



Joni Pennanen

**ENERGIATEHOKKAIDEN RAKENNUSTEN ENERGIANKULU-
TUKSEN TARKASTELU DYNAAMISELLA SIMULOINNILLA**

ENERGIATEHOKKAIDEN RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUKSEN TARKASTELU DYNAAMISELLA SIMULOINNILLA

Joni Pennanen
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennussuunnittelu

Tekijä: Joni Pennanen

Opinnäytetyön nimi: Energiatehokkaiden rakennusten energiankulutuksen tarkastelu dynaamisella simuloinnilla

Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013 Sivumäärä: 80+ 11 liitettä

Rakennetulla ympäristöllä on suuri merkitys koko yhteiskunnan energiankäytössä ja sen kokonaisenergiankulutus on suuressa osassa koko yhteiskunnan tuottamasta hiilidioksidipäästöistä. Rakennukset ovat osa rakennettua ympäristöä. Ne kuluttavat vuosittain merkittävän osan koko yhteiskunnan tarvitsemasta energiasta.

Opinnäytetyön tavoitteena oli laskea kahden pientalon energiankulutus käyttämällä dynaamista energia- ja sisäilmastosimulointiohjelmia. Työssä tutkittiin, kuinka hyvin rakennukset edustavat tämän hetken energiaterhokkaita rakennuskonsepteja. Työssä käsiteltävät kohteet ovat osa IEEB- (Increasing Energy Efficiency in Buildings) projektia. Dynaamisella simuloinnilla saatiin selville rakennusten energiankulutus ja energiantarve. Ensimmäinen kohde mukaili suomalaista passiivitalomääritelmää. Rakennuksen energiantarve Oulussa oli suurempi kuin suomalaisen passiivitalomääritelmän mukainen. Toinen kohde edusti matalaenergiatasoista rakentamista. Molempien kohteiden energiantarve oli vielä kaukana suomalaisen passiivitalomääritelmän mukaisesta tavoitteesta.

Molempien rakennusten tuloksia verrattiin PHPP- (Passive House Planning Package) tuloksiin. Suomalaisen rakentamismääräysten mukaiset sisäisten kuormien arvot ovat suuremmat kuin PHPP:ssä käytetyt arvot. Dynaamisella simuloinnilla energiantarve oli pienempi. Tämä ero johtuu lähtöarvojen sisäisten kuormien välisestä erosta.

Rakennuksista tutkittiin kesäajan sisäilman laatua rakennusten yllämpenemistä. Käyttämällä yöaikaista ikkunatuuletusta ehkäistiin rakennusten kesäaikaista yllämpenemistä. Toisessa kohteessa kesäajan huonelämpötilan hallinta koettiin haastavaksi. Molempien rakennusten huonelämpötilan hallinta saavutettiin käyttämällä teknisiä ratkaisuja.

Kylmäsiltojen vaikutusta tilojen lämmitysenergiatarpeeseen tutkittiin käyttämällä laskettuja kylmäsiltojen arvoja osassa laskentatapauksia. Kylmäsilto vaikuttivat tarkasteltavien rakennusten energiankulutukseen. Jatkotutkimuksessa kohteiden lämmitysenergiatarvetta voidaan mallintaa erilaisilla rakenneratkaisuilla.

Asiasanat: energiaterhokkuus, energiankulutus, passiivitalo, kylmäsilta

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building and Renovating

Author: Joni Pennanen

Title of thesis: Energy Consumption Calculation of Low Energy Houses Using Dynamic Simulating Tool

Supervisor: Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2013 Pages: 80 + 11 appendices

The built environment has a great significance for the whole society in terms of energy use and it produces large part of the CO₂ emissions. Buildings are part of the built environment.

The purpose of this bachelor`s thesis was to calculate the energy consumption of two single-family houses using a dynamic simulation tool of indoor climate and energy. Also, the purpose of this study was to examine how well the buildings represent today's energy-efficient building concepts. The studied houses are a part of IEEB-(Increasing Energy Efficiency in Buildings) project. The dynamic simulation revealed the energy consumption in buildings and their heat demand. Both buildings were calculated using weather data of the Oulu and Helsinki. The first house adapted a Finnish passive house definition. The heat demand on this building was higher than in Finnish passive house definition. The second house represented Finnish low-energy building definition.

The dynamic simulation results of both buildings were compared to PHHP (Passive house Planning Package) results. The result was that internal load values of The National Building Code of Finland are higher than internal load values in PHHP. PHHP heat demand results are higher than of dynamic simulation heat demand results. This difference is due to the differences between the initial values of the internal loads.

Both buildings were simulated several times to explore the air quality and overheating in summer time. Using night-time window ventilation prevented overheating in summer months. In the second building summer time indoor room temperature control was seen as a challenge. In both buildings room temperature control was achieved by using technical solutions.

The thermal bridges affected the heat demand of buildings. Better designing of the thermal bridge can have a great effect to whole buildings energy consumption. In a further study houses can be modeled with different structural solutions.

Keywords: energy efficiency, energy consumption, passive house, thermal bridge

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 YMPÄRISTÖ JA ENERGIATEHOKKUUS	9
2.1 Rakennettu ympäristön energiakäyttö ja hiilidioksidipäästöt	9
2.2 Rakentamisen ohjaus ja tulevaisuus	13
3 ENERGIATEHOKKAAT RAKENTAMISEN PERIAATTEET	14
3.1 Energiatehokkaat rakennuskonseptit	14
3.1.1 Matalaenergiatalo	15
3.1.2 Saksalainen passiivitalokonsepti	16
3.1.3 Suomalainen passiivitalokonsepti	17
3.1.4 Nollaenergiatalo	17
3.2 Energiatehokas suunnittelu	19
3.2.1 Tilasuunnittelu	19
3.2.2 Kaavoitus ja arkkitehtisuunnittelu	19
3.2.3 Rakenteiden lämmöneristys	21
3.2.4 Rakenteiden väliset kylmäsillat	22
3.2.5 Ikkunat ja tilan ylläpitäminen	25
3.2.6 Sisäilman laatu ja sen hallinta	27
3.2.7 Rakennuksen ilmantiiveys	31
3.3 Energiasuunnittelu	32
4 ENERGIASIMULOINTI	36
4.1 Tutkimusmenetelmän kuvaus	36
4.2 Pysyvät lähtöarvot	38
4.3 Kohteiden esittely	38
4.3.1 Kohde A Kastelli-talo	39
4.3.2 Kohde B Lammi Kivitalot	43

5 ENERGIASIMULOINNIN TULOKSET	49
5.1 Kohde A: Kastelli-talo	49
5.1.1 Rakennuksen ostoenergiantarve	49
5.1.2 Rakennuksen kokonaisenergiantarve	56
5.1.3 Kylmäsiltojen vaikutus nettoenergia tarpeeseen	56
5.1.4 Kesäajan huonelämpötilan tarkastelu	57
5.2 Kohde B: Lammi Kivitalot	60
5.2.1 Rakennuksen ostoenergiantarve	60
5.2.2 Kylmäsiltojen vaikutus nettoenergia tarpeeseen	65
5.2.3 Kesäajan huonelämpötilan tarkastelu	66
5.3 Tulosten tarkastelu, johtopäätökset ja jatkotutkimus	68
5.4 Luotettavuus ja kriittisyys	71
6 YHTEENVETO	73
LÄHTEET	76
LIITTEET	79

SANASTO

Energiankulutus	Rakennuksen energiankulutus koostuu järjestelmien lämpöenergiasta, sähköenergiasta, jäähdytysenergiasta sekä järjestelmien häviöstä
Energialuku E-luku	Energiamuotojen kertoimilla painoitettu rakennuksen E-vuotuista ostoenergian laskennallinen energiankulutus (kWh/m ² a).
Energiantarve	Rakennuksen energiantarve koostuu tilojen lämmitystarpeesta, käyttöveden lämmitystarpeesta, sähkönergiantarpeesta ja jäähdytysenergiantarpeesta.
Lämmitysenergian nettotarve	Lämmitysenergian nettotarve on energia, joka tuodaan lämmitysjärjestelmällä tiloihin, tuloilmaan ja käyttöveeseen.
Ostoenergia	Rakennukseen ulkopuolelta ostettavan energianmäärä.
Tilojen jäähdytysenergian nettotarve	Tilojen jäähdytysenergian nettotarve koostuu tilojen jäähdytysenergian tarpeesta ja ilmanvaihdon jäähdytyksen nettoenergian tarpeesta.
Tilojen lämmitysenergian nettotarve	Tilojen lämmitysenergian nettotarve koostuu tilojen lämmitysenergian tarpeesta, tilojen lämmitysenergian tarve vähennettynä sisäiset lämpökuormat.
Tilojen lämmitysenergian tarve	Tilojen lämmitysenergian tarve koostuu vaipan johtumislämpöhäviöstä, vuotoilmanlämpöhäviöstä, tilassa tapahtuvan tuloilman lämpiämisestä ja korvausilman lämpenemisen lämpöenergiantarpeesta.

1 JOHDANTO

Rakennetun ympäristön energiankäyttöön ja sen vaikutuksiin hiilidioksidipäästöjen aiheuttajana on alettu kiinnittää viimeisen vuosikymmenen aikana enemmän huomiota. Rakennukset ovat merkittävä osa rakennetun ympäristön vuosittaisista hiilidioksidipäästöistä. Energiatehokkuus on noussut rakentamisessa keskeiseksi kehityskohteeksi niin suunnittelussa kuin rakennusvaiheen toiminnoissa. Suomessa rakentamismääräykset ovat kehittyneet muutamassa vuodessa kohti entistä energiatehokkaampaa suunnittelua ja tulevaisuudessa kehitys jatkuu kohti energiatehokkaampaa yhteiskuntarakennetta.

Nykyään rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen keskitytään paljon enemmän. Rakennusten energiatehokkuuden parantuessa suunnittelussa käytettävien laskentatyökalujen tarve tulee lisääntymään. Rakennus on usean osan ja tekijän summa ja sen energiankäyttöön vaikuttaa moni tekijä, viime kädessä käyttäjä itse. Tulevaisuudessa rakennusten energiankäyttöä pyritään asteittain vähentämään, mikä aiheuttaa paineita kehittää uusia suunnittelukäytäntöjä.

Tämän työn tarkoituksena on perehtyä rakennusten energiankäytön tarkastelemiseen dynaamisella laskentatyökalulla. Työssä tutkitaan, kuinka hyvin rakennukset edustavat tämän hetken energiatehokkaita rakennuskonsepteja. Työssä käsiteltävät kohteet ovat osa IEEB- (Increasing Energy Efficiency in Buildings) projektia. Dynaamisena laskentatyökaluna toimii IDA Indoor Climate and Energy.

Työssä tarkastellaan kahden omakotitalon lämmitysenergian käyttöä ja kokonaisenergian kulutusta. Lisäksi selvitetään, miten tutkittavat rakennukset edustavat tämän hetken energiatehokkaita rakennuskonsepteja. Samalla tutkitaan rakennusten sisäilmastoa ja kesäajan huonelämpötilan hallintaa. Tässä työssä tarkastellaan rakenteiden kylmäsiltojen vaikutusta käsiteltävien rakennusten lämmitysenergian tarpeeseen.

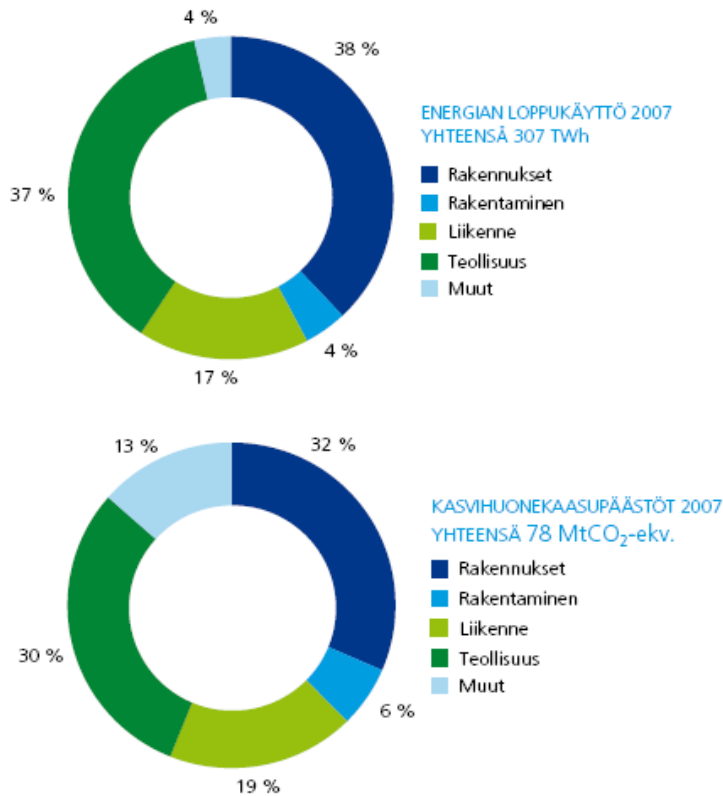
2 YMPÄRISTÖ JA ENERGIATEHOKKUUS

2.1 Rakennettu ympäristön energiakäyttö ja hiilidioksidipäästöt

Rakennetulla ympäristöllä tarkoitetaan ihmisen omiin tarpeisiinsa muovaamaa ympäristöä. Rakennettu ympäristö muodostaa koko nyky-yhteiskunnan, sisältäen yhteiskuntarakenteen, jossa päivittäin elämme. Rakennetun ympäristön olennainen osa ovat rakennukset. Rakennetulla ympäristöllä on keskeinen rooli koko yhteiskunnan energiankäytössä. Rakentamisessa käytetään vuosittain yli 40 % yhteiskunnan energiasta ja tämä energiankäyttö aiheuttaa yli 40 %:n hiilidioksidipäästöt vuosittain. Rakennetun ympäristön vaikutus on todella suuri, kun tarkastellaan rakentamisen ja liikenteen yhteisvaikutusta koko yhteiskunnan energian loppukäytössä. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 21, 24.)

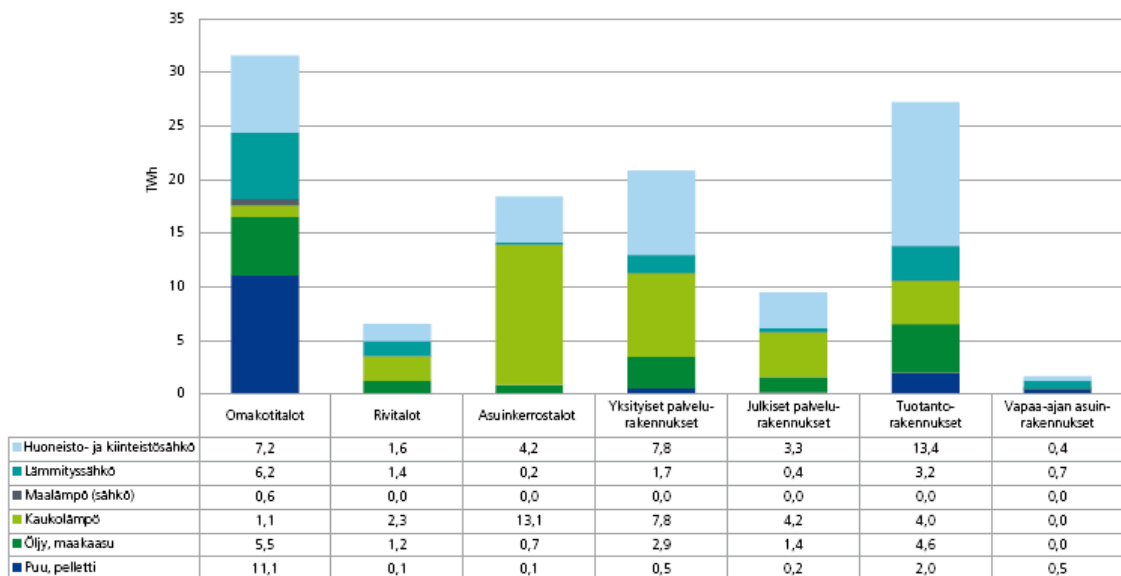
Rakennukset kuluttavat energiaa koko sen elinkaarensa aikana. Rakennusten elinkaareksi ajatellaan yleisesti noin 50 vuotta ja tällöin rakennusten energiankäytön merkitys koko sen elinkaarensa aikana on valtava. Tästä syystä energiatehokkuuden huomioiminen rakennusten rakennusvaiheessa on tärkeää. Rakennuksen elinkaari muodostuu sen rakentamisesta, käyttö- ja ylläpitovaiheesta ja teknillisestä tai toiminnallisesta korjaus- ja purkuvaiheesta. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 24, 25.)

Nykyinen rakennuskanta käyttää elinkaarensa aikana suuren määrän koko yhteiskunnan energian loppukäytöstä. Rakennetun ympäristön energiatehokkuuden nostaminen olemassa olevassa rakennuskannassa on keskeistä kohti energiatehokasta yhteiskuntarakennetta. Rakennetun ympäristön energiankäytön jakautuminen on esitetty kuvassa 1. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 24.)



KUVA 1. Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja hiilidioksidipäästöt vuonna 2007 (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 24)

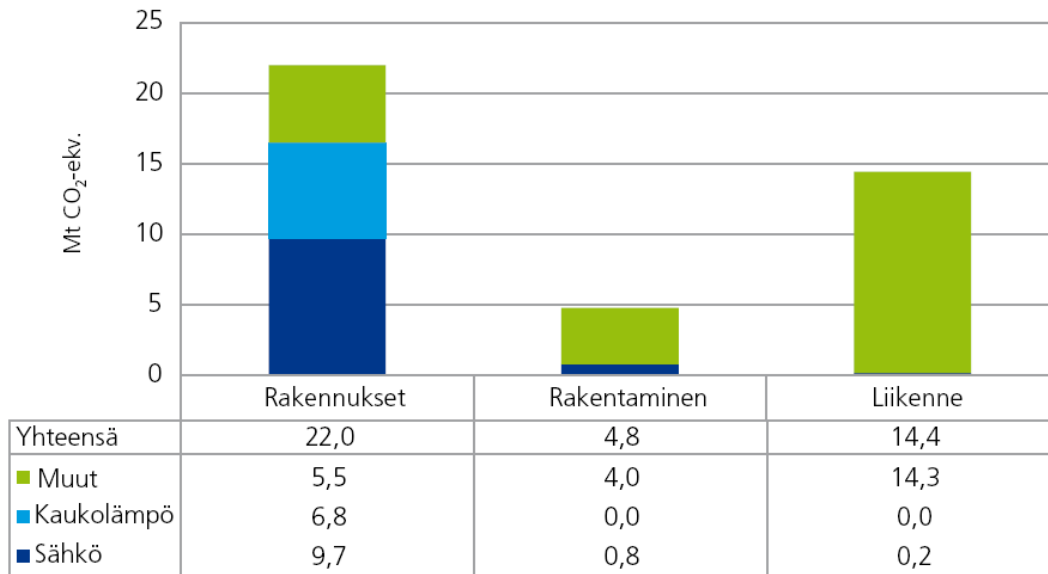
Rakennetun ympäristön energian loppukäyttö vuonna 2007 oli 307 TWh. Rakennuksissa käytettävän sähkö- ja lämmitysenergian osuus oli 38 % energian loppukäytöstä. Tästä syystä rakennusten energiankulutus ja –tuotanto vaikuttavat suuresti yhteiskunnan aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin. Vuonna 2007 Suomen kansainvälisten ilmastovelvoitteiden mukaisesti lasketut kasvihuonepäästöt olivat 78 Mt CO₂-ekv. Tästä rakennuksissa muodostui 32 % ja liikenteessä 19 %. Rakennuksen energiantuottamisessa käytetään keskimääräistä enemmän päästöjä aiheuttavia polttoaineita. Energian loppukäyttöä vastaavaa määrää tuotetaan suurimaksi osaksi sähköllä ja suoralla polttoaineella. Rakennuksissa energian loppukäyttö jakautui kuvan 2 mukaisesti. Kuvasta 2 nähdään, että rakennuksissa käytettävä sähköenergian määrä on isossa osassa rakennusten energian loppukäytöstä. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 24.)



KUVA 2. Rakennustyyppien mukaan energian loppukäytön jakautuminen vuonna 2007 (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 27)

Sähköenergian käyttö varsinkin omakotitaloissa on suurta. Omakotitalojen energian loppukäytöstä on suuri osuus uusiutuvilla energianlähteillä; pelletillä ja puulla. Tuotantorakennusten energiankäytössä varsinkin sähköenergiankäyttö on suuressa osassa. Tulevaisuudessa energiantuottaminen paikallisesti on hyvin perusteltua asuinrakennuksissa ja osana teollisuuden toimintaa. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 24, 25.)

Rakennetun ympäristön hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet 1990 vuoden alusta 2000-luvun alkuun. Rakennetun ympäristön kasvihuonepäästöt ovat olleet suurimmillaan vuonna 2003, jolloin ne olivat 43 Mt CO₂-ekv. Vaihtelua on vuosittain ja se johtunee useasta eri seikasta. Kuvassa 3 rakennetun ympäristön hiilidioksidipäästöt osa-alueittain. Rakennetulla ympäristöllä on suuri vaikutus koko yhteiskunnan kasvihuonepäästöihin. Etenkin energian tuotantojen muodot ovat tärkeässä asemassa. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 26.)



KUVA 3. Rakennetun ympäristön hiilidioksidihuonepäästöt osa-alueittain. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 26)

Rakennetulla ympäristöllä on suuri vaikutus koko yhteiskunnan hiilidioksidipäästöissä. Tähän muutokseen voidaan koko yhteiskunnan suunnittelussa vaikuttaa. Rakennuksissa kasvihuonepäästöt tapahtuvat suurimmaksi osaksi kaukolämmön ja sähkön käytöstä. Rakentamisessa käytettyjen materiaalien hiilidioksidipäästöt ovat huomattavasti pienempi osa kuin rakennusten aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. Kuitenkin rakennusmateriaalien valmistuksesta syntyviin hiilidioksidipäästöihin liittyy merkittävää epävarmuutta puutteellisen tiedon vuoksi. Merkittävimmät päästöt syntyvät liikenteessä polttonesteiden käytöstä, mutta rakennusten energiankäytön yhteisvaikutus on vielä suurempi. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 26.)

Yhteiskunnan energiatehokkuuden nostamisella on tulevaisuudessa suuri vaikutus rakennusten hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Uusiutuvan energiantuotanto paikallisesti esimerkiksi aurinkoenergialla vähentäisi rakennusten tuottamia hiilidioksidipäästöjä koko elinkaaren aikana. Tulevaisuudessa energiatehokkuuden nostaminen kaikessa toiminnassa on edesauttamassa kohti vähäpäästöisempää yhteiskuntaa. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 8.)

2.2 Rakentamisen ohjaus ja tulevaisuus

Kansallinen säädösohjaus perustuu suurimaksi osaksi maankäyttö- ja rakennuslakiin sekä rakentamismääräyksiin. Rakentamisen säädösohjaus on tehokkain tapa muuttaa rakentamisen suuntaa kohti energiatehokkaampaa rakentamista. Rakentamisen säädösohjaus on keskeisessä roolissa tulevaisuudessa kohti energiatehokkaampaa rakennuskantaa. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 41.)

Vuonna 2008 rakentamismääräyksiä muutettiin, jolloin suurin muutos oli rakenteiden U-arvoissa ja näin vaikuttaen rakennusten vaipan lämpöhäviöihin. Vuoden 2012 heinäkuussa astui voimaan uusi rakentamismääräysmuutos, jossa suurin muutos on rakennukselle tehtävä kokonaisenergiatarkastelu. Tarkastelulla otetaan huomioon koko rakennuksen energiakäyttö ja lämmitystavan valinta. Kokonaisenergia muodostuu ostoenergian ja primäärienergiakertoimien tulosta näin muodostaen rakennuksen E-luvun. Tällä uudistuksella parannetaan uudisrakennusten energiatehokkuutta noin 20 prosentilla aikaisempaan tasoon verrattuna. (Kalliomäki 2011a, Kalliomäki 2011b.)

Tulevaisuudessa tärkein rakennusten energiatehokkuutta ohjaava direktiivi EU:n tasolla on rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EPBD (2010/31EU). Direktiivi asettaa kansalliset energiatehokkuuden vähimmäisvaatimuksen tulevaisuuden uudis- ja korjausrakentamiselle. Direktiivin nojalla EU:ssa tavoitellaan vuonna 2020 lähes nollaenergiatasoa ja uusiutuvien energialähteiden osuuden nostaminen 20 %:iin energian loppukulutuksesta. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 42, 61.)

Tulevaisuuden rakentamismääräyksiä kehitys on haastava koko rakennusalan toimintaketjulle suunnittelusta työmaatoimintaan. Uusiutuvan energiantuotannon suunnittelu ja käyttö on myös tulevaisuuden haasteita.

3 ENERGIATEHOKKAAT RAKENTAMISEN PERIAATTEET

3.1 Energiatehokkaat rakennuskonseptit

Rakennusten energiatehokkuuden käsitteitä ovat erilaiset rakennuskonseptit, jotka määrittelevät rakennuksen ominaisuuksia ja rakentamistapaa. Konseptit ovat muovautuneet tutkimus- ja kehitystyön tuloksena ja pyrkivät suunnittelussa sekä toteutuksessa erittäin korkeaan rakentamisen laatuun. Suunnittelussa pyritään optimoimaan rakennuskonseptin mukaisesti rakennuksen käyttötilat, rakennejärjestelmä, talotekniset järjestelmät ja rakennuksen energiantuotanto yhteiseksi energiatehokkaaksi kokonaisuudeksi. Energiatehokkaalle rakennuskonseptille on ominaista, että rakennuksen suunnittelussa otetaan huomioon kaikki rakennuksen energiankäyttöön liittyvät ominaisuudet. Rakennusosille tai järjestelmille ei tehdä yksittäistä optimointia vaan koko rakennuksen kokonaisenergiatuotannon yhteisvaikutus pyritään huomiomaan. (Sarja – Airaksinen – Åström – Matilainen – Korhonen – Valjus – Leppänen – Peltonen – Kalema – Pulakka – Kurnitski – Peltokorpi 2009, 20.)

Rakennuskonseptille on keskeinen periaate monistettavuus, jolloin rakennuksen tuotannossa päästään käyttämään totuttuja, hyväksi havaittuja käytäntöjä ja rakennustapoja. Monistettavuudella päästään myös kustannussäästöön ja ennaltaehkäistään rakennusvaiheen laadullisia ongelmia. Rakennusyrietykset ja talotehtaat käyttävät hyväksi rakennuskonsepteja ja kehittävät omaa toimintaansa niihin sopivaksi. (Sarja ym. 2009, 19, 20, 46.)

Energiatehokkaiden rakennuskonseptien yhteinen tavoite on arkkitehti-, talotekniikka- ja rakennussuunnittelussa hyvä rakentamisen laatu ja toteutettavuus sekä passiivisten energialähteiden hyödyntäminen kuten auringon lämpösäteilylämmityskaudella. Energiatehokkaat rakennuskonseptit vaativat huolellista, toimivaa suunnittelua ja toimintatapaa rakennusprosessin alkuvaiheesta lähtien. Etenkin korostuu suunnittelijoiden yhteistyö rakennuksen kokonaisuutta suunniteltaessa. Rakennuksen koko elinkaarta ajatellen tärkeimmät päätökset tehdään suunnitteluprosessin aikana. (Sarja ym. 2009, 18.)

Laadun varmistuksessa tulee käyttää erilaisia mittausmenetelmiä, jolloin voidaan varmistua laadullisesti onnistuneesta rakennusprosessista. Näin voidaan poistaa jo rakennusvaiheessa tyypillisimmät rakennusvirheet. Työmaan toiminnassa täytyy huolehtia tarvittavista suojauksista ja kosteuden hallinnasta rakennusprosessin aikana. (Sarja ym. 2009,18, 166.)

Energiatehokkuuteen pyrittäessä tulisi myös huomioida rakennuksen laitteiston ja valaistuksen sähköenergian kulutus. Näin voidaan vaikuttaa rakennuksen ostoenergian tarpeeseen. Kodinelektroniikan ja talouslaitteistojen energiankulutusta voidaan pudottaa esimerkiksi sähköä säästävillä laitevalinnoilla. Valaistuksen sähkön käyttöä voidaan taas vähentää esimerkiksi valitsemalla LED- tai energiansäästölamput. (Sarja ym. 2009, 18.)

Asukkaan asumistottumukset vaikuttavat samoin rakennuksen lämmityksen nettoenergian tarpeeseen. Energiatehokas rakennus voidaan varustaa säätöautomaatiikalla, jolloin asukas itse voi vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen esimerkiksi pudottamalla huoneen tavoitelämpötilaa poissa ollessaan. Todellinen rakennuksen energiankulutus on kuitenkin asukkaan käsissä ja tiedostamalla rakennuksen energiakäyttöön vaikuttavat toimenpiteet voivat vaikuttaa energia- ja sähkölaskun suuruuteen. (Sarja ym. 2009,18.)

3.1.1 Matalaenergiatalo

Matalaenergiatasoinen rakentaminen on ollut nykyään yksi yleinen tavoite energiatehokasta rakennusta suunniteltaessa. Matalaenergiarakentamisen keskeisenä tavoitteena on vähentää rakennuksen energiakulutusta normaaliin rakentamiseen verrattuna. Matalaenergian luokituksen keskeinen tunnus on ollut rakennuksen energiatodistuksen mukainen energiatehokkuusluku (ET-luku). Matalaenergiarakentamisen ET-luvun vaatimus on alle 150 kWh/brm². ET-luku saadaan rakennuksen vuotuisesta kokonaisenergian määrästä jaettuna rakennuksen bruttopinta-alalla. (Sarja ym. 2009, 31.)

Lämmitysjärjestelmä tukee energiatehokasta suunnittelua ja lämmönjakotapana matalaenergiarakentamisessa käytetään yleisesti vesikiertopattereita tai lattialämmitystä. Matalaenergiarakentamisen eräs keskeinen periaate on vähentää ostettavan energianmäärää rakennuksessa. Tämä voidaan saavuttaa esimer-

kiksi maalämpöpumpputekniikalla, jolloin säästetään tilojen lämmitysenergiassa sekä käyttövedenlämmitysenergiassa. Rakentamisessa kiinnitetään huomiota myös rakenteiden johtumishäviöihin ja ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton hyvään hyötysuhteeseen. (Sarja ym. 2009, 20.)

Uusi rakennusten energiatehokkuuden määräys astui voimaan 1.7.2012, jolloin ET-luvun tilalle tuli E-luku ja matalaenergiataso muuttaa muotoaan.

3.1.2 Saksalainen passiivitalokonsepti

Passiivitalo on virallisesti Saksalaisen Passivehaus Instituten lanseeraama rakennuskonsepti. Lyhyesti passiivitalo on erittäin hyvin eristetty rakennus ja sen suunnittelu on tehty huolellisesti käyttämällä sille asetettuja sääntöjä ja laskentamenetelmiä. Passiivitalon perusidea on pitää rakennuksen lämmitysenergian tarve mahdollisimman pienenä alle 15 kWh/m²a. (Feist – Kaufmann - Pfluger – Schnieders – Kah 2007, 14, 23.)

Rakennuksen lämmitysjärjestelmä on saksalaisessa passiivitalokonseptissa mahdollisimman yksinkertainen esimerkiksi ilmanvaihtolämmitys ja erillistä lämmitysjärjestelmän rakentamista ei tarvita. Poistoilman lämmöntalteenoton tulisi olla mahdollisimman hyvä. (Feist ym. 2007, 14.)

Saksalaisen passiivitalokonseptin mukaan primäärienergian kulutus on 120 kWh/m².a Rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-ero tulee olla $q_{50} 0,6$ (m³/(h m²)) rakennusvaipan pinta-alaa kohti. Passivehaus Institutin rakennuskonseptissa käytetään lattian pinta-alana tread floor area, jonka laskentatapa poikkeaa kotimaisesta nettopinta-alan laskennasta. Saksalaista passiivitaloa tavoiteltaessa energianlaskenta tehdään Passivehaus Institutin kehittämällä Passive house planning package (PHPP) Excel-ohjelmistolla ja säädätänä käytetään paikkakunnan säätietoja. PHPP:ssä ei määritellä kovin tarkasti lämmitysjärjestelmän teknisiä ominaisuuksia tilojen lämmitystarpeen laskennassa. Saksalainen passiivitalomääritelmä perustuu yksinkertaisuudelle, jossa tilojenlämpöhäviöt ovat erittäin pienet ja lämmitystapa yksinkertainen. (Feist ym. 2007, 14; Nieminen – Lylykangas 2008, 4.)

3.1.3 Suomalainen passiivitalokonsepti

Suomalaista passiivitalokonseptia on VTT kehittänyt vuonna 2008 Promotion of European Passive Houses projektissa. Tavoitteena on ollut saada harmonisoitua passiivitalon perusajatus kylmempiin sääolosuhteisiin. Huomioimalla kuitenkin kylmän säätyypin mukana tuomat haasteet, kuten perustusten routiminen. Suomalaisessa passiivitalokonseptissa lämmitysenergiantarve vaihtelee maantieteellisen sijainnin mukaan. Lämmitysenergian tarve maantieteellisen sijainnin mukaan on esitetty taulukossa 1. (Nieminen – Lylykangas 2008, 3.)

TAULUKKO 1. Suomalainen passiivitalomääritelmä maantieteellisen sijainnin mukaan (Nieminen – Lylykangas 2008, 9)

Maantieteellinen sijainti	Lämmitysenergiantarve kWh/m ²	Primäärienergiantarve kWh/m ²
Pohjois-Suomi	< 30	< 140
Keski-Suomi	< 25	< 135
Etelä-Suomi	< 20	< 130

Rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-ero tulee olla $q_{50} 0,6$ (m³/h m²) rakennusvaipan pinta-alaa kohti. Suomalaisessa passiivitalomääritelmässä lattia pinta-alana käytetään bruttoalaa, mikä poikkeaa saksalaisesta passiivitalomääritelmästä. Suomalaisen passiivitalo määritelmässä laskentatyökalu on vapaasti valittava, mutta kesäajan huonelämpötilan tarkastelu tulee tehdä dynaamisel-lasimulointiohjelmalla. (Nieminen – Lylykangas 2008, 9.)

3.1.4 Nollaenergiatalo

Kun lähdetään tavoittelemaan energiatehokkuusdirektiivin mukaista lähes nollaenergiarakennusta, rakennus tulee suunnitella käyttämään uusiutuvia energiälähteitä. Tämä tarkoittaisi esimerkiksi aurinkovoimalla sähkön tuottamista osana rakennuksen lämmitysjärjestelmää. Aurinkovoimalla tuotettua ylimääräistä sähköenergiaa voitaisiin yksinkertaisesti siirtää sähköverkkoon, jolloin rakennus tuottaisi vaihtoehtoisesti ylimääräistä energiatuotantoa sähköverkkoon. Huippukulutuksen aikana rakennus saisi verkosta tuottamaansa energiaa ja

rakennuksen vuosittainen kokonaisenergiatase olisi lähes 0 kWh/m²a. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 8, 41.)

Nollaenergiatalon määritelmää ei ole vielä ratkaistu, ja se tulee tulevaisuudessa tarkentumaan lopulliseen muotoonsa. Tämän hetken tavoitteena on paremminkin lähes nollaenergiatalo. Rakennuksen ostettavan energian ja siinä tuotettavan energian määrän tulisi olla lähes 0 kWh/m². Nollaenergiarakennusten tuotanto perustuu myös paikalliseen energiantuotantoon. Vuoden 2012 energiatehokkuuden määräys valmistaa hyvin rakennusalaa kohti tulevaa nollaenergiarakentamista, kun rakennusten kokonaisenergiatarkastelu tulee vaatimukseksi. (Lylykangas 2011b.)

3.2 Energiatehokas suunnittelu

3.2.1 Tilasuunnittelu

Energiatehokkaissa rakennuksissa tilasuunnittelussa korostuu huoneiden tilojen lämmitystavan toteutus, tilojen suuntaus ja rakennuksen tontille asettuminen. Tilasuunnittelussa tulee minimoida tilojen kokoa, ja tehotonta tilaa tulee välttää, esimerkiksi käytävätilat. Rakennuksen pohjan tulisi olla mahdollisimman tehokas, kun tavoitellaan vähäistä tilojen lämmitysenergiankulutusta. (Sarja ym. 2009, 53.)

