

Tiilijulkisivun valmistuksen ja elinkaaren kasvihuonekaasupäästövaikutukset



Kuva: Wienerberger

20. toukokuuta 2013

Toimeksiantaja: Tiiliteollisuus ry

Raportti

Laatinut: Bionova Consulting

1 Tiivistelmä

Tiilijulkisivut kuluttavat energiaa materiaalien valmistuksessa, etenkin tiilen poltossa. Toisaalta ne säästävät energiaa rakennuksen käytön aikana tuottamalla ylimääräisen, eristävän ilmakerroksen rakenteisiin. Tätä vaikutusta ei huomioida u-arvon laskennassa. Tässä tutkimuksessa on selvitetty tämän eristysvaikutuksen energia- ja päästötaloudellinen merkitys ja tiilijulkisivun elinkaarivaikutus. Selvitys ei vertaile eri materiaaleja keskenään, ja keskittyy yksinomaan tiilirakenteiden kasvihuonekaasupäästöihin.

Elinkaarivaikutus tarkoittaa sitä kokonaisvaikutusta, joka syntyy, kun jotakin asiaa tarkastellaan koko sen elinkaarelta valmistuksesta käytön ja huollon kautta elinkaaren loppuun, eli tiilen tapauksessa kierrätykseen. Elinkaaritarkastelu antaa kuvan kokonaisuudesta eikä mahdollista edullisimman osaluheen valikointia. Kuluttajaviraston mukaan elinkaaritarkastelu on luotettavin ja ainoa relevantti tapa selvittää ympäristövaikutuksia, silloin kun tehdään tuotemarkkinointiin liittyviä ympäristöväittämiä.

Esimerkissä käsitelty NRT130-tiilistä puhtaaksi muurattu tiilijulkisivu painaa noin 220 kiloa per neliometri ja sen CO₂-päästövaikutukset ovat noin 44 kg CO₂e per neliometri. Poriin rakennetun palvelutalon Porin DiaVillan tiilirakenteiden päästöt vastasivat noin 10 % rakennusmateriaalien CO₂e-päästöistä, ja noin 1,4 % rakennuksen 50 vuoden elinkaaren aiheuttamista CO₂e-päästöistä. Julkisivun materiaalien päästöjen suhteellinen merkittävyys elinkaarella pienenee, jos rakennus suunnitellaan tätä pidemmälle käyttöä, ja vastaavasti kasvaa, jos rakennuksen vaipan lämmöneristävyyttä parannetaan.

Tiilijulkisivun takana sijaitsevan ilmaraon lämpötila on eri tutkimusten perusteella ollut lämmityskaudella (laskettu syyskuusta toukokuuhun) eteläjulkisivulla keskimäärin 0,9 °C ja pohjoisjulkisivulla puolestaan 0,7 °C ulkolämpötilaa korkeampi. Kesäaikana alemmissa kerroksissa tiilijulkisivulla on puolestaan ollut vähäinen jäähdyttävä vaikutus. Peukalosääntönä voitaneen pitää vajaan celsiusasteen lämpötilaeroa.

Tämä puolestaan vastaa lämmityskauden (syys-toukokuu) aikana eteläjulkisivulla noin 3,5 kWh ja pohjoisjulkisivulla noin 1,8 kWh lämpöenergian säästöä per neliometri tiilijulkisivua. Saavutetut säästöt vaihtelevat mm. rakenteen, rakennuksen suuntauksen, aurinkoisuuden ja tiilten sävyn perusteella.

