COMBI

COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF
NEARLY ZERO-ENERGY
MUNICIPAL SERVICE BUILDINGS

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Aalto-yliopisto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

BUSINESS FINLAND

Euroopan unioni

Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

TILAVYÖHYKKEIDEN POTENTIAALI ENERGIATEHOKKUUTEEN KÄYTÖN KAUTTA

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

Sisällys

Tilavyöhykkeiden potentiaali energiatehokkuuteen käytön kautta

Taustaa
- Direktiivit ja lainsäädäntö
- Energiatehokkuuden määritelmä
- Käyttö ja energiankulutus

Käytön laskeminen
- Nykyinen käytön laskeminen
- Käytön ja energiatehokkuuden indikaattoreita
- Käyttötehokkuus

Energiasimuloinnit
- Case: Jätkäsaaren peruskoulu
- Pää- ja lisäkäyttö
- Henkilötiheys, käyttöaste ja tekniset ratkaisut
- Käyttövyöhykkeet

Tulokset ja pohdintaa
- Tulokset
- Tulosten sovellettavuus ja rajoitteet

Yhteenveto

Taustaa

Direktiivit ja lainsäädäntö

Energiatehokkuuden määritelmä

Käyttö ja energiankulutus

Direktiivit ja lainsäädäntö

Energiatehokkuuden parantaminen on yksi päästrategioista kasvihuonekaasujen vähentämiseksi ja siten ihmisen aiheuttaman ilmastonlämpenemisen etenemisen estämiseksi

Useiden tutkimusten mukaan rakennusala vastaa noin 40 % maailman energian-kulutuksesta ja kasvihuonekaasupäästöistä

(esim. Euroopan komissio 2010 & 2016a, IPD 2010, Vehviläinen et al. 2010)

Euroopan komission EPBD-direktiivin mukaan kaikkien EU:n jäsenmaiden tulee asettaa oma lähes nollaenergiatalon (nZEB) määritelmänsä ja ottaa se käytäntöön rakennusalalla

Direktiivin mukaan kaikkien EU:n jäsenmaiden tulee yhdessä vähentää 20% kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 2020 mennessä 1990-lukuun verrattuna täyttääkseen Kioton ilmastosopimuksen ja päivitetyn Pariisin sopimuksen tavoitteet

(Euroopan komissio 2010)
(YK 2015)

Uusi kasvihuonekaasujen vähentämistavoite on 40% vuoteen 2030 mennessä

(Euroopan komissio, 2014)

Energiatehokkuuden määritelmä

Energiatehokkuudelle ei ole yksiselitteistä määritelmää EU:n tasolla

Energiatehokkuus tarkoittaa yleisesti *suoritteen, palvelun, tavaran tai energian tuotoksen ja energiapanoksen välistä suhdetta*

Energiatehokkuuden parantamisella tarkoitetaan *teknisistä, ihmisten käyttäytymiseen liittyvistä ja/tai taloudellisista muutoksista johtuvaa energiatehokkuuden lisääntymistä*

(2012/27/EU, Euroopan komissio 2012, s. 10)

Määritelmät ovat selkeästi sidoksissa rakennuksen tuotantoon tai lopputuotteeseen, joka voi olla esimerkiksi pinta-ala tai raha

(González, Díaz, Caamaño, & Wilby 2011)

Tällä hetkellä energiatehokkuutta arvioidaan yleisesti energiankulutuksena / kokoyksikkö: tilavuus (kWh/m^3) tai pinta-ala (kWh/m^2)

Näistä lattiapinta-ala toimii laajasti käytössä olevassa SEC-indikaattorissa (Specific Energy Consumption), kuten myös Suomen Rakentamismääräyksissä

(Ympäristöministeriö 2011a)

Tällöin jää väistämättä huomioimatta rakennus kokonaisuutena tilaohjelmineen ja kolmiulotteisine tilavuuksineen

Käytännössä tilavuuden pienentäminen vaikuttaa pienentävästi suoraan energiankulutukseen, kustannuksiin ja materiaaleihin

(Lylykangas, Andersson, Kiuru, Nieminen, & Päätalo 2015)

Käyttö ja energiankulutus

Suurin osa rakennusten ympäristövaikutuksista aiheutuu niiden käytön aikana

(esim. Junnila 2004, Sartori & Hestnes 2007, 80–90% in Junnila & Horvath 2003)

On selvää, että kun rakennus on käytössä, se kuluttaa energiaa

Rakennusten käytöllä on merkittävä vaikutus niiden energiankulutukseen

(Airaksinen 2011; Thewes, Maas, Scholen, Waldmann, & Zürbes 2014)

Halvinta, puhtaina ja turvallisinta energiaa on sellainen energia, jota ei käytetä lainkaan

(2016/0376/COD, Euroopan komissio 2016b, s. 2)