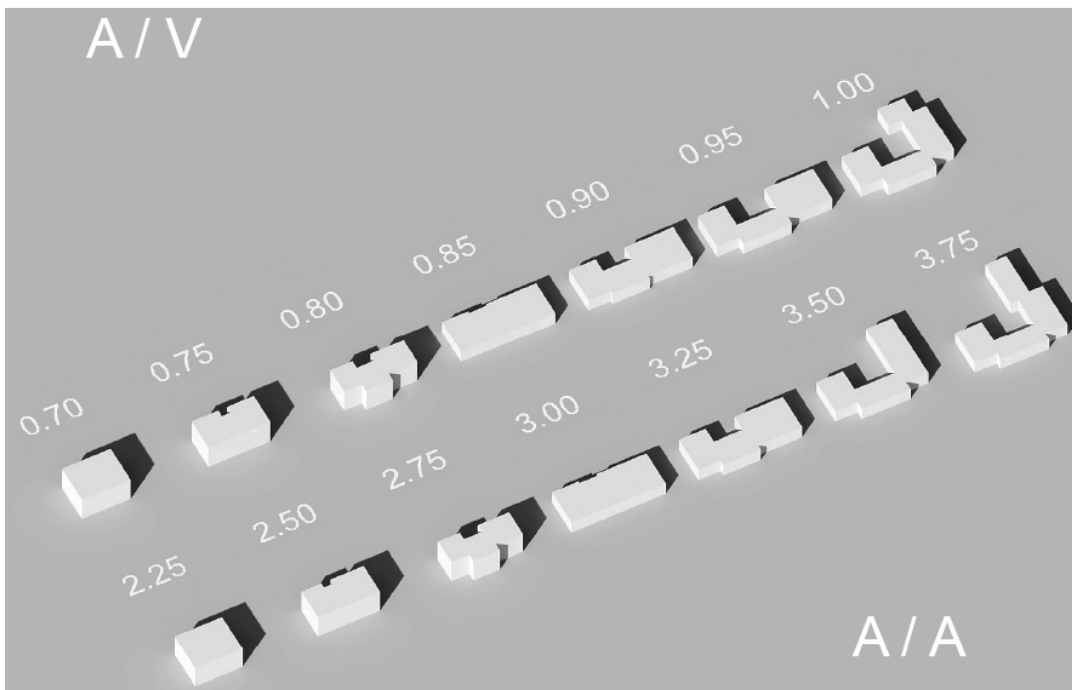
Suomessa rakennusten lämmitysenergiantarve on suuri ja se on erittäin merkittävässä osassa rakennuksen vuotuisesta energiankulutuksesta. Matalaenergia rakentaminen on asteittain vähentänyt tilojen lämmitysenergiankulutusta. Matala- ja passiivitalorakentamisessa tilojen lämmitysenergia pyritään minimoimaan. Lämmitysenergiatarpeen minimointi rakenne- ja taloteknisillä ratkaisuilla voi aiheuttaa sen, että lämpimän käyttöveden energiankulutus nousee suuremmaksi tekijäksi kuin tilojen lämmitys. Kokonaisvaltaisten suunnitteluratkaisujen hakeminen on näin kustannus- energiatehokkuuden kannalta tärkeää. (Lylykangas 2011b.)

3.2.2 Kaavoitus ja arkkitehtisuunnittelu

Energiatehokkaat rakennukset vaativat huolellista suunnittelua jo kaavoitusvaiheessa ja matalan, tiiviin kaupunkirakenteen periaatteiden noudattamista. Asuinalueet tulisi suunnitella mahdollisimman nauhamaisiksi ja julkisen liikenteen ehdoilla. Kaavoituksessa tulisi tarkastella myös alueiden päästövaikutuksia ja rajoittaa yhdyskuntarakenteen hajautumista. (ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010, 51, 52.)

Arkkitehtisuunnittelussa tulee ottaa huomioon alueen mikroilmasto ja tarkastella sen vaikutusta rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Samoin rakennuksen muoto ja sijoitus tontille voivat lisätä rakennuksen lämmitysenergian tai jäähdytysenergian kulutusta. (Kuismanen 2011a; Lylykangas 2011a.)

Rakennuksen muotokerroin on hyvä mittari rakennuksen energiatehokkaasta pohjasta. Muotokerroin voidaan määrittää kahdella eri tavalla, rakennuksen ulkopinnan suhde lämmitettävään tilavuuteen tai ulkovaipan pinta-alan suhde lämmitettävään lattian nettopinta-alaan. Mahdollisimman pieni muotokerroin takaa energiatehokkaan suunnittelupohjan rakennukselle. Paras energiatehokas muoto rakennukselle olisi lähes kuutio, mutta useasta syystä tämä muoto ei läheskään aina ole mahdollista. Kuvassa 5 nähdään rakennuksen muodon vaikutus muotokertoimeen. (Lylykangas 2011a.)



KUVA 5. Erimuotoisten rakennusten muotokertoimia (Lylykangas 2011a)

Arkkitehtuurin merkitys kasvaa mitä pienempää lämmitysenergiantarvetta tavoitellaan. Rakennuksen kokonaisenergiatarve on usean osan summa, jonka suunnitteluratkaisut tehdään yhdessä usean eri suunnittelijan kanssa. Tavoitteena tulisi olla kokonaisvaltaisesti mahdollisimman energiatehokassuunnitteluratkaisu. Rakennuksen energiatehokkuustavoite tulisi asettaa jo hankesuunnittelussa, jolloin koko rakennusprosessi tähtäisi energiatehokkaaseen lopputulokseen. (Lylykangas 2011b.)

Suunnittelun lähtökohtana voidaan energiatehokkaissa rakennuksissa pitää rakennuksen teknisten laatuvaatimusten täyttymistä. Tässä korostuu

rakennuksen suunnittelussa energia- ja kustannustehokkuuden yhteinen näkökulma. Rakennuksen tekniset ominaisuudet voivat aiheuttaa lisäkustannuksia, jolloin optimointia tarvitaan rakennuksen kokonaisenergiatarkasteluissa. (Lylykangas 2011b.)

Samalla, kun lämmitysenergiantarve koko ajan pienenee, lisääntyy vastaavasti rakennuksen jäähdytystarve kesäkuukausina. Rakennuksen kesäaikainen jäähdytys tulisi ensisijaisesti hoitaa passiivisilla keinoilla, kuten yötuuletus ja ulkopuolinen aurinkosuojaus. Kesäajan ylläampemisen tarkastelu tulee tehdä dynaamisia laskentaohjelmia käyttämällä. (Lylykangas 2011b; Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet 2012. 2011, 13.)

3.2.3 Rakenteiden lämmöneristys

Rakenteiden lämmöneristyksen vaikutus rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutukseen on suuri. Pientaloissa rakenteiden kautta tapahtuvat johtumislämpöhäviöt ovat suuressa osassa rakennuksen kokonaislämmitysenergian tarvetta. Pientaloissa suhteelliset johtumishäviöt ylä- ja alapohjan kautta ovat yleensä suuremmat kuin kerrostalossa. Mitä pienemmäksi rakennuksen lämmitysenergiankulutuksen tavoitetaso asetetaan, sen tärkeämmäksi nousevat rakenteiden lämmöneristyksen taso. (Sarja ym. 2009, 23.)

Lämmöneristyksen minimitaso on määritelty rakennusmääräyskokoelman osassa D3. Rakennusmääräyskokoelman arvot ovat minimiarvoja ja voi olla perusteltua kohdekohtaisesti käyttää paljon parempaa tasoa, kun tavoitteena on passiivitalon mukainen lämmitysenergian käyttö. Passiivitalon rakenteiden lämmöneristystaso on huomattavasti parempi ja ne ovat passiivitalonkonseptin mukaiset. (Vinha 2011a; Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet 2012. 2011, 13.)

Monimuotoisen rakennuksen tai suurten ikkunapinta-alojen aiheuttamat johtumislämpöhäviöt voidaan kompensoida suuremmalla lämmöneristyskerroksella. Lämmöneristys tulisi arvioida kohdekohtaisesti, kuinka paljon rakennuksen eristyksen tasoon panostetaan. Samalla tulisi kiinnittää huomiota lämmöneristyksen kustannuskysymyksiin. Voi olla erittäin perusteltua tehdä kompensatio esimerkiksi taloteknisiin ratkaisuihin kuin lämmöneristyksen lisäyksiin. Taulukossa 2 on

esitetty passiivitalokonseptien mukaiset rakenneosien lämmöneristys vaatimukset sekä rakentamismääräyskokoelman mukaiset minimiarvot. (Lylykangas, 2011b.)

TAULUKKO 2. Rakenteiden U- arvot eri Suomessa ja passiivitalokonsepteissa (Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet 2012. 2011, 13; Holopainen 2011, dia 11; Feist ym. 2007, 22)

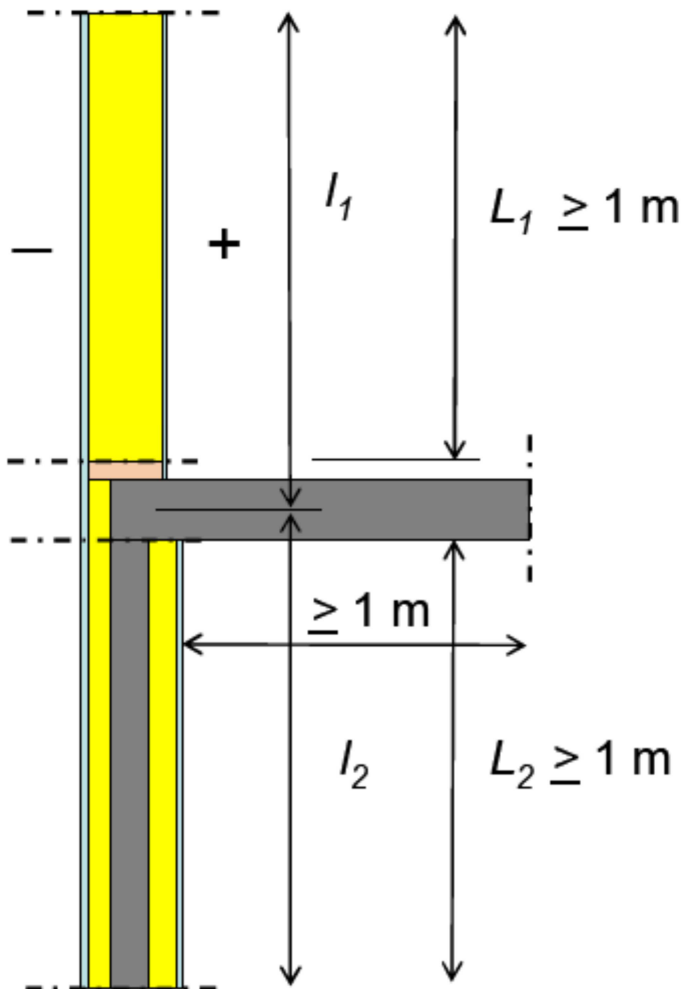
	Rakmk D3 2012	Suomalainen passiivitalo (suuntaa antava)	Keski-eurooppalainen passiivitalo
Ulkoseinä U-arvo W/m ² K	0,17	0,07	<0,15
Yläpohja U-arvo W/m ² K	0,09	0,06	<0,15
Alapohjan U-arvo W/m ² K	0,16	0,08	<0,15
Ulko-ovet U-arvo W/m ² K	1,00	0,8	<0,8
Ikkunat U-arvo W/m ² K	1,00	0,8	<0,8
Vaipan ilmanvuoluku q ₅₀ (m ³ /(h m ²))	2	0,6	0,6
Lämmöntalteenoton hyötushde -%	>45	>65	>75

3.2.4 Rakenteiden väliset kylmäsillat

Kylmäsillalla tarkoitetaan rakenteen poikkileikkausta, joka jatkuu pinnansuuntaisesti samanlaisena. Tämä viivamainen kylmäsilta syntyy, kun kaksi rakenteeltaan erilaista rakennetta kohtaa ja aiheuttaa viivaamisen lisäkonduktanssin. Viivamainen lisäkonduktanssi Ψ tarkoittaa rakenteessa olevan viivamaisen kylmäsillan esimerkiksi seinän yläohjauspuu. Kylmäsillan aiheuttaa lisäyksen rakenteen läpi kulkevaan lämpövirtaan ja lämpötila ero on rakenteen ympäristöjen välillä yksikön suuruinen. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas, ohje rakennusosien välisten liitosten viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaan. 2011, 6, 8.)

Rakenteiden läpi kulkevan lämpövirran määrässä kylmäsilloilla voi olla merkittävä osuus, kun rakenteiden lämmöneristystaso on todella hyvä, kuten passiivita-

lokonseptissa. Kylmäsiltoja tulisi välttää tai suunnitella niiden osuus rakenteessa mahdollisimman pieneksi ns. kylmäsilaton rakenne. Kylmäsiltojen laskeminen on tarpeellista passiivi- ja nollaenergiarakennuksia suunniteltaessa. Samalla rakenteen pintalämpötilan tulee tarkasteltua, millä voidaan ehkäistä rakenteen sisäpinnan kondenssiriskiä. Rakennuksen välipohjan viivamaisen lisäkonduktanssin laskentamalli on esitetty kuvassa 6. (Feist ym. 2007, 22.)



KUVA 6. Liitoksen dimension viivamaisen lisäkonduktanssin määrittämiseksi kerrostenvälisestä välipohja liitoksesta (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas, ohje rakennusosien välisten liitosten viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaan. 2011, 8)

Liitosteosten välinen kylmäsiltojen tarkastelu tehdään rakenteiden välisille liitoksille. Rakenteiden välisistä liitoksista otetaan rakenteiden geometriaa kuvatasossa

mukaan yleensä yli metrin matkalta. Laskentaperiaatteita on useille erilaisille rakenteiden välisille liitoksille. Laskentaperiaatteet syntyvät rakenteiden välisten liitosten mukaan. Esimerkiksi rakennuksen ulkokulman ja alapohjan viivamaisen lisäkonduktanssin laskentaperiaatteet poikkeavat huomattavasti toisistaan. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas, ohje rakennusosien välisten liitosten viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaan. 2011, 8, 9.)

Rakenteen johtumishäviöt lasketaan kaavasta 1 (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas, ohje rakennusosien välisten liitosten viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaan. 2011, 8).

$$H_{joht} = U_1A_1 + U_2A_2 + \Psi l \quad \text{KAAVA 1}$$

H_{joht} = rakennusosien 1 ja 2 ja niiden liitosten yhteenlaskettu johtumislämpöhäviöt, W/K

Ψ = seinien 1 ja 2 välinen viivamainen lisäkonduktanssi

U_1 = rakenteen 1 lämmönläpäisykerroin, W/m²K

A_1 = rakenteen 1 pinta-ala l , m²

U_2 = rakenteen 2 lämmönläpäisykerroin, W/m²K

A_2 = rakenteen 2 pinta-ala l , m²

Liitoksen viivamainen lisäkonduktanssi lasketaan kaavalla 2 (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas, ohje rakennusosien välisten liitosten viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaan. 2011, 9).

$$\Psi = \frac{H_{joht}}{l} - U_1A_1 - U_2A_2 \quad \text{KAAVA 2}$$

Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaan käytetään yleensä laskentaohjelmia. Ohjelman vähimmäisvaatimus on kaksiulotteisen mallin laskenta. Laskentaohjelma on validoitu laskemaan standardi EN ISO 10211 mukaan. Osassa laskentaohjelmista on myös viivamainen lisäkonduktanssin laskentamahdollisuus. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas, ohje rakennusosien välisten liitosten viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaan. 2011, 11.)

Maanvastaisen alapohjan viivamaisen lisäkonduktanssin laskentaa tehdään viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaoppaan kohdan 5.1 mukaan (Viiva-

maisten lisäkonduktanssien laskentaopas, ohje rakennusosien välisten liitosten viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaan. 2011, 11).

Alapohjan viivamainen lisäkonduktanssi lasketaan kaavalla 3 (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas, ohje rakennusosien välisten liitosten viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaan. 2011, 17).

$$\Psi = L_{2D} - h_w U_w - 0,5 \times B \times U \quad \text{KAAVA 3}$$

L_{2D} = numeerisesti määritelty rakenteen lämpövirta koko rakenteelle, W/mK

Ψ = seinien ja alapohjan välinen viivamainen lisäkonduktanssi, W/K

U_w = liittyvän ulkoseinän RakMK C4 mukainen lämmönläpäisykerroin, W/m²K

h_w = seinärakenteen korkeus (>1 m), m

B = alapohjan karakteristinen mitta, m

U = alapohjarakenteen RakMK C4 mukainen lämmönläpäisykerroin, W/m²K

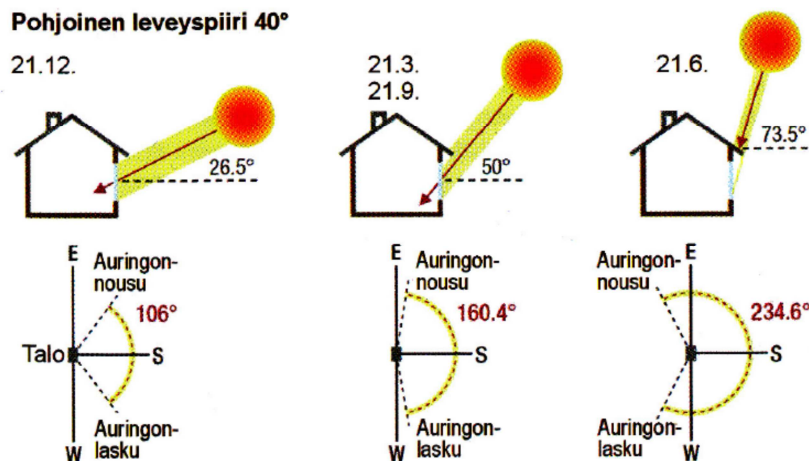
3.2.5 Ikkunat ja tilan yllämpeneminen

Auringonsäteily on merkittävä energianlähde rakennetussa ympäristössä varsinkin, jos tulevaisuudessa auringonsäteily valjastetaan entistä paremmin energiantuotantoon. Auringon säteilyntehokkuus vaihtelee vuoden ajan mukaan, mutta rakennuksen tulisi pystyä pitämään haluttu sisäilmastovaatimus ulkoilman vaihteluista riippumatta. Auringonsäteilystä maapallon pinnalle saapuu vain pieni osa auringon kokonaissäteilystä. Auringonsäteilyä tehokkaasti valjastamalla voidaan ratkaista yhteiskunnan energiankäyttö. Kohtisuoran säteilyn intensiteetti merenpinnan korkeudella optimaalisissa oloissa voi olla 1 000 W/m². (Beck – Dolmans – Dutoo – Hall – Seppänen 2011, 4.)

Suurilla ikkunapinta-aloilla on suuri vaikutus rakennuksen lämmitysenergian tarpeeseen. Suuret ikkunapinta-alat muodostavat suuren lämmitysenergian hukan lämmityskaudella ja voivat lisätä huomattavasti tilan yllämpenemisen riskiä kesäaikana. Energiatehokkuuden kannalta edullinen ikkunapinta-ala tuli saada välille 12-20 %. Tila suunnittelussa tulisi kiinnittää huomiota myös ikkunan kautta tulevan valon määrään ja pienet ikkunapinta-alat tilassa voivat lisätä valais-

tusenergiankulutusta. Passiivitalokonsepteissa rakennuksen lämmitysenergian-
tarve tulee pitää hyvin pienenä, ja tästä syystä ikkunoiden pinta-alaan tulisi kiin-
nittää huomiota niiden suunnittelussa. (Sarja ym. 2009, 53.)

Rakennukseen ikkunoiden kautta saapuva säteilyn voimakkuus riippuu monesta
seikasta, kuten auringon kulkureiteistä kuluvana ajan hetkenä. Rakennuksen
ulkopuolella olevat varjostavat tekijät esimerkiksi rakennukset ja puut voivat
poistaa suuren osan rakennukseen saapuvasta säteilystä. Pohjoisiin oloihin
suunniteltaessa tulisikin huomioida auringon kulkureitit huolellisesti, kun kesällä
auringonpaistekulma on suuri ja talvella vastaavasti pieni. Kuvassa 7 on esitetty
auringon paistekulmat pohjoisilla leveysillä kesä- ja talviaikaan. (Beck ym.
2011, 5.)



KUVA 7. Auringon paistekulmat ja säteilyn laajuus eteläikkunalla pohjoisella leveys piirillä 40° (Beck ym. 2011, 6)

Eteläseinällä auringonsäteily voi olla voimakkaampaa talvella kuin kesällä. Tä-
mä tilanne esiintyy leveyspiireillä alle 56 ° pohjoista leveyttä. Eteläseinällä esi-
merkiksi pitkä räystäspituus ehkäisee osan kesäajan säteilystä. Kokonaan ikku-
nan kautta kesäaikana saapuvasta säteilystä pystytään poistamaan käyttämällä
ikkunoissa ulkopuolista säteilysuojaa, kuten julkisivusälekaikhdinta. Länsiseinällä
ikkunoiden kokoon ja niiden kesäajan varjostamiseen tulisi kiinnittää suunnitte-
lussa erityistä huomiota, kun länsijulkisivu on auringon paisteessa koko päivän
ja vastaavasti ulkoilmanlämpötila nousee päivän mittaan. (Beck ym. 2011, 7.)

Ikkunan lämmönläskykerroimen laskenta on määritelty standardissa ISO 10077-1.

Ikkunan lämmönläpäsyykerroin U_w lasketaan kaavasta 4.

$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

KAAVA 4

U_w = Ikkunan lämmönläpäsyykerroin W/m²K

U_g = Ikkunan lasiosan lämmönläpäsyykerroin, W/m²K

Ψ_g = ikkunan lasin ja puiteen välinen viivamainen lisäkonduktanssi, W/K

l_g = ikkunan lasin ja puiteen välinen pituus, m

U_f = Karmin lämmönläpäsyykerroin, W/m²K

A_g = Ikkunan lasiosan pinta-ala, m²

A_f = Ikkunan lasiosan pinta-ala, m²

3.2.6 Sisäilman laatu ja sen hallinta

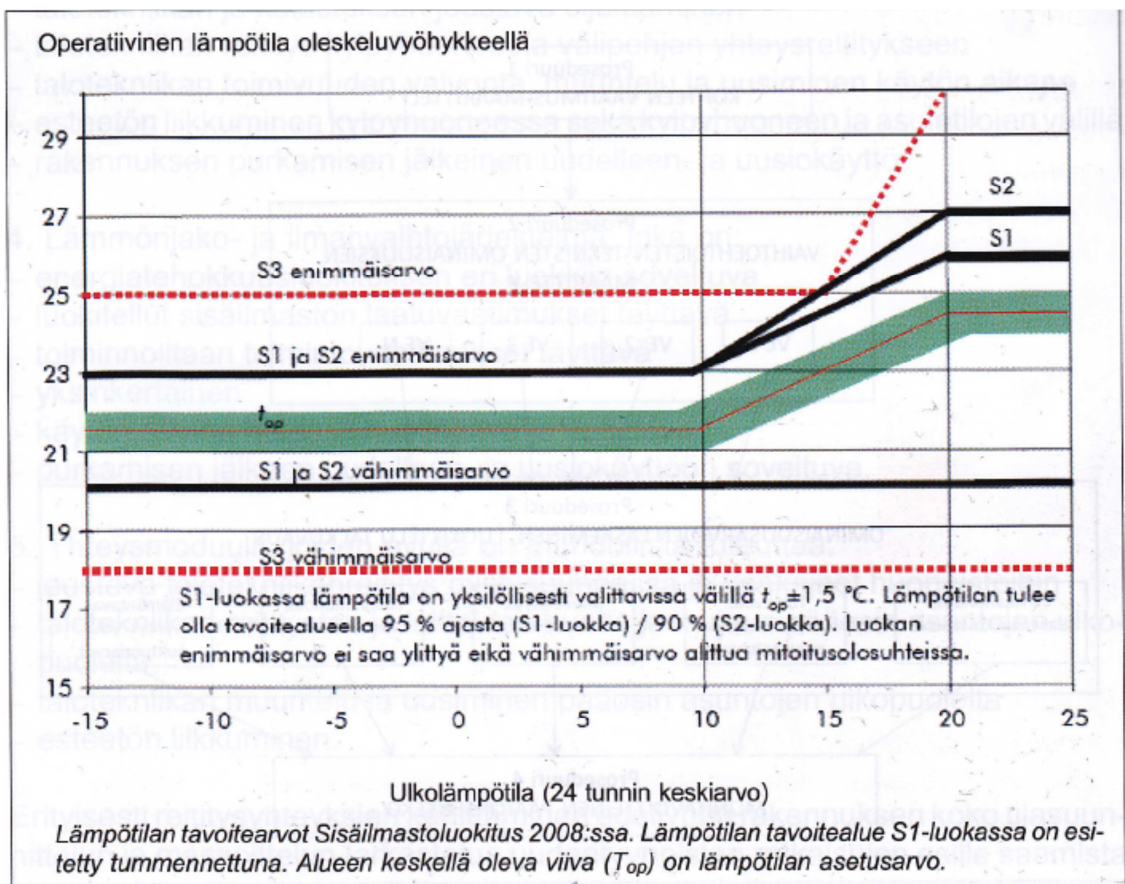
Sisäilmastolla tarkoitetaan rakennuksen ilman olosuhteita, jotka vaikuttavat ihmisen terveyteen ja viihtyvyyteen. Rakennuksen sisäilmastoon vaikuttaa useampi eri fysiikaallinen ja kemiallinen tekijä. Tärkeimmiksi tekijöiksi sisäilmassa muodostuu sen lämpötila ja ilmanlaatu. Sisäilmaston tekijöitä ovat myös kosteus, ääniolosuhteet, valo, valaistus ja monet muut ilmanpitoisuudet. Sisäilmaston epäpuhtaudet pöly ja kaasut kulkeutuvat sisäilman mukana hengitysteihin ja voivat näin aiheuttaa haittaa terveydelle. (Sarja ym. 2009, 102, 103.)

Suunniteltaessa energiatehokasta rakennusta on myös varmistettava sisäilman laadullisissa seikoista. Terveellisen ja hyvän sisäilman määrittely ja luokitus on tehty sisäilmayhdistyksen julkaisussa Sisäilmaluokitus 2008. Siinä määritellään sisäilman laadulliset seikat ja tavoitteet, joilla päästään terveelliseen ja hyvään sisäilmalaatuun. Se määrittelee tekniset tavoitetasot kolmeen luokkaan S1, S2 ja S3. (Sarja ym. 2009, 102, 103.)

Sisäilman laadulliset tavoitteet otetaan huomioon jokaisessa rakennushankkeen vaiheessa. Kiinnittämällä huomiota rakennushankkeen aikana sisäilman laatu-tekijöihin voidaan taata rakennuksen laadullisesti korkea sisäilma koko raken-

nuksen elinkaarelle. Kunkin suunnittelijan tulee huolehtia, että sisäilmaluokitukseen päästään suunnitelturatkaisuin ja pääsuunnittelijan rooli kasvaa, kun tavoitellaan korkeaa sisäilman laatua. (Sarja ym. 2009, 102, 103.)

Sisäilmaluokituksessa termiselle viihtyvyydelle on asetettu tavoitetasot jokaisessa luokassa. Sisäilmaluokituksessa on annettu kuvan 8 mukaisesti sisäilman operatiivisen lämpötilan tavoitearvot, ulkolämpötilan ja sisäilmanlämpötilan mukaan luokitellen. (Sarja ym. 2009, 102.)



KUVA 8. Sisäilman lämpötilan tavoitetasot eri sisäilmaluokassa (Sarja ym. 2009, 105)

Suomessa hellejakso ajoittuu heinä-elokuun ajalle, jolloin päivän lämpötila nousee yli 25 C°:seen. Kesäaikainen yön lämpötila on lähes aina 15-20 C°. Usein hellejaksollakin yönlämpötila laskee alle 15 C°:n vuorokauden keskilämpötilan pysytellessä alle 23 C°:n. Viilennystarve asuintaloissa tulee kysymykseen, kun rakennuksen lämmöneristävyttä nostetaan. Kesällä auringosta tuleva läm-

pösäteily lämmittää rakennusta ja voi näin aiheuttaa rakennuksen yllämpenemistä. (Sarja ym. 2009, 105.)

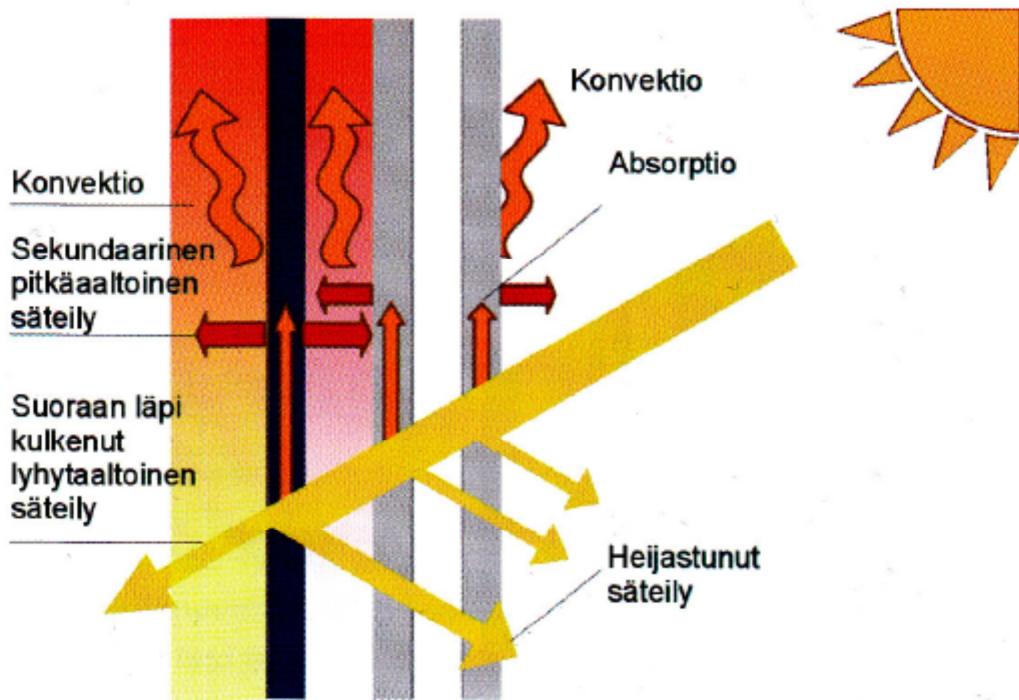
Rakennuksen yötuuletuksella ikkunoiden kautta viilentäminen on passiivinen viilennyskeino ja luonnostaan saatavilla. Rakennuksen yötuuletus ikkunoiden kautta kesäajalla voitaisiinkin yksinkertaisesti käyttää aina, kun sisäilman lämpötila nousee suuremmaksi kuin ulkoilman lämpötila. Ikkunatuuletuksessa pitäisi saada aikaan läpivirtaus toiselta julkisivulta toiselle. Tehokkaampi keino on käyttää yötuuletusta ilmanvaihtokoneen kautta, mutta tämä nostaa ilmanvaihdon ostoenergiankulutusta. (Sarja ym. 2009, 105.)

Ikkunoiden passiivinen aurinkosuojaus tulisi ensisijaisesti tehdä ulkopuolisilla rakenne- ja julkisivuratkaisuilla. Aurinkosuojauksesta ei muodostu rakennusvaiheessa ylimääräistä kustannuserää. Useasti tämä on kuitenkin mahdotonta toteuttaa, kun tilan käyttö vaatii avautuvaa ikkunapinta-alaa esimerkiksi toimistorakennuksilla. Valitsemalla etelä- ja länsijulkisivulle aurinkosuojalasit voidaan myös ehkäistä tilan yllämpenemistä. (Sarja ym. 2009, 106.)

Aurinkosuojauksessa on suuri merkitys ikkunan ominaisuuksilla ja aurinkosuojauksen sijoittumisella ikkunaan. Ikkunan auringon energiansäteilyn kokonaisläpäisykerroin g-arvo kertoo ikkunan lasituksen kyvystä päästää läpi auringon säteilyenergiaa. G-arvo koostuu auringon suoraläpäisystä ST:stä ja ikkunalasiin absorboituneen aurinkoenergian aiheuttamasta konventiosta eli toisin sanoen auringonsäteilyn yhteisvaikutuksesta ikkunassa. Aurinkosuojalasilla energiansäteilyn läpäisykerroin on pienempi ja se läpäisee auringonsäteilyä, jopa alle puolet kirkkaaseen lasiin verrattuna. (Beck ym. 2011, 20; Sarja ym. 2009, 106.)

Aurinkosuojaan absorboitunut lämpö siirtyy huoneeseen lämpösäteilynä. Säteily puolestaan absorboituu rakennuksen termiseen massaun. Terminen massa luovuttaa lämpösäteilyä huoneeseen tasaisemmin ja näin operatiivinen lämpötila nousee hitaammin. Ulkopuolinen aurinkosuojaus vähentää ikkunassa tapahtuvaa konvektiota ja näin parantaa ikkunan aurinkosuojauksista. Suojauksessa päästään pienempään g-arvoon. Kuvassa 9 aurinkosuojauksen sijoittamien

ikkunalasien sisäpuolelle, jolloin energia absorboituu ikkuna rakenteeseen.
(Beck ym. 2011, 21.)



KUVA 9. Aurinkosuojausten sijoittamien ikkunalasien sisäpuolelle ja ikkunarakenteen tärkeimmät energiavirrat (Beck ym. 2011, 20)

Ikkunoilla on merkittävä vaikutus rakennuksen jäähdytystarpeeseen. Rakennuksen maantieteellisellä sijainnilla ei ole Euroopassa suurta merkitystä. Aurinkosuojaus tulisi ratkaista suunnittelun yhteydessä, jotta tilan yllämpenemisriskiltä vältyttäisiin. Kesäajan huonelämpötilan tarkastelu tehdään dynaamisia laskenta työkaluja käyttämällä ja kesäajan yllämpenemisen ehkäisemisessä tulisi käyttää passiivisia aurinkosuojausjärjestelmiä, kuten pitkiä räystäitä. (Beck ym. 2011, 27; Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet 2012. 2011, 9.)

3.2.7 Rakennuksen ilmantiiveys

Rakennuksen ilmanpitävyys on tärkeää, kun rakenteiden lämmöneristävyyttä parannetaan ja pyritään saamaan rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän toimimaan moitteettomasti. Hyvä ilmantiiveys myös vähentää rakennuksen energiankulutusta ja erittäin hyvällä vaipan ilmantiiveydellä voidaan vähentää rakennuksen tilojen lämmitysenergiantarvetta. Rakennuksen ilmantiiveyden tavoite kannattaa asettaa jo suunnitteluvaiheessa erittäin hyväksi ja näin välttää muun muassa rakenteiden kosteusvaurioriskiä. (Vinha – Korpi – Kalamees – Jokisalo - Eskola – Palonen – Kurnitski – Aho – Salminen – Salminen – Keto 2009, 13.)

Ilmantiiveyden kannalta rakenteiden väliset liitokset ja läpiviennit tulisi suunnitella ja toteuttaa hyvin rakennusvaiheessa ja esimerkiksi käyttää suurempaa ikkunapinta-alaa kuin lisätä määrällisesti enemmän ikkunoita rakennukseen. Rakennusvaiheessa rakennuksen ilmanpitävyyteen tulee kiinnittää huomiota erityisesti rakennusvaiheessa ja vaipan ilmanpitävyys varmistetaan mittaamalla rakennuksen ilmanvuotoluku. (Sarja ym. 2009, 167,168.)

Rakennuksen vuotoilmavirta $q_{v,vuotoilma}$ (m³/s) lasketaan rakentamismääräyskoelman D3 kohdan 4.3.3 mukaan.

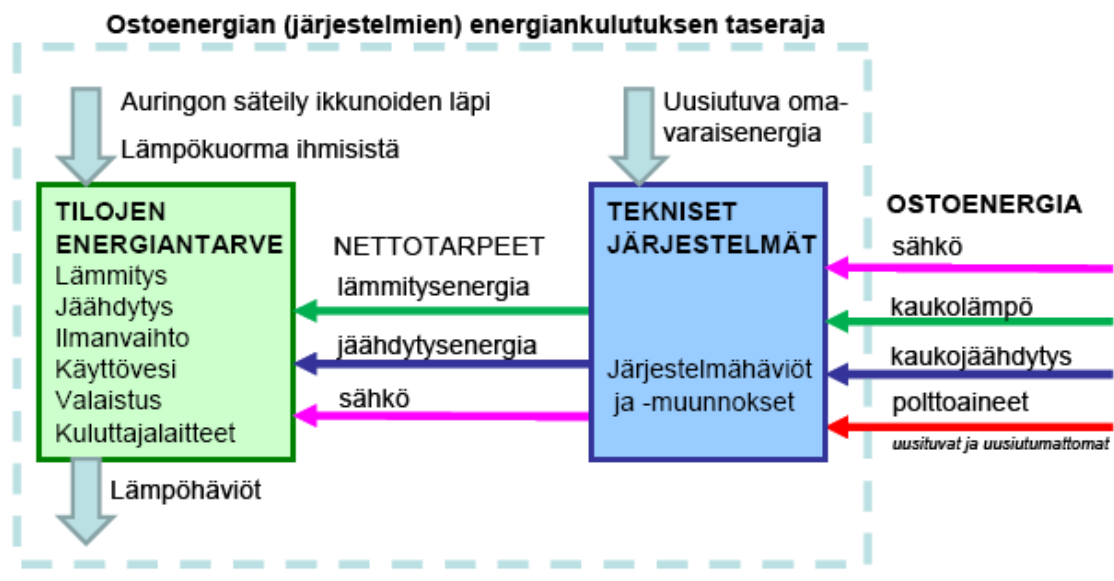
Rakennuksen vuotoilmavirta $q_{v,vuotoilma}$ lasketaan kaavasta 5.