Energiansäästöllä saavutettava päästövähennys vastaa siis keskimääräisellä kaukolämmöllä lämmitetyssä kohteessa noin 1 kg CO₂e-hyötyä per m² per vuosi eteläisivulla, ja noin 0,5 kg CO₂e-hyötyä per vuosi pohjoisjulkisivulla. Tiiliseinän valmistuksen aiheuttamia CO₂-päästöjä vastaavat hyödyt saadaan kaukolämpöä käyttävissä rakennuksissa eteläjulkisivulla 44 vuoden aikana ja pohjoisjulkisivulla 85 vuoden aikana, keskiarvona 58 vuoden aikana. Tämän aikajänteen jälkeen syntyvät päästövähennemät ovat tiilijulkisivun tuottamia nettohyötyjä. Uusiutuvalla energialla lämmitetyn kohteen hyödyt ovat vähäiset. Tulokset ovat luonteeltaan suuruusluokkaa antavia ja vaihtelevat käyttökohteen ominaisuuksien mukaan.

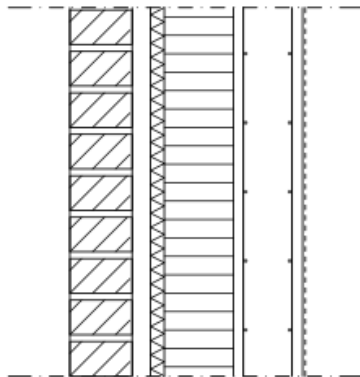
2 Tiilijulkisivun rakenne, elinkaari ja valmistuksen CO2-päästöt

2.1 Tiilijulkisivun rakenne

Tiilijulkisivu on paikalla muurattu rakenne, joka koostuu tiilistä ja laastista. Julkisivu voi koostua joko reikätiilistä tai harvemmin täystiilistä. Tiiliä on eri värisiä, ja väri muodostuu raaka-aineena käytettävän saven värin mukaan. Punatiilet valmistetaan kotimaisesta savesta, vaaleat tiilet tuontisavesta.

Tässä raportissa esimerkit on laskettu tyypillisen NRT-tiilikoon mukaisesti, jonka kappalekoko on 270 x 130 x 75 mm. Näitä tiiliä menee seinäneliötä kohti 42 kappaletta, ja kuivalaastia menee 1,7 per tiili. Muuraustekniikkana käytetään viistomuurausta. Muurauslaastin tyyppi voi olla esimerkiksi M100/600.

Julkisivu voidaan jättää tiilipintaiseksi tai se voidaan rapata. Nykyrakenteissa käytetään usein ruiskutettua kaksikerrosrappaukseen, jota on käytetty näissä esimerkeissä. Kaksikerrosrappauksen pohjalaastina käytetään esimerkiksi 410-ohutrappauslaastia (2 kerrosta) ja pintana esim. 430-laastia.



135 mm	TIILI, RT 285x135x85 Laasti M100/600 Ruostumattomat muuraussiteet 4–6 kpl/m ² , kallistus ulospäin Tarvittavat raudoitteet ruostumatonta terästä Liikuntasaumat n. 6...12 m välein ARK ja RAK suunnitelmien mukaan
40 mm	TUULETUSVÄLI
30 mm	PALOSUOJALEVY, mineraalivilla ≥ 140 kg/m ³ Lämmönjohtavuus: Lambda declared 0,037 W/m ² K Esim: Paroc FPS 14 Mekaaninen kiinnitys eristeeseen työmaalla
150 mm	LÄMMÖNERISTE, POLYURETAANI Lämmönjohtavuus: Lambda declared 0,024 W/m ² K Kiinnitys sisäkuoreen valun yhteydessä
150 mm	TERÄSBETONI, SISÄKUORIELEMENTTI rakennesuunnitelmien mukaan Sisäpinnasta poistetaan sementtitiiliä PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY Ks. huoneselitys Lämmönläpäisykerroin: U = 0,15 W/m ² K Rakenteen paloluokka: REI 60

Kuva. Tiilijulkisivun sivuleikkaus (kuvassa tiili RT-kokoa)

2.2 Tiilijulkisivun elinkaari

Tiilijulkisivun ilmastovaikutukset muodostuvat tiilestä, muurauslaastista ja mahdollisesta rappauksesta. Tiili poltetaan savesta ja laasti sisältää sementtiuunissa poltettua sementtiklinkkeriä. Kaikki materiaalit hankintaan luonnon kiviaineksista ja valmistetaan tuotteiksi, jotka kuljetetaan joko suoraan tehtaalta tai tukkurien kautta rakennustyömaalle. Työmaalla tuotteista pieni osa menee hävikiksi.

