymeita ole skaalattu. Koska kilpailuehdotukset olivat luonnostasoisia, on vaipan mittatiedot mallinnettu kymmenen metrin tarkkuuteen pyöristettyinä, ja mallin- nuksessa on jouduttu tekemään jonkin verran omia tulkintoja. Koska laskennoissa ei ole kyse tiettyjen kohteiden todellisesta arvioinnista, pyöristykset eivät vaikuta tulosten pätevytyteen. (ks. kappale 3.3.2 Rajausta ja lähdeaineisto – Peruskoulut)

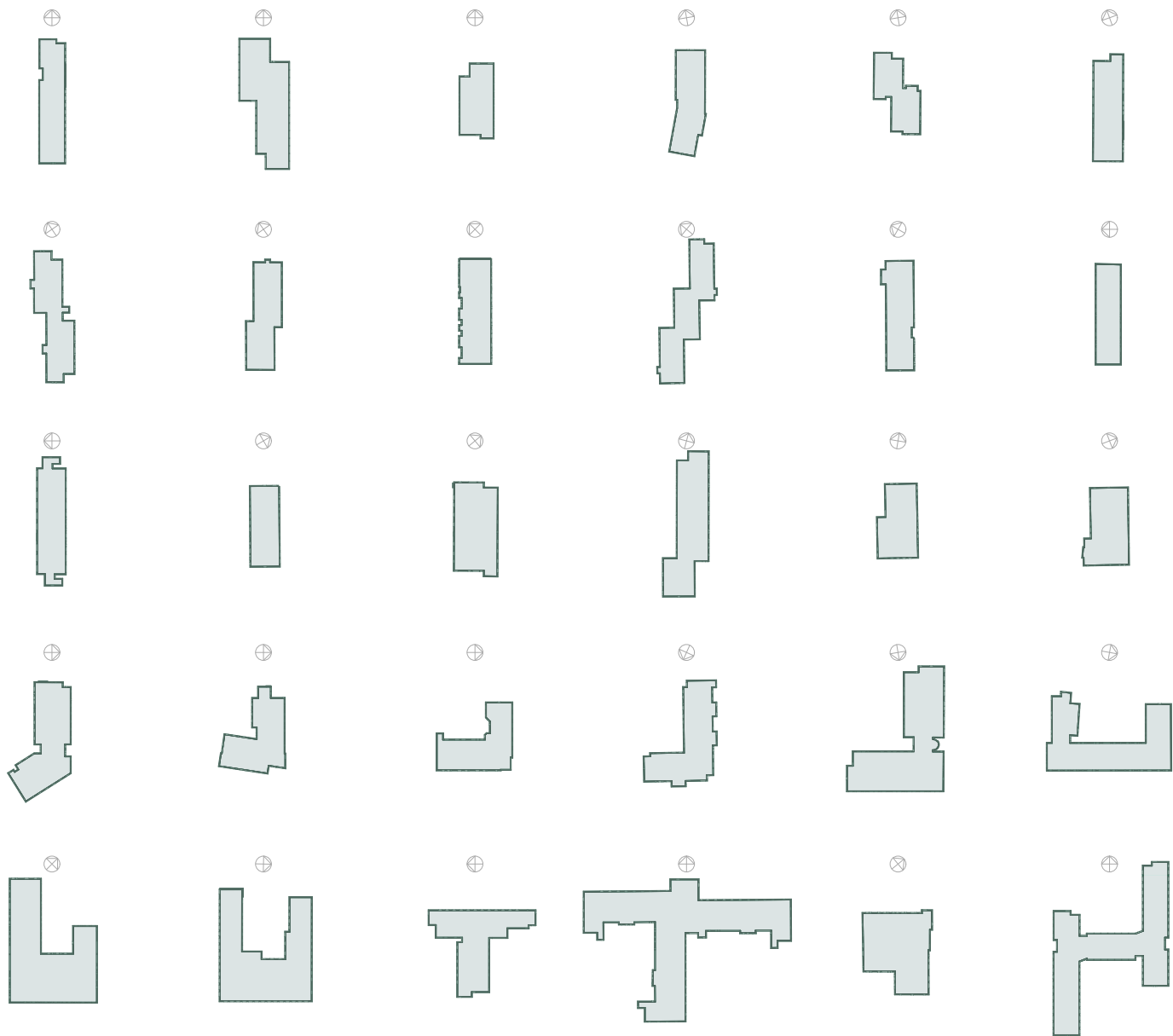
Laskentamallien muodostamisessa vakioina on käytetty energialaskennan mukaisia vakioarvoja, kuten sijaintitietoa Helsingissä, sekä rakennustyyppi-kohtaisia standar- dikäytön arvoja (RakMK D3, 2012). Rakenteiden U-arvot sekä ilmatiiveys ja ilman- vaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on vakioitu RakMK D3 (2012) vertailu- arvojen suuruisiksi. Nämä sekä muut vakioidut lähtöarvot on esitetty taulukossa L 1.1.a., joka pätee sekä ryhmäkotien että peruskoulujen laskentaan.