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_v}{3600 \cdot x} * A_{vaiippa} \quad \text{KAAVA 5}$$

q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku m ³ /(h·m ²)
$A_{vaiippa}$	rakennusvaipan pinta-ala m ²
x	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille korkeimmille rakennuksille 15
3600	kerroin, joka muuttaa ilmavirran m ³ /h yksiköstä m ³ /s yksikköön.

3.3 Energiasuunnittelu

Energiatehokkaan rakennuksen energiasuunnittelun tavoitteena on rakennuksen energiataseen pienentäminen. Rakennusten energiataseen osatekijät ovat jokaisessa rakennuksessa samat. Osatekijöiden merkitystä voidaan pienentää esimerkiksi passiivitalorakennuksissa vaipan lämpöhäviöitä pienentämällä. Rakennuksen nettoenergian kulutukseen suurin vaikutus on tilojen lämmitysenergiantarpeella. Tilojen lämmitykseen kuluva energiaa käytetään hyväksi ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotossa lämmittämällä rakennukseen tulevaa raaitisilmaa. Vaipan läpi tapahtuvat hallitsemattomat ilmavirrat lisäävät tilojen energiantarvetta ja tästä syystä ilmantiiveyden tavoitetaso on määriteltävä jo suunnitteluvaiheessa. Kuvassa 10 on kuvattu rakennuksen energiankulutuksen tase sekä tilojen energiantarve. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 14.)



KUVA 10. Rakennuksen energiantarve ja taseraja (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 8)

Rakennukseen energiatarve katetaan rakennukseen suunniteltavalla taloteknisillä ratkaisulla. Talotekniset ratkaisut kattavat rakennuksen lämmittämiseen käytettävän energian, sähkön, ja jäädytyksen tarvitseman energian. Rakennuksen sisäisiä kuormia ovat muun muassa ihmisten lämmönluovutus, auringonsä-

teily ja laitteiden ja koneiden lämmönluovutus. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 14.)

Rakennuksen energiankulutus koostuu rakennuksen käytön aiheuttamista lämmitys-, jäähdytys-, ja sähköenergian kulutuksesta. Rakennuksen lämmitysjärjestelmän ja tuotannon hyötysuhteen perustella rakennukseen saadaan tarvittava ostoenergiamäärä pitämään laadullisia olosuhteita kiinni rakennuksessa. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 13, 14.)

Rakennuksen ostettavan energianmäärää voidaan pienentää käyttämällä paikallistuotantoa rakennuksessa. Tämä tuotanto vähentää rakennuksen ostettavaa energiaa. Rakennuksen energialuku (E-luku) lasketaan rakennuksen ostoenergiaa käyttäen energiamuotojen kertoimia käyttämällä. Energian laskennassa käytettävät energiamuotojen kertoimet on esitytetty taulukossa 3. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 15.)

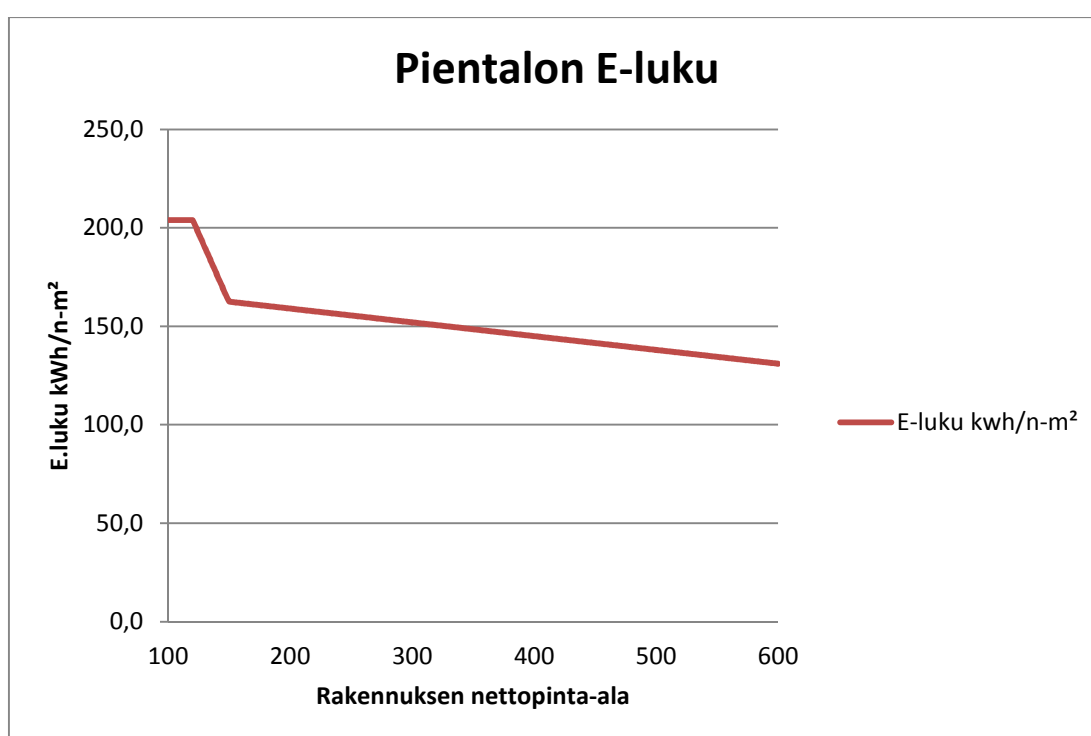
TAULUKKO 3. Energiamuotojen kertoimet (Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet 2012. 2011, 8)

Energiamuoto	kerroin
sähkö	1,7
kaukolämpö	0,7
kaukojäähdytys	0,4
fossiiliset polttoaineet	1,00
Rakennuksessa käytettävän uusiutuvat polttoaineet	0,5

Rakennuksen lämmitettävä pinta-ala vaikuttaa rakennuksen E-luvun enimmäisarvoon. Jokaiselle rakennukselle on tyyppikohtaiset raja-arvot. Pientalon E-luvun enimmäisarvot on määritelty rakentamismääräyskokoelman D3 kohdassa 2.14. Taulukossa 4 on esitetty rakennuksen pinta-alan vaikutus E-luvun sallittuun maksimiarvoon. Kuvassa 11 on esitetty pinta-alan vaikutussuhde rakennuksen E-lukuun. (Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet 2012. 2011, 9.)

TAULUKKO 4. Pientalon E-luvun ylärajat lämmitetyn netto-alan mukaan (Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet 2012. 2011, 9)

Lämmitetty netto-ala	Rakennuksen E-luku kWh/m ² vuodessa
$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
$120 \text{ m}^2 < A_{\text{netto}} < 150$	$372 - 1,4 \times A_{\text{netto}}$
$150 \text{ m}^2 < A_{\text{netto}} < 600$	$173 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
$A_{\text{netto}} > 600$	130



KUVA 11. Pientalon E-luku lämmitettävän nettopinta-alan mukaan (Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet 2012. 2011, 9)

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus on merkittävässä osassa rakennuksen tilojen energiankulutusta. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton merkitys on suuri, kun ilmanvaihdon lämmitysenergian tarvetta halutaan vähentää. Lämmöntalteenoton hyötysuhteen nostamisella selvästi yli määräystason parantaa merkittävästi ilmanvaihdon energiatehokkuutta varsinkin, kun ilmamäärät ovat suuria esimerkiksi toimistorakennuksissa. Ilmanvaihdon läm-

möntalteenoton hyötysuhdetta passiivitalokonseptissa nostetaan myös tuloilman esilämmityksellä ja jäähdytyksellä. Tämä voidaan toteuttaa asentamalla maaliuospiirillä rakennuksen ympärille tai asentamalla ilmalämpöpumppu osaksi tuloilman lämmitystä. Saksalaisessa passiivitalokonseptissa tavoitellaan rakennuksen tilojen lämmittämistä ilmanvaihtolämmityksellä, jolloin tilojen lämmitystehon tarve tulee olla hyvin pieni (10 W/m²). Ilmanvaihtolämmityksessä tulisikin huolehtia, että ilmanvaihdon poistoilla varustelluista tiloista tuntuvaa lämpöä riittää. (Lylykangas 2011b.)

Lämpimän käyttöveden energiankulutus on yksi osa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta. Käyttöveden energiankulutuksen pienentämiseen keinot ovat hyvin rajalliset. Käyttöveden energiatarve voi nousta passiivitaloratkaisuissa suuremmaksi kuin tilojen lämmitystarve. Varsinkin nollaenergiatalokonseptia tavoitellessa tulisi käyttöveden lämmityksen tuotanto ratkaista esimerkiksi uusiutuvaa energiaa käyttämällä. (Lylykangas 2011b.)

4 ENERGIASIMULOINTI

4.1 Tutkimusmenetelmän kuvaus

Rakennusten energiatarpeen ja sisäilmaston tarkastelussa käytettiin dynaamista laskentaohjelmaa IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE). Ohjelma on tuntipohjainen laskentaohjelma rakennuksen energiankulutuksen, jäähdytysenergiankulutuksen, rakennusten termisten olosuhteiden ja sisäilmanlaadun tarkasteluun. IDA ICE -ohjelmassa pystytään rakentamaan rakennuksen geometria ja sinne voidaan tuoda rakennuksen geometriaa toisista rakennusten 3D-mallinnusohjelmistoista IFC-standardin mukaisella tiedonsiirto menetelmällä. Rakennuksen tarkasteluun voidaan käyttää koko rakennusta tai osia siitä. (IDA Indoor Climate and Energy 3.0 Manual. 2002, 12.)

Rakennuksen lämmitysenergian tarkastelun lähtötietoja ovat muun muassa säädata, rakenteen, ilmanpitävyys, ilmanvaihto, rakenteidenväliset kylmäsillat ja rakennuksen sisällä vallitsevat sisäiset lämpökuormat. Taloteknisistä järjestelmistä ohjelmaan syötetään esimerkiksi lämmöntuotannon muodot ja hyötysuhteet sekä ilmanvaihdon hyötysuhteet ja käyntiajat.

Ohjelmaan mallinnettiin rakennuksen lämmin ilmantilavuus ja rakennuksen tilat sen sisälle. Lämmitysenergian tarkastelua varten rakennettiin ohjelmassa hyvin yksityiskohtaiset mallit. Kaikki rakennuksen aukot ja ovet mallinnettiin. Yksityiskohtaisella mallilla pyrittiin saamaan mahdollisimman hyvä kuva rakennuksen sisäilmaston olosuhteista.

Rakennukset mallinnettiin suunnitteluratkaisua vastaavaksi. Tavoitteena oli saada rakennuksen lämmitysenergian tarve selvitettyä ja tarkastella keinoja päästä sisäilmaston kannalta hyvään lopputulokseen. Kohteiden lähtöarvot syötettiin ohjelmaan kohdekohtaisesti. Rakenteista ohjelmaan syötettiin jokainen materiaali sekä niiden ominaisuudet, kuten tiheys, ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus. Samalla ohjelma laskee rakenteen lämmönläpäisykerroimen. Ulkoseinärakeessa ei otettu huomioon rungon aiheuttamaa viivamaista kylmäsiltaa, vaan se otetaan huomioon kylmäsilta välilehdessä. Samoin alapuo-

listen maa-aineiden lämmönvastus syötetään erilliseen välilehteen eikä näin tule huomioiduksi rakenteen lämmönläpäisykertoimessa.

Ikkunoista ohjelmaan syötettiin myös ikkunoiden koko ja paikka julkisivussa. Samoin ohjelmaan lisättiin muut ominaisuudet, kuten auringonsäteilyn läpäisyarvot, lasin U_g -arvo ja karmin U_f -arvo. Lasin ominaisuuksista syötettiin ikkunoiden auringonläpäisy g -arvo, ikkunan näkyvän valon arvo (LT) ja suoransäteilyn arvo (ST). Ikkunoista laskettiin ikkunan karmin suhteellinen osuus ikkunan valoaukon kokoon. Ikkunankarmin ja valoaukon suhteellinen osuus määriteltiin ohjemaan jokaiselle ikkunalle.

Rakennuksen rakenteiden väliset kylmäsillat laskettiin käyttämällä Flixino-ohjelmaa. Ohjelmalla on vaivatonta mallintaa rakenteiden välisiä liitoksia sekä selvittää rakenteiden pintalämpötila. Rakenteiden välisten kylmäsiltiliitoksen viivamainen lisäkonduktanssi Ψ laskettiin ohjelmassa. Rakenteiden liitokset pyrittiin mallintamaan hyvin tarkasti, jotta kylmäsiltiliitoksen viivamainen lisäkonduktanssi tulisi mahdollisimman hyvin laskettua. Materiaalien lämmönjohtavuuksina käytettiin pääasiassa rakentamismääräyskokoelman C4 mukaisia arvoja ja muutamassa tapauksessa valmistajien antamia lämmönjohtavuuden λ_n -arvoja.

Rakennuksen alapuolisista ja ympäröivistä maa-aineksista syötettiin yhden metrin matkalta. Maanainesten lähtöarvoina käytettiin rakentamismääräyskokoelman C4 mukaisia arvoja, lämmönjohtavuuden arvona $2 \text{ W/m}^2\text{K}$, tiheytenä $2\,000 \text{ Kg/m}^3$ ja ominaislämpökapasiteettina $1\,000 \text{ J/(kg K)}$. Rakennuksen vuotoilmavirtana käytetään sivulla 44 kaavasta 5 laskettua arvoa.

Rakennusten tuloilmanlämmitys toteutettiin sähköisellä jälkilämmityspatterilla. Lämmöntalteenoton hyötysuhteena käytettiin koneen mitoituksen mukaista arvoa. Kohteissa oli myös tuloilmanlämmitys ja jäähdytys maaliuospiirillä, mutta se jätettiin pois tarkastelusta yksinkertaistuksen vuoksi. Koneen SFP-lukuna käytettiin mitoituksen mukaista arvoa. Lämmitysjärjestelmän ja lämpimän käyttöveden tuotannossa käytettiin rakentamismääräyskokoelman mukaisia kohdekohtaisia tuotannon hyötysuhdetta. Samoin rakennuksen lämmitysjärjestelmän häviössä käytettiin kohdekohtaisesti rakentamismääräyskokoelman mukaisia arvoja.

Tutkittavien kohteiden rakennusten tekniset ominaisuudet pyrittiin rakentamaan malliin mahdollisimman hyvin suunniteluratkaisua vastaavaksi. Kohteet edustavat energiatehokasta rakentamista ja niiden tavoitteena on energiatehokas suunnitteluratkaisu.

4.2 Pysyvät lähtöarvot

Laskennassa käytettiin rakentamismääräyskokoelman D3 mukaisia asetus- ja energialaskennan lähtöarvoja. Lähtöarvot ovat pientalolle käytettäviä asetusarvoja. Ulkoilmavirtana käytettiin $0,4 \text{ dm}^2/(\text{s m}^2)$ ja poistoilmavirtana 10 % suurempaa arvoa. Lämmityksen raja-arvona käytettiin 21 C° ja jäähdytykselle 27 C° , mutta tarkasteltavat rakennukset eivät sisällä erillistä jäähdytysjärjestelmää. (Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet 2012. 2011, 19, 20.)

Rakennusten sisäilman standardikäyttöä vastaavat energianlaskennan lähtöarvoina käytetään käyttöasteena 0,6 ja käyttöaika on jatkuva. Kuluttajalaitteiden sisäinenkuorma on 3 W/m^2 ja käyttöaste 0,6. Valaistukselle käytetään 8 W/m^2 ja käyttöasteena 0,1. Rakennuksen henkilötiheys on $0,0232 \text{ hlö/m}^2$. Henkilöiden lämmönluovutuksena pidetään aineenvaihdunnan tasoa $1,2 \text{ met}$, joka vastaa 125 W kokonaislämmönluovutuksen tasoa. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus on rakennuksissa $600 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{a}$ (Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet 2012. 2011, 19, 20.)

4.3 Kohteiden esittely

Tässä insinööriyössä käsiteltiin IEEB- (Increasing Energy Efficiency in Buildings) projektiin liittyviä pientaloja. Rakennukset sijaitsevat Oulussa, Ritaharjun kaupunginosassa. Kortteliin rakennetaan seitsemän pientaloa. Rakennukset edustavat hyvää rakennustapaa ja niiden keskeinen yhteinen piirre on energiatehokkuus. Rakennuksissa käytetään erilaisia tilojen lämmitysratkaisuja ja rakennusvaipan ominaisuuksia. IEEB-projekti on Oulun seudun ammattikorkeakoulun koordinoima kehityshanke. Hankkeeseen kuuluu useampi osapuoli ja on osa EU:n Interreg 4A Nord -ohjelmaa.

Rakennusten vaipan rakennusfysikaalista toimintaa ja rakennusten energiankäyttöä tutkitaan projektissa usean vuoden ajan. Tämän työn aikana useampi

rakennus on vielä suunnittelu pöydällä ja tässä työssä keskityttiin kahteen pientaloon, joissa suunnitelmat ovat jo lähes valmiita. Työn tavoitteena oli selvittää rakennuksen tilojen nettoenergiatarve ja kokonaisenergiatarve sekä tutkia kohteiden sisäilman huonelämpötilaa kesäaikana.

Pientalojen lämmitysenergiankulutus selvitettiin dynaamisella tuntikohtaisella laskentatyökalulla. Laskentatyökaluna toimii tuntipohjainen laskentatyökalu IDA Indoor Climate and Energy.

4.3.1 Kohde A Kastelli-talo

Kohde on kaksikerroksinen puurankainen pientalo. Nettopinta-alaltaan kohde on 160 m². Rakennuksen bruttopinta-ala on 193 m². Perheen makuuhuoneet, WC ja kylpyhuone sijaitsevat rakennuksen yläkerrassa. Alakerta koostuu aulatiiloista, keittiön ja olohuoneen yhdistelmästä. Alakerrassa sijaitsee myös WC ja pesuhuone ja saunan yhdistelmä. Ala- ja yläkerran likaiset tilat ovat varustettu vain poistoilmaventtiileillä. Rakennus on ilmatilavuudeltaan 480 m³. Rakennuksen vaipan pinta-ala on 395 m². Rakennuksen vaipan muoto on kuutiomainen ja näin ollen takaa energiatehokkaan perusratkaisun. Rakennuksen vaipan suhde tilavuuteen on 0,8 m²/m³, joka on todella hyvä muotokerroin. (Liite 1.)

Rakennuksen alapohja on maanvastainen betonilaatta, seinä ja yläpohjarakenteet ovat puurakenteiset. Rakenteet tavoittelevat passiivitalon tasoa ja ovat hyvin eristettyjä. Rakenneosien lämmönläpäisykerroimet on esitetty taulukossa 5. Rakenteiden materiaalien paksuus, tiheys, ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus ovat lueteltu taulukossa 6.

TAULUKKO 5. Kastelli-talon rakenneosien lämmönläpäisykerroimet (liite 1)

Rakenneosa	Lämmönläpäisykerroin [W/m ² K]
Ulkoseinä	0,11
Yläpohja	0,058
Alapohjan	0,1
Ulko-ovet	1,00
Ikkunat	0,8

TAULUKKO 6. Kastelli-talon rakenteissa käytetyt materiaalit

Yläpohja				
Materiaali	Pituus	Tiheys	Ominaislämpökapasiteetti	Lämmönjohtavuus
	[mm]	ρ [Kg/m ³]	c_p [J/ (kg K)]	λ [W/mK]
Met. Kate	3	7800	450	50
Ilmatila	62	1,2	1006	0,4
TS	30	100	750	0,045
Puh. villa	400	40	1600	0,05
Runko+eriste	200	40	1600	0,055
Ilmatila	50	1,2	1006	0,4
Kipsilevy	13	80	1800	0,21
Ulkoseinä				
Puu	28	500	1600	1,2
Ilmatila	30	1,2	1006	0,17
TS-levy	9	1000	700	0,21
TS-villa	100	50	750	0,031
Min. villa	250	50	750	0,041
Kipsilevy	13	1000	700	0,21
Välipohja				
Levy	32	460	2300	0,14
Palkit+eriste	355	56	1720	0,045
Kipsilevy	13	80	1800	0,21
Alapohja				
Betoni	100	2400	1000	2,1
Solupolystyreeni	200	20	1210	0,033
Kevyet väliseinät				
Kipsilevy	13	1000	700	0,21
Min villa	66	50	750	0,41
Kipsilevy	13	1000	700	0,21
Raskaat väliseinät				
Tasoite	10	2000	840	1,2
Tiili	130	1500	1000	0,65
Tasoite	10	2000	840	1,2

Ikkunoita ei vielä ollut tarkkaan määritelty ja ennakkoon rakennuksen ikkunavainnaksi eräs vaihtoehto oli Fenestra Polaris MS2E 0,8, jota tässä työssä käytettiin. Ikkunoista laskettiin ikkunankarmin suhteellinen osuus ikkunan valoaukon kokoon (liite 3). Ikkunan karmin ja valoaukon suhteellinen osuus määriteltiin

ohjemaan jokaiselle ikkunalle. Taulukossa 7 on esitetty ikkunan tekniset ominaisuudet. Taulukossa 8 on esitetty ikkunoiden valoaukon osuus ja karmin osuus sekä tekniset ominaisuudet.

TAULUKKO 7. Ikkunan ominaisuudet (RT 38099)

	U-arvo (W/m ²)			Auringon läpäisy arvot -%			
	Lasin U _g -arvo	Karmin U _f -arvo	koko ikkuna U _w -arvo	Näkyvä valo (LT)	Suora (ST)	Kokonais (g)	UV
Polaris	0,47	1,13	0,8	66	39	47	12

TAULUKKO 8. Ikkunoiden rakenteiden lämmönläpäisykertoimet ja ikkunan osien suhteelliset osuudet (liite 3)

Ikkunan koko ja tunnus	U-arvo (W/m ² K)			Ikkunan valoaukon ja karmin suhteellinen osuus ikkuna-aukosta -%	
	Lasin U _g -arvo	Karmin U _f -arvo	Ikkuna U _w -arvo	Valoaukon osuus	Karmin osuus
3,4x14M	0,47	1,13	1,1	47	53
3,4x16M	0,47	1,13	1,1	48	52
3x21M	0,47	1,13	1,1	43	57
10,4x4M	0,47	1,13	0,8	51	49
14,4x5M	0,47	1,13	0,9	60	40
14,4x14M	0,47	1,13	0,7	78	22
14,4x21M	0,47	1,13	0,7	82	18
27,4x14M	0,47	1,13	0,7	83	17
27,4x27M	0,47	1,13	0,6	89	11

Kylmäsilta mallinnuksessa käytettiin detaljipiirrosten mukaisia rakenteita (liite 2). Ikkunan ja oven kylmäsilan vaikutusta ei tässä työssä tarkasteltu ja niiden arvoina käytettiin energianlaskennassa rakentamismääräyskokoelman D5 mukaista arvoa 0,04 W/mK. Rakenteet ovat puurakenteiset ja niiden arvot ovat taulukossa 9. Kylmäsiltojen arvojen eroavaisuudet ovat pieniä rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisten referenssi arvojen ja laskettujen arvojen välillä. Ulkoseinän nurkkarakenteessa on ulkopinnassa paljon puurakenteita julkisivun kiinnitystä varten, mikä vaikuttaa kylmäsilan Ψ -arvoon heikentävästi. Välipohjan

liitoksessa eristekerros jatkuu läpi rakenteen. Eristekerroksen läpäisee vain yksi kiinnityspuu, mikä aiheuttaa hyvin vähäisen kylmäsilta vaikutuksen. Kylmäsiltojen tarkastelussa oleellista on myös selvittää rakenteiden pintalämpötilat ja kondenssiriski, mutta tätä ei tässä työssä käsitellä. Taulukossa 9 on esitetty rakennuksen laskettujen kylmäsiltojen arvot sekä rakentamismääräyskokoelman mukaiset referenssiarvot.

TAULUKKO 9. Rakennuksen kylmäsiltojen laskettu ja referenssi rakentamismääräyskokoelma D5 (liite 2) (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 19)

Rakenne	Kylmäsiltojen lisäkonduktanssi Ψ_k (W/mK)	
	Laskettu:	Referenssi Rakmk D5
Ulkoseinän ulkonurkka	0,04	0,04
Yläpohja- Ulkoseinä	0,03	0,05
Alapohja- Ulkoseinä	0,068	0,10
Välipohja liittymä	0,006	0,05
US:n rungon aiheuttama	0,007	--

Rakennuksessa tavoitellaan passiivitalokonseptin mukaista rakennusvaipan ilmanpitävyyden arvoa $0,6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Vaipan ilmanpitävyys mitataan rakennuksesta rakennusvaiheessa ja näin pyritään saavuttamaan tavoiteltu ilmanpitävyys.

Rakennuksen vakio vuotoilmavirta laskettiin kaavan 5 mukaisesti, jolloin vuotoilmavirraksi saadaan m^3/s . Kohde on kaksikerroksinen ja vaipan vuotoilmavirran laskennassa kaavassa 5 käytetään lukuarvoa $x=24$. IDA ICE-ohjelmassa käytettiin arvoa $0,025 \text{ m}^3/\text{h m}^2$. Ohjelma jakaa vuotoilmavirran itsenäisesti vaipan pinta-alan suhteen.

Rakennuksen vuotoilmavirta lasketaan kaavan 5 mukaan seuraavasti:

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{0,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h m}^2}}{24} = 0,025 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$$

Kohteeseen on vallittu Enerventin Pandion Eco Ede -ilmanvaihtokone ja sen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on Helsingin säädatalla laskettuna 76,5 % (liite 11). Sodankylän säädatalla laskettuna vuosihyötysuhteeksi tulee 74,6 % (liite 11). Ilmanvaihtokoneen SFP-luku on 1,56 kW/(m³/s).

Kohteen päälämmitysjärjestelmänä toimivat vesiradiaattorit ja tukena olohuoneen alueella lattialämmitys. Kohde on kytketty kaukolämpöverkkoon ja varustettu varaavalla tulisijalla.

Lämmitysjärjestelmän lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhteina käytetään rakentamismääräyskokoelman mukaista arvoa 0,9. Lämmitysjärjestelmän apulaiteiden ominaissähkönkulutuksen arvoa 2 kWh/m²a, joka vastaa nimellisteholtaan 0,23 W/n-m². (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 43.)

Kaukolämmön lämmönjakokeskuksen tuotannon vuosihyötysuhteen käytetään 0,94 ja ominaissähkön kulutuksena 0,6 kWh/m²a, joka vastaa nimellisteholtaan 0,068 W/n-m². (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 47.)

Lämpimän käyttövedenlämmitys ei sisällä varaajaa eikä kiertojohtoa. Siirtojohtojen oletetaan olevan hyvin eristettyjä, jolloin $\eta_{\text{lkv, siirto}}$ on 0,92. Käyttöveden lämmitysjärjestelmän siirron häviöinä käytetään 0,32 W/n-m². (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 43.)

4.3.2 Kohde B Lammi Kivitalot

Lammi Kivitalojen kohde on kaksikerroksinen rakennus, jonka pääasialliset tilat sijoittuvat ensimmäiseen kerrokseen. Rakennuksen nettopinta-ala on 135,1 m². Toisessa kerroksessa sijaitsevat parvi, käyttöullakko ja yläkerran säilytystilat. Yläkerros on pulpettikattoinen ja toiselta pitkältä sivultaan 2 200 mm korkea ja toiselta sivultaan 2 000 mm. Yläkerrasta nettopinta-alaan otetaan vain 1 600 mm ylittävän korkeuden lattian kerrosala, joita on parvi 6,1 m² ja käyttöullakko 4,8 m². Rakennuksen bruttopinta-ala on 163 brm². Alakerta koostuu perheen käyttötiloista, jossa sijaitsevat myös pesuhuone, sauna ja WC-tilat. Ala- ja yläkerran likaiset tilat ovat varustettu vain poistoilmaventtiileillä. Rakennuksen

lämmin ilmatilavuus on 470 m³. Rakennuksen vaippa on kompaktikokoinen ja vaipan suhde tilavuuteen 1,1 m²/m³. Rakennuksen energiatehokkuus tavoite on vuoden 2010 voimassa olevan määräyksen mukainen A-energialuokka (liite 6).

Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä toimii hybridilämmitysjärjestelmä, jonka lämmönlähteenä on vesikiertoinen lattialämmitys, jonka pääasiallisena lämmitystapana toimivat sähkövastukset ja veteen varaava takka. Käyttöveden lämmityksen tukena toimivat aurinkokeräimet.

Rakennus on kivitalo ja sen ulkoseinärakenteet ovat lämpökivirakenteiset ja niiden lämmönjohtavuuksina on käytettiin valmistajan tuotetietoja. Väliseinä-rakenteet ovat samoin kivimateriaalia. Rakennuksen välipohjat ovat puuta ja rakennuksen alalasku rakenteet ovat puurakenteiset. Yläpohja on hyvin eristetty 600 mm:n puhallusvillaeristein. Rakenneosien lämmönläpäisykertoimet on lueteltu taulukossa 10. Rakenteiden materiaalien paksuus, tiheys, ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus ovat lueteltu taulukossa 11.

TAULUKKO 10. Lammi Kivitalon rakenneosien lämmönläpäisykertoimet (liite 6)

Rakenne	U- arvo [W/m ² K]
Ulkoseinä	0,17
Yläpohja	0,08
Alapohjan	0,16
Ulko-ovet	1,00
Ikkunat	0,80

TAULUKKO 11. Lammi Kivitalon rakenteissa käytetyt materiaalit

Ulkoseinä				
Materiaali	Pituus	Tiheys	Ominaislämpökapasiteetti	Lämmönjohtavuus
	[mm]	ρ [Kg/m ³]	c_p [J/ (kg K)]	λ [W/mK]
Rappaus	15	2000	840	1,2
Kevytsorabet.	30	1750	1000	0,7
Betoni	72	2400	1000	2,1
Neopor	195	50	1450	0,035
Betoni	72	2400	1000	2,1
Kevytsorabet.	30	1750	1000	0,7
Tasoite	5	2000	840	1,2
Yläpohja				
Vesikate	3	7800	450	50
Ilmatila	62	1,2	1006	0,4
TS	30	100	750	0,045
Puhallusvilla	400	40	1600	0,05
Palkit				
k600+eriste	200	40	1600	0,055
Ilmatila	50	1,2	1006	0,4
Kipsilevy	13	80	1800	0,21
Alapohja				
Betoni	100	2400	1000	2,1
Solupolystyreeni	200	20	1210	0,033
Välipohja				
Puu/Levy	20	460	2300	0,14
Palkit+eriste	400	56	1720	0,045
Kipsilevy	13	80	1800	0,21
Kevytväliseinät väliseinäkivi VSK100				
Tasoite	5	2000	840	1,2
Kevytsorabet.	25	1750	1000	0,7
Betoni	50	2400	1000	2,1
Kevytsorabet.	25	1750	1000	0,7
Tasoite	5	2000	840	1,2
Kantavat väliseinät Muottikivi MH150				
Tasoite	5	2000	840	1,2
Kevytsorabet.	25	1750	1000	0,7
Betoni	100	2400	1000	2,1
Kevytsorabet.	25	1750	1000	0,7
Tasoite	5	2000	840	1,2

Kylmäsiltemallinnuksessa käytettiin detaljipiirrosten mukaisia rakenteita (liite 6). Ikkunan ja oven asennuksen kylmäsiltemana käytettiin rakentamismääräyskokoelma D5 mukaisia arvoja 0,04 W/mK. Rakenteet ovat betoni ja kevytsorabetonin yhdistelmä, koska rakennuksessa käytetään valuharkkoa. Kylmäsiltojen arvojen eroavaisuuksia on rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisten arvojen ja laskettujen arvojen välillä on alapohjaliitoksessa ja välipohjaliitoksessa. Välipohjan kylmäsilta on positiivinen, koska eristyspaksuus ohentuu tässä kohti rakennetta ja aiheuttaa kylmäsiltemaan rakenteeseen. Alapohjassa on laatan ja seinän välissä 10 mm:n eriste, joka vaikuttaa rakenteen lämmönjohtumiseen. Jokainen alapohjaliitoksen yksityiskohta vaikuttaa rakenteen kylmäsiltemavaikutukseen. Seinän lämpöharkkorakenne jatkuu 300 mm maanpinnan alapuolelle, mikä auttaa myös liitoksen kylmäsiltemaan arvossa. Taulukossa 12 on esitetty rakennuksen laskettujen kylmäsiltojen arvot sekä rakentamismääräyskokoelman mukaiset referenssiarvot.

TAULUKKO 12. Rakennuksen kylmäsiltemat laskettu ja referenssi rakentamismääräyskokoelma D5 betonirakenteet (liite 7) (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 19)

Rakenne	Kylmäsilteman lisäkonduktanssi Ψ_k (W/mK)	
	Laskettu:	Referenssi Rakmk D5 14.3.2012
Ulkoseinän ulkonurkka	0,053	0,06
Ulkoseinän sisänurkka	-0,092	--
Yläpohja- Ulkoseinä	0,042	0,04
Alapohja- Ulkoseinä	0,132	0,24
Välipohja liittymä	0,021	0,00

Ikkunoita ei vielä ollut tarkkaan määritelty ja ennakkoon rakennuksen ikkuna valinnaksi vaihtoehto oli Fenestra Polaris MS2E 0,8, jota tässä työssä käytettiin. Ikkunoista laskettiin ikkunakarmin suhteellinen osuus ikkunan valoaukon kokoon (liite 8). Ikkunakarmin ja valoaukon suhteellinen osuus määriteltiin ohjeeseen jokaiselle ikkunalle ja Fenestra Polaris MS2E 0,8 tekniset arvot ovat mää-

ritelty taulukossa 5 sivulla 43. Taulukossa 13 on esitetty ikkunoiden valoaukon osuus ja karmin osuus ikkunasta.

TAULUKKO 13. Ikkunoiden rakenteiden lämmönläpäisykertoimet ja ikkunan osien suhteelliset osuudet (liite 8)

Ikkunan koko/tunnus	U-arvo (W/m ² K)			Ikkunan valoaukon ja karmin suhteellinen osuus ikkuna-aukosta -%	
	Lasin U _g -arvo	Karmin U _f -arvo	Ikkuna U _w -arvo	Valoaukon osuus	Karmin osuus
14x6M	0,47	1,13	0,9	65	35
26x23M	0,47	1,13	0,6	87	13
20x12M	0,47	1,13	0,8	67	33
10,4x4M	0,47	1,13	0,8	51	49
14x16M	0,47	1,13	0,9	60	40
10x16M	0,47	1,13	0,7	76	24
10x7M	0,47	1,13	0,7	82	18
9x21	0,47	1,13	0,7	76	24

Kohteeseen on samoin vallittu Enerventin Pandion Eco Ede -ilmanvaihtokone ja sen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on Helsingin säädatalla laskettuna 76,5 % (liite11). Sodankylän säädatalla laskettuna vuosihyötysuhteeksi tulee 74,6 % (liite 11). Ilmanvaihtokoneen SFP-luku on 1,56 kW/(m³/s).

Rakennuksessa tavoitellaan erittäin hyvää ilmantiiveyden lukua. Rakennusvai-
pan ilmanpitävyyden arvo on 0,6 m³/(h m²).

Rakennuksen vuotoilmavirta lasketaan kaavan 5 mukaan seuraavasti:

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{0,6 \frac{m^3}{h m^2}}{24} = 0,025 m^3/m^2 h$$

Kohteen päälämmitysjärjestelmänä toimii lattialämmitys. Kohteessa on sähkö-
vastuksilla lämpenevä vesivaraaja.

Lämmitysjärjestelmän lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhteina käyte-
tään arvoa 0,80. Lämmitysjärjestelmän apulaiteiden ominaissähkönkulutuksen

arvoa 2,5 kWh/m²a, joka vastaa nimellisteholtaan 0,285 W/n-m². (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 43.)

Sähkökattilan tuotannon vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 0,88. Vuosihyötysuhde sisältää varaajan häviöt ja ominaissähkön kulutuksena 0,02 kWh/m²a, joka vastaa nimellisteholtaan 0,00228 W/n-m². (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 43.)

Siirtojohtojen oletetaan olevan hyvin eristettyjä, jolloin $\eta_{\text{lkv, siirto}}$ on 0,92 D5 taulukon 6.2 mukaan. Käyttöveden lämmitysjärjestelmän siirronhäviöinä käytetään 0,32 W/n-m². (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2012, 43.)