Kun tuote on asennettu osaksi rakennusta, sille ei tarvitse tehdä enää mitään. Tiili on hyvin pitkäikäinen rakennusmateriaali. Tavanomaisen rakentamisen näkökulmasta tiiltä voitaneen pitää rakennuksen pitkäikäisimpänä osana, eli se kestää ainakin yhtä kauan kuin rakennuksen runko. Tiilijulkisivua voidaan huoltaa, jos se pääsee likaantumaan esim. tulipalon aiheuttaman noen tai muun saastumisen johdosta. Julkisivu voidaan pestä höyrypesulla puhtaaksi. Esimerkiksi Helsingin vilkasliikenteisillä kaduilla löytyy kuitenkin 100-vuotiaita tiilirakennuksia, joiden seiniä ei ole pesty.

Tiili voidaan loppuhyödyntää murskeena esimerkiksi maanparannuksessa, kun rakennus tai sen julkisivu joudutaan purkamaan. Tiilien hyödyntäminen sellaisenaan on myös teknisesti mahdollista.

2.3 Tiilijulkisivun valmistuksen CO₂-päästöt

Esimerkissä käsitelty NRT130-tiilistä puhtaaksi muurattu julkisivu painaa noin 220 kiloa per neliömetri ja sen CO₂-päästövaikutukset ovat noin 44 kg CO₂e per neliömetri. Laskelma huomioi myös rakennusmateriaalien keskimääräisen työmaahävikin, tiilen osalta 0,1 % ja laastin osalta 15 %.

Materiaali	Menekki kg per julkisivu-m ²	Päästöt kg CO ₂ e per julkisivu-m ²
Reikätiili (kuivapainona)	151,5	34,8
Muurauslaasti (kuivalasti)	71,4	9,3
Yhteensä puhtaaksi muurattu	222,9	44,1
Jos rapataan (2-kerrosrappaus)	+18,8	+3,7

Tässä tiilen valmistuksen päästöt on laskettu pääasiassa öljyyn perustuvan tiilenpolton perusteella ja laastin päästöt perustuvat valmistajan julkaisemaan ympäristöselosteeseen. Osalla suomalaisista tiilen valmistajista on käytössään maakaasua, ja tiilen kuivauksessa hyödynnetään myös puuhaketta. Jos tiiliteollisuus investoi energiahuoltonsa päästöjen alentamiseen, alentuvat tuotteiden valmistuksen CO₂-päästöt lähes suorassa suhteessa valmistuksessa käytetyn energian päästöjen kehitykseen.

Tiilijulkisivun osuus koko rakennuksen CO₂-päästöistä vaihtelee rakennuskohtaisesti. Poriin rakennetun palvelutalon Porin DiaVillan tiilirakenteiden päästöt vastasivat noin 10 % rakennusmateriaalien CO₂-päästöistä, ja noin 1,4 % rakennuksen 50 vuoden elinkaaren aiheuttamista CO₂-päästöistä.

DiaVillan rakennusmateriaalina on käytetty tavanomaista vähäpäästöisemmällä reseptillä valmistettua valmisbetonia, ja lämmitysratkaisuna kaukolämpöä. Rakennuspaikka ei vaadi laajoja perustuksia.

DiaVillan tapauksessa tiilirakenteiden osuus 100 vuoden päästöistä olisi noin 0,8 %, mikäli elinkaaren energian päästöt ovat muuttumattomat. Tämä oletus on kuitenkin erittäin epätodennäköinen. Julkisivun materiaalien päästöjen suhteellinen merkittävyys elinkaarella pienenee, jos rakennus suunnitellaan tätä pidemmälle käyttöiälle, ja kasvaa, jos rakennuksen energiatehokkuutta parannetaan. Kohteen päästölaskelmat esitetty yksityiskohtaisemmin Green Building Council Finlandin julkaisussa Rakennusten elinkaarimittarit (2013).