Energian käytön vähentäminen laajemmassa mittakaavassa on keskeistä energiatehokkaiden rakennusten suunnittelemisen ja rakentamisen lisäksi

Energiankulutuksen vähentäminen vaatii arkkitehtisuunnittelulta tilatehokkuutta ennen kaikkea suunnitteluprosessin alussa, jossa päätösten vaikutus ympäristövaikutuksiin on suurin

(esim. Lechner 2015)

Käytön laskeminen

Nykyinen käytön laskeminen

Käytön ja energiatehokkuuden indikaattoreita

Käyttötehokkuus

Nykyinen käytön laskeminen

Euroopan unionissa on 35 erilaista kansallista ja alueellista tapaa laskea energiankulutusta

(Euroopan komissio 2016a, s. 48)

Käytön huomioimiseen osana energiatehokkuuslaskentaa on esitetty useita vaihtoehtoja, mutta vakiintunutta menetelmää ei ole

(Dooley 2011, Forsström et al. 2011, Huovila et al. 2017, Sekki et al. 2015)

Suurin osa energiatehokkuuden parantamiskeinoista keskittyy teknisiin toimenpiteisiin ja jälkeenpäin tehtävään, toteutuneen tilanteen laskentaan

(Sekki, Airaksinen & Saari 2015)
(esim. Castagna, Antonucci, & Lollini 2016; Huovila, Tuominen, & Airaksinen 2017; Sekki 2017)

Laskentatavat riippuvat kansallisten määritelmien lisäksi valitusta laskennan näkökulmasta: Esimerkiksi Alankomaissa laskentaan on integroitu kustannusnäkökulma (€/m^2a) ja Norjassa kasvihuonekaasupäästöt (kg CO_2eq/m^2a)

(Alsema, Anink, Meijer, Straub & Donze 2016)
(Fufa, Schlanbusch, Sørnes, Inman, & Andersen 2016)

Suomessa Ympäristöministeriön Tiekartta-hankkeessa ehdotetaan energia-tehokkuuden olevan osa rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen laskentaa

(Bionova Oy 2017)

Indikaattorit voidaan jakaa itsenäisiin ja integroituihin indikaattoreihin, sen mukaan sisältävätkö ne rakennuksen koon (tyypillisesti pinta-alan) jakajana vai eivät

(Lindberg et al. 2018)

Käytön ja energiatehokkuuden indikaattoreita

Itsenäiset indikaattorit eivät sisällä rakennuksen kokoa (m^2) jakajana ja ne lasketaan irrallisena energiatehokkuuden rinnalla

Itsenäisten indikaattoreiden haasteena on, ne jäävät erillisinä usein energiatehokkuuslaskelmien ulkopuolelle

Kuitenkin juuri itsenäisyytensä ansiosta ne voivat osoittaa täysin vastakkaisia laskentatuloksia integroituihin indikaattoreihin nähden mahdollistaen läpinäkyvämmin uusia näkökulmia kokonaisuuteen

Esimerkiksi tilatehokkuus (m^2/hlö) jää usein energialaskennan ulkopuolelle, vaikka rakentamaton tila luonnollisesti pienentää ympäristökuormaa ja energiankulutusta sekä rakentamisen että käytön aikana

Integroidut indikaattorit sisältävät rakennuksen koon (m^2) jakajassa, jolloin samaan laskentakaavaan lisätään yksi tai useampi uusi näkökulma

Integroitujen indikaattoreiden etuna on sen eri näkökulmien sisältyminen laskentaan muodostaen yhden yksittäisen laskenta-tuloksen, jota on helppo ja nopea tulkita

Haasteena on eri näkökulmien lisääntyvä määrä sekä yksityiskohtaisemmat laskentavaatimukset tehden laskennasta monimutkaista

Lisäksi heikentyy käsitys yksittäisen tekijän vaikutuksesta laskentatulokseen

Integroitujen indikaattoreiden laskentatavassa käytön minimoiminen parantaa energiatehokkuutta, joka on nurinkurista todellisuuteen nähden

Käytön ja energiatehokkuuden indikaattoreita

	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^2 kWh/m^2v	Ympäristöministeriö, 2011	
	SEC per intensity of occupancy (SEC_{IO})	kWh/m^2(hlö*h)	Huovila et al., 2017	r = rakennuksen todellisen käyttöasteen ja suurimman mahdollisen käyttöasteen laskennallinen keskiarvo, $0 \leq r \leq 1$
	SEC adjusted for utilization rate (SEC_{UR})	kWh/m^2r	Forsström et al., 2011; Huovila et al., 2017; Sekki et al., 2015	u = (hlö*t_{avg})/(A/a_{ref}*h_{ref}), jossa t_{avg} = keskiarvoinen aika, jonka ihminen viettää rakennuksessa A = kokonaispinta-ala a_{ref} = tyypillisen kohteen pinta-ala per henkilö h_{ref} = normaalit työtunnit
	SEC adjusted for occupancy and space efficiency ($SEC_{U,S}$)	kWh/m^2u	Huovila et al., 2017; Sekki et al., 2015	