### L 1.2. LASKENTATULOKSET

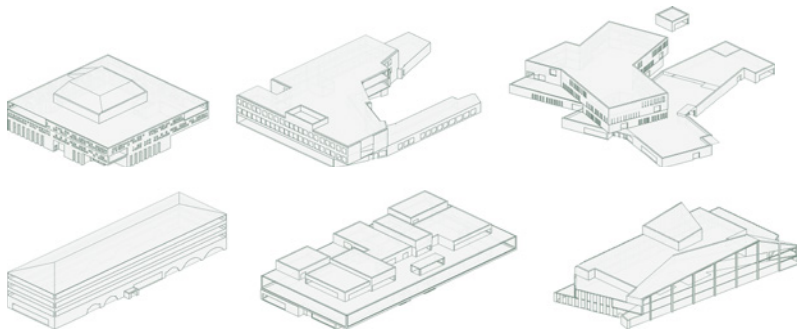
Kuukausitason laskennassa tehtiin erilliset laskelmat ryhmäkoteille ja peruskou- luille, joiden tulokset ovat vertailukelpoiset rakennustyyppin sisällä. Laskentatu- lokset on ilmaistu E-lukuina, mutta E-luvut eivät tässä pyri vastaamaan todellista tilannetta tarkasteluaineistoon valituissa kohteissa. Tämä johtuu siitä, että las- kennassa on käytetty suunnitteluarvojen sijaan RakMK D3 (2012) vertailuarvojen mukaisia lähtöarvoja rakennusvaipalle ja ilmanvaihdolle (ks. taulukko L 1.1.a.) sekä standardikäytön mukaista vakioilmavirtaa, ryhmäkoteille 2 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup> ja peruskouluille 3 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>. Nämä vakioinnit mahdollistavat tarkasteltavien omi- naisuuksien tulosten vertailukelpoisuuden tässä tarkastelussa.

RAKENTEIDEN OMINAISUUKSIA		
Ulkoseinän U-arvo	0,17	W/(m <sup>2</sup> K)
Yläpohjan U-arvo	0,09	W/(m <sup>2</sup> K)
Alapohjan U-arvo	0,16	W/(m <sup>2</sup> K)
Oven U-arvo	1,00	W/(m <sup>2</sup> K)
Ikkunan U-arvo	1,00	W/(m <sup>2</sup> K)
Ilmavuotoluku (q <sub>50</sub> )	4	l/h
Ominaislämpökapasiteetti	160	Wh/m <sup>2</sup> K
Ikkunan kehäkerroin	0,75	
Ikkunan g-arvo	0,54	
KYLMSILTOJEN LISÄKONDUKTANSSIT		
US-US (ulkonurkka)	0,05	W/(mK)
US-US (sisänurkka)	-0,05	W/(mK)
US-YP	0,05	W/(mK)
US-VP	0,05	W/(mK)
US-AP	0,15	W/(mK)
US-iKKUNA	0,04	W/(mK)
US-OVI	0,04	W/(mK)
IV:N JA LÄMMITYKSEN OMINAISUUKSIA		
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	45	%
Tuloilman lämpötilan asetusarvo	18	°C
SFP-luku	2	kW/m <sup>3</sup> /s
Lämmitysmuoto		Kaukolämpö

TAULUKKO L 1.1.a. Kuukausitason laskennassa käytetyt vakioarvot.