3 Tiilijulkisivun tuottama energian ja CO2-päästöjen säästö

3.1 Tausta ja lähtöaineisto

Tiilijulkisivu vähentää merkittävästi seinän kautta tapahtuvaa lämpöenergian vuotoa. Hyöty syntyy, sillä ilma ilmaraossa on huomattavasti ulkoilmaa lämpimämpää, ja tämä hidastaa lämmön johtumista rakenteen läpi. Tätä hyötyä ei kuitenkaan huomioida rakentamismääräyskokoelman mukaisissa rakennuksen energialaskelmissa. Aiheesta on olemassa useita tutkimuksia, jotka on tiivistetty alle:

Tutkimus	Mittausten ajanjakso	Kohteet ja sijainti
Metropolia AMK:n käynnissä oleva tutkimushanke	Yksi lämmityskausi 1.08.2012-28.3.2013	Lahden Talot Oy, 2 taloa, etelä-, pohjois- ja itäseiniltä.
<i>Effect of massive outer leaf of an insulated cavity brick wall on heat loss</i> , Tampereen Teknillinen yliopisto, R. Lindberg, J. Rantala, V. Leivo, M. Kiviste,	Julkaistu 13.08.2012 Mittaukset tehty vuosina 2002-2006 ympäri vuoden.	8 identtistä pilottirakennusta Tampereella. Mittaukset etelä- ja pohjoisseiniltä.
<i>Tutkimusselostus N:o TTK_TRT_AVK-280300</i> , Skanska Oy:n (entisen Optirocin kohde) tilaus Teknilliselle korkeakoululle.	Tutkimus julkaistu 28.3.2000 Mittaukset tehty yhtenä lämmityskautena 1.09.1998-30.11.1999	Yksi rakennus Helsingissä. Mittaukset etelä- ja pohjoisseiniltä
<i>Ulkoseinärakenteen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen</i> , Tampereen teknillinen yliopisto, R. Lindberg, H. Keränen, M. Teikari	Julkaistu 1998. Rakennusten lämmönkulutusta mitattu yhtenä lämmityskautena 1997-1998.	6 koerakennusta ilman ikkunoita, Tampereella. Mittaukset etelä-, pohjois- ja itäseiniltä.