5 ENERGIASIMULOINNIN TULOKSET

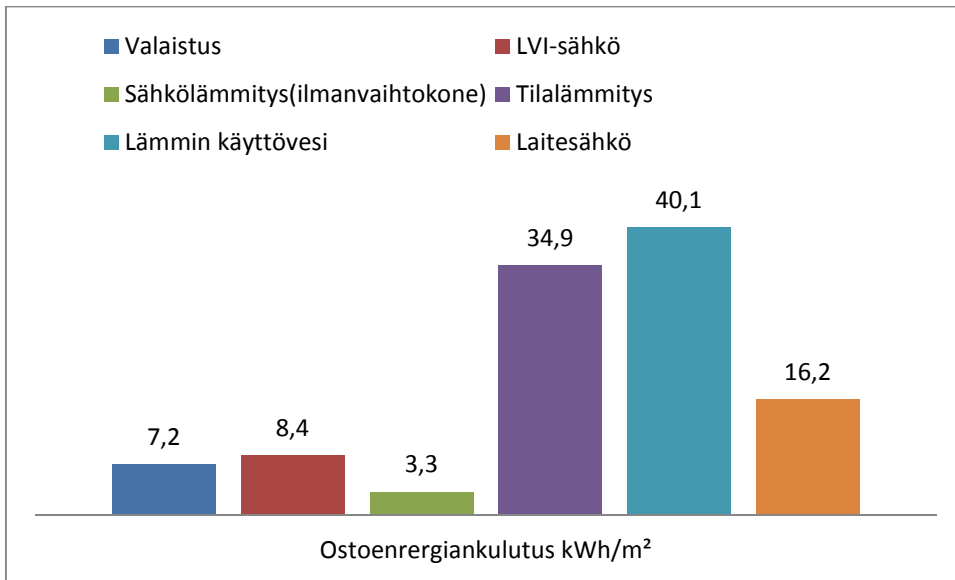
Kohteiden energialaskennassa käytettiin rakentamismääräyskokoelman mukaista säädataa vyöhyke 1 Helsinki-Vantaa. Energiasimuloinnilla selvitettiin rakennuksen lämmitysenergiatarve, ostoenergiatarve ja kokonaisenergiatarve painotettuja energiamuotojen kertoimia käyttämällä. Vyöhyke 1 Helsinki-Vantaan säädataa käytettiin myös rakennuksen sisäilman liikalämpöisyyden tutkimiseen. Sisäilman huonelämpötilan tavoitearvona käytettiin rakentamismääräyskokoelman mukaista asetusta, jonka mukaan sisäilman kesäajan 1.6.–31.8. astetuntiluku ei saa nousta yli 150, kun sisäilman lämpötila on 27 °C. Käytävissä oli myös Metronormista saatu säädata Oululle. Oulun säädatalla laskettiin rakennuksen tilojen lämmitysenergiatarve.

5.1 Kohde A: Kastelli-talo

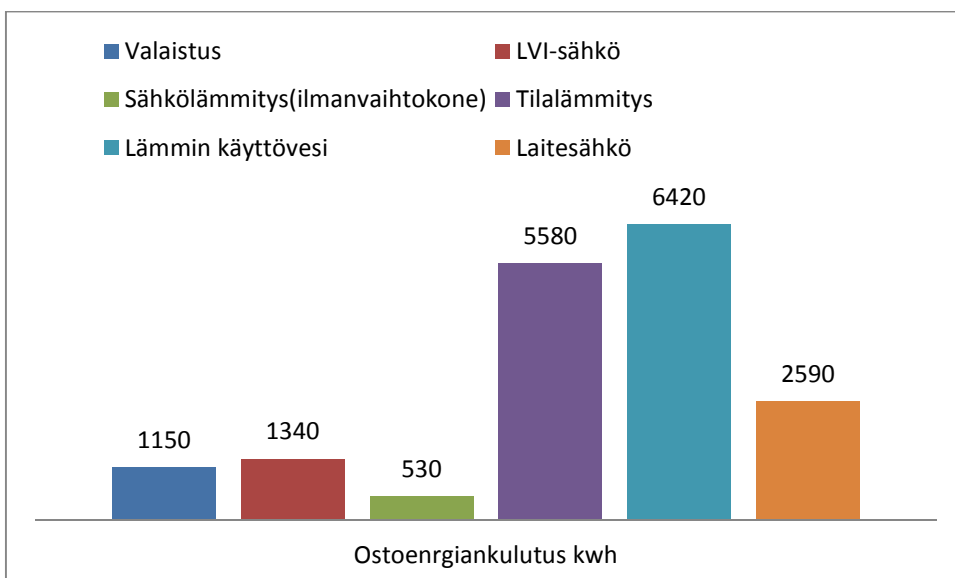
5.1.1 Rakennuksen ostoenergiatarve

Rakennuksen rakenteet ovat lämmönläpäisykertoimeltaan mukailevat suomalaista passiivitalon tasoa ja ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosittainen hyötysuhde oli 76,5 % Helsingissä ja 74,5 % Oulussa. Rakennuksen nettopinta-ala on 160 m² ja brutto-ala 193 brm². Rakennuksen ostoenergiankulutukseksi saatiin 110 Kwh/m²a Helsingissä (liite 4).

Rakennuksen ostoenergiatarve Helsingin säädatalla jakautuu osiin kuvan 12 ja 13 mukaisesti. Rakennuksen lämmityksen ostoenergiaksi saadaan 34,9 kWh/m² a, joka on pienempi kuin lämpimänkäyttöveden ostoenergia 40,1 kWh/m² a. Bruttopinoalalle laskettuna rakennuksen lämmityksen ostoenergiaksi saadaan Helsingissä on 30,1 Kwh/m² a (liite 4).

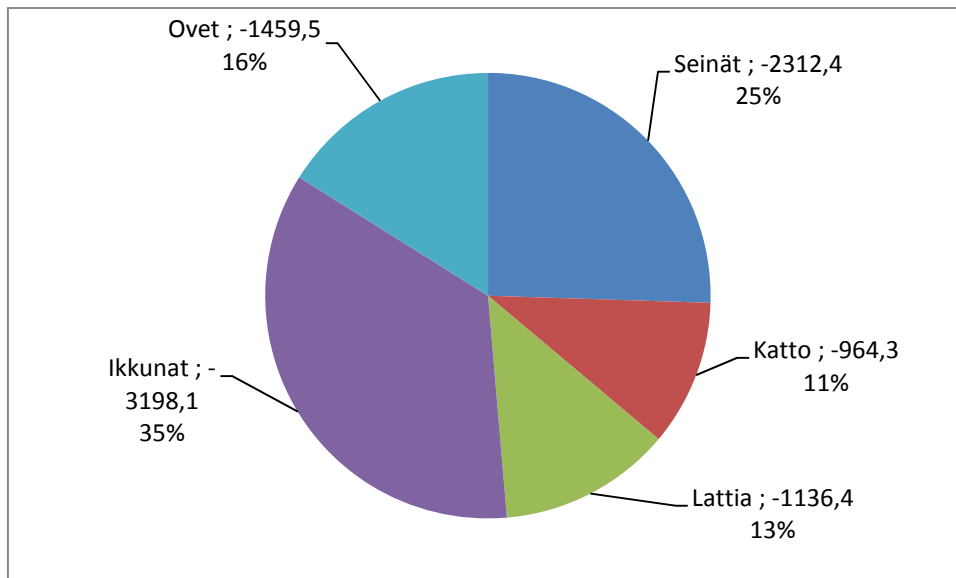


KUVA 12. Rakennuksen ostoenergian jakautuminen Helsingin säädatalla kWh/m² a



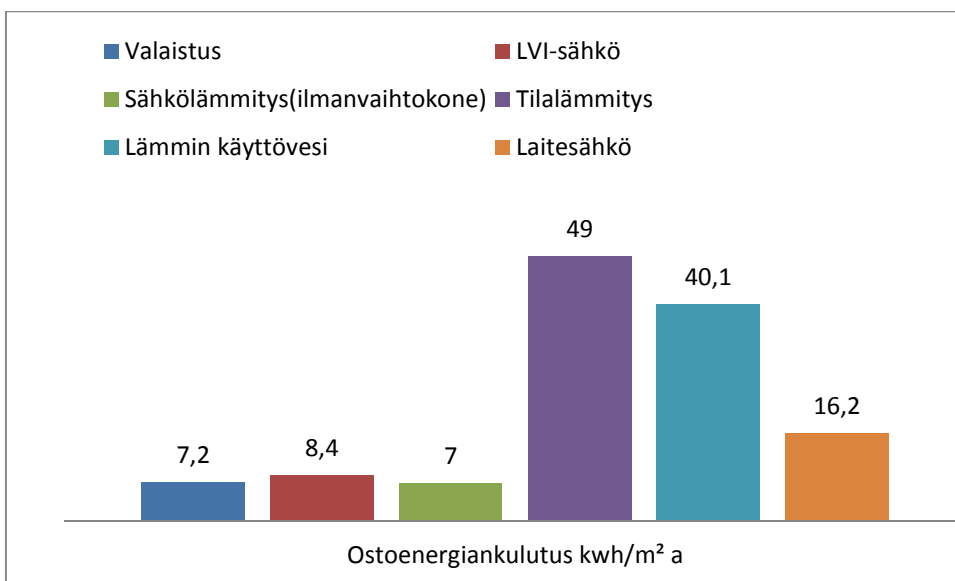
KUVA 13. Rakennuksen ostoenergian jakautuminen Helsingin säädatalla kWh/a

Kuvassa 14 on esitetty rakenteiden lämpöhäviöt Helsingin säädatalla. Kuvasta 14 nähdään, että suurimmat lämpöhäviötä aiheuttavat rakenteet ovat ikkunat ja seinät.

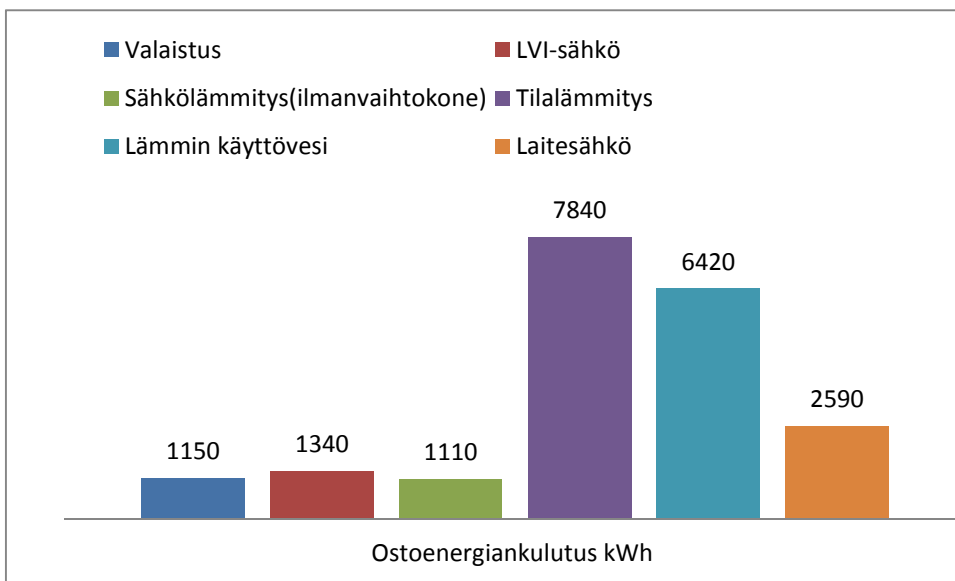


KUVA 14. Rakenteiden lämpöhäviöt Helsingin säädatalla kWh

Rakennuksen ostoenergiantarve Oulun säädatalla jakautuu osiin kuvien 15 ja 16 mukaisesti. Rakennuksen lämmitysostoenergiaksi saadaan 49 kWh/m²a. Lämpimän käyttöveden lämmityksen ostoenergiaksi saadaan 40,1 kWh/m² a. Oulun säädatalla tilojen lämmitys energiannettotarve nousee suuremmaksi kuin käyttöveden lämmitys energiannettotarve. Brutto-pinta-alalle laskettuna rakennuksen lämmityksen ostoenergiaksi saadaan Oulussa 40,6 kWh/brm²a (liite 5).

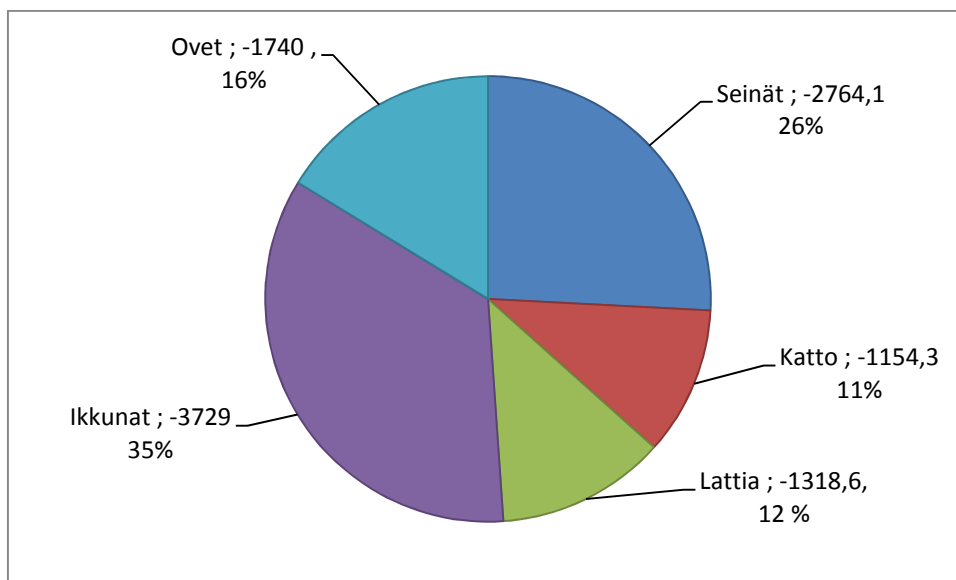


KUVA 15. Rakennuksen ostoenergian jakautuminen Oulun säädatalla kWh/m² a



KUVA 16. Rakennuksen ostoenergian jakautuminen Oulun säädatalla kWh/ a

Kuvassa 17 on esitetty rakenteiden lämpöhäviöt Oulun säädatalla. Ikkunat ja seinät ovat rakennuksessa suurin lämpöhäviötä aiheuttavat osat. Ikkunapinta-alan vähentämisellä rakennuksessa voitaisiin vähentää koko rakennuksen energiankulutusta.



KUVA 17. Rakenteiden lämpöhäviöt Oulun säädatalla kWh

Suoraan bruttopinta-alalle laskeutua arvoa ei voida suoraan verrata suomalaisen passiivitalomääritelmään. Passiivitalomääritelmässä käytetään tilojen lämmitysenergiantarvetta, joka sisältää ilmanvaihdon lämmitysenergiantarpeen. Suomalaisessa passiivitalomääritelmässä ei huomioida lämmitysjärjestelmän ominaisuuksia. (Nieminen-Lylykangas 2008, 9.)

Tilojen lämmitysenergiantarpeeksi saatiin Oulussa 45,2 kWh/m² a ja bruttopinta-alalle 37,4 kWh/brm². Rakennuksen tilojen lämmitysenergiantarpeessa on vielä matkaa suomalaiseen passiivitalomääritelmän mukaiseen tilojen lämmitysenergiantarpeeseen 30 kWh/brm² a Pohjois-Suomessa. Tilojen lämmitysenergiatarve on esitetty taulukossa 14 rakennusosittain.

TAULUKKO 14. Tilojen lämmitysenergiatarve Oulussa kWh (liite 5)

Vaippa ja Kylmäsiilat	-9203	Ihmiset	1572
Sisäiset mas- sat	-3	Laitteet	2587
Auringon säteily	2019	Valaistus	1150
Tuloilman lämpiäminen tilassa	-3380	Yhteensä kWh	-7022
Vuotoilma	-1967	kWh/m ²	45,2

Kohteen lämmitysenergiatarve on laskettu Tuomas Haaviston opinnäytetyössä Energiatehokkaiden rakennusten laskennallinen tarkastelu PHPP-laskentatyökalulla. Työssä on laskettu rakennuksen lämmitysenergiatarve PHPP-ohjelmalla ja se noudattaa saksalaisen passiivitalomääritelmän mukaista laskentatapaa, joka perustuu mukaillen ISO 13790 standardiin. Tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan annual heat demand mukaisella lasketamethodilla, jota virallisen passiivitalo serfikaatin hakemiseen käytetään. PHPP laskee tilojen lämmitysenergianenergiatarvetta kuukausikohtaisesti. (Haavisto, 2012; Feist ym. 2007.)

Rakennuksen tilojen lämmitysenergiatarpeeksi työssä saatiin 64 kWh/ m² a Oulun säädatalla laskettuna. Rakennuksen pinta-alana on käytetty treated floor area $A_{\text{tfa}}=151,8$ m², joka lasketaan PHPP-ohjelman mukaisilla laskentasäännöillä. Työssä lämmitysenergiatarpeeksi saadaan 12 588 kWh/m²m, joka sisältää tilojen lämmitysenergiatarpeen sekä tuloilman lämmöntarpeen tilassa. Työssä saadaan vaipan häviöksi 6 820 kWh/a ja tuloilman lämpiämistarve tilassa 2 890 kWh/ a. Auringosta ikkunoiden kautta saatava energia on 1 100 kWh/ a ja sisäiset lämpökuormat ovat 1 565 kWh/ m². Tulokset on esitetty taulukossa 15.

PHPP ei ilmeisesti ota huomioon valaistuksesta saatavaa sisäistä lämpökuormaa vaan koko lämpökuormat lasketaan yhdellä kertaa ihmisistä ja laitteista. PHPP:ssä käytetty sisäistenkuormien arvo on 2,1 W/m². Rakentamismääräyskokoelman D3 arvo pelkästään laitteiden sisäisille kuormille on 3 W/m² ja rakennuksen vuotuinen käyttöaste on 0,6. (Haavisto, 2012; Feist ym. 2007.)

Opinnäytetyössä tutkittiin yksinkertaistettu energiansimulointitapaus, jossa asetettiin laitteiden sisäiseksi lämpökuormaksi 2,1 W/m² ja käyttöasteeksi 0,6. Valaistusten ja ihmisten sisäiseksi lämpökuormaksi asetettiin 0 kWh/m² a. Vertailun tulokset on esitetty taulukossa 15.

TAULUKKO 15. Tilojen lämmitysenergiatarve, kun sisäisten kuormien arvo phpp:n mukainen 2,1 W/m² ja käyttöaste 0,6

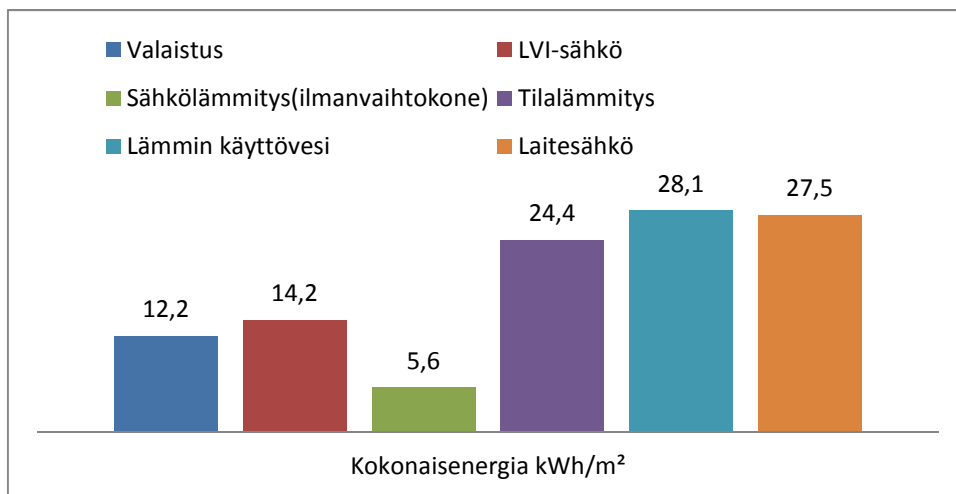
	IDA ICE [kWh]	PHPP [kWh]
Vaippa ja Kylmäsiilat	-8937	-9481
Sisäiset massat	-3	n/a
Auringon säteily	2117	1100
Kon. tu- loilma	-3098	-2888
Vuotoilma & Aukot	-1560	n/a
Laitteet	1766	1565
Pinta-ala	A _n =160 m ²	A _{tfa} =151,8m ²
Yhteensä:	-9715	-9704
kWh/m ²	60,7	63,9

5.1.2 Rakennuksen kokonaisenergiatarve

Rakennuksen kokonaisenergiakulutus simuloitiin syöttämällä ohjelmaan energiamuotojen kertoimet. Kohde on liitetty kaukolämpöön ja energiamuodonkerroin on 0,7. Rakennuksen lämpimän käyttöveden ja tilojen lämmitysenergian nettotarve on hoidettu kaukolämmöllä. Muut talotekniikan ja valaistuksen sähkönkäytön energiamuodon kerroin on 1,7 (taulukko 3, sivulla 34). Rakennuksen kokonaisenergian enimmäisarvo saadaan taulukosta 4, kun rakennuksen nettopinta-ala on 160 m².

$$E\text{-luku} = 173 - 0,07 * 160 = 161,8 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$$

Rakennuksen kokonaisenergiankulutukseksi saatiin energiasimuloinnilla 112 kWh/m² a, joka on pienempi kuin sallittu 161,8 kWh/m² a (liite 4). Kuvassa 18 on esitetty rakennuksen kokonaisenergiatarve alueittain. Kuvasta 18 nähdään, että käyttöveden kokonaisenergiatarve on suurempi kuin tilalämmitys.

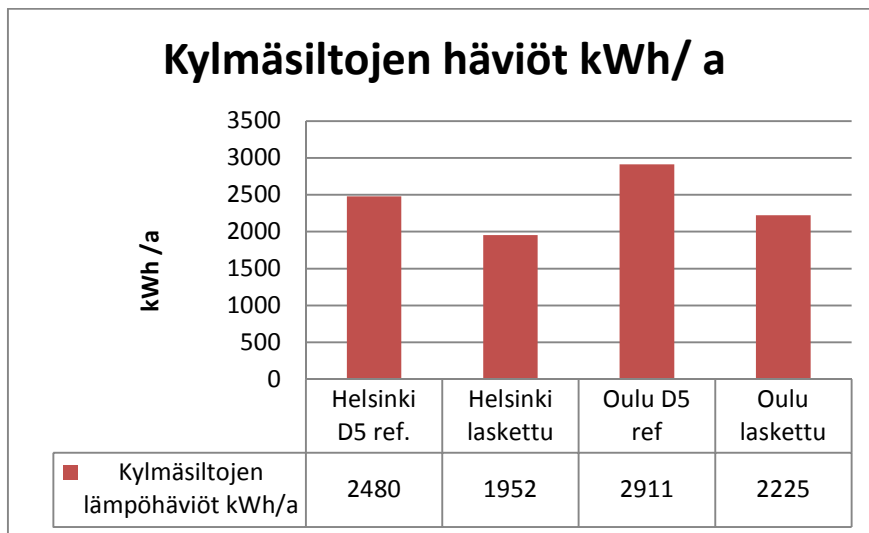


KUVA 18. Rakennuksen kokonaisenergiatarve Helsingissä kWh/m² a

5.1.3 Kylmäsiltojen vaikutus nettoenergia tarpeeseen

Kylmäsiltojen vaikutusta rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarpeeseen tutkittiin rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisten arvojen ja laskettujen kylmäsiltojen arvojen välillä. Kylmäsilat laskettiin rakennekohtaisesti ja niiden arvot ovat taulukossa 7 sivulla 43. Tutkimus suoritettiin Helsingin säädatalle sekä Oulun säädatalle.

Kylmäsiltojen vähentävä vaikutus tilojen lämmitysenergiantarpeeseen on Helsingissä 3,3 kWh/m² a ja Oulussa 4,2 kWh/m² a. Brutto-pinta-alalle jaettuna 2,73 kWh/brm² Helsingissä ja 3,5 kWh/brm². Kylmäsiltojen arvossa on rungon aiheuttama kylmäsiltovaikutus mukana. Kylmäsiltojen vaikutus tilojen lämmitysenergia nettotarpeessa jää pieneksi, kun eroavaisuudet ovat pienet taulukkoarvoilla ja laskettujen arvojen välillä, etenkin Helsingissä, jossa ilmasto on pohjoista Suomea leudompi. Eroavaisuutta oli eniten alapohja-, yläpohja- ja seinäliittymässä. Paremmalla kylmäsiltovaikutusta välttävällä liitossuunnittelulla päästäisiin parempiin vaikutuksiin tilojen lämmitysenergian nettotarpeessa. Kylmäsiltojen vaikutus korostuu, kun pyritään pienempään tilojen lämmitysenergian nettotarvetta. Kuvassa 19 nähdään kylmäsiltojen eroavaisuudet laskettujen ja referenssiarvojen välillä.

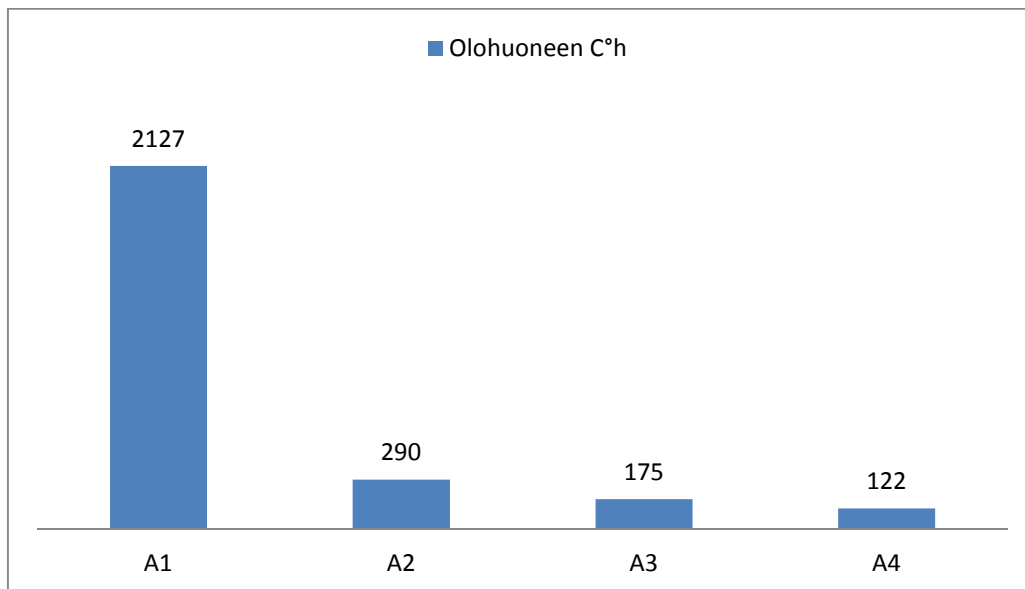


KUVA 19. Kylmäsiltojen lämpöhäviöiden erot Helsingissä ja Oulussa kWh/ a

5.1.4 Kesäajan huonelämpötilan tarkastelu

Kesäajan huonelämpötilan tarkastelu tehtiin useammalle tarkasteluvaihtoehdolle. Ensimmäisistä tarkasteluista lähtien oli selvää, että rakennuksen kesäajan lämpötilanhallintaan täytyy käyttää yötuuletusta ikkunoiden kautta ja mahdollisesti käyttää ulkopuolisia varjostuksia. Rakennuksen erinomainen eristyksen taso lisää kesäaikana tilojen ylikäynnistyksen riskiä, kun rakenteiden lämpöhäviöt ovat pienet.

Rakennus on suunnattu pitkiltä sivuiltaan etelään sekä länteen. Lännen puoleisella julkisivulla on suuret ikkunapinta-alat olohuoneessa sekä makuuhuoneissa. Lännen julkisivun varjostusta ei ole ratkaistu suunnistelukorjauksin ja varjostavia rakennuksia lännen ja idän julkisivuilla ei ollut. Kohteesta tehtiin neljä erilaista simulointitapausta. Tapauksissa pyrittiin huonelämpötilan astetuntilukuun pyrittiin saamaan alle vähimmäis-vaatimuksen 150 °Ch, kun lämpötila nousee yli 27 °C. Tarkastelutilana käytettiin olohuonetta, joka on yhteydessä portaikkoon, yläkerran aulaan, keittiöön ja alakerran aulaan. Olohuone oli rakennuksessa selvästi haastavin kesäajan lämpötilan hallinnan kannalta, koska se avautuu kaikkiin ympärillä oleviin tiloihin ja rakennuksen suurimmat ikkunat ovat olohuoneessa ja porrastilassa. Kesäajan olohuoneen huonelämpötilan simulointitapaukset on esitetty kuvassa 20. Simulointi suoritettiin ajalle 1.6.–31.8.



KUVA 20. Neljän eri kesäajan huonelämpötilan tarkastelu tapauksen olohuoneen astetuntiluku

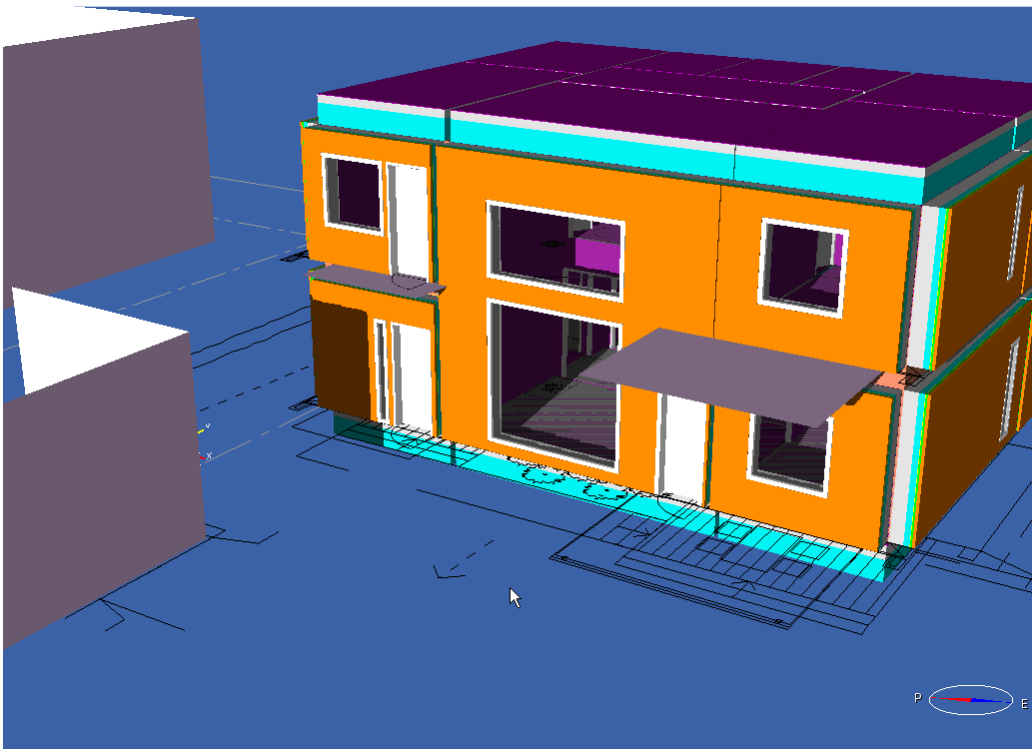
Tapaus A1 on ns. normaalitapaus, jossa rakennuksessa käytettiin yöaikaan tahtuvaa tuuletusta rakennuksen makuuhuoneiden tuuletusikkunoita ja alakerran ikkunoita avaamalla. Ikkunan aukaisun käyttöaikatauluna on klo 20-07 ja asetusarvona $T_s > T_u$, jossa $T_s = 27\text{ °C}$. Ikkuna aukeaa, jos sisäilman lämpötila on suurempi kuin ulkoilman yöaikaan.

Tapauksessa A2 käytettiin samoin yöaikaista tuuletusta, mutta $T_s = 23\text{ °C}$. Rakennuksen olohuoneen, lännenpuoleisten yläkerran makuuhuoneiden ja porrastilan ikkunoissa käytettiin ikkunan omia sälekaihtimia. Sälekaihtimien käyttöaika-taulu on 1.6-31.8., kun säteilyn intensiteetti ylittää arvon 100 W/m^2 .

Tapauksessa A3 käytettiin yöaikaista tuuletusta $T_s = 23\text{ °C}$. Rakennuksen olohuoneen, lännenpuoleisten makuuhuoneiden ja porrastilan ikkunoissa käytettiin ulkopuolelle ikkunaa integroitavaa aurinkosuojauskangasta. Kankaan käyttöaika-taulu on 1.6.–31.8., kun säteilyn intensiteetti ylittää arvon 100 W/m^2 .

Tapaus A4 on samankaltainen kuin tapaus A3, mutta ilmanvaihtokoneessa käytettiin tuloilman jäähdytystä, joka voidaan hoitaa maaliuospiiriä käyttämällä.

Rakennuksen kesäaikainen huonelämpötilan hallinta koettiin hankalaksi suurien ikkunapinta-alojen ja suuntauksen vuoksi. Samoin tilan suuri koko ja suuri aukkojen koko ympärillä oleviin tiloihin vaikeuttavat lämpötilan hallintaa olohuoneessa. Kuvasta 21 on esitetty rakennuksen länsijulkisivu kesä aikaan. Rakennuksen länsijulkisivu on hankalin, koska päivän aikana ulkoilman lämpötila nousee ja auringonpaiste ajoittuu iltapäivän ja illan aikana lännen julkisivuille.



KUVA 21. Rakennuksen länsijulkisivu 1.8. klo 20.00 Helsingissä

Yöaikaisella tuuletusikkunoiden kautta tapahtuvalla jäähdytyksellä päästiin parhaiten kohti vähimmäis-vaatimustasoa käyttämällä sisäilman lämpötilan asetusarvona 23 °C ikkunan aukaisulle. Ilmanvaihtokoneen tuloilman jäähdyttäminen parantaa kesäajan lämpötilan hallintaa, mutta nostaa vastaavasti energian kulutusta. Tämä voidaan kuitenkin hoitaa maaliuospiiriä käyttämällä ilmanvaihtokoneen yhteydessä ja samalla maaliuospiiri lämmittää tuloilmaa lämmityskaudella. Ensisijaisesti olisi eduksi käyttää ulkopuolisia ikkunan aurinkosuojauksia ja markiiseja.

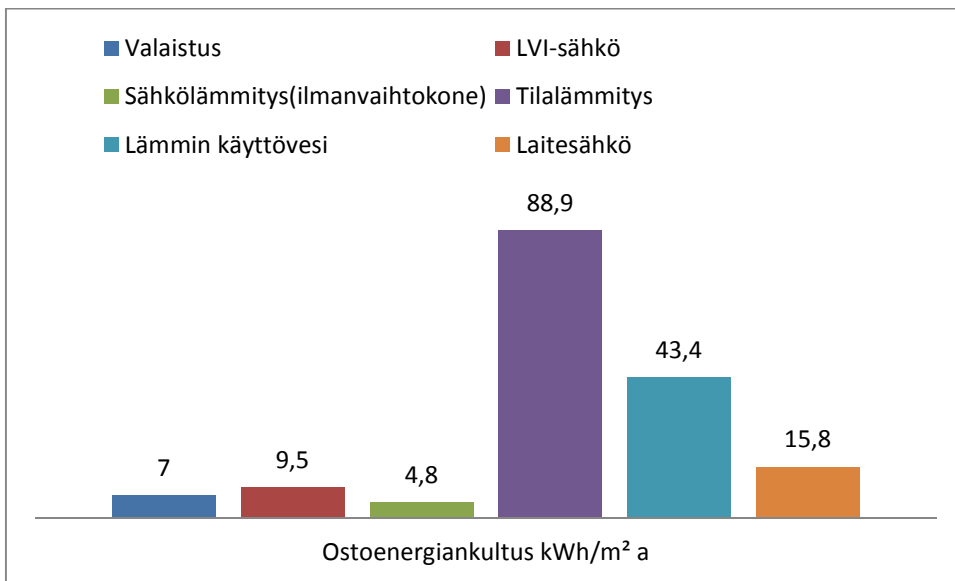
5.2 Kohde B: Lammi Kivitalot

Energiasimuloinnilla selvitettiin rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarve ja ostoenergiatarve. Kokonaisenergian tarkastelua ei tehty monipuolisen hybridilämmitysjärjestelmän vuoksi. Vyöhyke 1 säädataa Helsinki-Vantaan säädataa käytettiin myös rakennuksen sisäilman liikalämpöisyyden tutkimiseen. Käytettävissä oli myös Metronormista saatu säädata Oululle. Oulun säädatalla laskettiin rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarve sekä kylmäsiltojen häviöiden vaikutus.

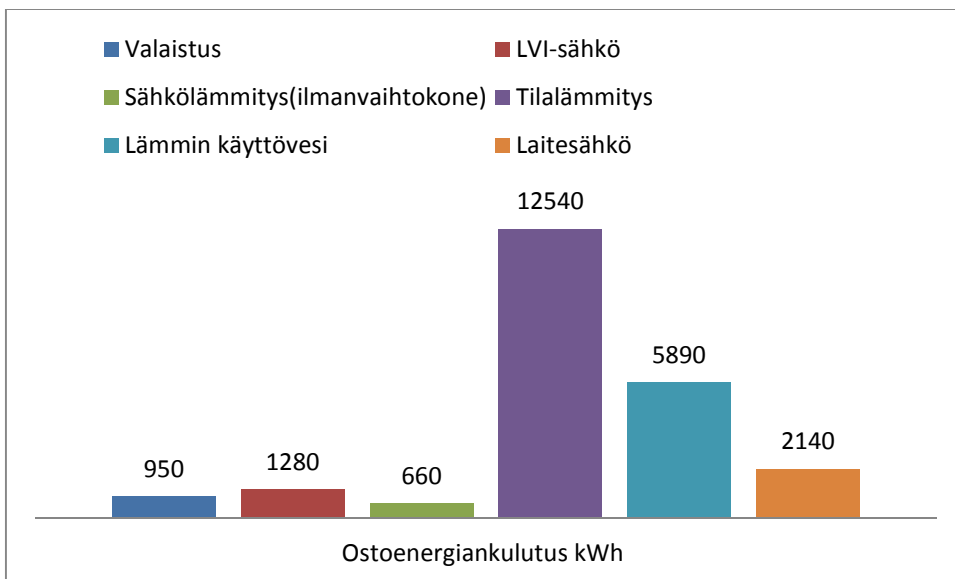
5.2.1 Rakennuksen ostoenergiatarve

Rakennuksen rakenteet ovat lämmönläpäisykertoimeltaan lähellä rakentamismääräyskokoelman D3 mukaisia minimiarvoja. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosittainen hyötysuhde oli 76,5 % Helsingissä ja 74,5 % Oulussa (liite 11). Rakennuksen nettopinta-ala on 135,8 m² ja brutto-ala 163 brm² (liite 6).