**KUVA L 1.1.a. Kuukausitason tarkasteluissa käytettyjen 30 ryhmäkotikerroksen pohjakaaviot.**



**KUVA L 1.1.b. Kuukausitason tarkasteluissa käytettyjen kuuden Jätkäsaaren peruskoulun kilpailuehdotuksen laskentamallien aksonometrit.** Mallit on muodostettu laskentatarkasteluja varten, eivätkä ne näin ollen visuaalisesti täysin vastaa alkuperäisiä suunnitelmia.

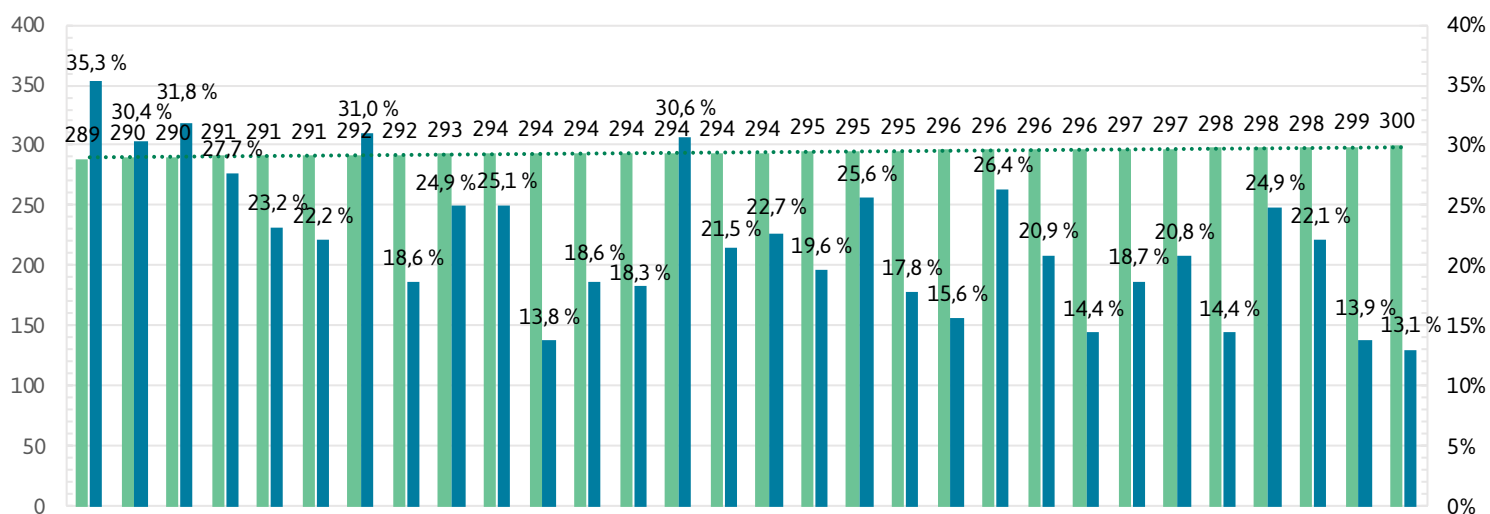
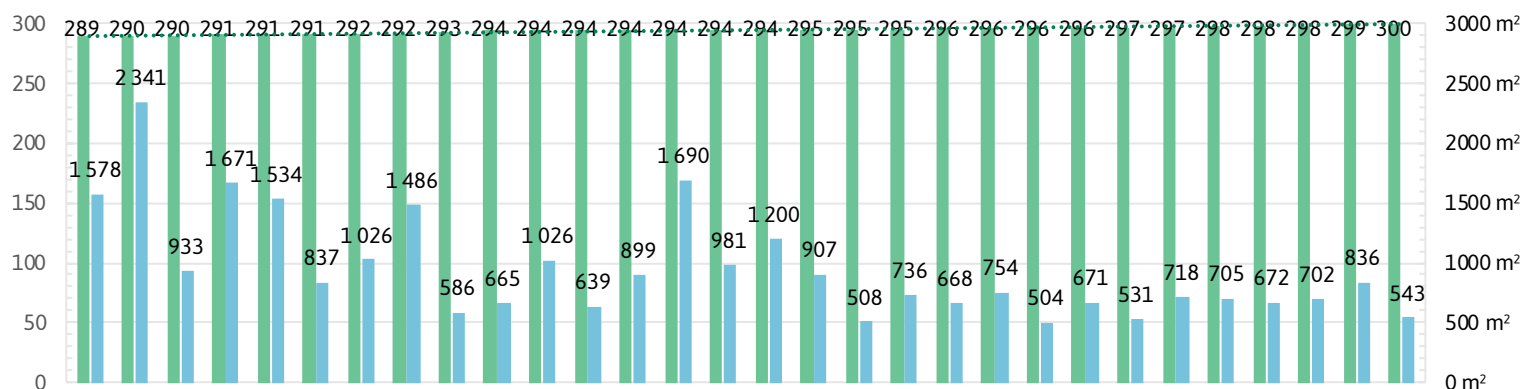
### L 1.2.1. RYHMÄKODIT