Suomessa esitettyjä käyttöön liittyviä energiatehokkuusindikaattoreita.
Taulukko: Lindberg et al. 2018

Käyttötehokkuus

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

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

jossa

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

Käyttötehokkuus paranee, kun joko henkilötiheys tai käyttöaika kasvaa

Vaikka energiankulutus kasvaa, energiankulutus suhteessa saatavaan hyötyyn eli käyttöön pienenee, toisin kuin integroiduissa indikaattoreissa

Mitä pienempi käyttötehokkuusluku on, sitä energiatehokkaampi rakennus on

Käyttötehokkuus kuuluu itsenäisiin indikaattoreihin

Käyttötehokkuus täydentää nykyistä energiatehokkuuslaskentaa esittäen energiankulutuksen ja käytön välistä suhdetta

(Lindberg et al. 2018)

Energiasimuloinnit

Case: Jätkäsaaren peruskoulu

Pää- ja lisäkäyttö

Henkilötiheys, käyttöaste ja tekniset ratkaisut

Käyttövyöhykkeet

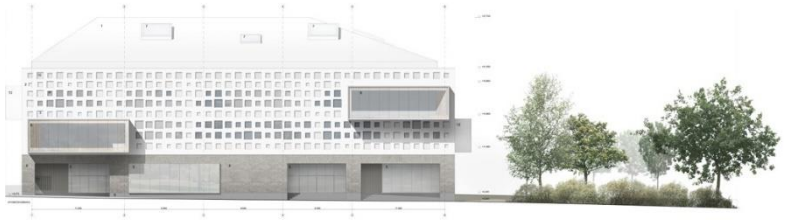
Case: Jätkäsaaren peruskoulu

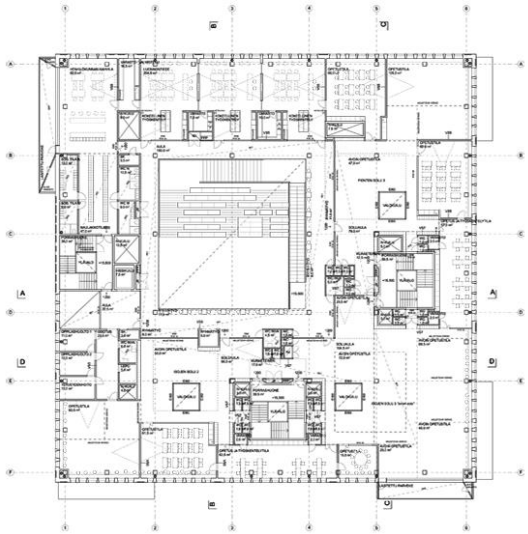
Esimerkkikohteena energia- ja käyttötehokkuuden laskennalle sekä tilavyöhykkeiden suunnittelulle toimii Jätkäsaaren peruskoulu Helsingissä

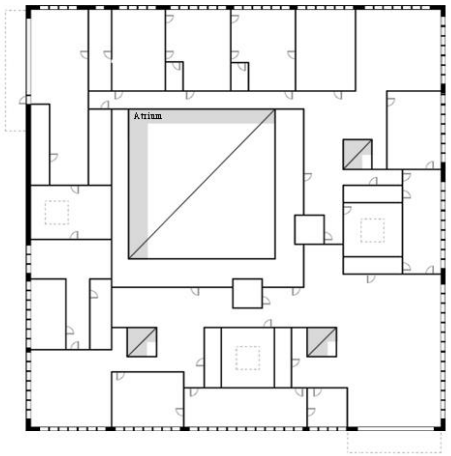
Jätkäsaaren peruskoulu on Aarti Ollila Ristola Arkkitehtien (AOR) kilpailuvoitto vuodelta 2015 ja sen on määrä valmistua vuonna 2019

Kouluun on suunniteltu 900 käyttäjää, joista 800 on oppilaita ja 100 henkilökuntaa

Jätkäsaaren koulusuunnitelma on käynyt läpi sekä laadullisen sekä arvioinnin kilpailuvoiton myötä







Jätkäsaaren peruskoulun julkisivu. Kuva: AOR Arkkitehdit 2017
3. kerroksen pohjapiirros. Kuva: AOR Arkkitehdit 2017
Energiasimulointimallin yksinkertaistettu pohjapiirros. Kuva: Lindberg et al. 2018

Pää- ja lisäkäyttö

Monikäyttöisten rakennusten yhteydessä käyttö jakautuu rakennuksen pää- ja lisäkäyttöön