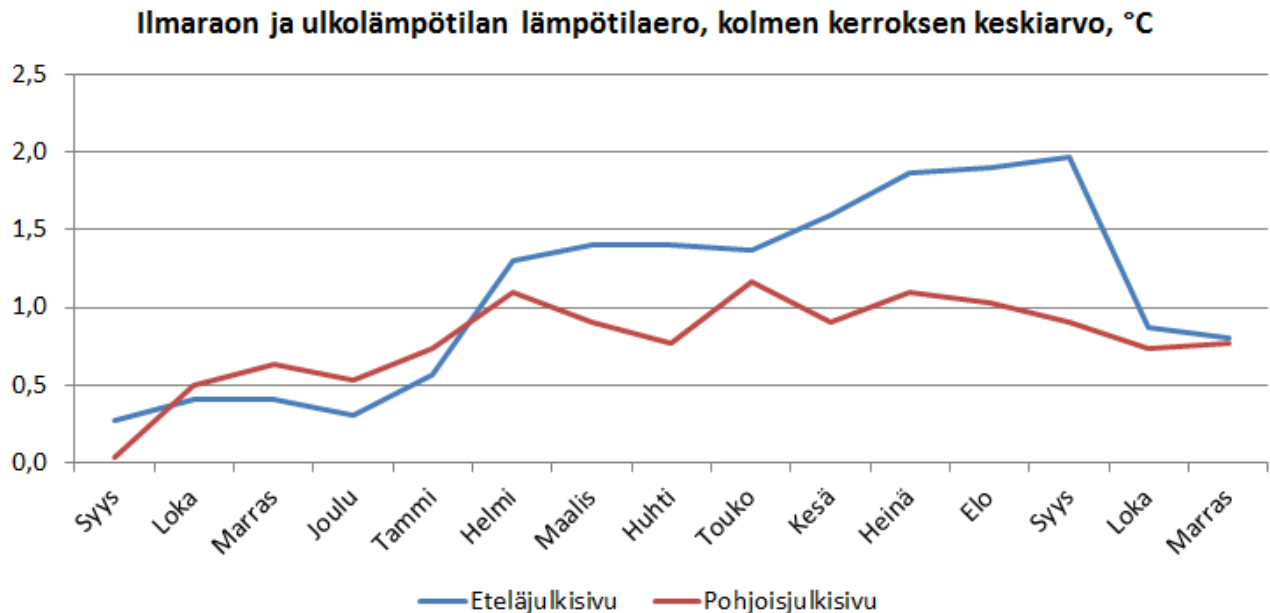
Kaikki tutkimukset osoittavat yhdenmukaisesti, että tiilijulkisivu auttaa säästämään energiaa. Toisaalta osa tutkimuksista ei sisällä riittävästi yksityiskohtia, jotta niitä voitaisiin käyttää tämän hankkeen laskelmissa.

Tämän tutkimuksen laskelmissa on käytetty luotettavimman tietoaineiston tarjoavia tutkimuksia, eli TTK:n vuoden 2000 tutkimusta ja TTY:n vuoden 2012 tutkimusta aiheesta. Lahden Talot Oy:n kohteita koskevat tietosarjat on jätetty pois tuloksista, koska saavutetut lämmitysenergiahyödyt näyttivät pääsääntöisesti liian suurilta. Tämä voisi johtua esim. antureiden asettelusta paloeristekerroksen alle, tai kalibroinnista.

Aihetta on myös tutkittu ilmaraon eristysvaikutusta simuloimalla. Tätä koskeva tutkimus on esimerkiksi *Heat exchange between inner and outer leaf of cavity wall, TU/e*. Tutkimuksessa oli simuloitu kymmenen eri seinävaihtoehtoa ja huomioitu nimenomaan ilmaraon tuottama eristysvaikutus lämmön johtumisessa. Tulos ei ole kuitenkaan esitetty hyödynnettävässä muodossa tämän selvityksen kannalta.

3.2 Julkisivun ilmaraon ja ulkolämpötilan erot

Ilmaraon hyötyvaikutus riippuu auringon säteilystä. Aurinkoisuus puolestaan riippuu julkisivun suuntauksesta. Hyödyt ovat suurimmillaan eteläpuolen julkisivulla, ja taas pienimmillään pohjoispuolen julkisivulla. Useammat tutkimukset osittavat, että monikerroksissa rakennuksissa ensimmäisen kerroksen hyödyt ovat pienempiä kuin ylempien kerrosten, mikä johtuu siitä, että ensimmäinen kerros helpommin jää varjoon ja lämmin ilma nousee ylöspäin ilmaraon sisällä. Auringon säteilyn vaikutus seinän lämpöhäviöihin riippuu myös pinnan sävystä.



Kuva: ulkolämpötilan ja ilmaraon lämpötilaerot kuukausittain. Lähde: TKK:n tutkimus.

Ulkolämpötilan ja ilmaraon välinen lämpötilaero on tämän esimerkin perusteella lämmityskaudella (syyskuusta toukokuuhun) ollut eteläjulkisivulla keskimäärin 0,9 °C ja pohjoisjulkisivulla puolestaan 0,7 °C. Kesäaikana alemmissa kerroksissa tiilijulkisivulla on puolestaan ollut vähäinen jäähdyttävä vaikutus. Peukalosääntönä voitaneen pitää vajaan celsiusasteen lämpötilaeroa.