Laskettujen ryhmäkotien E-luvut vaihtelivat 289 ja 300 välillä. Koska E-luku on neliömetrikohtainen, suosii se lähtökohtaisesti isompia rakennuksia, joissa vaippaa on verraten vähän lattia-alaan nähden. Lämmitetyllä nettoalalla olikin tarkastelussa kohtalainen negatiivinen korrelaatio E-luvun kanssa: nettoalan pienentyessä E-luku kasvoi ja päinvastoin (taulukko L 1.2.1.a ja kuvat L 1.2.1.b/L1.2.1.c). Koska tarkastelumallit olivat yksikerroksisia, noudatteli ulkopuolisen vaipan ala hyvin läheisesti lämmitetyn nettoalan lukemia eron muodostuessa pohjamuodon monimutkaisuudesta. Liki vastaavan lukeman saavutti myös ikkunoiden osuus julkisivusta, mikä niin ikään on nähtävissä kuvasta L 1.2.1.c: mitä vähemmän ikkunapinta-alaa, sitä parempi E-luku. Toisaalta lähes yhtä suuri positiivinen korrelaatio ilmeni myös nettoalan ja ikkunaosuuden kesken ( $r = 0,508$ ). Nettoalaltaan suuremmissa tapauksissa oli usein paitsi neliömetrimääräisesti, myös suhteessa enemmän ikkunapintaa. Näin ollen kummankaan ominaisuuden yksittäistä vaikutusta on vaikea arvioida. Ikkunoiden suuntauksen ja E-luvun välillä ei esiintynyt käytännöllisesti katsoen lainkaan korrelaatiota.

Suuresta lähtöarvovaihtelusta huolimatta erot E-luvuissa olivat tarkastelukerosten välillä kaiken kaikkiaan varsin pieniä. Osaltaan tähän vaikutti tarkastelun rajaaminen yhteen kerrokseen, mikä rajoittaa mahdollista vaihtelua rakennusmassan muodossa.

TARKASTELTU OMINAISUUS	KORRELAATIO E-LUVUN KANSSA		VAIHTELUVÄLI
	$r$	$p$	
Lämmitetty nettoala	-0,666	0,000058	504–2341 m <sup>2</sup>
Ikkunoiden osuus julkisivuista	-0,664	0,000063	13,1–35,3 %
Kaakkoon/etelään/lounaaseen suunnattujen ikkunoiden osuus	-0,020	0,916152	0,0–55,0 %
Ulkovaipan ala (sisäpuolinen)	-0,631	0,000185	1312–5846 m <sup>2</sup>

**TAULUKKO L 1.2.1.a. Ryhmäkotikerroksilla tarkasteltujen ominaisuuksien korrelaatiot E-luvun kanssa (Pearsonin  $r$  ja  $p$ -arvo) sekä vaihteluvälit.** Korrelaatioissa on oletettu lineaarinen yhteys E-luvun ja kunkin muun tarkastellun ominaisuuden välillä. Mitä kauempana  $r$  on nolasta, sitä voimakkaampi korrelaatio (vaihteluväli  $-1$ – $1$ ). Mitä pienempi  $p$ -arvo, sitä todennäköisempää, että ominaisuus vaikutti E-lukuun.



**KUVA L 1.2.1.b. (ylempi) Tarkasteltujen ryhmäkotikerrosten kuukausitason laskentatulokset, E-luku ja lämmitetty nettoala.** Laskentatapaukset on järjestetty E-luvun mukaan pienimmästä suurimpaan.