Suomen rakentamismääräyksissä tunnistetaan vain rakennuksen pääkäyttö

(Ympäristöministeriö 2011a)

Pääkäyttö tarkoittaa rakennuksen käyttötarkoituksen mukaista toimintaa täydellä käyttäjämäärällä standardikäytön mukaisilla käyttöajoilla

Lisäkäyttö tarkoittaa pääkäytön lisäksi mahdollisesti pääkäyttötarkoituksesta poikkeavaa toimintaa pääkäyttöaikojen ulkopuolella, kuten iltaisin ja viikonloppuisin

Monikäyttöisissä rakennuksissa pää- ja lisäkäytön erottaminen toisistaan voi olla haastavaa, mutta usein silti havaittavissa

Studied property	Variant ID	Number of users present	Utilization time (h/24 h)	Utilization time (d/7 d)	Area in use (m^2)	Areas in use
Main utilization zoning	MZ1	900	8	5	7168	All
	MZ2	900	8	5	4466	Floors 1–2
	MZ3	900	8	5	2353	Floor 1
	MZ4	900	8	5	900	Atrium + lobby
Additional utilization zoning	AZ1	900/300	8/6	5/7	7168/7168	All/All
	AZ2	900/300	8/6	5/7	7168/4466	All/Floors 1–2
	AZ3	900/300	8/6	5/7	7168/2353	All/Floor 1
	AZ4	900/300	8/6	5/7	7168/900	All/Atrium + lobby

Note: When there are two values given in a column, the first applies during the main utilization hours and the second during the additional utilization hours.

Energialaskennassa käytetyt arvot.
Kuva: Lindberg et al. 2018

Henkilötiheys, käyttöaste ja tekniset ratkaisut

Käyttö koostuu ihmisten lukumäärästä (henkilötiheys) sekä rakennuksen käytössä olevista tunneista (käyttöaste)

Henkilötiheydellä tarkoitetaan käyttäjien eli henkilöiden lukumäärää

Käyttöaste tarkoittaa rakennuksen vuotuista käyttöaikaa tunteina

Teknisillä ratkaisuilla on suuri vaikutus käyttöön liittyvien energialaskelmien tuloksiin

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin tarpeenmukaista ilmanvaihtoa CO_2-ohjauksen mukaan

		Main utilization		Additional utilization	
Context		D2/D3	Article	D2/D3	Article
Number of people		1433	900	0	300
People density (pers/m^2)		1/5	1/7.96–1/1.0	–	1/23.89–1/3.0
Utilization factor		0.6	0.6	0	0.6
Time		08:00–16:00	08:00–16:00	–	16:00–22:00
Utilization time	(h/24 h)	8	8	0	6
	(d/7 d)	5	5	0	7
Airflow	Min. (dm^3/sm^2)	0.15	0.15	–	0.15
	Max. (dm^3/sm^2)	3	4	–	4

Energiasimuloinneissa käytetyt käyttöön liittyvät parametrit verrattuna Suomen rakentamismääräyskokoelmien osien D2 ja D3 arvoihin.
(Ympäristöministeriö 2011b ja 2011a)
Taulukko: Lindberg et al. 2018

Käyttövyöhykkeet

Käyttövyöhykkeet ovat arkkitehtuurin tilasuunnittelun keino rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi

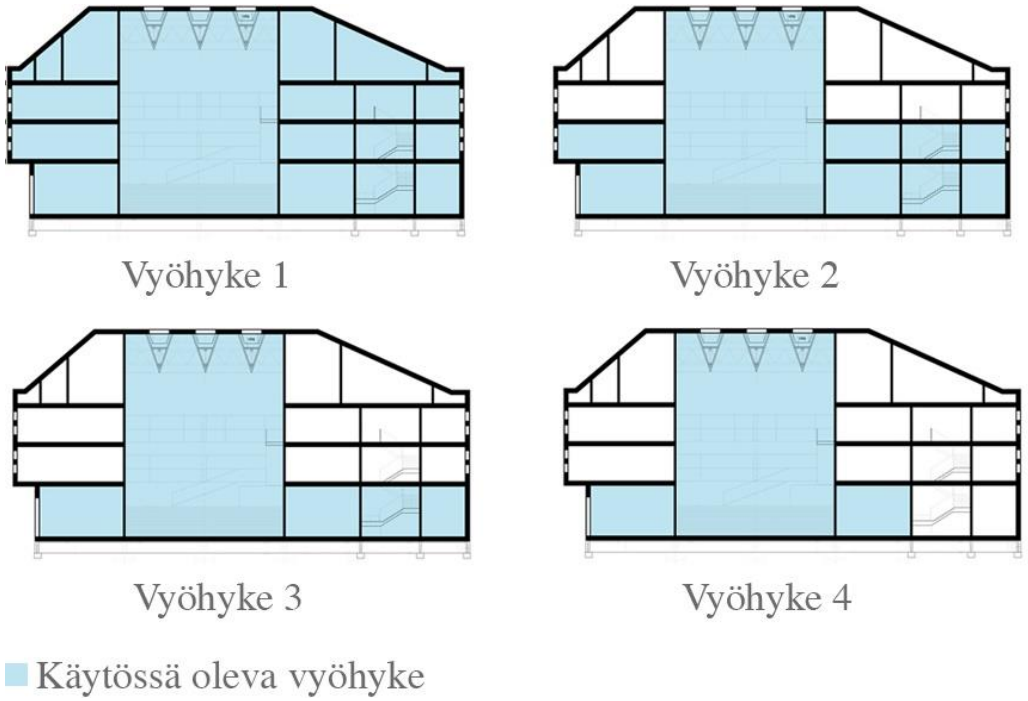
(Lindberg et al. 2018)