3.3 Lämpötilaeroja vastaava energiansäästö

Energiansäästö on laskettu rakentamismääräyskokoelman mukaisella ulkoseinän U-arvolla eli lämmönläpäisykertoimella 0,17 W/(m² K). Sisälämpötilana laskennassa on pidetty 21 astetta. Energiasäästö laskettu vähentämällä todellinen seinän läpi johtuva energia laskennallisesta johtumisenergiasta. Laskennallinen johtumisenergia perustuu ulkoilmalämpötilaan ja todellinen

lämpötilaan, joka on mitattu tiiliseinän takana olevassa ilmaraosta. Tiiliseinä varastoi aurinkoenergiaa itseensä ja lämpö vapautuu tiiliseinässä olevaan rakoon myös silloin, kuin aurinko ei paista.

Energiansäästö eri kuukausina vaihtelee, koska auringon säteilyn voimakkuus on erilainen syys-, talvi- ja kevät aikaan. Suurin energiansäästö saavutetaan eteläpuolen seinissä. Pohjoispuolen seinissä tiilikerroksen vaikutus on pienimillään. Itä- ja länsiseinien energiansäästö on etelä- ja pohjoisseinien väliltä. Alla olevassa taulukossa on esitetty tiiliseinän ilmaraon tuottamat energiansäästöt kuukausittain.

Kuukausi	Eteläjulkisivu kWh / m ²	Pohjoisjulkisivu kWh / m ²
Elo	0,63	0,28
Syys	0,45	0,15
Loka	0,26	0,13
Marras	0,18	0,15
Joulu	0,14	0,12
Tammi	0,19	0,14
Helmi	0,36	0,21
Maalis	0,59	0,26
Huhti	0,65	0,28
Touko	0,63	0,34
Kesä	0,65	0,34
Heinä	0,75	0,35
Keskiarvo	0,46	0,23
Lämmityskausi (syys-touko) yhteensä	3,5	1,8

Taulukko: Tiiliseinästä johtuva keskimääräinen energiasäästö kuukaudessa, kWh/m²

Ylläolevat energiansäästöt on laskettu TTY:n ja TKK:n tutkimustulosten keskiarvoina. Tulokset koskevat erityyppisiä rakennuksia, mm. kerrosluvun osalta. Tuloksia ei ole kuitenkaan korjattu tältä osin jälkikäteen.

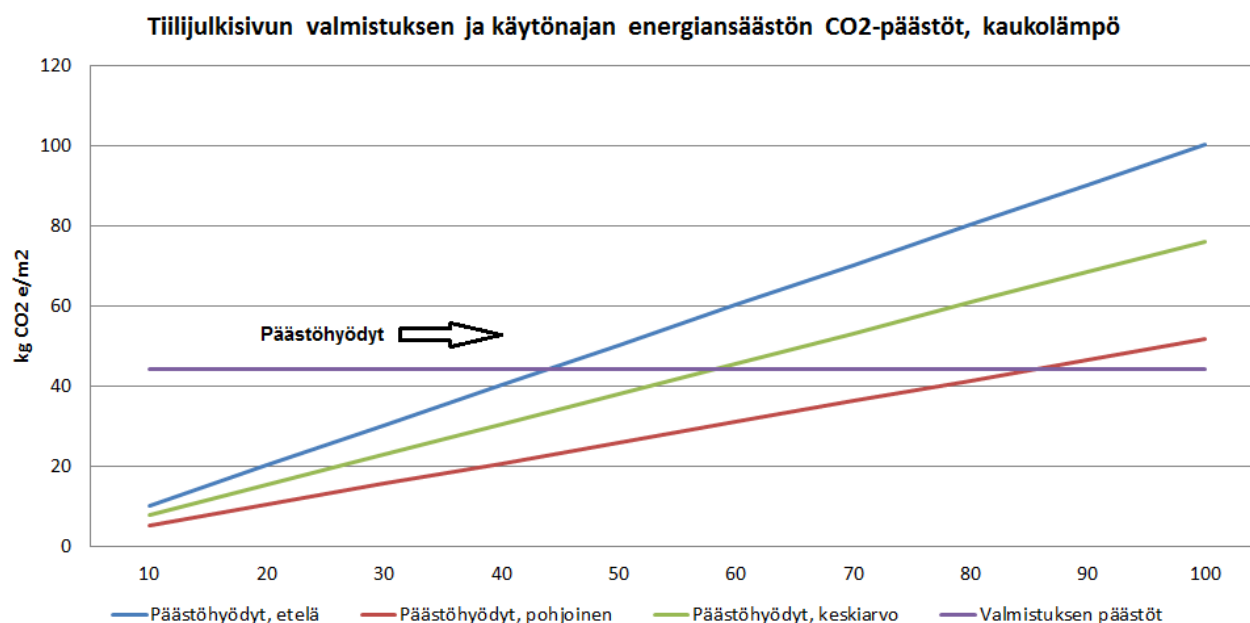
Saavutetut säästöt vaihtelevat rakennuksen suuntauksen, aurinkoisuuden ja tiiltä sävyn perusteella. Tässä käsitellyt rakennukset ovat kaikki olleet punatiilisiä.