Rakennuksen ostoenergiatarve on yhteensä 169,3 Kwh/m². Rakennuksen ostoenergiankulutus jakautuu eri osiin kuvien 22 ja 23 mukaisesti. Lämmityksen ostoenergiaksi saadaan 88,9 kWh/m² ja lämpimän käyttöveden ostoenergiankulutukseksi saadaan 43,4 kWh/m². Rakennus ei täytä A-energialuokan vaatimusta nettopinta-alaa kohden laskettuna, mutta kohde on suunniteltu vuoden 2010 määräysten mukaisesti. Siinä energialaskennan pinta-alana käytetään bruttopinta-alaa. Bruttopinta-ala:lle rakennuksen ostoenergiatarve on 144 kwh/brm², joka täyttää matalaenergia vaatimuksen <150 kWh/brm² (liite 9).

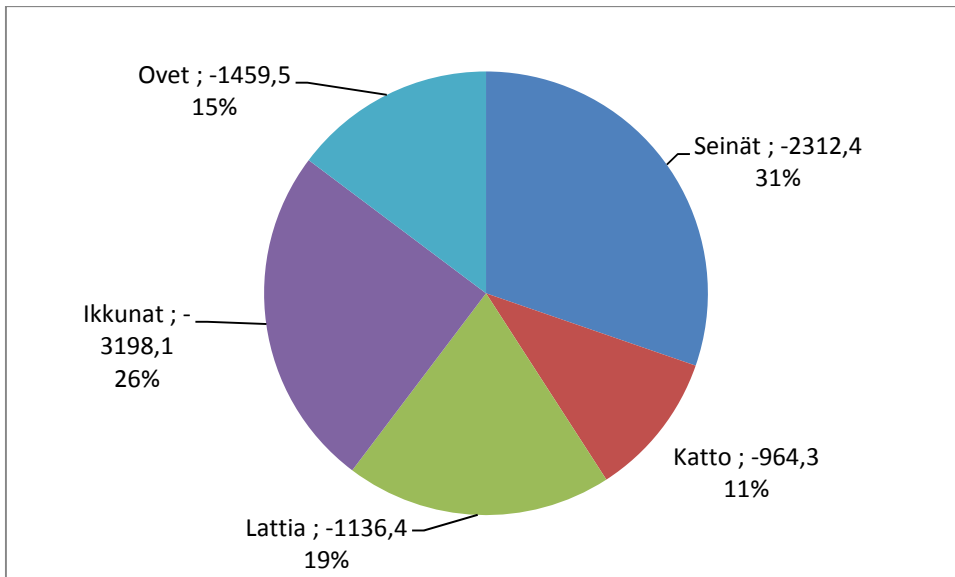


KUVA 22. Rakennuksen ostoenergiantarve Helsingin säädatalla kWh/m² a



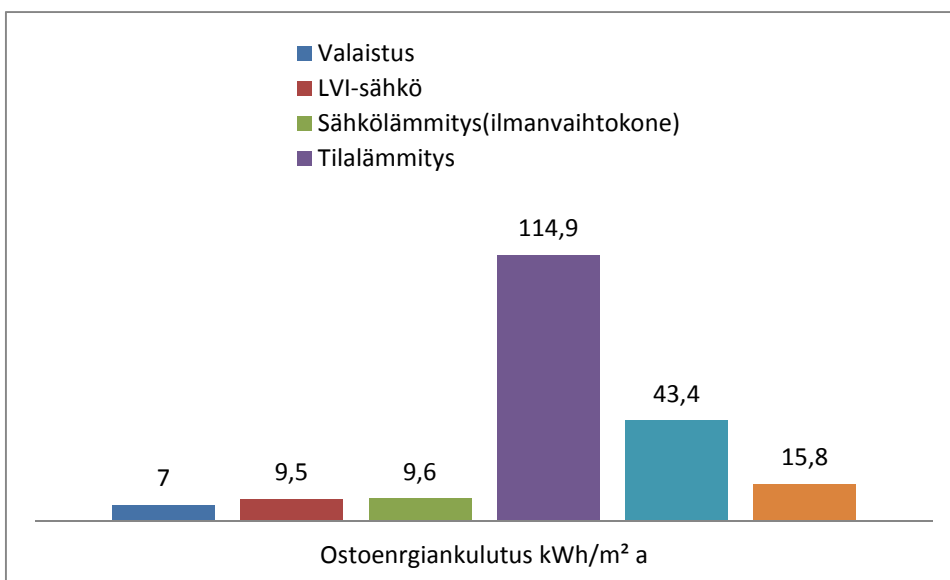
KUVA 23. Rakennuksen ostoenergiantarve Helsingin säädatalla kWh/ a

Kuvassa 27 on esitetty rakenteiden lämpöhäviöt Helsingissä. Ikkunoiden ja seinärakenteiden lämpöhäviöt ovat suurimmat.

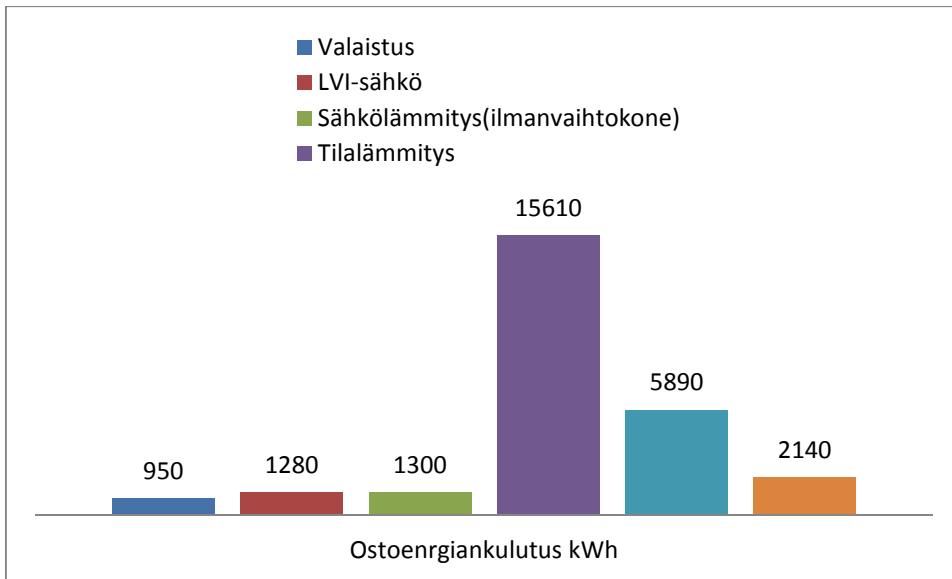


KUVA 24. Rakenteiden lämpöhäviöt Helsingissä kWh

Rakennuksen lämmityksen ostoenergia on Oulussa 114,9 kWh/m² a ja käyttöveden 43,4 kWh/m² a. Kuvasta 25 ja 26 nähdään, että heikommin eristetyssä rakennuksessa lämmitysenergiankulutus nousee suuremmaksi kuin lämpimän käyttöveden energiankulutus. Tilojen lämmitysenergiatarpeeksi saatiin 85,5 kWh/m² ja bruttopinta-alaa kohden 70 kwh/brm² (liite 10).

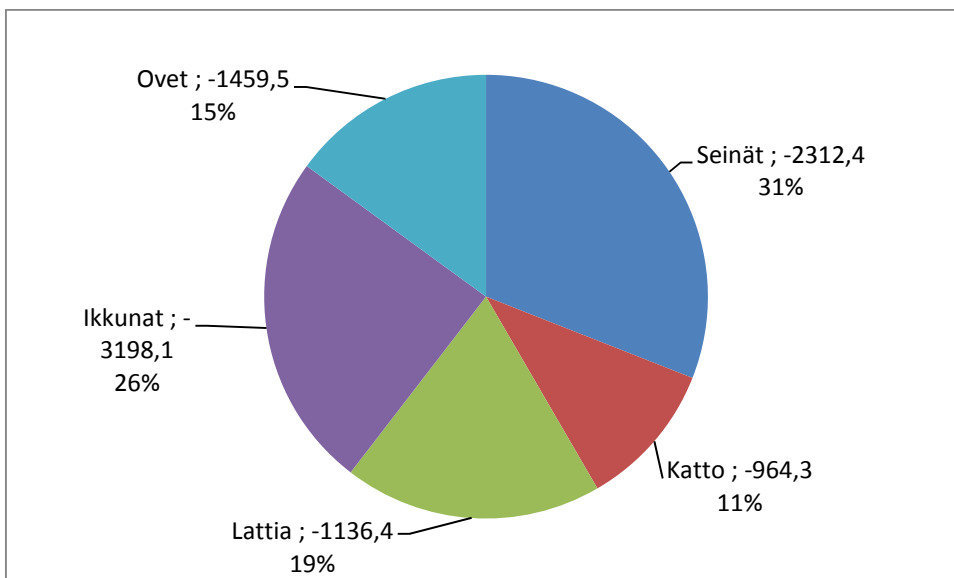


KUVA 25. Rakennuksen ostoenergiatarve Oulussa kWh/m² a



KUVA 26. Rakennuksen ostoenergiantarve Oulussa kWh/a

Kuvassa 27 on esitetty rakenteiden lämpöhäviöt Oulussa. Rakenteiden häviöstä suurimmaksi nousevat seinärakenteet ja ikkunat. Seinärakenteiden lämmönläpäisykerroin on matalaenergia rakennuksen mukainen. Parantamalla seinärakenteen lämmönläpäisykerrointa voidaan energian kulutusta rakennuksessa vähentää.



KUVA 27. Rakenteiden lämpöhäviöt Oulussa kWh

Tilojen lämmitysenergian tarve on esitetty taulukossa 16. Taulukosta 16 nähdään, että vaipan osuus lämmitysenergiatarpeessa on suuri. Vaipan lämpö

häviöitä pienentämällä voitaisiin vähentää koko rakennuksen lämmitysenergian tarvetta.

TAULUKKO 16. Tilojen lämmitysenergiatarve Oulussa kWh

Vaippa ja Kylmäsiilat	-14223	Ihmiset	1477
Sisäiset massat	29	Laitteet	2142
Auringon säteily	1178	Valaistus	952
Tuloilman lämpiäminen tilassa	-1956	Yhteensä kWh	-11242,2
Vuotoilma	-841	kWh/m ²	85,5

Tuomas Haavisto on työssään laskenut tilojen lämmitysenergian PHPP-ohjelmalla. Rakennuksen lämmitysenergia tarpeeksi saadaan Oulussa 108 kWh/m². Rakennuksen pinta-alana on käytetty treated floor area $A_{tfa} = 142,2 \text{ m}^2$, Työssä saadaan vaipan häviöksi 15 040 kWh/ a ja tuloilman lämpiämistarve tilassa 2 482 kWh/ a. Auringosta ikkunoiden kautta saatava energia on 1 466 kWh/ a. ja sisäiset lämpökuormat ovat 1 565 kWh/ a. Rakennuksen sisäisten kuormien arvo PHPP:ssä on 2,1 W/m². Tulokset ovat esitetty taulukossa 17.

Opinnäytetyössä tutkittiin yksinkertaistettu energiansimulointitapaus, jossa asetettiin laitteiden sisäiseksi lämpökuormaksi 2,1 W/m² ja käyttöasteeksi 0,6. Valaistusten ja ihmisten sisäiseksi lämpökuormaksi asetettiin 0 kWh/m² a. Tilojen lämmitysenergiatarpeeksi saatiin 103 kWh/m² a. Vertailun tulokset on esitetty taulukossa 17.

TAULUKKO 17. Tilojen lämmitysenergiatarve, kun sisäistenkuormien arvo phpp:n mukainen 2,1 W/m² ja käyttöaste 0,6

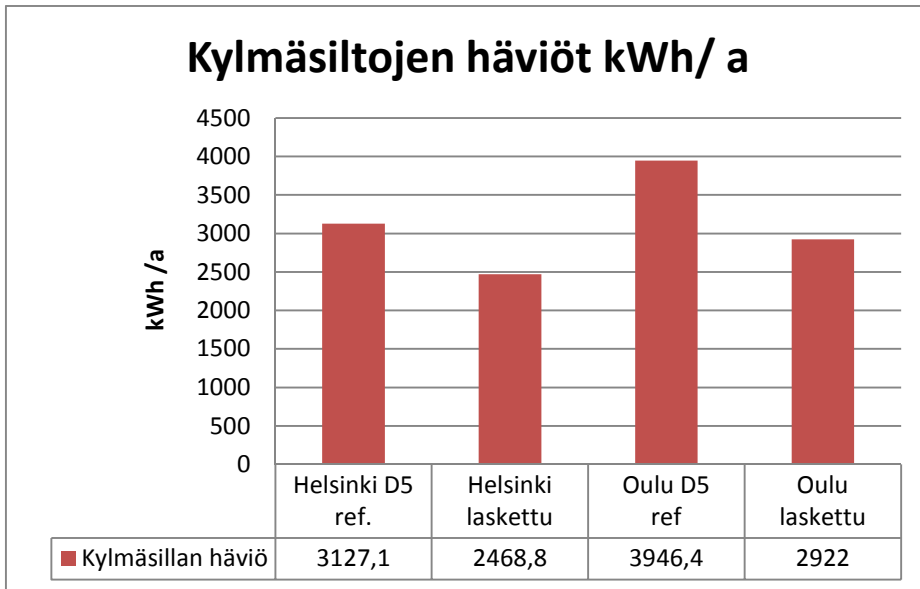
	IDA ICE [kWh]	PHPP [kWh]
Vaippa ja Kylmäsillat	-13894	-15040
Sisäiset mas- sat	33	n/a
Auringon säteily	1263	700
tuloilman lämpiäminen tilassa	-1791	-2482
Vuotoilma	-626	n/a
Laitteet	1499	1466
Pinta-ala	A _n =131,5 m ²	A _{tfa} =142,2 m ²
Yhteensä:	-13515,7	-15356
kWh/m ²	102,8	107,8

5.2.2 Kylmäsiltöjen vaikutus nettoenergia tarpeeseen

Kylmäsiltöjen vaikutusta rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarpeeseen tutkittiin rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisten arvojen ja laskettujen kylmäsiltöjen arvojen välillä. Kylmäsillat laskettiin rakennekohtaisesti ja niiden arvot ovat taulukossa 12 sivulla 47.

Kylmäsiltöjen vähentävä vaikutus tilojen lämmitysenergiatarpeeseen Helsingissä 5 kWh/m² a ja Oulussa 8 kWh/m² a nettopinta-alalla. Bruttopinta-alalla laskettuna 3,4 kWh/brm² a Helsingissä ja 5,3 kWh/brm² Oulussa. Suuri eroavaisuus laskettujen ja rakentamismääräysmukaisten taulukkoarvojen välillä johtuu alanpohja-seinäliitoksen erosta. Seinäeriste jatkuu yhtenäisenä perusmuuriin,

jolloin seinän ja perusmuurin välille ei aiheudu juuri kylmäsiltaa aiheuttavaa lii-
tosta. Kuvasta 28 nähdään kylmäsiltojen lämpöhäviöt laskettujen arvojen ja re-
ferenssiarvojen välillä.



KUVA 28. Kylmäsiltojen lämpöhäviöt Helsingissä ja Oulussa kWh/ a

5.2.3 Kesäajan huonelämpötilan tarkastelu

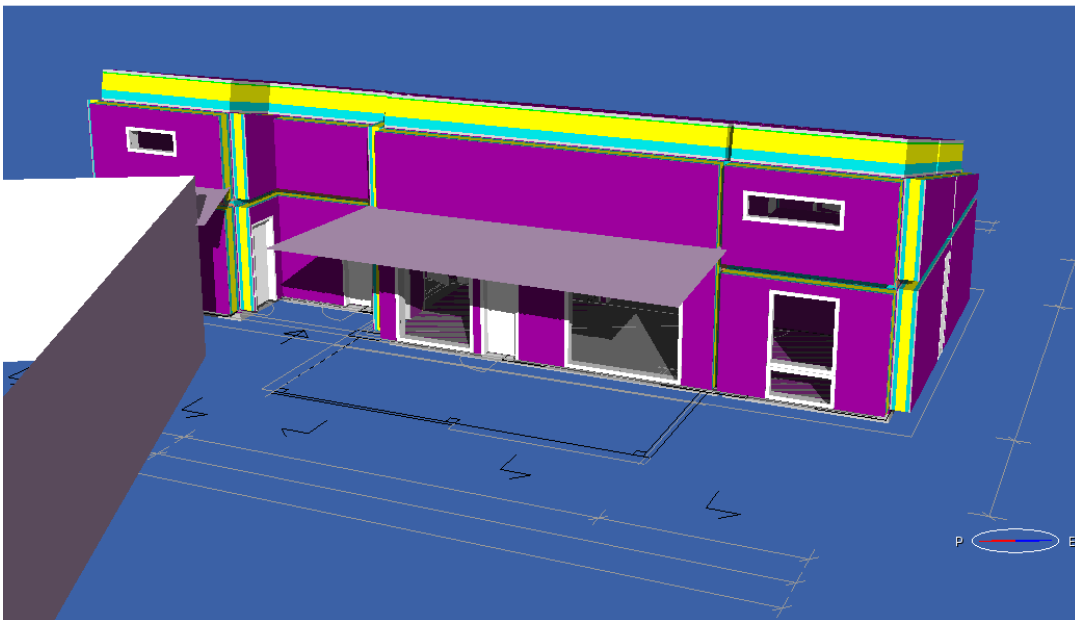
Lammi Kivitalot on suunnattu pitkiltä julkisivuiltaan länteen ja itään. Osaa länsi-
julkisivun ikkunoita varjostavat lipat, jotka ehkäisevät kesäaikaista ylläm-
penemisriskiä. Kohde on varjoisella tontilla, jossa ympärillä olevat rakennukset
varjostavat rakennusta. Autotalli varjostaa rakennuksen länsijulkisivua ja pois-
taa olohuoneen ikkunoiden kautta tulevaa lämpösäteilyä kesäaikaan. Kohteen
kesäajan huonelämpötilaa tutkittiin kahdessa eri tapauksessa, joissa pyrittiin
saavuttamaan rakentamismääräyskokoelman D3 mukainen vähimmäisvaati-
mus.

Tapauksissa käytettiin yöaikaan ikkunoiden kautta tapahtuvaa tuuletusta ma-
kuuhuoneiden lattiarajassa olevilla tuuletusikkunoilla ja yläkerran parven ik-
kunoilla. Rakennukseen yritettiin saada painovoimasta vaikutusta, jolloin ma-
kuuhuoneiden ikkunat ottavat raitista ilmaa maanrajasta ja rakennuksessa oleva
lämmön ilma poistuisi parvella olevan ikkunan kautta.

Ikkunoiden käyttöaikatauluna on klo 20-07 ja asetusarvona $T_s > T_u$. Ikkuna aukeaa, jos sisäilman lämpötila on suurempi kuin ulkoilman yöaikaan. Ensimmäisessä tapauksessa rakennuksen kesäajanhuonelämpötilan astetunteilukuvuksi saatiin 820 °Ch, kun $T_s = 27$ °C.

Toisessa tapauksessa ikkunoiden asetusarvona avaamiselle käytettiin arvoa $T_s = 24$ °C. Tässä tapauksessa rakennuksen kesäajan huonelämpötilan astetunteilukuvuksi saatiin 0 °Ch, jolloin rakentamismääräysten vähimmäisvaatimus 150 °Ch alitetaan.

Rakennuksen kesäaikaista yllämpiämistä ei juuri havaittu missään tilassa käytämällä kesäaikaan ikkunoiden kautta tapahtuvalla yöviilennyksellä. Rakennuksen varjostavat rakennukset vaikuttavat kesäaikaiseen huonelämpötilaan ja ikkunoiden pinta-alat eivät olleet kovin suuria. Rakennus on raskarakenteinen, mikä voi osaltaan vaikuttaa sisäilmaa viilentävänä vaikutuksena. Rakennuksen länsijulkisivulla olevat suuret olohuoneen ikkunat eivät altistu auringon paisteelle useaa tuntia. Kuvassa 29 näkyy rakennuksen julkisivu, jossa on varjostuksia rakennuksen ympärillä.



KUVA 29. Rakennuksen länsijulkisivu 26.7. klo 18.00 Helsingissä

5.3 Tulosten tarkastelu, johtopäätökset ja jatkotutkimus

Kohde A Kastelli-talon rakenneratkaisut olivat suomalaista passiivitaloa mukai-levat ja rakennuksen energiatehokkuus tavoite oli huomattavasti normaalitasoa parempi. Rakennuksen ostoenergiakulutukseksi Helsingissä saatiin 110 kWh/m² ja sen kokonaisenergia 116 kWh/m² Helsingissä, mikä on pienempi kuin rakennusmääräyskokoelman vaadittu 161 kWh/m². Rakennuksen passiivitasoa selvitettiin simuloimalla rakennus Oulun ilmastossa. Rakennuksen tilojen lämmitys-energian tarpeeksi saatiin 47,9 kWh/brm², joka ei vielä riitä suomalaisen passiivitalonmäärittelymään.

Rakennuksen suunnitteluratkaisujen muutosta ei tässä työssä käsitelty, mutta voidaan tehdä alustavia johtopäätöksiä siitä, millä tavalla suomalainen passiivitalomääritelmä voitaisiin saavuttaa. Yksi vaihtoehto olisi laittaa rakennuksen toisen kerroksen välipohja-aukko umpeen, mikä toisi lisää lattiapinta-alaa. Näin passiivitasoinen tilojen lämmitysenergian tarve voitaisiin saavuttaa. Lattiapinta-alan lisääminen nostaa lämpimän käyttöveden energiankulutusta, joka vastaa-vasti nostaa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta ja voi näin aiheuttaa on-gelmia passiivitason saavuttamisessa. Kohteen tuloksista saatiin selville, että lämpimän käyttöveden kulutus nousi suuremmaksi kuin tilalämmitys. Jatkotut-kimus kohteena olisi selvittää, kuinka rakennus saataisiin suomalaiseen passiivitasoon muuttamalla tila- ja rakenneratkaisuja ja ottamalla huomioon myös ra-kennuksen kokonaisenergiankulutus.

Suomalainen passiivitalomääritelmä on selkeä, mutta tulevaisuudessa energi-anlaskennan lattiapinta-alana käytetään nettopinta-alaa, mikä aiheuttaa ristirii-taa määritelmän bruttopinta-alan kanssa. Passiivitalomääritelmässä olisi näin ollen päivitettävää. Tällä hetkellä passiivitaloa markkinoidaan aika laveasti ja sen energiankulutuksen tunnusluvuista ei juuri kerrota. Suomessa passiivitaloa markkinoidaan lähinnä rakenteisiin perustavana passiivitalona. Tässä olisi selvä linjauksen tilanne, millä arvotuksilla passiivitaloa saadaan markkinoida. Samoin tulisi linjata uudelleen millaista ilmastodataa suunnittelussa tulisi käyttää. Koko suomalainen passiivitalomääritelmä voitaisiin päivittää uudelleen ottamalla huomioon tulevaisuuden rakentamismääräysten tuomat haasteet.

Kesäajan huonelämpötilan tarkastelussa kohteessa pyrittiin käyttämään rakennuksen omia sälekaihtimia ikkunoiden välissä, jolloin erillistä auringonsuojausta ei tarvittaisi. Ikkunoiden välissä olevat sälekaihtimet helpottivat kesäajan sisäilman hallintaa. Rakennuksen yöviilennystä ikkunoiden kautta tutkittiin, kun sisäilman lämpötila on suurempi kuin ulkoilman lämpötila. Yöaikaisella viilennyksellä saatiin parhaita tuloksia sisäilman lämpötilanhallintaa. Rakennuksen rakenteet ovat kevytrakenteiset ja niiden varaava ominaisuutta tässä työssä erikseen tutkittu. Kesäajan huonelämpötilan hallinta on erittäin kohdekohtainen ja jokaisella rakennuksella on omat erityispiirteensä, jotka vaikuttavat sisätilan huonelämpötilaan. Täytyy arvioida myös kohdekohtaisesti, voidaanko yöaikaista ikkunaviilennystä käyttää.

Aurinkosuojaus on ratkaistava aina kohdekohtaisesti eikä siihen voida antaa pysyviä suosituksia. Rakennuksen suuntauksella ja arkkitehtuurilla on suuri vaikutus tilojen kesäaikaiseen huonelämpötilan hallintaa. Ikkunavalinnalla voidaan vaikuttaa sisäilman lämpötilaan valitsemalla vähän auringonsäteilyä läpäisevät ikkunalasit, mutta tätä tapausta ei tässä työssä tarkasteltu ja tämä voisi olla jatkotutkimuksen aihe.

Kohde B Lammi Kivitalot on matalaenergiatasoa tavoitteleva rakennus, jonka energiatehokkuus perustuu uusiutuviin energianlähteisiin. Rakennuksen osatoenergiankulutukseksi saatiin 169,3 kWh/m² ja 144 kWh/brm² Helsingissä. Bruttopinta-alalle laskettuna matalaenergiataso saavuteltiin, mikä oli kohteen voimassa olevan määräysten mukainen tavoitetaso. Rakennuksen kesäaikainen huonelämpötilan hallinta oli kohteessa huomattavasti helpompaa verrattuna kohteeseen Kastelli-talo. Rakennuksen länsijulkisivun ulkopuolisella suojauksella on merkitystä ja varjostavia rakennuksia oli rakennuksen ympärillä mitkä ne poistavat auringonsäteilyn saapumista rakennuksen pinnoille. Rakennuksen rakenteen on massiivirakenteiset. Massiivirakenteiden vaikutusta kesäajan huonelämpötilaan ei tutkittu. Rakenteiden massiivisuudella voi olla merkitystä, kun käytetään yöaikaista viilennystä, mutta tämä vaatisi kohteessa lisätutkimuksia.

Rakennuksen tilojen lämmitysenergian kulutuksessa kylmäsiltojen merkitys kasvaa, kun tarkastellaan koko vuoden mittaista energiankulutusta. Kylmäsilto-

jen viivamaiseen lisäkonduktanssin arvoon vaikuttavat rakenteen paksuus ja siinä käytettävien lämmöneristeiden lämmönjohtavuus. Tutkittujen rakenneliitosten ja rakentamismääräyskokoelman arvojen välillä oli eroavaisuuksia ja suurimmat erot olivat alapohja-seinä välisessä liitoksessa. Kylmäsillan viivamainen lisäkonduktanssiarvo on hyvin rakennekohtainen eikä tässä työssä saatuja tuloksia voida soveltaa jokaiseen kohteeseen.

Kylmäsiltojen tarkalla suunnittelulla voidaan vähentää rakennuksen energiankulutusta ja voi olla perusteltua suunnitella rakenne mahdollisimman kylmäsillettömäksi. Laskettujen kylmäsiltojen arvojen ero referenssinä käytettyihin rakentamismääräyskokoelman mukaisiin taulukkoarvoihin kasvaa sen mukaan, kuinka kylmäsillettömäksi rakenne suunnitellaan. Samalla tilojen lämmitysenergian tarvetta voidaan vähentää, jos kylmäsiltoja suunnitellaan erittäin hyvin. Kylmäsiltojen suunnittelussa täytyy kuitenkin muistaa, että rakenteen paksuudella ja lämmöneristeiden lämmönjohtavuudet vaikuttavat kylmäsillan viivamaiseen lisäkonduktansiin ja rakenteiden väliset liitokset voivat olla hyvin lähellä rakentamismääräyskokoelman taulukkoarvoja. Kylmäsiltoja tarkastellessa huomattiin, että eri maiden kansallisissa ohjeissa on eroavaisuuksia. PHPP-ohjeen mukaisella kylmäsiltojen tarkastelussa rakenne lasketaan ulkomittojen mukaan, mikä tekee kylmäsillan viimeisestä lisäkonduktanssin arvosta negatiivisen eikä sitä suoraan voida verrata tässä työssä saatuihin arvoihin.

PHPP:n mukaisessa tilojen lämmitysenergian tarpeessa huomattiin, että PHPP:ssä käytetään sisäisille kuormille arvoa $2,1 \text{ W/m}^2$ asuinrakennuksissa. Käyttöasteena sisäisille kuormille PHPP:ssä on lämmitynkauden pituus, joka on Oulun säädatalla 205 d/a. PHPP:ssä on mahdollista laskea myös sisäisiä lämpökuormia myös erillisellä välilehdellä, jossa laitteiden ja ilmanvaihdon lämpöhäviöt lasketaan laitekohtaisesti. Nämä voivat vaikuttaa sisäiseen lämpökuormaan negatiivisesti. Lisätutkimusta tarvitaan, kuinka paljon PHPP huomioi rakenteiden vuotoilmasta aiheutuvia energianhäviöitä. Alhaisemmat sisäiset lämpökuormat pienentävät jäähdytystarvetta kesäkuukausina ja eivät näin välttämättä vastaa todenmukaista tilannetta. Rakennuksen lämmitys tapahtuu kuitenkin lämmitysjärjestelmällä ja eikä sitä voida korvata laitteiden lämmityskuormal-

la. Kun tavoitellaan teoreettista lämmitystarvetta, myös laitteiden ja ihmisten lämpökuormalla on vaikutus tilalämmityksen tarpeeseen.

PHPP:ssä on kaksi erillistä laskentametodia. Tässä työssä vertailut tulokset on saatu annual heat demand -välilehdeltä. Annual heat demand -laskentatapa perustuu mukaillen ISO 13790 -standardiin. Annual heat demand -välilehdeltä saatua tilojen lämmityenergian tarvetta käytetään, kun passiivitalolle haetaan virallista todistusta. Toinen metodi on monthly method, joka lasketaan ISO 13790- standardin mukaisesti. Näitä saatuja tuloksia ei verrattu simulointituloksiin. Dynaamisen simuloinnin ja PHPP:n vertausta ei voida tehdä kovin tarkalla tasolla, kun kyseessä on dynaaminen tuntikohtainen laskentaohjelma ja kuukausikohtainen laskentaohjelma. Passihausa Insitutun mukainen passiivitaloratkaisu on kuitenkin erittäin vaativa suomalaiseseen ilmastoon ja etenkin Pohjois-Suomen olosuhteisiin. Passihausa Insitutun PHPP-laskenta on virallisen passiivitalokonseptin mukainen ja voi olla perusteltua kysyä, kannattaako PHPP-laskentatyökalua käyttää pohjoisiin olosuhteisiin rakennuksen energiasuunnittelua tehtäessä.

Vertailujen tulokset ovat suuntaa antavia ja niistä ei vielä voida tehdä kovin tarkkoja johtopäätöksiä, kun esimerkiksi kylmäsiltojen arvoissa on eroavaisuuksia. Vertailun tulokset ovat lähellä toisiaan, kun lähtöarvot ovat samankaltaiset. Yksityiskohtaista vertailua tehtäessä olisi hyvä, että rakennuksen muoto olisi hyvin yksinkertainen ja kompaktin kokoinen ja mielellään suunnattu tontilla suoraan etelään ilman varjostavia rakennuksia. Tällöin voitaisiin tutkia sisäilman lämpötilanhallintaa erilaisilla aurinkosuojausmenetelmillä ja lähtötietojen luotettavuus olisi parempi, kun rakennus ei ole kovin monimuotoinen.

5.4 Luotettavuus ja kriittisyys

Tutkittavat kohteet mallinnettiin Autocad-pohjia hyväksi käyttämällä vaipaltaan suunnitelturatkaisun mukaiseksi ja mallin pinta-ali tiedot tarkistettiin. Rakennuksen 3D-mallin tuominen on IDA ICE -ohjelmassa mahdollista, mutta näitä malleja ei ollut käytettävissä. 3D-mallin tuominen ohjelmaan poistaa yhden virhemahdollisuuden pinta-ali tiedossa, kun rakennuksen tiloja ei tarvitse mallintaa erikseen. Tätä mahdollisuutta kannattaa ehdottomasti käyttää, kun rakennus

suunnitellaan 3D-ohjelmaa käyttämällä. Tiedonsiirto tapahtuu IFC-standardin mukaan, jossa rakennuksen osat siirtyvät ohjelmien kesken muodostaen koko rakennuksen.

Rakenteiden lämmönjohtavuuksina käytettiin rakentamismääräyskokoelman C4 mukaisia arvoja ja joissakin materiaaleissa käytettiin valmistajan antamia lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimissa pyrittiin samaan mahdollisimman yhtäläiset, kuin PHPP -tarkastelussa. Rakennuksen mallinnus pyrittiin vastaamaan suunnitteluratkaisua vastaavaksi. Dynaamiseen laskentaohjelmaan syötetään paljon lähtöarvoja, jolloin mallinnuksessa täytyy olla erittäin tarkkana. Kuitenkin suurimmat energianlaskentaan vaikuttavat parametrit ovat rakennuksen pinta-aratiedot ja rakenteiden lämmönjohtavuudet. Samoin ikkunat ja niiden osien suhteet vaikuttavat vaipan lämpöhäviöihin. Kylmäsiltojen arvoilla huomattiin olevan vaikutus rakennuksen energiankulutukseen ja tästä syystä kylmäsiltojen mallinnus pyrittiin tekemään mahdollisimman huolellisesti, jotta tarkka viivamaisen lisäkonduktassin arvo saadaan selville. Rakennuksen sisäisten kuormien ja niiden käyttöasteet ovat rakentamismääräyskokoelman D3 mukaiset. Energialaskennassa on mukana useita parametreja ja siitä syystä energialaskenta on tehtävä huolellisesti.

Rakennuksen energiankulutus muodostuu loppukädessä käyttäjän toiminnasta. Tätä ei voida mallintaa kuin käyttämällä vakioituja taulukkoarvoja rakennuksessa tapahtuvalle käytölle. Rakennuksen energiankulutukseen vaikuttaa suuresti tarkasteltava ilmasto. Passiivitasoa tavoiteltaessa on rakennuksen sijainnilla suuri merkitys rakennuksen energiantarpeeseen. Työssä käytettiin Oulun säädätana Meteonormista saatua ilmastodataa. Meteonormin säädätana on käytetty myös PHPP-ohjelmassa, jolloin ilmastodatan eroavaisuutta on hyvin vähän. Vertailussa on kuitenkin muistettava, että kyseessä on tuntikohtainen laskentaohjelma ja kuukausitason laskentaohjelma.

6 YHTEENVETO

Työssä oli tarkoituksena selvittää tutkittavien rakennusten energiankulutusta ja niiden luokittumista nykyisiin energiatehokkaisiin rakennuskonsepteihin. Rakennukset edustavat tämän hetken energiatehokasta rakennustapaa ja niiden suunnittelussa on keskitetty energiatehokkaisiin rakenne- ja taloteknisiin ratkaisuihin. Rakennusten kylmäsiltojen vaikutusta ja tarkasteltiin, kuinka paljon tilojen lämmitysenergiantarpeessa hyödytään, kun rakenteiden kylmäsiltoja laskeetaan. Samalla työn aikana oli mahdollista tarkastella PHPP-ohjelman tuloksia samoille kohteille. Työssä käytettiin dynaamista simulointiohjelmia IDA Indoor Climate and Energy, joka mahdollisti myös kesäajan huonelämpötilan tarkastelun. Dynaamisen simuloinnin pääasiallisena tarkoituksena on tutkia tutkittavan kohteen energiankulutusta ja rakennuksessa valitsevaa sisäilmastoa.

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin kahta omakotitaloa, joiden energiatehokkuustavoitteet ovat normaalirakentamista korkeammalla. Kohteista ensimmäinen mukailee suomalaista passiivitalomääritelmää rakenteidensa osalta. Työssä saatiin selville, että rakennuksen suunnittelussa pitäisi vielä tehdä muutoksia, jotta suomalainen passiivitalo saavutettaisiin. Työn toinen omakotitalo edustaa vuoden 2010 mukaista matalaenergiarakentamista ja sen tavoitteen rakennus saavuttaa. Rakennuksen pääasiallinen energiantehokkuus on kuitenkin lämmitysjärjestelmässä, joka käyttää uusiutuvaa energiaa hyödyksi aurinkokeräimillä sekä veteen varaavalla takalla.

Tulevaisuudessa, kun rakennusten lämmitysenergiantarvetta pyritään minimoimaan rakenneteknisin ratkaisuin, kylmäsiltojen osuus koko vaipan lämpöhäviöissä kasvaa. Tähän on syytä varautua jo nyt ja kehittää rakenteiden välisiä liitoksia. Tässä työssä saatiin selville, että rakenteiden väliset kylmäsiltojen liitokset kannattaa tarkastella ja niistä saatava hyöty tulee suoraan tilojen energiankulutukseen ja samalla liitosten kosteustekninen toimivuus tulee tarkasteltua.