Vyöhykkeet tarkoittavat saman ominaisuuden omaavien tilojen ryhmittelyä tilasuunnittelussa

Käyttövyöhykkeissä tilat on ryhmitelty niiden käytön mukaisesti, ja talotekniset ratkaisut perustuvat tarpeenmukaisuuteen vyöhykkeittäin

Tilavyöhykkeet parantavat koulujen monikäyttöisyyttä ja muuntojoustavuutta ilman fyysisten elementtien muuttamista

Vyöhykkeiden myötä arkkitehtuurin tilasuunnittelun ja taloteknisten järjestelmien ratkaisut kietoutuvat yhdeksi kokonaisuudeksi



Jätkäsaaren peruskoulu jaettuna tarkasteltuihin vyöhykkeisiin. Vyöhykkeet ovat samat pää- ja lisäkäytön yhteydessä, mutta henkilöiden lukumäärä ja käyttöaikataulu ovat eri.

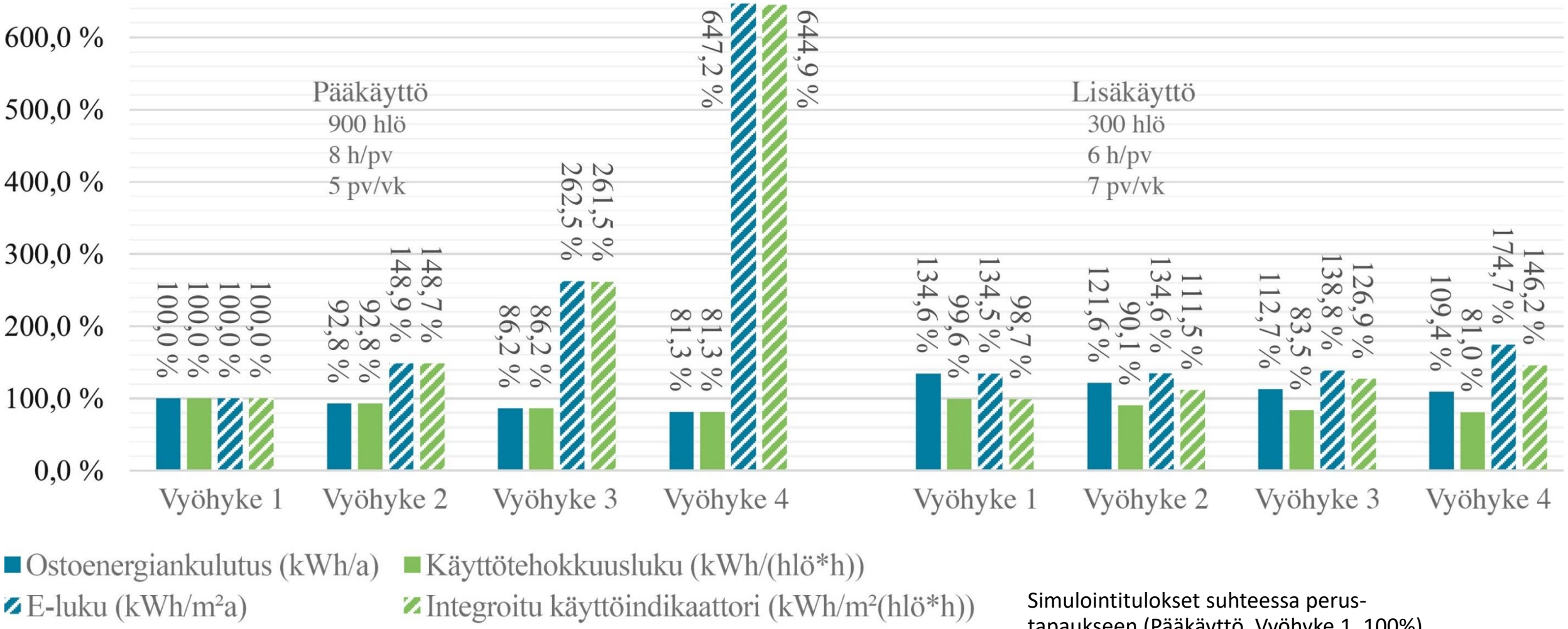
Alkuperäinen kuva: AOR Arkkitehdit 2017, muokkaukset: Lindberg et al. 2018