3.4 Energiansäästöllä saavutettavat CO₂-päästövähennykset

Energian säästäminen tuottaa jo sinänsä taloudellista hyötyä, mutta sen hyöty ympäristölle voidaan mitata esimerkiksi CO₂-päästöinä. Säästetyn energian CO₂-hyödyt riippuvat käytetyn lämmitysenergian päästötasosta. Tässä esimerkissä lämmitysenergian päästötasona on pidetty Suomessa vuoden 2011 aikana toimitettua keskimääräistä kaukolämpöä, päästötasoltaan noin 290 g CO₂e / kWh.

Vaikutukset vuotta ja m ² kohden	Eteläsuunta	Pohjoissuunta	Keskiarvo
Energian säästäminen, kWh / m ²	3,5	1,8	2,6
CO ₂ -päästövähennykset, kg CO ₂ e / m ²	1,0	0,52	0,76

Kaukolämmöllä lämmitettyjen kohteiden valmistuspäästöjen ja elinkaaren aikaisten nettovaikutusten suhdetta esitetään alla olevassa kuvaajassa. Tulokset vaihtelevat julkisivun suuntauksen ja lämmitysratkaisun perusteella, esimerkiksi uusiutuvalla energialla lämmitetyllä kohteella hyödyt ovat pienemmät.



Energiansäästöllä saavutettava päästövähennys vastaa siis keskimääräisellä kaukolämmöllä lämmitetyssä kohteessa noin 1 kg CO₂e-hyötyä per m² per vuosi eteläisivulla, ja noin 0,5 kg CO₂e-hyötyä per vuosi pohjoisivulla. Tiiliseinän valmistuksen aiheuttamia CO₂-päästöjä vastaavat hyödyt saadaan kaukolämpöä käyttävissä rakennuksissa eteläjulkisivulla 44 vuoden aikana ja pohjoisjulkisivulla 85 vuoden aikana, keskiarvona 58 vuoden aikana. Tämän aikajänteen jälkeen syntyvät päästövähennykset ovat tiilijulkisivun tuottamia nettohyötyjä. Uusiutuvalla energialla lämmitetyn kohteen CO₂-päästöhyödyt ovat vähäiset, mutta saavutettu energiansäästö on yhtä merkittävä.