Työssä perehdyttiin dynaamisen simuloinnin suorittamiseen pientaloille. Työssä haasteeksi muodostui dynaamisen simulointiohjelman monipuolisuus, kun ohjelmassa voidaan tarkastella useita erilaisia sisäilmastoon vaikuttavia muutoksia

ja arvoja. Ohjelman peruskäyttö oli kuitenkin varsin yksinkertaista. Uskoisin, että tulevaisuudessa rakennusten energiakäytön tarkasteluissa ja huonetilan sisäilman laadun tarkasteluissa dynaaminen simulointi tulee olemaan arkipäivää ja päivittäisessä käytössä myös pientalo- ja arkkitehtisuunnittelussa.

LÄHTEET

Beck, Wouter – Dolmans, Dick – Dutoo, Gonzague – Hall, Anders – Seppänen, Olli 2011. Aurinkosuojaus: aurinkosuojauksen suunnittelu kestävän kehityksen mukaisiin rakennuksiin / Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations = REHVA. Helsinki: Suomen Aurinkosuojaus.

ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010. Helsinki: Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes. Toimittanut: Martinkauppi, Kirsi.

Feist, Wolfgang – Kaufmann, Berthold - Pfluger, Rainer – Schnieders, Jürgen – Kah, Oliver 2007. Passive House Planning Package Manual 2007. Darmstadt: Passive House Institute.

Haavisto, Tuomas 2012. Energiatehokkaiden rakennusten laskennallinen tarkastelu PHPP-laskentatyökalulla. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikka koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Holopainen, Riikka 2011. Rakenteiden vaikutus rakennuksenenergiatehokkuuteen ja lämpöviihtyvyyteen. Energiatehokasrakennussuunnittelu, 30 op. Opintojakso 2011. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

IDA Indoor Climate and Energy 3.0 Manual 2002. EQUA Simulation AB. Saatavissa: <http://www.sisailmatieto.com/pdf/IDA-ICE-ohjekirja30.pdf>. Hakupäivä 20.11.2012.

Kalliomäki, Pekka 2011a. Ympäristöministeriön asetus energiatehokkuudesta, D3 perustelumuistio 2011. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Kalliomäki, Pekka 2011b. Ympäristöministeriön asetus energiatehokkuudesta, D3 perustelumuistion tekninen liite 2011. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Kuismanen, Kimmo 2011. Energiatehokas rakentaminen – BIOKLIMAATTINEN ARKKITEHTUURI. Energiatehokas rakennussuunnittelu, 30 op. Opintojakso 2011. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Lylykangas, Kimmo 2011a. Energiatehokas rakentaminen – Suunnittelun jatko-
teutuksen haasteita. Energiatehokas rakennussuunnittelu, 30 op. Opintojakso
2011. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Lylykangas, Kimmo 2011b. Kokonaisenergiatarkastelun vaikutus suunnittelu-
prosessiin – pääsuunnittelijan rooli. Rakentajain kalenteri 2011. Helsinki: Ra-
kennustieto Oy.

Nieminen, Jyri – Lylykangas, Kimmo 2008. Passiivitalon määritelmä ohjeita
passiivitalon arkkitehtisuunnitteluun. Saatavissa:
http://www.passiivi.info/download/passiivitalon_maaritelma.pdf. Hakupäivä
9.11.2011.

Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. 2011. D3 Suomen
rakentamismääräyskokoelma Helsinki: Ympäristöministeriö.

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet
2012. Luonnos: 14.3.2012. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki:
Ympäristöministeriö.

RT 38099 2011. FENESTRA-IKKUNAT. Rakennustieto Oy. Saatavissa:
[http://productdatabase.fenestra.fi/files/attachments/fi/RT-
kortti%20Fenestra%20ikkunat_2011_1312982744073.pdf](http://productdatabase.fenestra.fi/files/attachments/fi/RT-kortti%20Fenestra%20ikkunat_2011_1312982744073.pdf). Hakupäivä 2.3.2012

Sarja, Asko – Airaksinen, Miimu – Åström, Gunnar – Matilainen, Pellervo – Kor-
honen, Pekka – Valjus, Juha – Leppänen, Pekka – Peltonen, Vesa – Kalema,
Timo – Pulakka, Sakari – Kurnitski, Jarek – Peltokorpi, Mikko 2009. RIL249-
2009 Matalaenergiarakentaminen: asuinrakennukset. Helsinki: Suomen raken-
nusinsinöörien liitto.

Vinha, Juha – Korpi, Minna – Kalamees, Targo – Jokisalo, Juha – Eskola, Lari –
Palonen, Jari – Kurnitski, Jarek – Aho, Hanna – Salminen, Mikko – Salminen,
Kati – Keto, Matias 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja ener-
gialous. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos.

Vinha, Juha 2011 Rakennusten ilmanpitävyys. Energiatehokas rakennussuunnittelu, 30 op. Opintjakso 2011. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas, Ohje rakennusosien välisten liitosten viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaan. 2011. Helsinki: Ympäristöministeriö.

LIITTEET

Liite 1 Kastelli-talon piirustukset

Liite 2 Kastelli-talon kylmäsilta-arkastelut

Liite 3 Kastelli-talon ikkunoiden lämmönläpäisykertoimet

Liite 4 Kastelli-talon dynaamisen simuloinnin tulokset, Helsinki

Liite 5 Kastelli-talon dynaamisen simuloinnin tulokset, Oulu

Liite 6 Lammi Kivitalon piirustukset

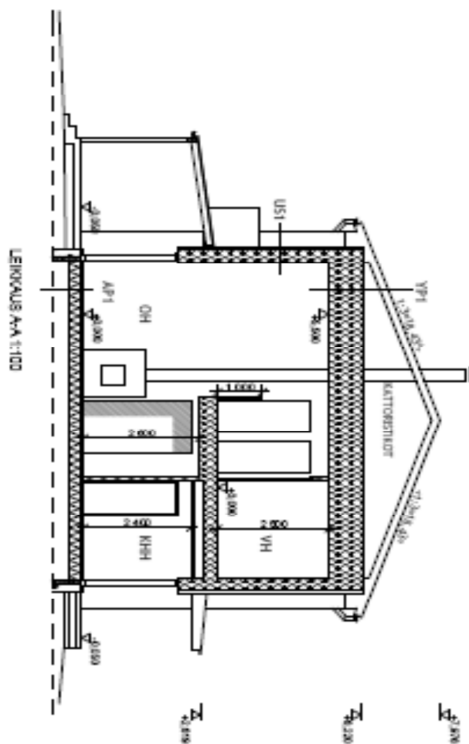
Liite 7 Lammi Kivitalon kylmäsilta-arkastelut

Liite 8 Lammi Kivitalon ikkunoiden lämmönläpäisykertoimet

Liite 9 Lammi Kivitalon dynaamisen simuloinnin tulokset, Helsinki

Liite 10 Lammi Kivitalon dynaamisen simuloinnin tulokset, Oulu

Liite 11 Ilmanvaihtokoneen suunnittelulaskelma



RAKENNELINNAUS 1:20

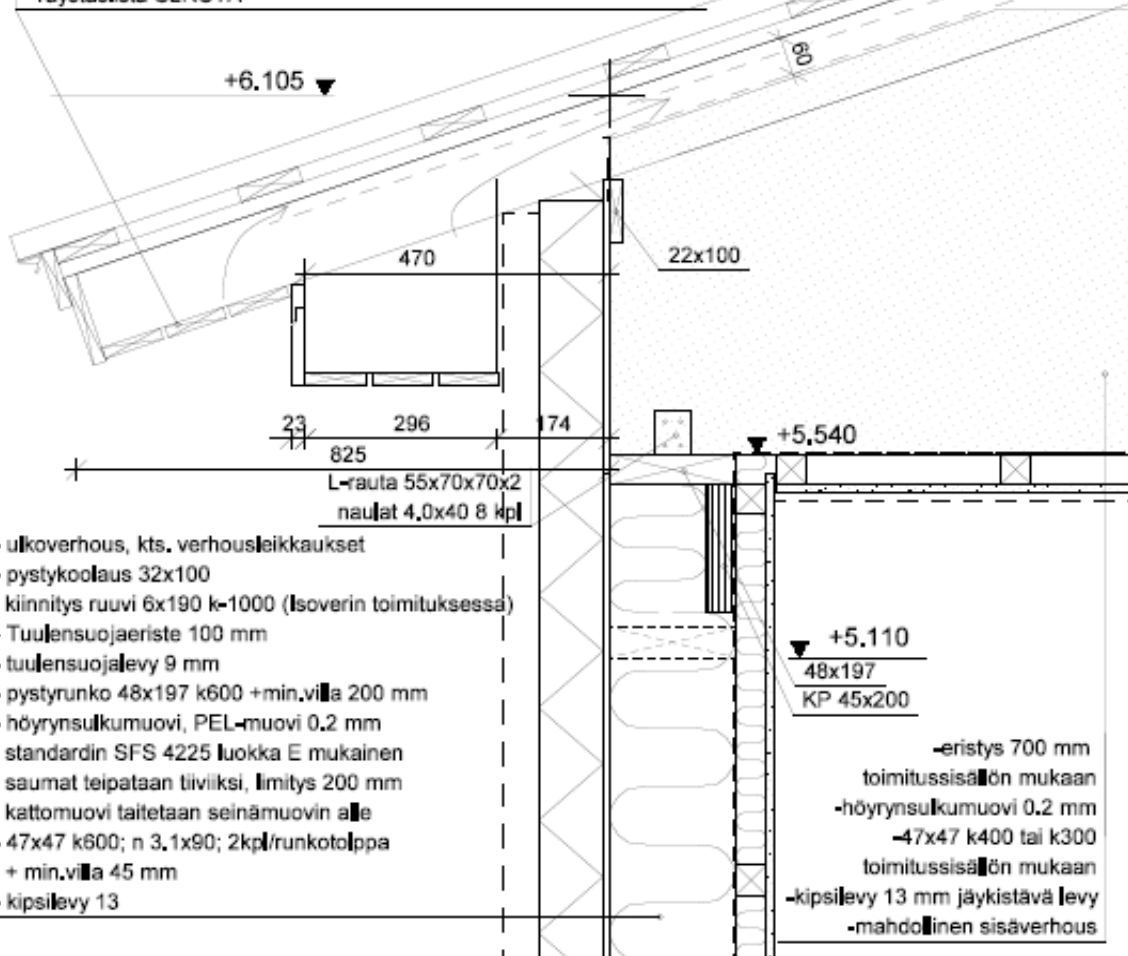
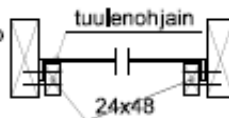
0,000 • = 12,70 MERENPINNASTA

Kaavakuvasta Rakennus	Korkeus 151	Tasokko 5	Vaivakuva Väestötalouden suunnittelu
Rakennusmaa Uudistaminen	Rakennusmaa Kastelli-Talon Oy Metsästäjänkatu 90540 OULU	Rakennus Rakennusmaa Leikkaus A-A, Rakennetyyppi 1:100	Maasta 4/5
ARKADI ARSENITTOIMISTO Puh. 01.30.2011	Kuivatus Jari Paasikallio, Arkkitehti OYMA Kokkilahti, Arkkitehti Zemke & Ito Oy P. 0400281417	ARK 304	Maasta

KASTEELLI	Kohde:	RAK	Mittakaava	Paivamaara	Muutos	Tunnus
			1:10			L1

Sivuraästäs

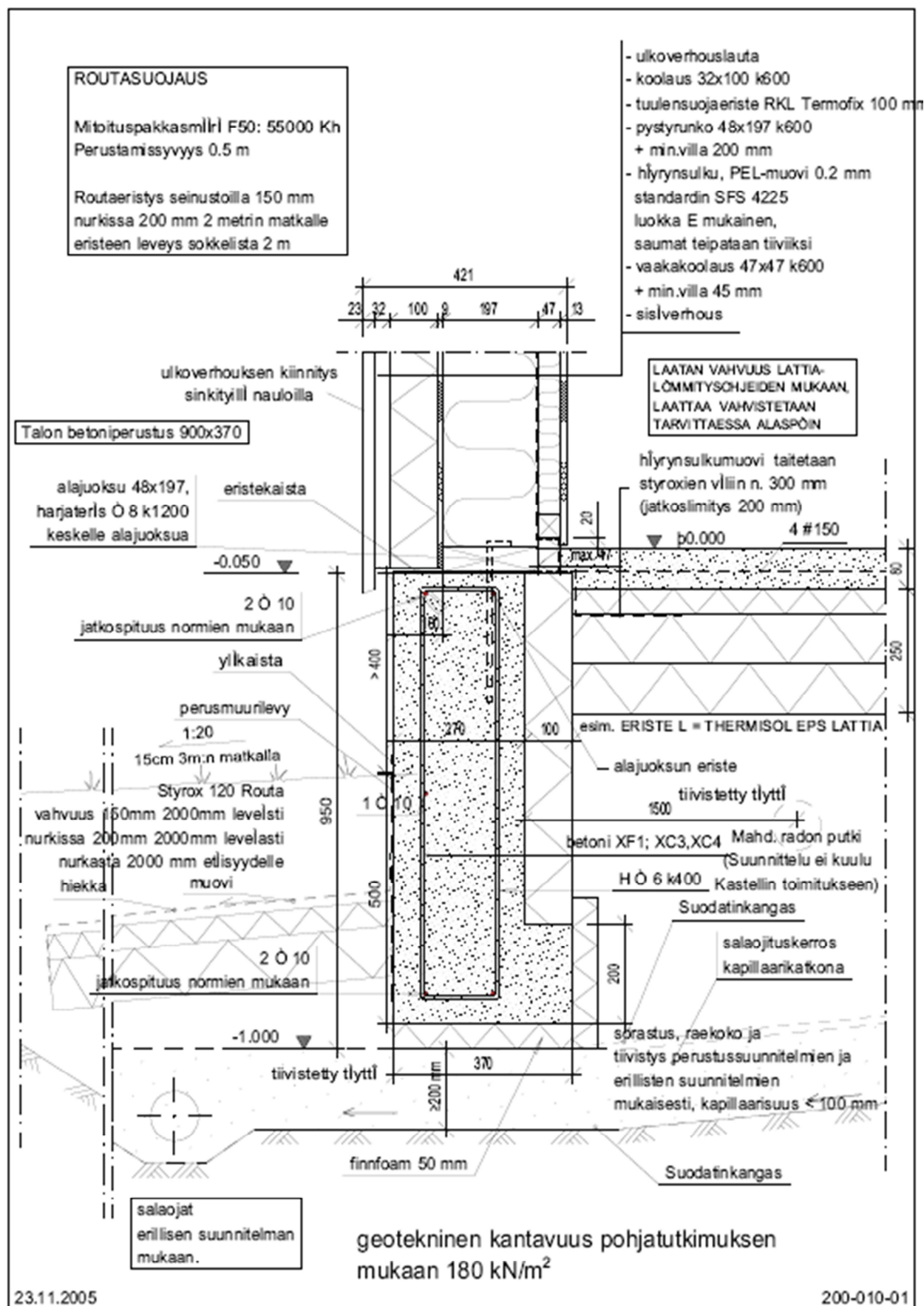
- Classic kate, kiinnitys ks. asennusohje
- ruode 25x98; ristikot k 900
ruodejako k300, kiinnitys KS 3.1x90 2 kpl/ristikko
- tuuletusrima 24x48, n 2.8x60 k300
- aluskate
- otsalaudat; n k.sink, 2.8x60; 2kpl/ristikko
- ylempi 21x95, alempi 21x145
- räystäänaluskanta, 18x95, n k.sink, 2.8x60; 2kpl/ristikko
- räystäälista CLRCTA

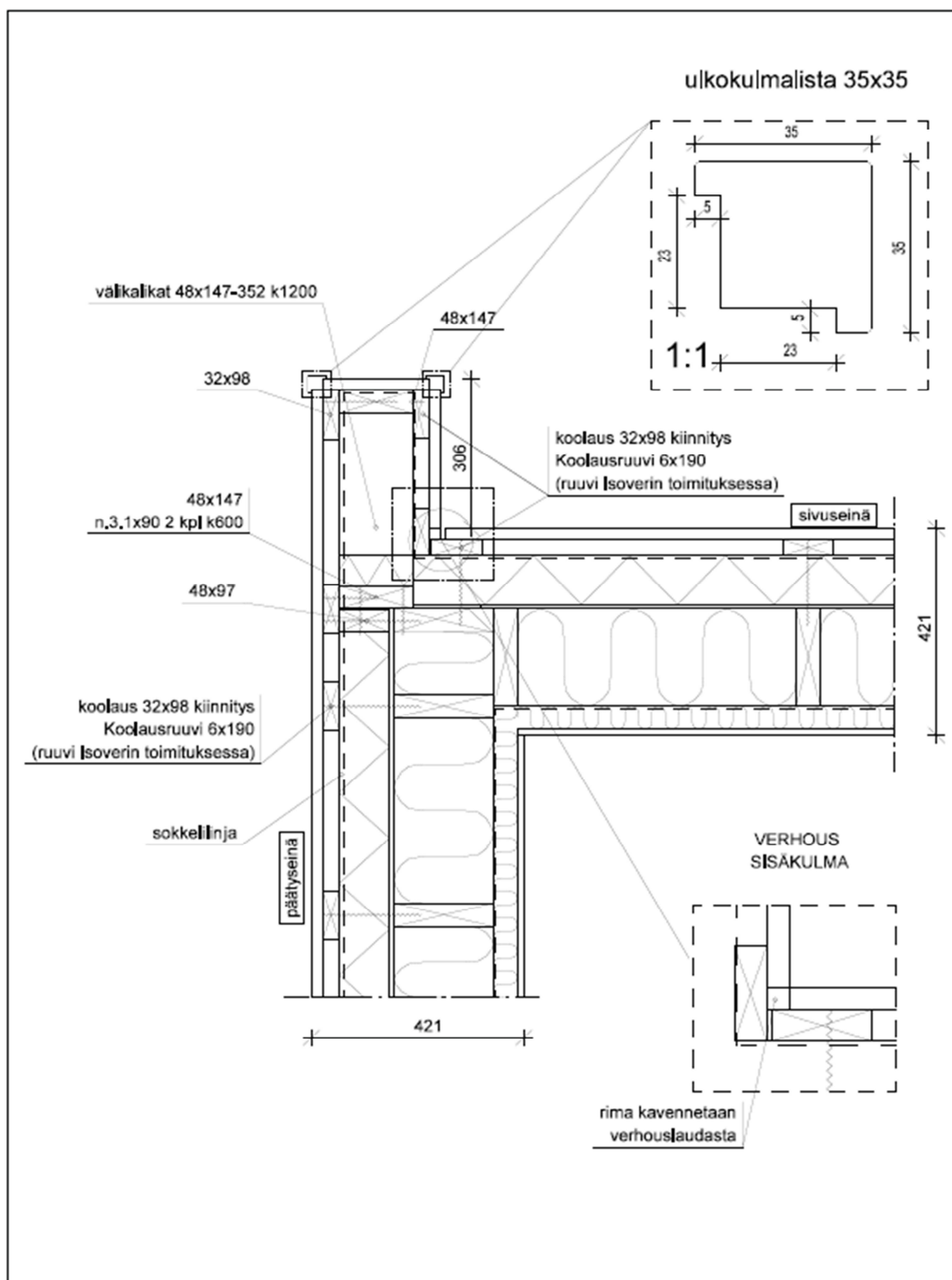


- ulkoverho, kts. verhoileikkaukset
- pystykoolaus 32x100
kiinnitys ruuvi 6x190 k-1000 (Isoverin toimituksessa)
- Tuulensuojajeriste 100 mm
- tuulensuojalevy 9 mm
- pystyrunko 48x197 k600 + min.villa 200 mm
- höyrnsulkumuovi, PEL-muovi 0.2 mm
standardin SFS 4225 luokka E mukainen
saumat teipataan tiiviiksi, limitys 200 mm
kattomuovi taitetaan seinämuovin alle
- 47x47 k600; n 3.1x90; 2kpl/runkotolppa
+ min.villa 45 mm
- kipsilevy 13

+5.110
48x197
KP 45x200

- eristys 700 mm
toimitussisällön mukaan
- höyrnsulkumuovi 0.2 mm
-47x47 k400 tai k300
toimitussisällön mukaan
- kipsilevy 13 mm jäykistävä levy
- mahdollinen sisäverho

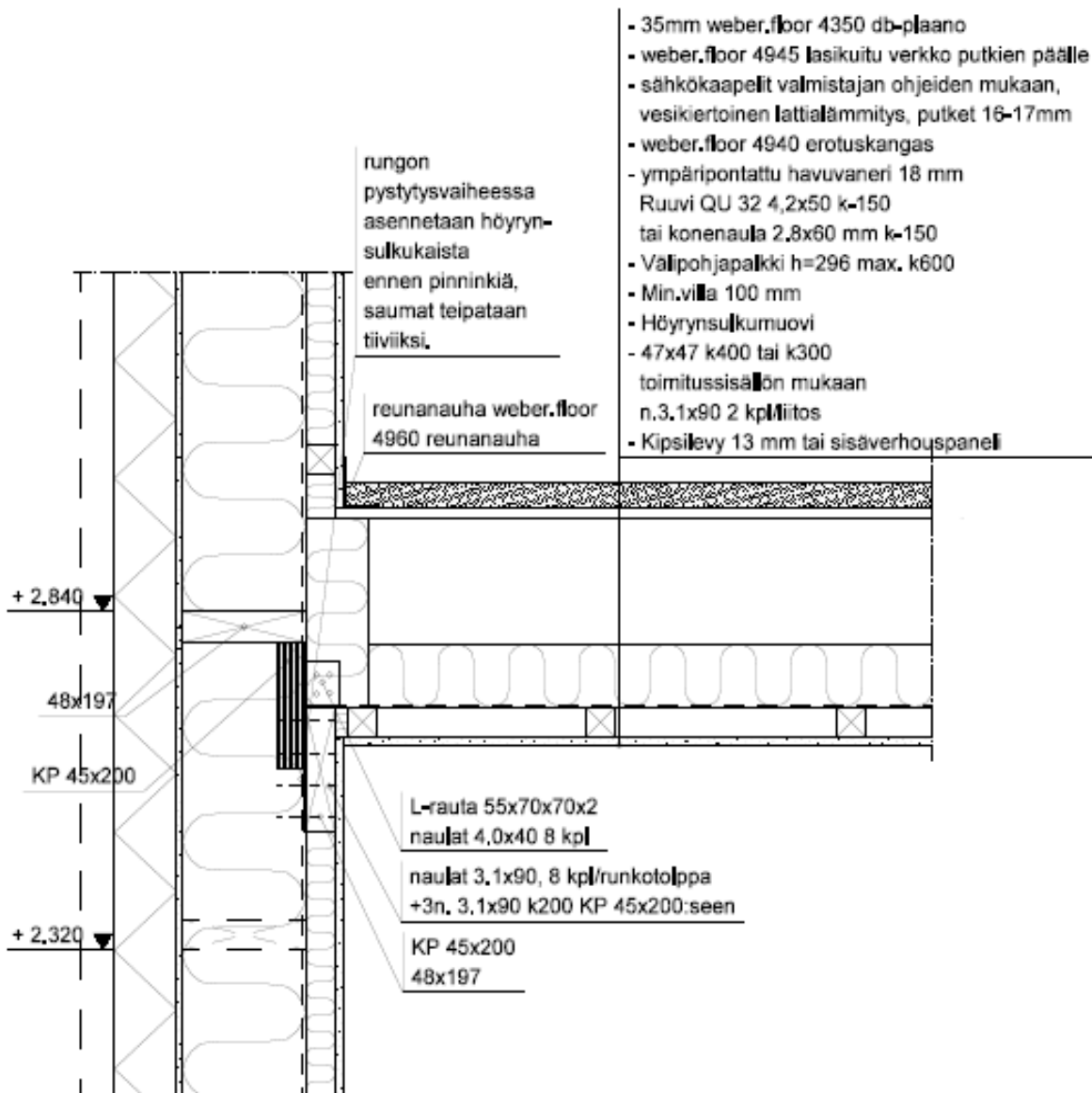




KASTE

Kohde:	RAK	Mittakaava	Päivämäärä	Muutos	Tunnus
		1:10			L4

Välipohja 296, sivuseinä



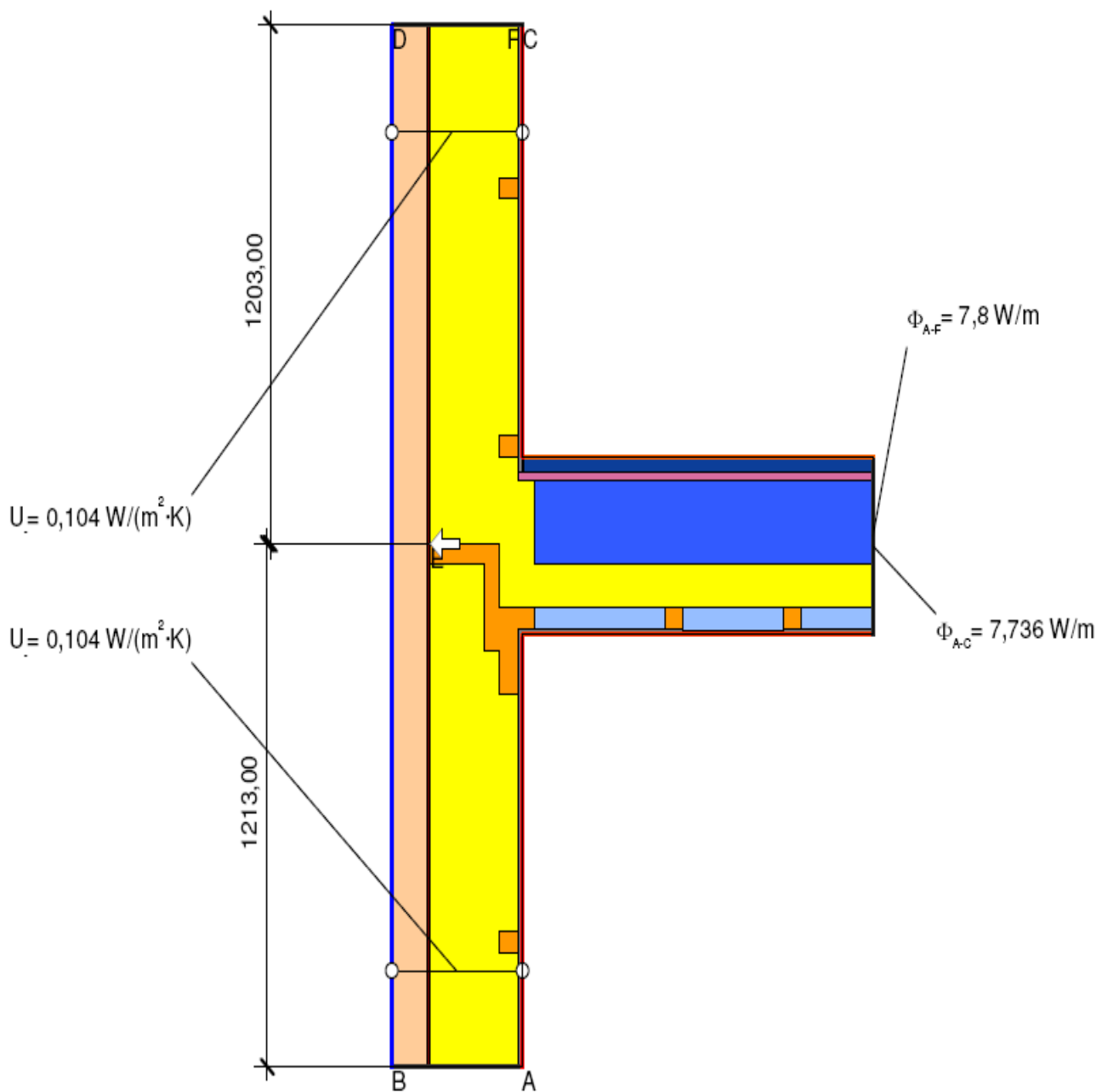


Material	λ [W/(m·K)]
Kipsilevy	0,210
Puu	0,120
TS-villa	0,031
Ts-levy	0,250
Villa	0,041

Boundary Condition	q [W/m²]	θ [°C]	R [(m²·K)/W]
Exterior, normal	-10,000	0,040	
Interior, normal, horizontal	20,000	0,130	
Symmetry/Model section	0,000		

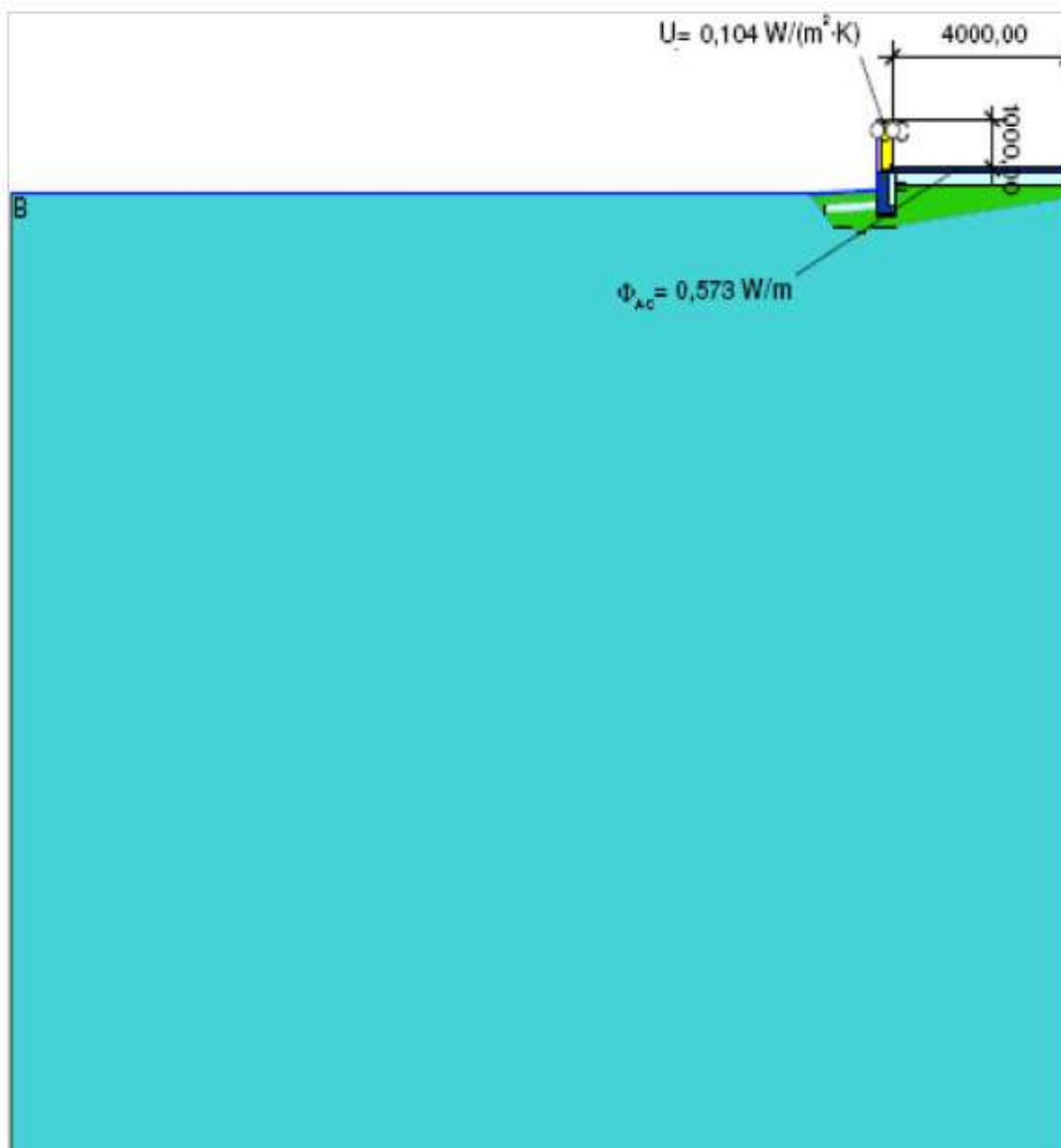
$$\Psi_{A-E} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - U_2 \cdot b_2 = \frac{7,463}{30,000} - 0,104 \cdot 1,000 - 0,104 \cdot 1,000 = 0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

1



Material	λ [W/(m·K)]	Boundary Condition	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Air layer, unventilated, upwards, thickness: 150 mm	0,938	Exterior, normal		-10,000	0,040
Air layer, unventilated, upwards, thickness: 50 mm	0,313	Interior, heat flux, downwards	20,000		0,170
Concrete, reinforced (with 1% of steel)	2,300	Interior, heat flux, upwards	20,000		0,100
Kipsilevy	0,210	Interior, normal, horizontal	20,000		0,130
Plywood 300	0,090	Symmetry/Model section	0,000		
Puu	0,120				
TS-villa	0,031				
TS-levy	0,250				
Villa	0,041				

$$\psi_{A-EC} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - U_2 \cdot b_2 = \frac{7,736}{30,000} - 0,104 \cdot 1,213 - 0,104 \cdot 1,203 = 0,006 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$



TAULLUKKO 1. Alapohja rakenteen lämmönvastus:

Rakennekerros	Paksuus d [mm]	Lämmönjohtavuus λ [W/m ² K]	Lämmönvastus R (m ² K)/W
Pintavastus (Rsi)			0,17
Betoni-laatta	80	1,7	0,05
Eps eriste	260	0,035	7,43
Sorapatja	300	0	0,20
Pintavastus (Rse)			0,04
		R=	7,886
		U=1/R=	0,127

TAULLUKKO 2. Sokkelirakenteen rakenteen lämmönvastus:

Rakennekerros	Paksuus d [mm]	Lämmönjohtavuus λ [W/m ² K]	Lämmönvastus R (m ² K)/W
Pintavastus (Rsi)			0,17
Betoni	270	1,7	0,16
Eps eriste	100	0,035	2,86
Pintavastus (Rse)			0,04
		R=	3,226
		U=1/R=	0,310

Laatan lämmönvastus
Rf W/m²K

$$R_f := 7.886$$

Lattian pintavastus on Rsi
W/m²K

$$R_{si} := 0.17$$

Pohjamaan pintavastus Rse
W/m²K

$$R_{se} := 0.04$$

Pohjamaan lämmönjohtavuus λ W/m²K

Lattian karakteristinen mitta B [8]

$$\lambda := 2$$

$$B := 8$$

Perusmuurin lämmöneristeen korkeus maanpinnan alapuolella Dv [m]

$$D_v := 0.5$$

Perusmuurin paksuus dnv [m]

$$d_{nv} := 0.37$$

Perusmuurin lämmönvastus Rnv W/m²

$$R_{nv} := 3.226$$

seinärakenteen leveys [m]

$$w := 0.372$$

$$dt_1 := w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) = 16.564$$

Rakenteen ekvivalentti paksuus [m]

$$d_v := \lambda \cdot \left(R_{nv} - \frac{d_{nv}}{\lambda} \right) = 6.082 \frac{1}{m} \cdot m$$

Perusmuurinvivamainen lisäkonduktanssi Ψ_{ge} W/m²K

$$\Psi_{ge} := \frac{-\lambda}{\pi} \left(\ln \left(\frac{2D_v}{dt_1} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D_v}{dt_1 + d_v} + 1 \right) \right) = -9.81 \times 10^{-3}$$