Tulokset ja pohdintaa

Tulokset

Tulosten sovellettavuus ja rajoitteet

Tulokset



Simulointitulokset suhteessa perus-tapaukseen (Pääkäyttö, Vyöhyke 1, 100%).
Kuva: Lindberg et al. 2018

Tulokset

Tulokset esitetään prosenttilukuina indikaattoreiden vertailun helpottamiseksi

Vertailussa ovat ostoenergiankulutus (kWh/a), käyttötehokkuus (kWh/(hlö*h)), energiankulutus suhteessa pinta-alaan (kWh/m^{2}a) ja käyttö suhteessa pinta-alaan (SEC_{IO}, kWh/m^2(pers*h))

Kaikilla indikaattoreilla laskettuna käyttövyöhykkeet vaikuttavat energia- ja käyttötehokkuuteen, mutta eri tavoin

Pääkäyttövyöhykkeiden vaikutus energiatehokkuuteen kahdella itsenäisellä indikaattorilla laskettuna on prosentuaalisesti lähes sama, mutta integroiduilla tulos on täysin päinvastainen

Vähäinen lisäkäyttö ei ole kannattavaa, kun taas lisäkäyttö suhteutettuna käytössä olevaan tilaan on kannattavaa

	kWh/a (independent)		kWh/(pers*h) (independent)	
Variant ID	Value	% of base	Value	% of base
MZ1	628 587	100.0	0.557	100.0
MZ2	583 106	92.8	0.517	92.8
MZ3	541 695	86.2	0.480	86.2
MZ4	510 800	81.3	0.453	81.3
AZ1	845 777	134.6	0.555	99.6
AZ2	764 116	121.6	0.502	90.1
AZ3	708 523	112.7	0.465	83.5
AZ4	687 534	109.4	0.451	81.0

	kWh/m^{2}a (integrated)		kWh/m^2(pers*h) (integrated)	
Variant ID	Value	% of base	Value	% of base
MZ1	87.7	100.0	0.000078	100.0
MZ2	130.6	148.9	0.000116	148.7
MZ3	230.2	262.5	0.000204	261.5
MZ4	567.6	647.2	0.000503	644.9
AZ1	117.99	134.5	0.000077	98.7
AZ2	118.04	134.6	0.000087	111.5
AZ3	121.7	138.8	0.000099	126.9
AZ4	153.2	174.7	0.000114	146.2

Note: % of base indicates the value in relation to the base case, MZ1.

Simulointien numeeriset tulokset. MZ (main utilization zoning) tarkoittaa pääkäyttövyöhykkeitä ja AZ (additional utilization zoning) lisäkäyttövyöhykkeitä. Taulukko: Lindberg et al. 2018

Tulokset

Tulokset osoittavat, että vyöhykkeen pienentyessä pienenevät luonnollisesti myös ostoenergiankulutuksen (kWh/a) ja käyttötehokkuusluvun (kWh/(hlö*h)) eli itsenäisten indikaattoreiden tulokset

Sen sijaan vastaavat integroidut indikaattorit (kWh/m^{2}a ja kWh/m^2(hlö*h)) antavat täysin päinvastaiset tulokset osoittaen ristiriitatilanteen käytön minimoimisesta

Lisäkäyttövyöhykkeitä tarkastellessa tärkeä huomio on, että kaikki lisäkäyttö ei ole kannattavaa ilman sitä varten suunniteltuja käyttövyöhykkeitä

Käyttövyöhykkeiden avulla voidaan parantaa sekä rakennuksen käyttö- että energiatehokkuutta yhdessä CO_2-pitoisuuden mukaan ohjatun ilmanvaihdon kanssa

Energiatehokkuus paranee, kun sitä tarkastellaan suhteessa rakennuksesta saatavaan käyttöön

Lisäkäytön lisäämisen negatiivinen vaikutus ilman käyttövyöhykkeitä ja riittävää lisäkäytön määrää osoittaa, että tilasuunnittelun yhteyteen tarvitaan systemaattista käytön suunnittelua jo hankkeen alussa

Suositeltavia suunnitteluratkaisuja koulujen energiatehokkuuden parantamiseksi ovat käytön suunnitteleminen, käytön ajallinen ja henkilömäärällinen tehostaminen, vajaakäytön välttäminen, käyttövyöhykkeiden määrittely ja tarpeenmukaisen talotekniikan hyödyntäminen