3.5 Tulosten ja niitä koskevan epävarmuuden arviointia

Tiilijulkisivun päästötasoa koskevat epävarmuudet ovat suhteellisen vähäisiä ja koskevat ensisijaisesti tiilenpolton polttoaineratkaisua. Erityyppisillä tiilirakenteilla, kuten täystiilellä, päästötase on eroa toki tässä esitetystä tuloksesta, ja myös eri tehtaiden tuotteiden välillä on eroja. Jos kyseessä on valkotiili, tuodaan niihin tarvittava savi maahan ulkomailta, ja niiden päästötasetta kasvattaa pidempi kuljetus.

Tiilijulkisivun energiaa säästävä vaikutus tunnetaan hyvin tutkimusten kautta. Vaikka eri tutkimus- ja mittaustulosten välillä on hajontaa, ovat tulokset Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksen mukaan selviä: tiiliulkokuorella on merkittävä energiaa säästävä vaikutus sydäntalven ulkopuolella, kun tiileen varastoituva energia lämmittää iltayöstä myös ilmarakoa. Eri ilmansuuntiin suunnatuilla, eri korkuisilla ja eri tavoin rakennetuilla rakennuksilla on luontaista hajontaa. Kun rakenteiden u-arvoa parannetaan, vähenee tiilijulkisivun tuottama energiansäästöpotentiali jonkin verran.

Jatkossa tiiliteollisuuden on perusteltua anturoida toteutettavien kohteiden ilmaraon lämpötilaa entistä luotettavamman aineiston hankkimiseksi, koska tällöin olisi paremmat edellytykset viedä ilmaraon eristävä vaikutus osaksi rakentamismääräyskokoelman mukaista rakennuksen energialaskentaa.

Rakennusten elinkaariarvioinnin CEN / TC 350-standardien laskentasääntö on, että tulevaisuudessa mahdollisesti toteutuvia ja nykyistä vähäpäästöisempiä ratkaisuja ei huomioida, vaan elinkaaren vaikutusten laskenta perustuu nykydataan ja -päästötasoon. Tässä esitetty elinkaaren päästölaskenta olettaa standardin sääntöjen mukaisesti, että kaukolämmön päästötaso säilyy nykytasolla koko elinkaaren ajan. On selvää, että suuressa osassa Suomen kaukolämpöjärjestelmiä kaukolämmön tuotannon ominaispäästöt tulevat alenemaan seuraavien vuosien ja vuosikymmenien aikana. Jos tätä kehitystä halutaan huomioida, sen huomioiminen on perustelluinta tietyn kaupungin suunniteltujen voimalaitosratkaisujen perusteella. Tästä huolimatta tiilijulkisivu säästää energiaa näissäkkin tapauksissa, vaikka säästetyllä energialla saavutetaankin pienemmät kasvihuonekaasupäästöhyödyt.

Lähdeluettelo

CEN / TC 350 Sustainability of Construction Works-standardiperhe

Energiatoteollisuus ry: Kaukolämpötilasto 2011

Green Building Council Finland: Rakennusten elinkaarimittarit (2013)

Kuluttajavirasto yritykselle: Ympäristöväittämien merkitys pitää arvioida ensin. Osoitteessa: <http://www.kuluttajavirasto.fi/fi-FI/yritykselle/markkinointi/ymparistovaittamat/> (viitattu 20.5.2013)

R. Lindberg, H. Keränen, M. Teikari : Ulkoseinärakenteen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen, Tampereen teknillinen yliopisto.

R. Lindberg, J. Rantala, V. Leivo, M. Kiviste: Effect of massive outer leaf of an insulated cavity brick wall on heat loss, Tampereen Teknillinen yliopisto.

Saint-Gobain Weber GmbH: Umwelt-Produktdeklaration, useita

SFS-EN 15978 Kestävä rakentaminen. Rakennusten ympäristösuoritusarvion arviointi. Laskentamenetelmä

TU/e: Heat exchange between inner and outer leaf of cavity wall.

Tutkimusraportti N:o TKK_TRT_AVK-280300, Skanska Oy:n tilaus Teknilliselle korkeakoululle.

University of Bath: Inventory for Carbon and Energy 2.0