Alapohjan lämmönläpäisykerroin U: [W/m²K]

$$U := \frac{\lambda}{0.457 \cdot B + dt_1} - \frac{\Psi_{ge}}{B} = 0.1$$

Numeerisesti määritetty liitoksen kytkentäkerroin sisä- ja ulkoilman välillä [W/m²K]

$$L2d := 0.573$$

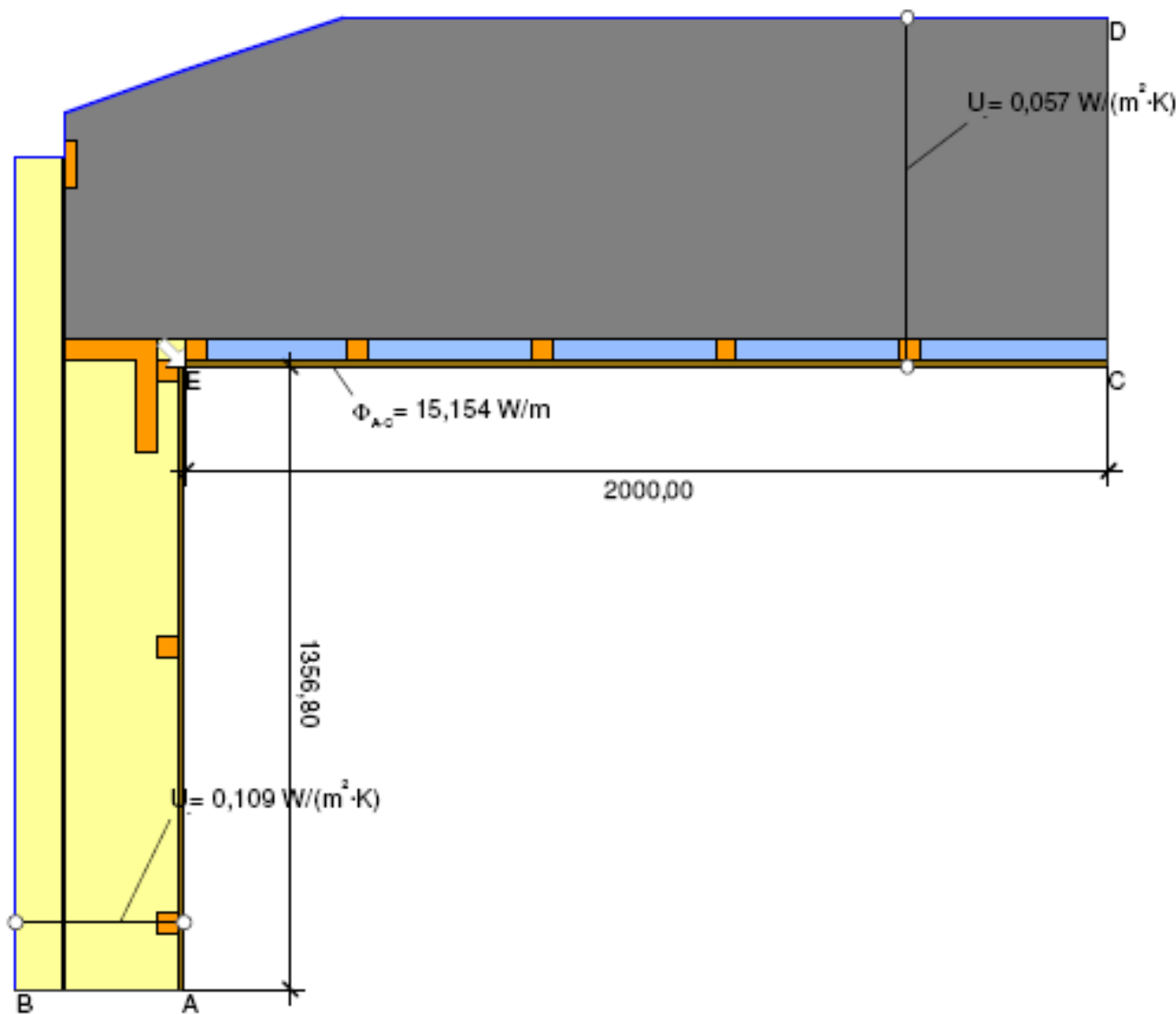
Seinä rakenteen korkeus h_w [m] seinä rakenteen lämmönjohtavuus U_w [W/m²]

$$h_w := 1$$

$$U_w := 0.104$$

Tarkasteltavan alapohjan liitoksen viivamainen lisäkonduktanssi ψ [W/mK]

$$\Psi := L2d - h_w \cdot U_w - 0.5 \cdot B \cdot U = 0.068$$



Material	λ [W/(m·K)]	Boundary Condition	q [W/m²]	θ [°C]	R [(m²·K)/W]
Air layer, unventilated, upwards, thickness: 45 mm	0,281	Exterior, normal	-32,000	0,040	
Air layer, unventilated, upwards, thickness: 50 mm	0,313	Interior, heat flux, upwards	20,000	0,100	
Gypsum 600	0,200	Interior, normal, horizontal	20,000	0,150	
Puhallusvilla	0,041	Symmetry/Model section	0,000		
Puu	0,120				
Villa	0,035				

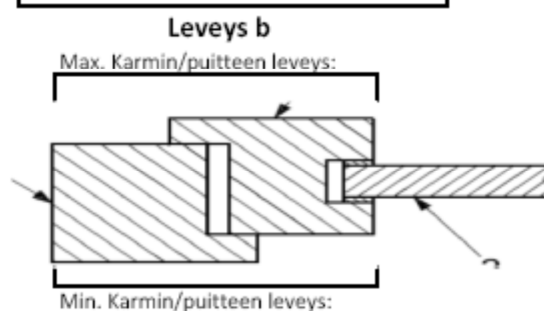
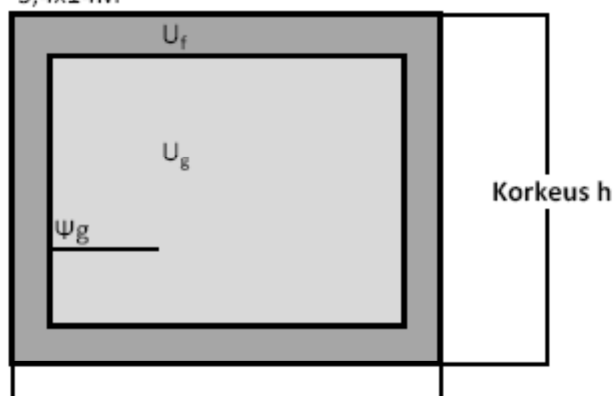
$$\psi_{A-C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - U_2 \cdot b_2 = \frac{15,154}{52,000} - 0,109 \cdot 1,357 - 0,057 \cdot 2,000 = 0,030 \text{ W/(m·K)}$$

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Kastellitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 3,4x14M



$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	0,340 m		
Ikkunan korkeus h :	1,400 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	0,22m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l_g :	2,84m	m ²	%
		Lasi 0,22m ²	47
		Karmi 0,25m ²	53

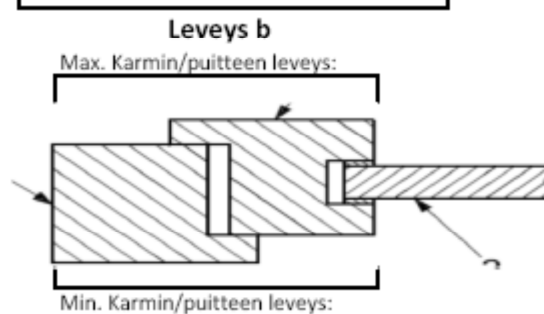
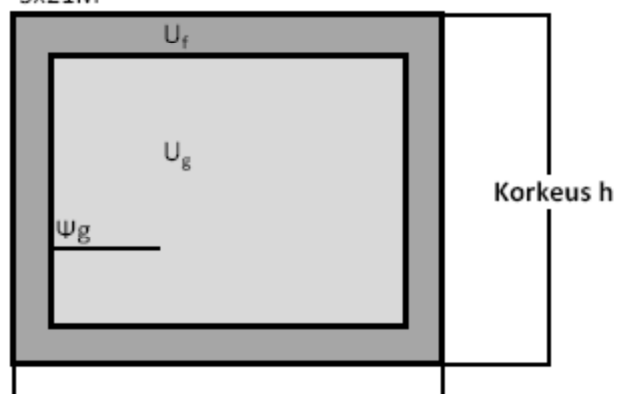
Ikkunan U_w : **1,1W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Kastellitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 3x21M



$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	0,300 m		
Ikkunan korkeus h :	2,100 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	0,27m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mita l_g :	4,16m	m ²	%
		Lasi 0,27m ²	43
		Karmi 0,36m ²	57

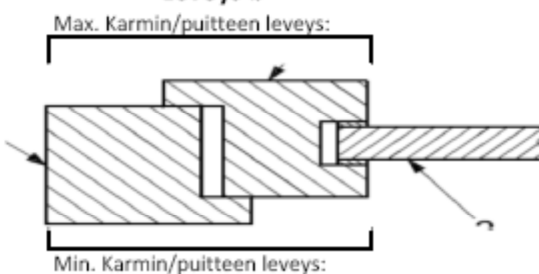
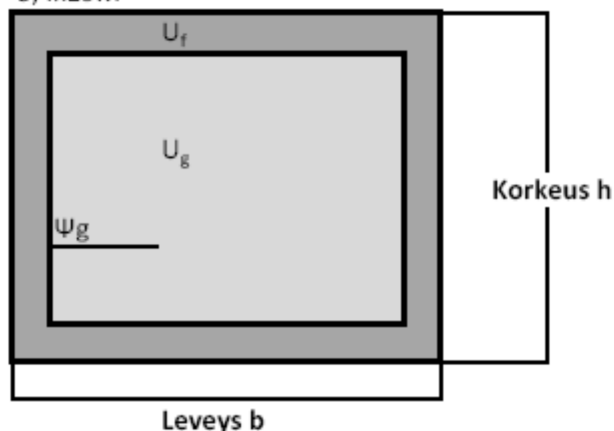
Ikkunan U_w : **1,1W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Kastellitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 5,4x19M



$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	0,540 m		
Ikkunan korkeus h :	1,900 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	0,66m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmin reunan mitta l_g :	4,24m	m ²	%
		Lasi 0,66m ²	64
		Karmi 0,36m ²	36

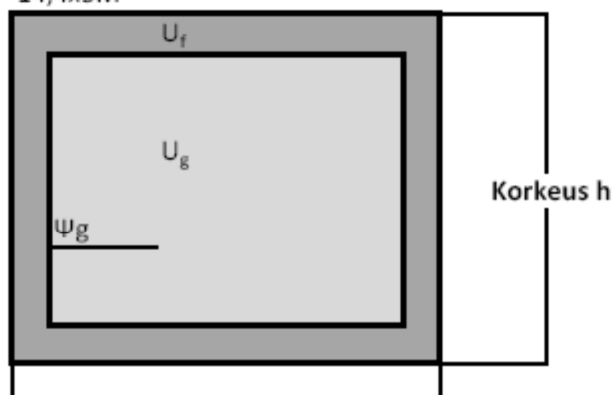
Ikkunan U_w : **0,9W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

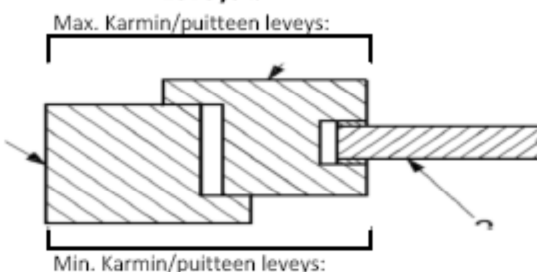
Kohde: Kastellitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 14,4x5M



Leveys b



$$U_W = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	1,410 m		
Ikkunan korkeus h :	0,500 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	0,43m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l_g :	3,18m	m ²	%
		Lasi 0,43m ²	60
		Karmi 0,28m ²	40

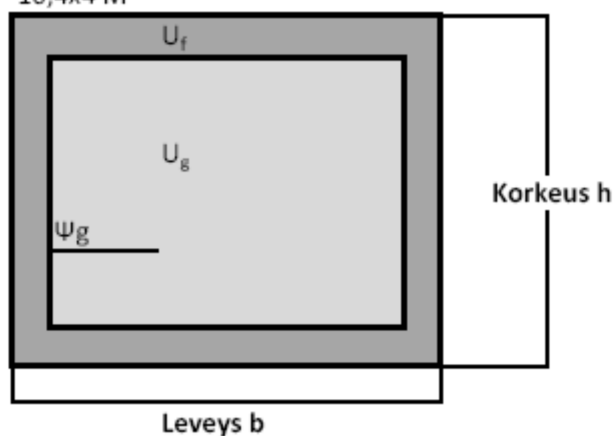
Ikkunan U_w : **0,9W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

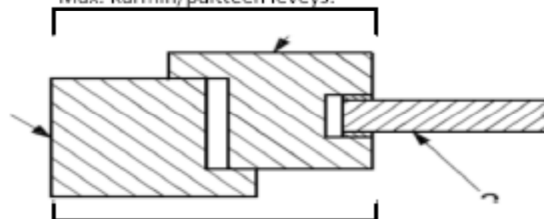
Kohde: Kastellitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 10,4x4 M



Max. Karmin/puitteen leveys:



Min. Karmin/puitteen leveys:

$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	1,040 m		
Ikkunan korkeus h :	0,400 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	0,21m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l_g :	2,24m	m ²	%
		Lasi 0,21m ²	51
		Karmi 0,20m ²	49

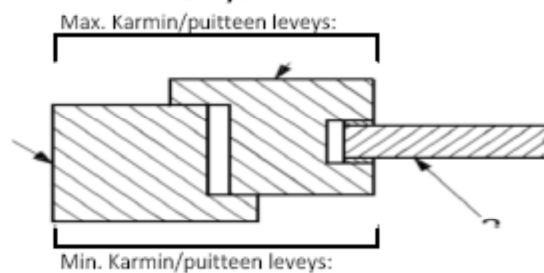
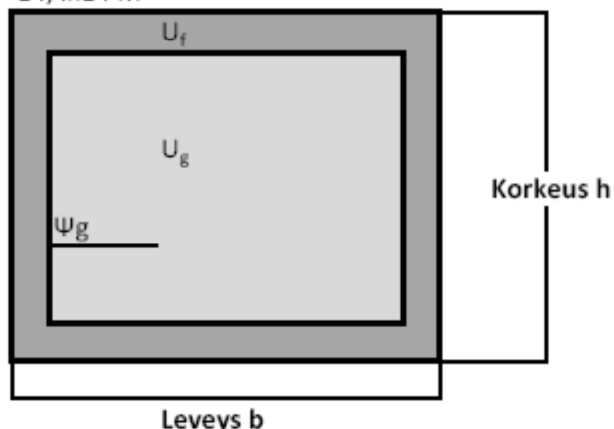
Ikkunan **U_w** : 1,0W/K m²

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Kastellitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 14,4x14 M



$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	1,440 m
Ikkunan korkeus h :	1,400 m
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m

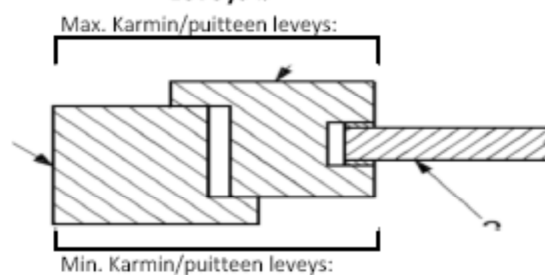
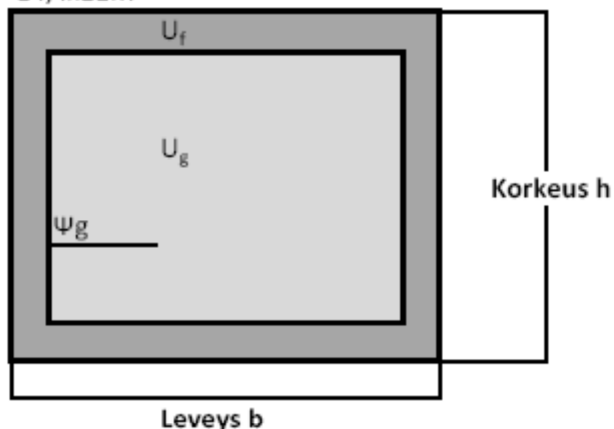
Ikkunan lasinpinta-ala **A_g** : 1,59m²Lasin ja karmen reunan mitta **l_g** : 5,04mIkkunan **U_w** : **0,7W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Kastellitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 14,4x21M



$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	1,440 m		
Ikkunan korkeus h :	2,100 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	2,48m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l_g :	6,44m	m ²	%
		Lasi 2,48m ²	82
		Karmi 0,54m ²	18

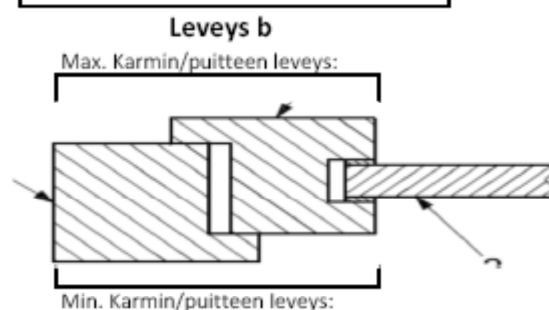
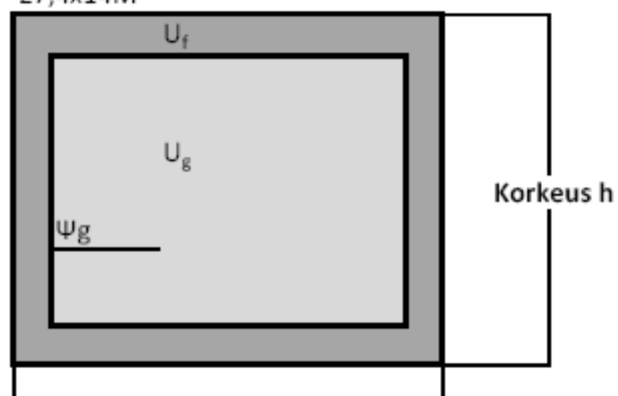
Ikkunan U_w : **0,7W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Kastellitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 27,4x14M



$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	2,740 m		
Ikkunan korkeus h :	1,400 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	3,20m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l_g :	7,64m		
		m ²	%
		Lasi 3,20m ²	83
		Karmi 0,64m ²	17

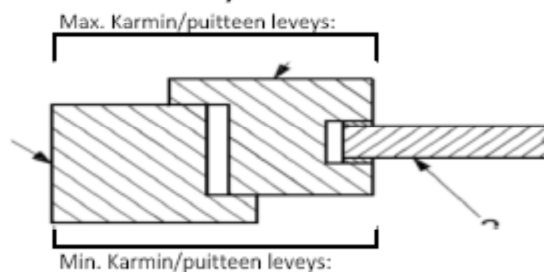
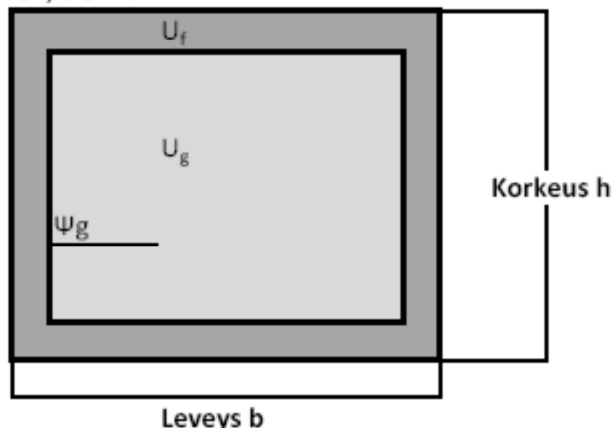
Ikkunan **U_w** : **0,7W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Kastellitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 27,4x27 M



$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	2,740 m		
Ikkunan korkeus h :	2,700 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	6,55m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l_g :	10,24m	m ²	%
		Lasi 6,55m ²	89
		Karmi 0,84m ²	11

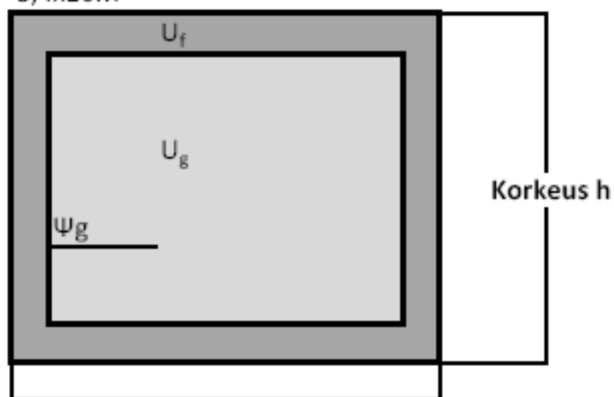
Ikkunan **U_w** : **0,6W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Kastellitalo

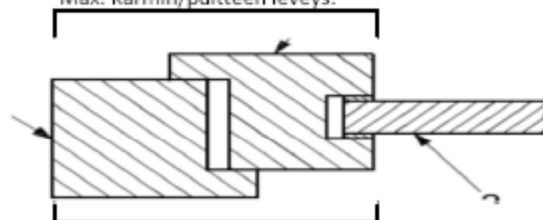
Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 3,4x16M



Leveys b

Max. Karmin/puitteen leveys:



Min. Karmin/puitteen leveys:

$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$








Ikkunan leveys b :	0,340 m
Ikkunan korkeus h :	1,600 m
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	0,26m ²
Lasin ja karmin reunan mitta l_g :	3,24m

Prosentti osuus ikkunasta:

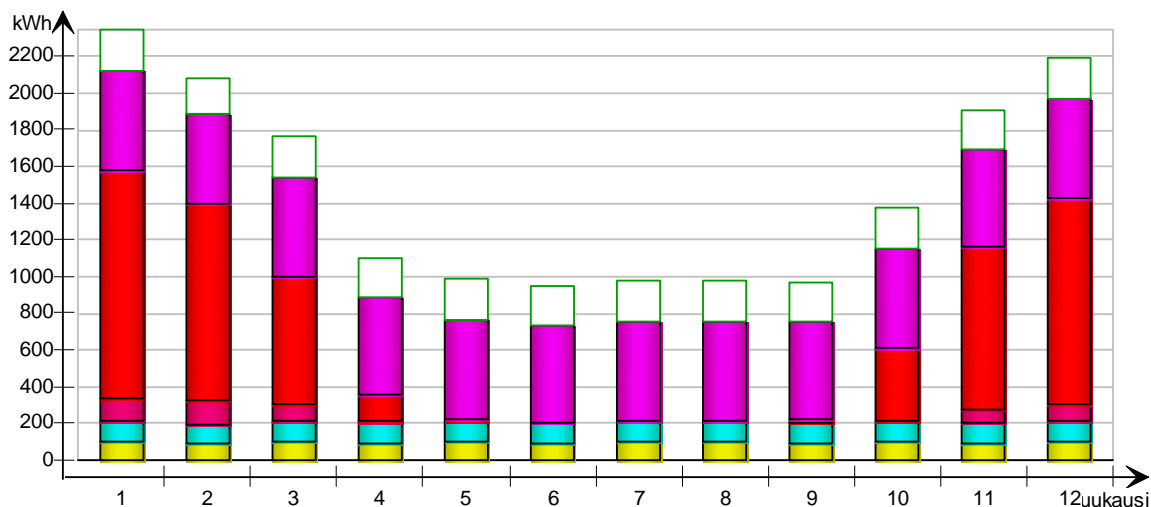
	m ²	%
Lasi	0,26m ²	48
Karmi	0,28m ²	52

Ikkunan U_w : **1,1W/K m²**

Ostoenergiankulutusraportti

		Ostoenergiankulutus		Primary energy	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	1150	7.2	1955	12.2
	HVAC aux	1340	8.4	2278	14.2
	Electric heating	528	3.3	898	5.6
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	3018	18.9	5131	32.1
	Heating	5578	34.9	3904	24.4
	Domestic hot water	6416	40.1	4491	28.1
	Yhteensä, Kiinteistö polttoaine*	11994	75.0	8395	52.5
	Cooling	0	0.0	0	0.0
	Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	0	0.0	0	0.0
	Yhteensä	15012	93.8	13526	84.5
	Equipment, tenant	2588	16.2	4399	27.5
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2588	16.2	4399	27.5
	Yhteensä	17600	110.0	17925	112.0








Kuukausittainen ostoenergiankulutus



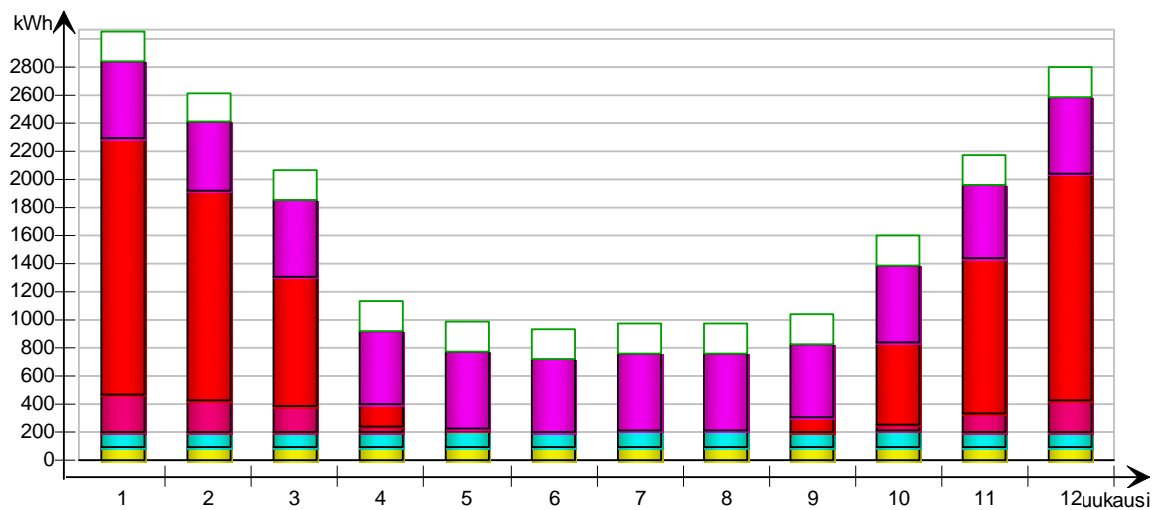
Tilojen lämmitysenergiantarve

Kuukausi	Vaippa ja Kylmäsilillat	Sisäseinät ja massat	Ulkoikkunat ja Auringon säteily	Kon. tuloilma	Vuotoilma & Aukot	Ihmiset	Laitteet	Valaistus	Paikalliset lämmityslaitteet	Paikalliset jäähdytyslaitteet	Jakeluhäviöt
1	-958,7	9	-350,3	-180,5	-120,7	154,2	219,7	97,7	1052,7	0	77,7
2	-876,7	-0,1	-217,1	-187,4	-113,3	139	198,5	88,2	901,9	0	67,4
3	-884,9	-1,2	55,2	-169,2	-112,5	152,2	219,7	97,7	589,3	0	52
4	-691,1	-18,4	530,2	-260,5	-139,8	127,7	212,7	94,5	118,7	0	25
5	-556,3	1,1	823,3	-409	-303,5	100,9	219,7	97,7	6,2	0	19,4
6	-431,3	5,8	852,1	-414,1	-430	89,3	212,7	94,5	1,2	0	18,5
7	-384,1	-9,7	1008,4	-419,4	-612,3	81	219,7	97,7	0	0	19
8	-370,2	16	654,3	-383	-350,6	94,5	219,7	97,7	1,2	0	19,1
9	-454,8	16,2	345,7	-294,5	-76,9	123,1	212,7	94,5	13	0	19,2
10	-563,9	7,2	-62,8	-157,9	-66,9	154	219,7	97,7	334,9	0	37,7
11	-757,8	-0,1	-262	-153,8	-92,1	150,2	212,7	94,5	749,6	0	60,1
12	-894,9	-0,5	-334,3	-150,8	-112	154,5	219,7	97,7	950,4	0	71,8
Yhteensä	-7824,6	25,3	3042,9	-3180,1	-2530,4	1520,7	2587,4	1149,9	4719,3	0	486,9
Lämmityksen aikainen	-5113,9	122,2	-1373,1	-1019,4	-615,3	945,6	1346,5	598,5	4718,6	0	377,3
Jäähdytyksen aikainen	-1713,5	-209,5	3720	-1583,7	-1736	321,4	811,7	361	0	0	70,8
Muina aikoina	-997,4	112,6	696	-577	-179,1	253,7	429,2	190,4	0,7	0	38,8

Ostoenergiankulutusraportti

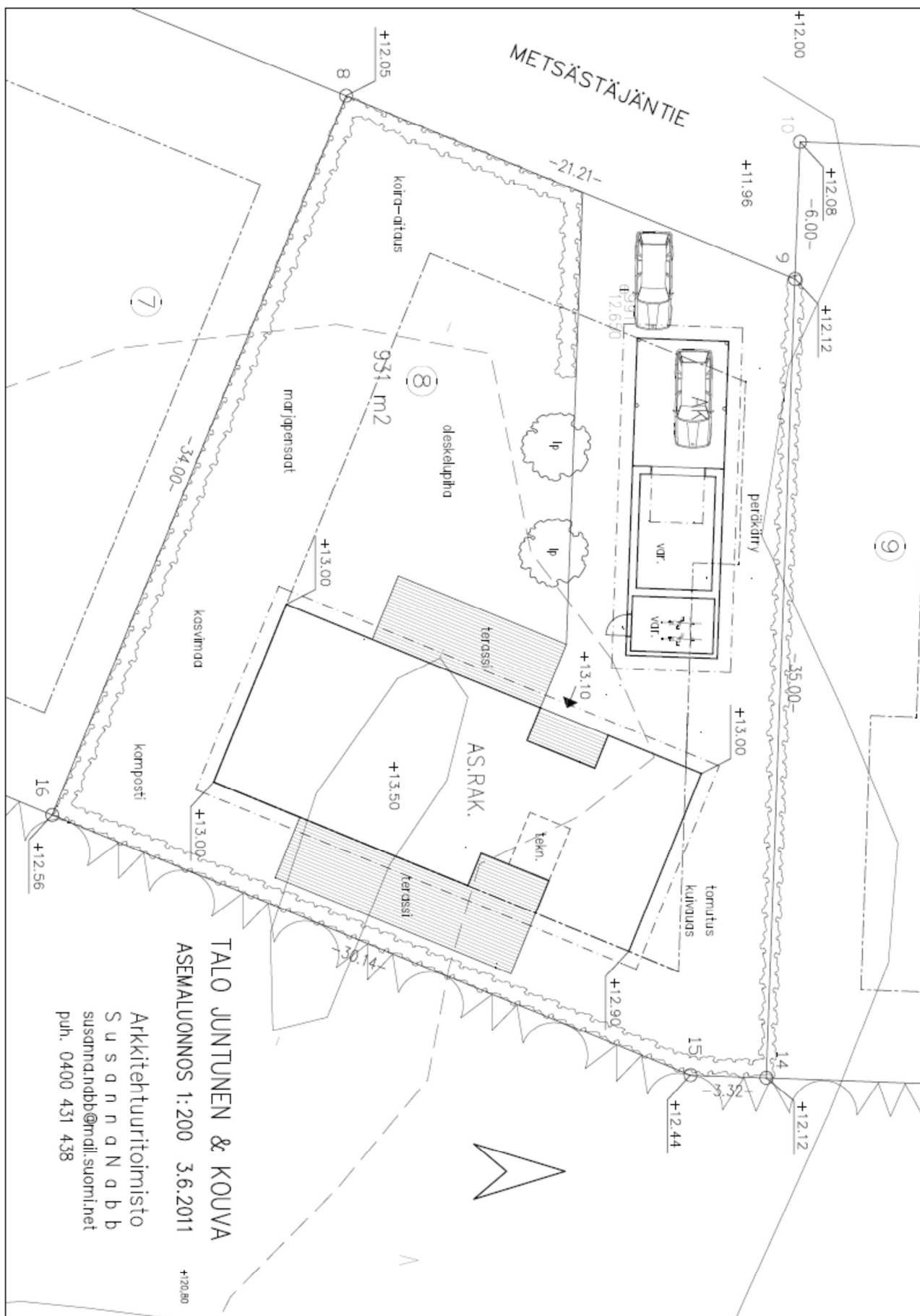
		Ostoenergiankulutus		Primary energy	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	1150	7.2	1955	12.2
	HVAC aux	1338	8.4	2275	14.2
	Electric heating	1112	7.0	1890	11.8
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	3600	22.5	6120	38.3
	Heating	7838	49.0	5487	34.3
	Domestic hot water	6416	40.1	4491	28.1
	Yhteensä, Kiinteistö polttoaine*	14254	89.1	9978	62.4
	Cooling	0	0.0	0	0.0
	Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	0	0.0	0	0.0
	Yhteensä	17854	111.6	16098	100.6
	Equipment, tenant	2588	16.2	4399	27.5
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2588	16.2	4399	27.5
	Yhteensä	20442	127.8	20497	128.1

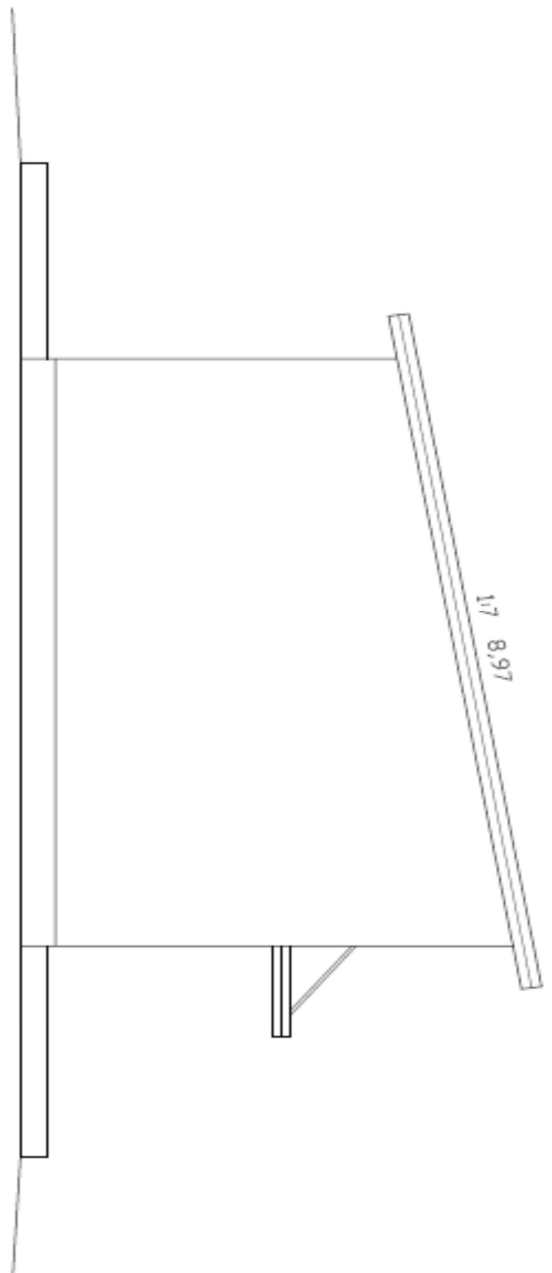
Kuukausittainen ostoenergiankulutus



Tilojen lämmitysenergiantarve

Month	Envelope & Thermal bridges	Internal Walls and Masses	External Window & Solar	Mech. supply air	Infiltration & Openings	Occupants	Equipment	Lighting	Local heating units	Local cooling units	Net losses
1	-1199,1	8,9	-443,1	-336,9	-153,2	153,2	219,7	97,7	1548,7	0	105,2
2	-1072,2	-0,8	-278,2	-290,1	-137,7	138,2	198,5	88,2	1266,5	0	87,7
3	-1005,9	-6,3	10,7	-182,8	-131,2	152,3	219,7	97,7	782,8	0	62,5
4	-762	-1,5	468,8	-213,7	-94,7	136,8	212,7	94,5	130,0	0	25,6
5	-659,4	-23,3	739,1	-355,6	-170,5	115,0	219,7	97,7	16,9	0	20
6	-474,1	4,9	882,1	-433,5	-392,1	85,4	212,7	94,5	0,6	0	18,5
7	-429,4	-12,6	788,1	-416,9	-354,5	88,8	219,7	97,7	0	0	19
8	-446,6	5,1	514,3	-381,5	-136,6	107,5	219,7	97,7	1	0	19,1
9	-488,3	16,3	186,7	-215,6	-61,7	137,7	212,7	94,5	92,6	0	23,5
10	-670,7	7	-119,1	-148,5	-83,2	154,4	219,7	97,7	496,4	0	46,6
11	-888,3	-0,5	-304,4	-151,9	-112,2	149,2	212,7	94,5	932,1	0	70,3
12	-1106,9	-0,4	-426,3	-253,7	-139,9	153,5	219,7	97,7	1363,2	0	94,8
Total	-9202,8	-3,3	2018,5	-3380,2	-1966,8	1571,9	2587,4	1149,9	6630,8	0	592,7
During heating	-6458,1	129,9	-1706,9	-1479,3	-779,2	1026,7	1468,9	652,9	6630,6	0	492,9
During cooling	-1487,9	-196,7	2758	-1260,6	-1007,7	258,9	634,8	282	0	0	55,3
Rest of time	-1256,8	63,5	967,4	-640,3	-180,5	286,9	483,7	215	0,2	0	44,5