Tulosten sovellettavuus ja rajoitteet

Käyttötehokkuus on tarkoitettu käytön suunnittelun kannustamiseen ja huomioimiseen kokonaisvaltaisessa suunnittelussa sekä tuomaan esille näkökulmia, joita nykyinen energialaskenta ei ota huomioon

Tarkoituksena ei ole sijoittaa mahdollisimman paljon ihmisiä mahdollisimman pieneen tilaan, vaan välttää rakennusten vajaa- ja tyhjäkäyttöä talotekniikan toimiessa standardiasetuksilla

Hyvinvointi ja arkkitehtoniset laatutekijät ovat aina etusijalla käyttötehokkuutta tarkastellessa

Käyttötehokkuuden ja käytön suunnittelun tarkoituksena ei ole rajoittaa rakennuksen ja sen käytön muuntojoustavuutta

Vyöhykkeitä voidaan soveltaa muihinkin kuin käyttöön liittyen, esimerkiksi sisäilmasto-olosuhteiden, luonnonvalon ja keinovalaistuksen tai rakenteellisten ominaisuuksien mukaan

Yhteenveto

Olemassa olevat käytön ja energia-tehokkuuden indikaattorit voidaan jakaa itsenäisiin ja integroituihin indikaattoreihin

Nykyinen pinta-alapohjainen energiatehokkuuden laskentatapa korostaa taloteknisiä ratkaisuja jättäen ulkopuolelle käytön ja tilasuunnittelun tarkastelut

Kun huomioidaan käyttö osana energiatehokkuutta (käyttötehokkuus), huomataan että tarvitaan vastakkaisia toimenpiteitä pinta-alapohjaisesti laskettuun energiatehokkuuteen nähden

Käytön lisääminen kasvattaa ostoenergiankulutusta, joka puolestaan näyttäytyy negatiivisena nykyisillä energiatehokkuuden laskentatavoilla

Esitetty käyttötehokkuuden (energian-kulutus/henkilökäyttötunti) laskenta täydentää energiatehokkuuden arviointia

Käyttötehokkuutta ei tule noudattaa hyvin-voinnin tai laatutekijöiden kustannuksella

Käyttövyöhykkeillä ja niihin perustuvalla tarpeenmukaisella talotekniikalla on yhdessä merkittävä vaikutus rakennusten energiatehokkuuteen

Vähäinen lisäkäyttö vaikuttaa negatiivisesti tuloksiin, jos asianmukaisia käyttövyöhykkeitä ole ole laadittu

Systemaattista käytön suunnittelua tarvitaan suunnitteluprosessin alkuun

Rakennusten käytön suunnittelu, käytön lisääminen, vajaa- ja tyhjäkäytön välttäminen sekä tarpeenmukainen talotekniikka ovat suositeltavia energiatehokkuustoimenpiteitä

Lähteet

Aarti Ollila Ristola Arkkitehdit. (22.8.2017). Nemo. Saatavissa: http://aor.fi/School-of-thefuture-for-800-pupils-in-the-new-urban-district-of

Airaksinen, M. (2011). Energy use in daycare centers and schools. Energies, 4, 998–1009.

Alsema, E. A., Anink, D., Meijer, A., Straub, A., & Donze, G. (10/2016). Integration of energy and material performance of buildings: I = E + M. SBE16 Tallinn and Helsinki conference: Build green and renovate deep, Tallinn and Helsinki. Energy Procedia, 96, 517–528.

Bionova Oy. (2017). Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa.

Castagna, M., Antonucci, D., & Lollini, R. (10/2016). Monitoring of CasaNova low energy district: Result and discussion. SBE16 Tallinn and Helsinki conference: Build green and renovate deep, Tallinn and Helsinki. Energy Procedia, 96, 895–906.

Dooley, K. (2011). New ways of working: Linking energy consumption to people. SB11 Helsinki Sustainable Building Conference Proceedings, Helsinki.

Equa Simulations AB. (22.8.2017). IDA indoor climate and energy: A new generation building performance simulation software. Saatavissa: http://www.equa.se/en/ida-ice

Euroopan komissio. (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union, 153, 13.

Euroopan komissio. (2012). Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union, 56, 10.

Euroopan komissio. (2014). COM/2014/015: A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. Communication from the Commission to the European parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.

Euroopan komissio. (2016a). 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.

Lähteet

Euroopan komissio. (2016b). **Directive 2016/0376/COD of the European Parliament and of the Council amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency**.

European Committee for Standardization. (2007). **CSN EN 15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings – Addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics**.

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** (VTT Research Notes 2581). Kuopio: VTT Technical Research Centre of Finland.

Fufa, S. M., Schlanbusch, R. D., S.rnes, K., Inman, M., & Andersen, I. (2016). **A Norwegian ZEB definition, guideline** (ZEB Project Report 29-2016). Oslo: SINTEF Academic Press.