■ E-luku (kWh/m²v)  
■ Lämmitetty nettoala / ikkunapinta-ala (% ulkoseinistä)

**KUVA L 1.2.1.c. (alempi) Tarkasteltujen ryhmäkotikerrosten kuukausitason laskentatulokset, E-luku ja ikkunoiden osuus ulkoseinistä (%).** Laskentatapaukset on järjestetty E-luvun mukaan pienimmästä suurimpaan.

■ E-luku (kWh/m²v)  
■ Lämmitetty nettoala / ikkunapinta-ala (% ulkoseinistä)

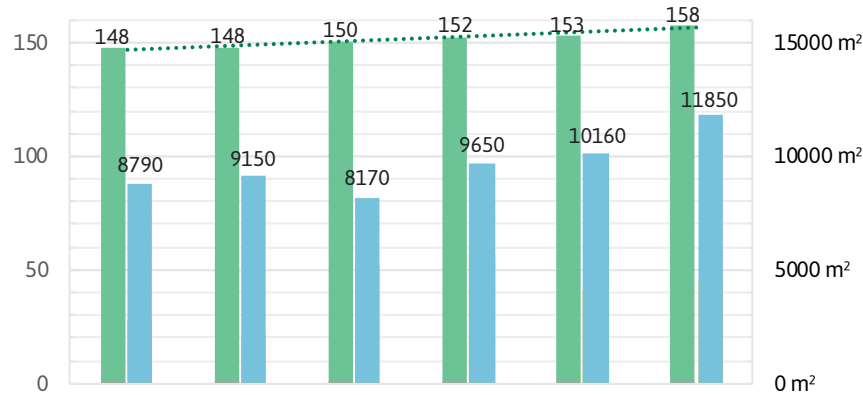
## L 1.2.2. PERUSKOULUT

Peruskoulujen kohdalla E-luvut vaihtelivat 148 ja 158 välillä. E-luku korreloi hyvin voimakkaasti ulkovaipan pinta-alan kanssa: mitä enemmän ulkovaippaa, sitä suurempi E-luku, kuten ryhmäkotienkin kohdalla todettiin (kuva L 1.2.1.b). Kohtalainen korrelaatio on myös E-luvun ja ikkunoiden julkisivuosuuden kanssa. Peruskoulujen kohdalla muotokertoimen ja E-luvun välillä ei ollut suurta korrelaatiota sen ollessa 0,195. Sen lisäksi, että korrelaatio itsessään ei osoita syy-seuraussuhdetta, tarkastelutapausten pieni määrä ja monimuotoisuus tekee tässä tapauksessa johtopäätösten vetämisen tuloksista haastavammaksi.

Kuukausitason laskentatulokset olivat jossain määrin odotusten mukaisia muun muassa vaipan alan ja E-luvun välisen suhteen osalta. Kun peruskoulujen kohdalla nettoala vakioitiin muodon muuttuessa, tulokset osoittivat, että E-lukua tarkastellessa muodolla on erittäin vähän merkitystä E-lukuun. Sen sijaan rakennuksen koolla on merkittävä vaikutus E-lukuun. Kokonaisuudessaan kuukausitason tar-

kasteluiden keskeisimpänä havaintona voidaan pitää sitä, miten ongelmallista yksittäisen ominaisuuden vaikutusten arvioiminen on verrattaessa kohteita, jotka eroavat myös muilta ominaisuuksiltaan. Jotta yksittäisten ominaisuuksien vaikutusta energiatehokkuuteen voidaan selvittää tarkemmin, ja kunkin ominaisuuden vaikutus voidaan tunnistaa osana kokonaisuutta, siirryttiin tutkimuksessa käyttämään dynaamista energiasimulointiohjelmaa.

TARKASTELTU OMINAISUUS	KORRELAATIO E-LUVUN KANSSA		
	r	p	VAIHTELUVÄLI
Ikkunoiden osuus julkisivuista	0,517	0,293990	22,1–56,6 %
Etelään suunnattujen ikkunoiden osuus	0,178	0,735420	20,4–54,4 %
Ulkovaipan ala (sisäpuolinen)	0,906	0,012791	8170–11850 m <sup>2</sup>



#### TAULUKKO 3.2.3.2.1. Peruskouluilla tarkasteltujen ominaisuuksien korrelaatiot E-luvun kanssa (Pearsonin r ja p-arvo) sekä vaihteluvälit.