González, A. B. R., Díaz, J. J. V., Caamaño, A. J., & Wilby, M. R. (2011). Towards a universal energy efficiency index for buildings. **Energy and Buildings**, 43, 980–987.

Helsingin kaupunki (2015). **Jätkäsaaren peruskoulu ja Busholmens grundskola: Yleinen kaksivaiheinen arkkitehtuurikilpailu: Kilpailuohjelma.** Kiinteistövirasto, Tilakeskus, Opetusvirasto. Helsinki.

Huovila, A., Tuominen, P., & Airaksinen, M. (2017). Effects of building occupancy on indicators of energy efficiency. **Energies**, 10, 628.

Investment Property Databank. (2010). **IPD environment code: Measuring the environmental performance of buildings.** Saatavissa: http://www.sballiance.org/wp-content/uploads/2014/04/IPDEnvironment-Code-2010.pdf

Junnila, S. (2004). **The environmental impact of an office building throughout its life cycle** (Doctoral dissertation). Helsinki University of Technology, Construction Economics and Management, A research reports 2, TKK-RTA-A2: Otamedia Oy. ISBN 951-22-7284-9, ISBN 951-22-7285-7 (pdf), ISSN 1795-2700.

Junnila, S., & Horvath, A. (2003). Life cycle environmental effects of an office building. **Journal of Infrastructure Systems**, 9, 157–166.

Lähteet

Kalliomäki, P. (9/2016). **Mikä muuttuu energia- ja sisäilmasäädöksissä.** FINVAC Rakennusten energiaseminaari 2016. Helsinki: The Finnish Association of HVAC Societies.

Kim, S. S., Nae, M. J., & Kim, Y. D. (2016). Policies and status of window design for energy efficient buildings. **Procedia Engineering**, 146, 155–157.

Lechner, N. (2015). **Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects** (4th ed.). Hoboken, NJ: Wiley. ISBN 978-1-118-58242-8.

Lylykangas, K., Andersson, A., Kiuru, J., Nieminen, J., & Päätalo, J. (2015). **Rakenteellinen energiatehokkuus: Opas 2015**. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Oikeusministeriö. (1996). **Työaikalaki 9.8.1996/605: 6 § yleissäännös: 3. Säännöllinen työaika**. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Rakennustieto RTS. (1998). **RT 96-10656: Esitys- ja informaatiotilat** (Ohjetiedosto).

Rakennustieto RTS. (2008). **RT 96-10939: Koulurakennus, tilasuunnittelu** (Ohjetiedosto).

Sartori, I., & Hestnes, A. G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings (A review article). **Energy and Buildings**, 39, 249–257.

Sekki, T. (2017). **Evaluation of energy efficiency in educational buildings** (Doctoral dissertation). Aalto University, Department of Built Environment: 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. **Energy and Buildings**, 105, 247–257.

Seppänen, O., & Seppänen, M. (2007). **Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka** (4th ed.). Helsinki: Sisä-ilmayhdistys ry, SIY Sisäilmatieto Oy. ISBN 951-97186-5-6.

Säteri, J. (2008). **Sisäilmastoluokitus 2008: Sisäympäristön uudet tavoitearvot**. Espoo: Sisäilmayhdistys ry.

Thewes, A., Maas, S., Scholen, F., Waldmann, D., & Zürbes, A. (2014). Field study on the energy consumption of school buildings in Luxemburg. **Energy and Buildings**, 68, 460–470.

Lähteet

Vehviläinen, I., Pesola, A., Jääskeläinen, S., Kalenoja, H., Lahti, P., Mäkelä, K., & Ristimäki, M. (2010). **Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt** (Sitran selvityksiä 39). Helsinki: Sitra.

Yhdistyneet kansakunnat. (2015). **FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1: Adoption of the Paris Agreement.** Framework Convention on Climate Change, Paris Agreement.

Ympäristöministeriö. (2011a). **Suomen rakentamismääräyskokoelma: D3 Rakennusten energiatehokkuus** (Ohjetiedosto 2012). Helsinki.

Ympäristöministeriö. (2011b). **Suomen rakentamismääräyskokoelma: D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto** (Ohjetiedosto 2012). Helsinki.

Yong, S.-G., Kim, J.-H., Gim, Y., Kim, J., Cho, J., Hong, H., Baik, Y.-J., & Koo, J. (2017). Impacts of building envelope design factors upon energy loads and their optimization in US standard climate zones using experimental design. **Energy and Buildings**, 143, 1–15.

Kiitos!

Lisätietoja esityksen sisällöstä

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

COMBI-tuloskortti: Tilojen jakamisella vyöhykkeisiin voidaan parantaa rakennusten käyttö- ja energiatehokkuutta

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

Lisätietoja COMBI-hankkeesta

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

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

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