Korrelaatioissa on oletettu lineaarinen yhteys E-luvun ja kunkin muun tarkastellun ominaisuuden välillä. Mitä kauempana r on nolasta, sitä voimakkaampi korrelaatio (vaihteluväli -1–1). Mitä pienempi p-arvo, sitä todennäköisempää, että ominaisuus vaikutti E-lukuun.

#### KUVA 3.2.3.2. Tarkasteltujen peruskoulujen Kuukausitason laskentatulokset. Laskentatapaukset on järjestetty E-luvun mukaan pienimmästä suurimpaan.

■ E-luku (kWh/m<sup>2</sup>v)  
 ■ Ulkovaipan ala (m<sup>2</sup>, sisäpuolinen)







Energiatehokkuus on kansainvälisesti keskeinen keino vähentää rakennusalan kasvihuonekaasupäästöjä ilmastonlämpenemisen hillitsemiseksi. Euroopan unionin direktiivien myötä myös Suomen rakentamislainsäädäntö energiatehokkuuden osalta muuttuu jatkuvasti vaatii sekä tutkimusta että uudenlaisia ratkaisuja jokaiselle suunnittelun ja rakennusprosessin eri osa-alueelle. Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun kohdalla haasteena on, että vaikka arkkitehtuurin tunnustetaan olevan merkittävässä roolissa muodostaen suunnitteluratkaisuillaan energiankulutuksen lähtötason, ei sen merkitys juurikaan ilmene laskennallisesti muun muassa taloteknisten ratkaisuiden rinnalla.

Tämä Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto -julkaisu on laadittu Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) Arkkitehtuurin laboratoriossa Asuntosuunnittelun tutkimusryhmässä (ASUTUT). Tutkimus on toteutettu vuosina 2015–2018 osana TTY:n vetämää COMBI-haketta, jonka tavoitteena on ollut tarkastella palvelurakennusten energiatehokkuuden parantamista lähes nollaenergiatasoon kokonaisvaltaisesti. Tämä julkaisu toimii loppujulkaisuna COMBI-hankkeen Arkkitehtonisten ratkaisujen vaikutus energiatehokkuuteen -työpaketille, jonka keskitymisalueena on ollut tarkastella energiatehokkuutta arkkitehtuurin ja tilasuunnittelun kautta tarkempina palvelurakennusten rajauksenaan koulut ja ikääntyneiden palveluasuminen.

Miten siis parantaa energiatehokkuutta ja millä kaikilla tavoilla käsitteen voi tulkita? Miten suunnitteluvalintani vaikuttavat rakennuksen energiatehokkuuteen ja toisaalta millaisia keskeisiä suunnitteluvalintoja voin tehdä tavoitellessani energiatehokkuutta? Joudunko tinkimään laatutekijöistä energiatehokkaan lopputuloksen saavuttamiseksi?

Tässä julkaisussa avataan energiatehokkuuteen liittyvää kansainvälistä ja kansallista kontekstia, arkkitehtisuunnittelun kytköksiä energiatehokkuuteen sekä erilaisia energiatehokkuuden laskenta- ja arviointikeinoja. Julkaisun pääpainona on esitellä energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto ja havainnollistaa yksittäisiä suunnitteluratkaisuja suhteessa rakennukseen kokonaisuutena. Julkaisu esittelee niin olemassa olevia kuin uusiakin energiatehokkaita suunnitteluratkaisuja sekä arviointikeinoja tuoden uudenlaisia näkökulmia alan toimijoille. Lisäksi laatutekijät on nostettu keskeisesti laskennallisen energiatehokkuuden rinnalle. Julkaisu on tarkoitettu arkkitehtien ja eri alojen insinöörien lisäksi muillekin kuin energiatehokkuuden erityisasiantuntijoille. Ennen kaikkea julkaisun ja erityisesti ohjekortiston tarkoitus on toimia suunnittelun apuna energiatehokkaan, laadusta tinkimättömän kohteen suunnittelussa sekä esittää keskeiset asiat selkeästi, läpinäkyvästi ja kokonaisvaltaisesti.