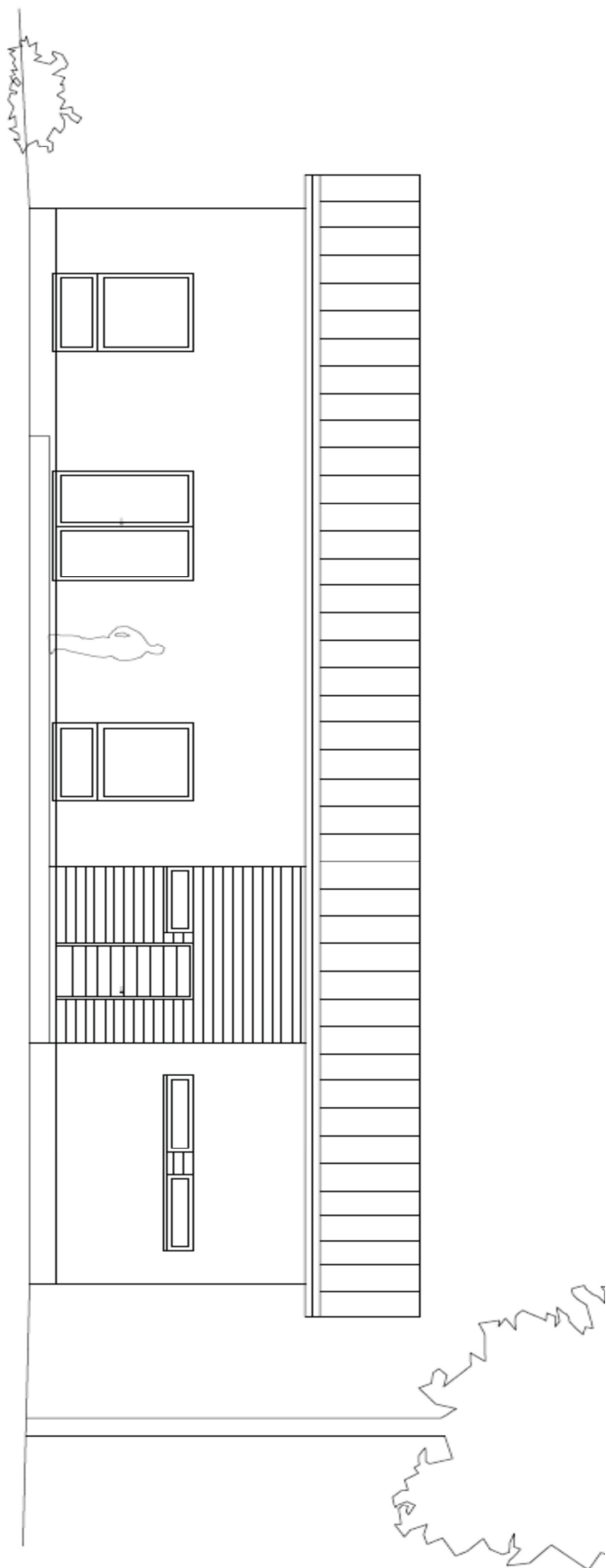




POHJOISPÄÄTTY

TALO JUNTUNEN & KOUVA
6.5.2011, NOSTO 60 cm

JULKISIVU 1:100
Arkkitehtuuri toimisto
S u s a n n a N d b b
susanna.nabb@mail.suomi.net
puh. 0400 431 438

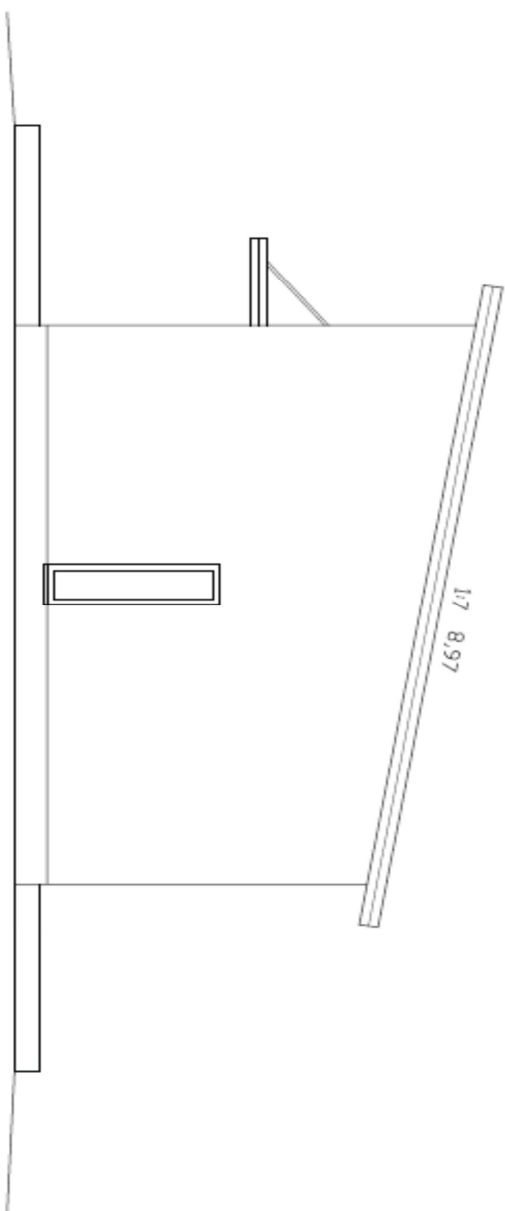


TAKAJULKISIVU

TALO JUNTUNEN & KOUVA
6.5.2011, NOSTO 60 cm

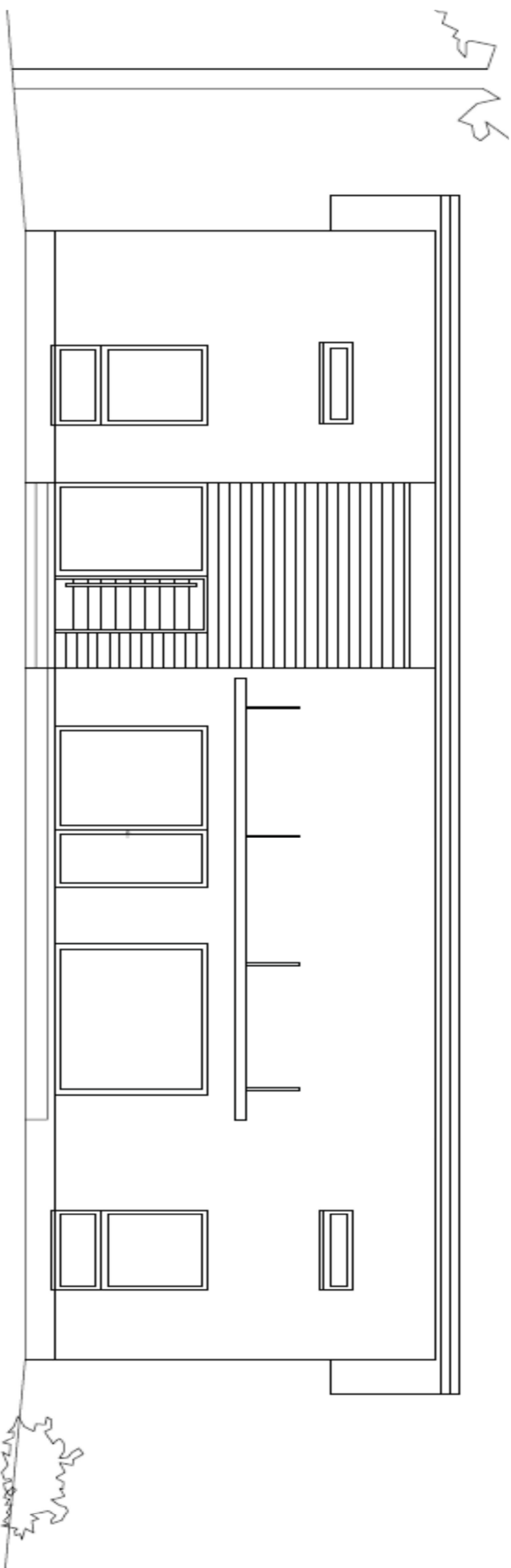
JULKISIVU 1:100
Arkkitehtuuritoimisto
S u s a n n a N a d b
susanna.nabb@mail.suomi.net
puh. 0400 431 438

TALO JUNTUNEN & KOUVA
6.5.2011, NOSTO 60 cm



ETELÄPÄÄTTY

JULKISIVU 1:100
Arkkitehtuuritoimisto
S u s a n n a N a b b
susanna.nabb@mail.suomi.net
puh. 0400 431 438

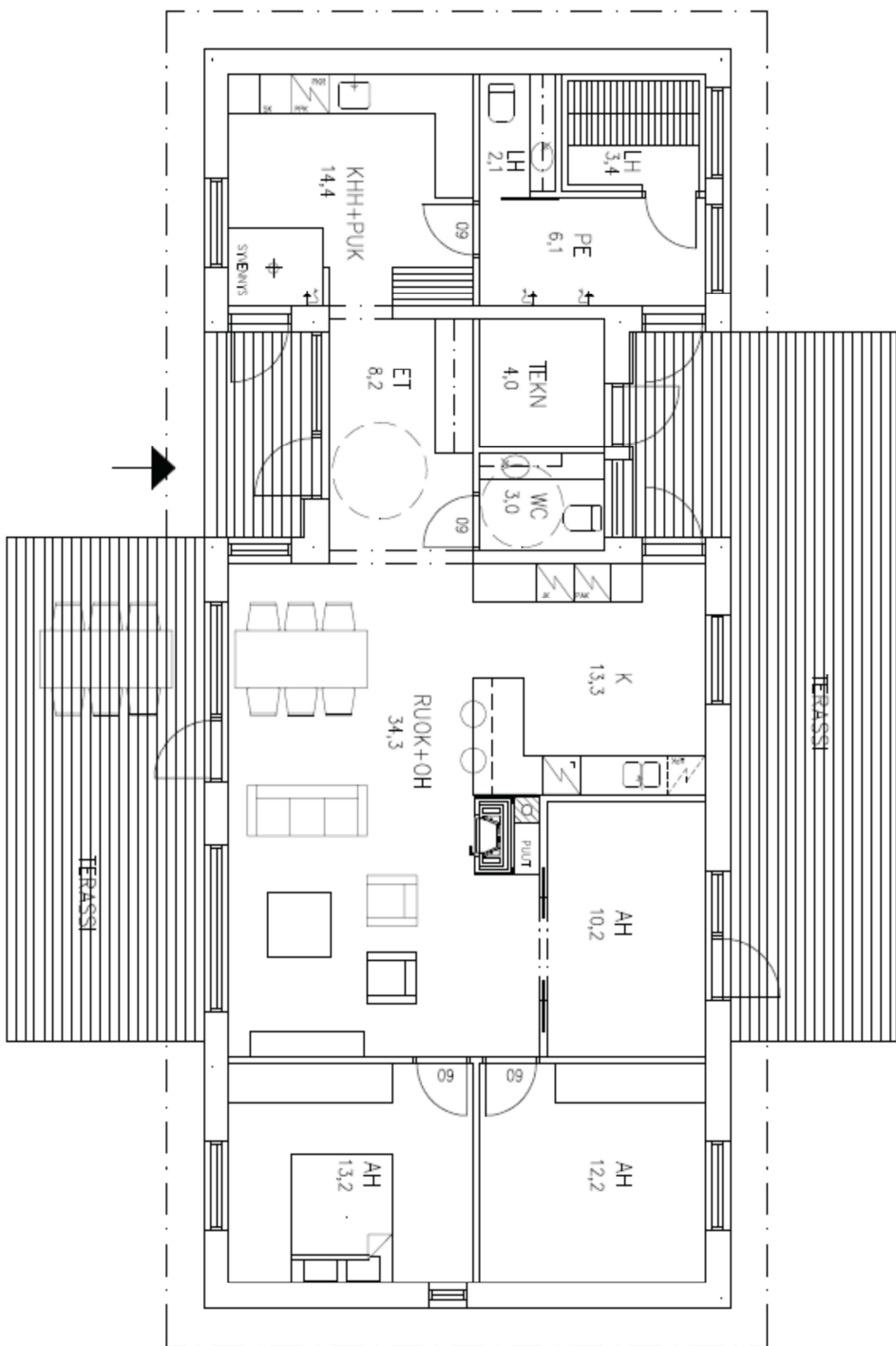


ETUJULKISIVU

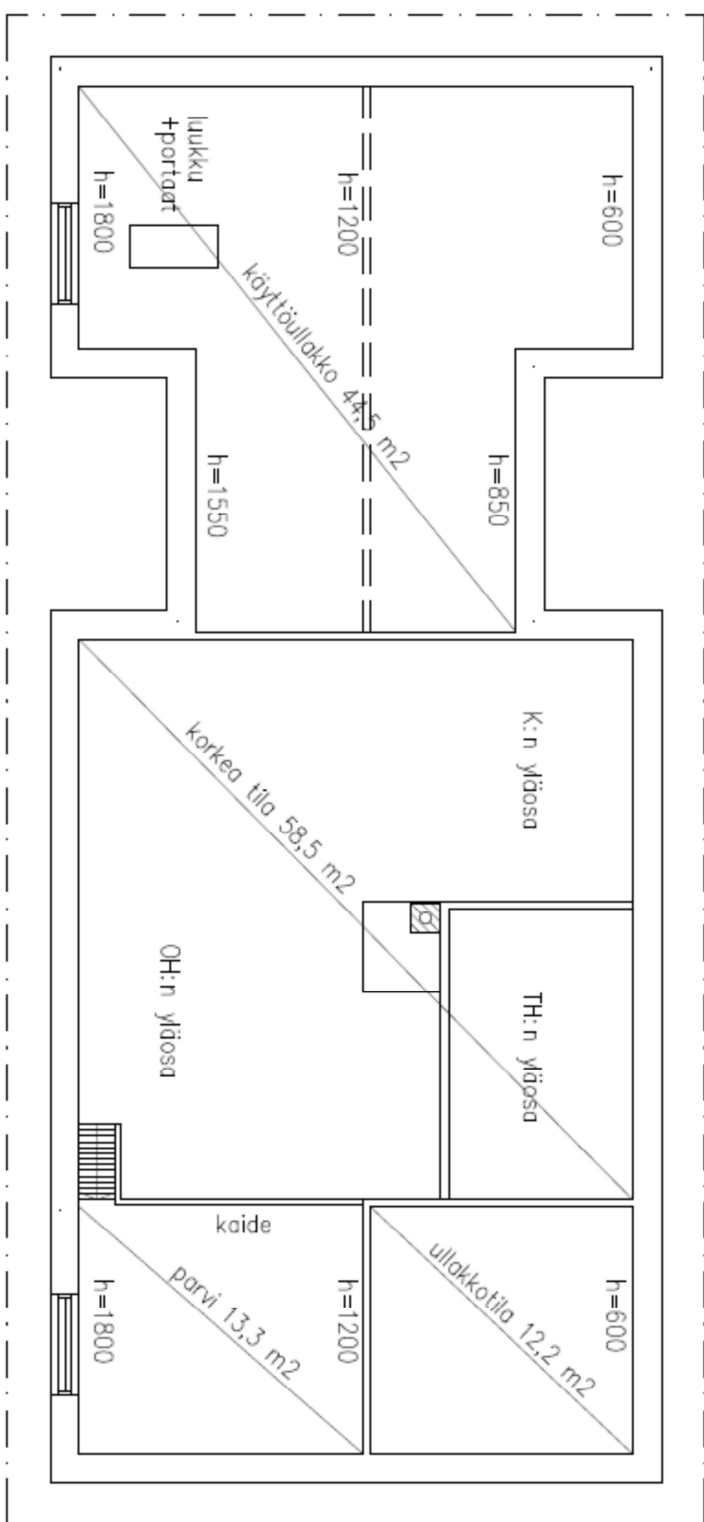
TALO JUNTUNEN & KOUVA
6.5.2011, NOSTO 60 cm

JULKISIVU 1:100
Arkkitehtuuri toimisto
S u s a n n a N a d b b
susanna.nabb@mail.suominet
puh. 0400 431 438

TALO JUNTUNEN & KOUVA
6.5.2011

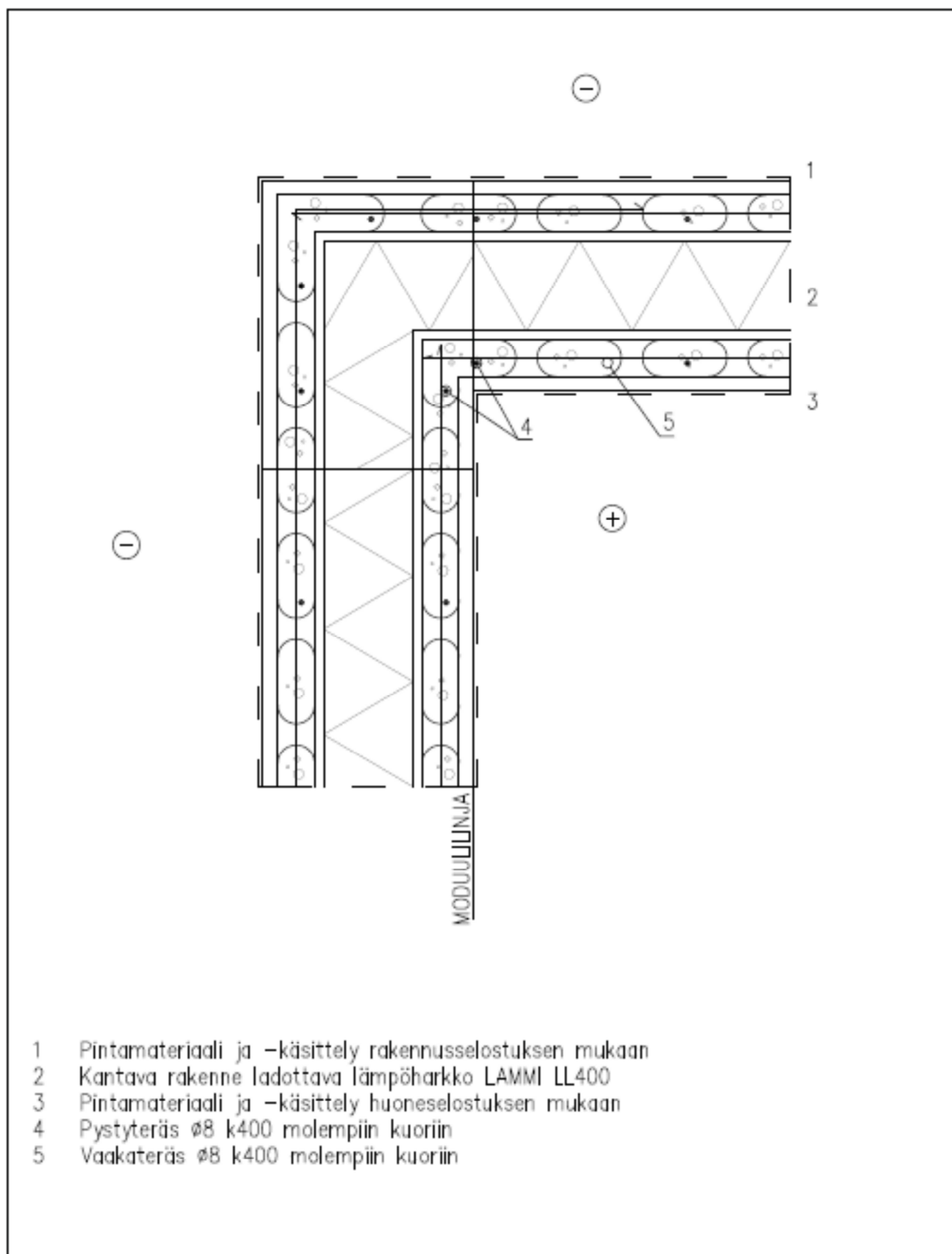


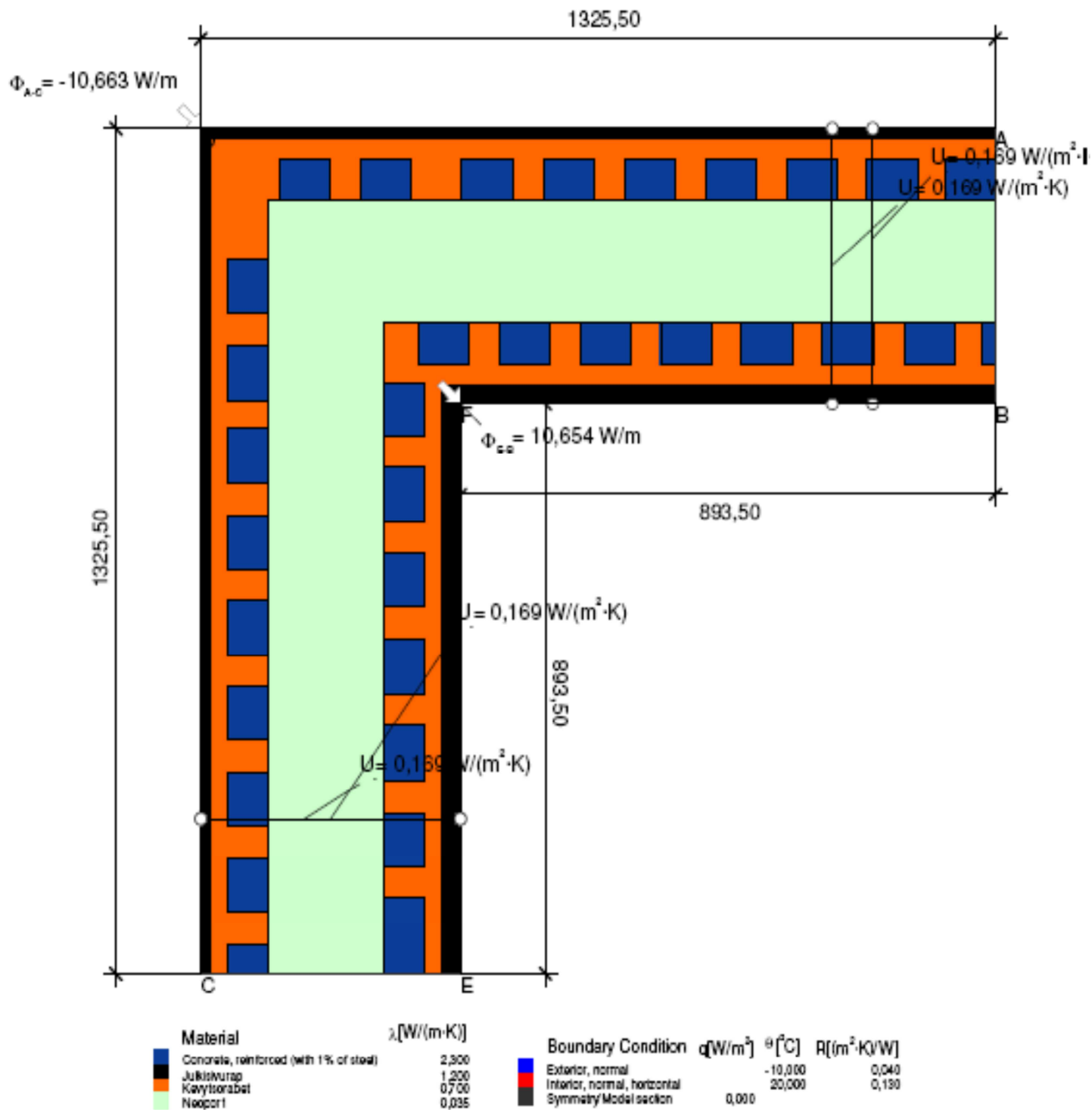
POHJA 1:100
Arkkitehtuuri
Suomen
susanna.nobb@mail.suomi.net
puh. 0400 431 438



TALO JUNTUNEN & KOUVA
19.5.2011

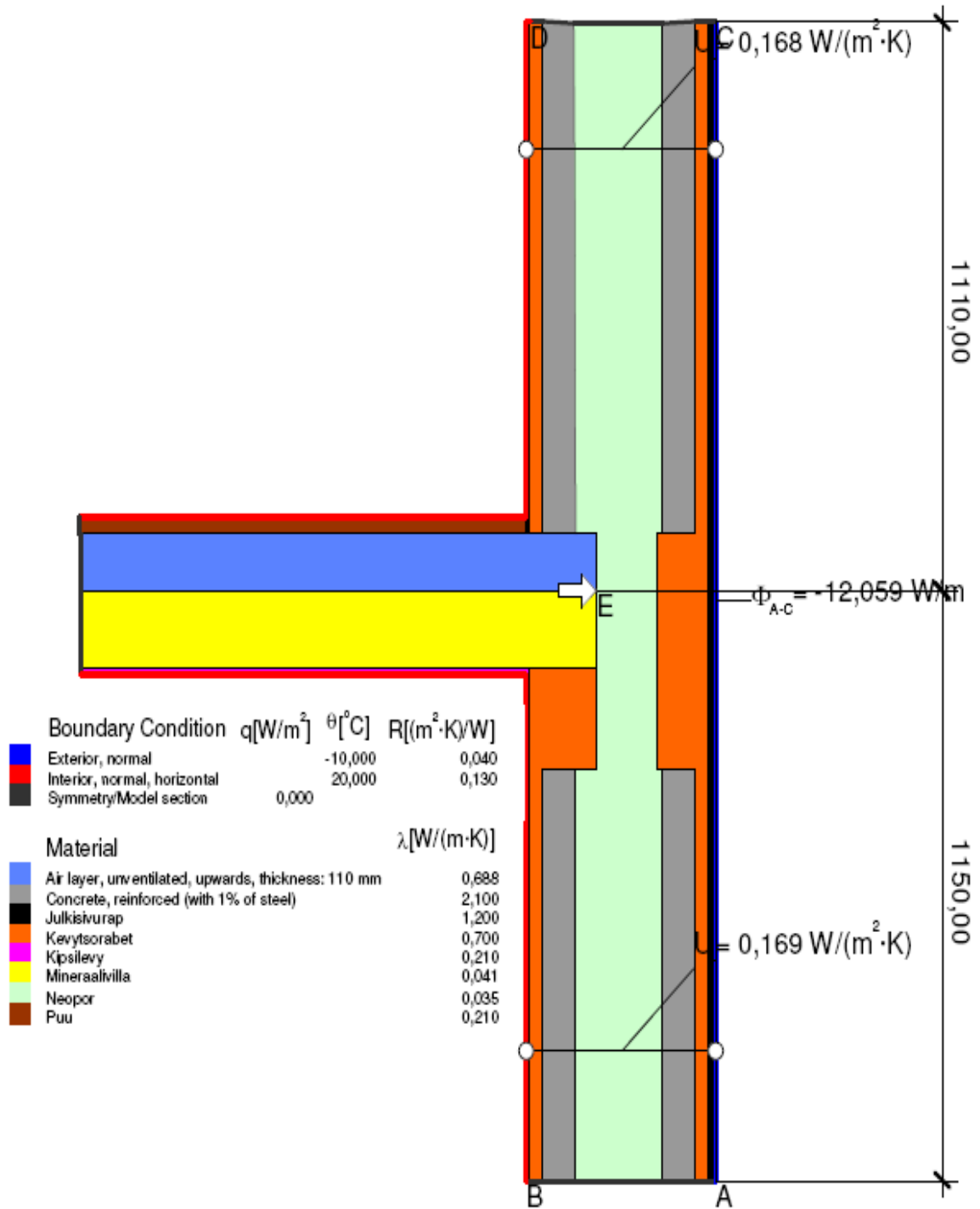
ULLAKKOKERROS 1:100
Arkkitehtuuri-toimisto
S u s a n n a N a b b
susanna.nabb@mail.suomi.net
puh. 0400 431 438



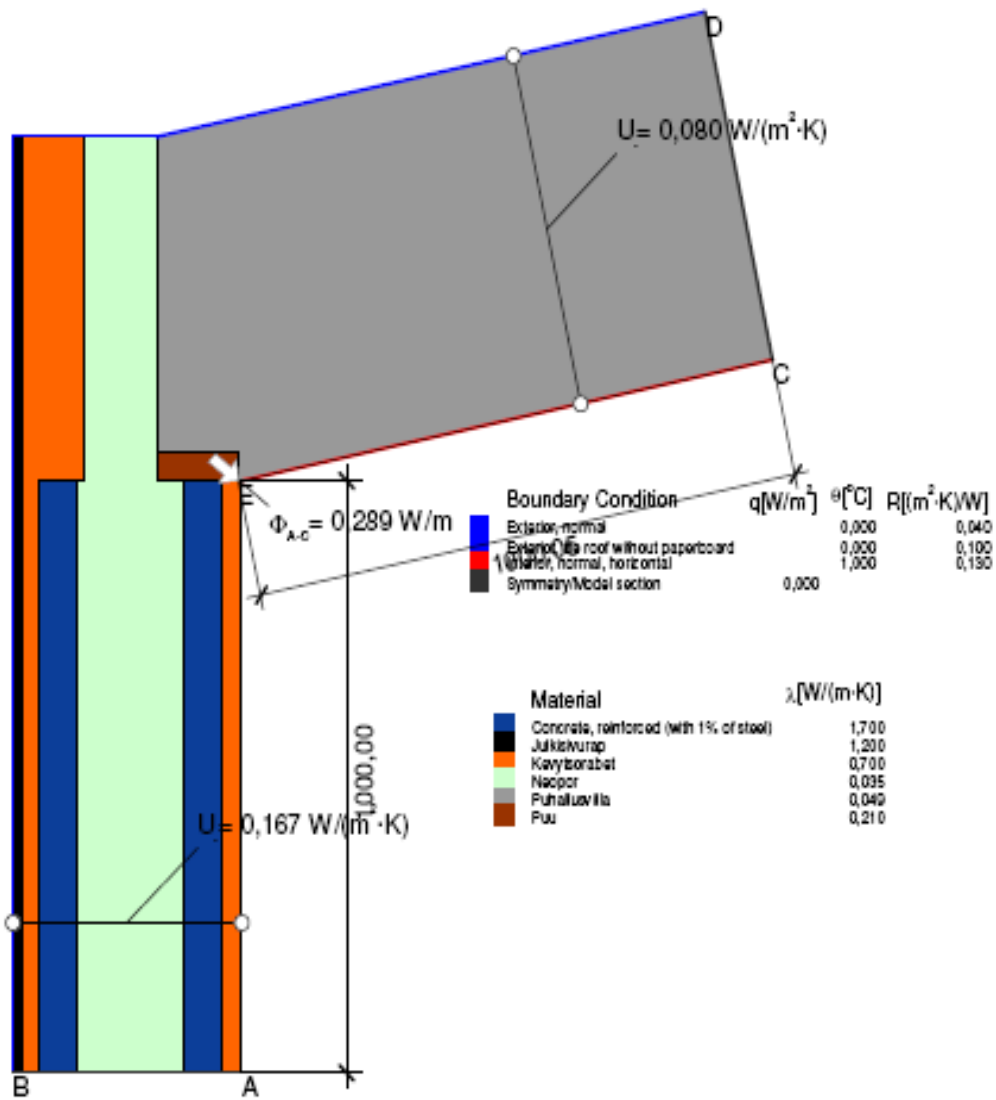


$$\psi_{A-C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - U_2 \cdot b_2 = \frac{10,663}{30,000} - 0,169 \cdot 1,326 - 0,169 \cdot 1,326 = -0,092 \text{ W/(m·K)}$$

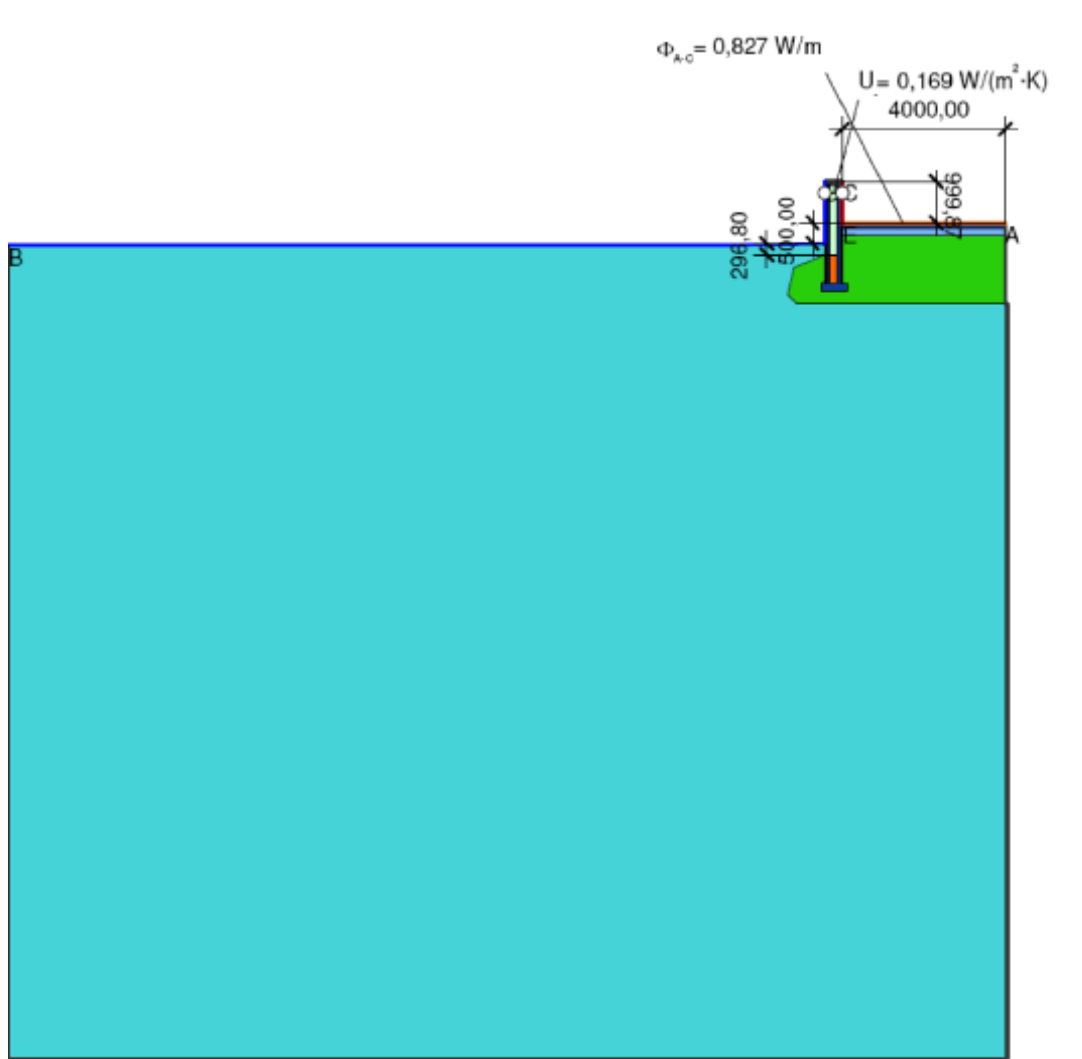
$$\psi_{C-E} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - U_2 \cdot b_2 = \frac{10,654}{30,000} - 0,169 \cdot 0,894 - 0,169 \cdot 0,894 = 0,053 \text{ W/(m·K)}$$



$$\Psi_{A-EC} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - U_2 \cdot b_2 = \frac{12,059}{30,000} - 0,169 \cdot 1,150 - 0,168 \cdot 1,110 = 0,021 \text{ W/(m·K)}$$



$$\psi_{A-C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - U_2 \cdot b_2 = \frac{0,289}{1,000} - 0,167 \cdot 1,000 - 0,080 \cdot 1,000 = 0,042 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



TAULUKKO 1. Alapohja rakenteen lämmönvastus:

Rakennekerros	Paksuus d [mm]	Lämmönjohtavuus λ_u [W/m ² K]	Lämmönvastus R (m ² K)/W
Pintavastus (R _{si})			0,17
Betonilaatta	100	1,7	0,06
Eps eriste	200	0,033	6,06
Sorapatja	300	0	0,20
		R=	6,489
		U=1/R=	0,15

TAULUKKO 2. Sokkelirakenteen rakenteen lämmönvastus:

Rakennekerros	Paksuus d [mm]	Lämmönjohtavuus λ [W/m ² K]	Lämmönvastus R (m ² K)/W
kevytsorabetoni	30	0,7	0,04
Betoni	70	1,7	0,04
Neopor eriste	200	0,035	5,71
Betoni	70	1,7	0,04
kevytsorabetoni	30	0,7	0,04
Pintavastus (Rse)			0,04
		R=	5,922
		U=1/R=	0,17

Laatan lämmönvastus
Rf W/m²K

$$R_f := 5.469$$

Lattian pintavastus on Rsi
W/m²K

$$R_{si} := 0.17$$

Pohjamaan pintavastus Rs
W/m²K

$$R_{se} := 0.04$$

Pohjamaan lämmönjohtavuus λ W/m²K

Lattian karakteristinen mitta B [8]

$$\lambda := 2$$

$$B := 8$$

Perusmuurin lämmöneristeen korkeus maanpinnan alapuolella Dv [m]

$$D_v := 0.3$$

Perusmuurin paksuus dnv [m]

Perusmuurin lämmönvastus Rnv [W/m²]

$$R_{nv} := 5.922$$

$$d_{nv} := 0.4$$

seinärakenteen leveys [m]

$$w := 0.43$$

Rakenteen ekvivalentti paksuus [m]

$$dt1 := w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) = 11.788$$

$$d_v := \lambda \cdot \left(R_{nv} - \frac{d_{nv}}{\lambda} \right) = 11.444 \frac{1}{m} \cdot m$$

Perusmuurin viivamainen lisäkonduktanssi Ψ_{ge} W/m²K

$$\Psi_{ge} := \frac{-\lambda}{\pi} \left(\ln \left(\frac{2D_v}{dt1} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D_v}{dt1 + d_v} + 1 \right) \right) = -0.015$$

$$U := \frac{\lambda}{0.457 \cdot B + dt1} - \frac{\Psi_{ge}}{B} = 0.131$$

Numeerisesti määritetty liitoksen kytkentäkerroin sisä- ja ulkoilman välillä [W/m²K]

$$L2d := 0.827$$

Seinä rakenteen korkeus hw [m] seinä rakenteen lämmönjohtavuus Uw [W/m²]

$$hw := 1$$

$$Uw := 0.169$$

Tarkasteltavan alapohja liitoksen viivamainen lisäkonduktanssi ψ [W/mK]

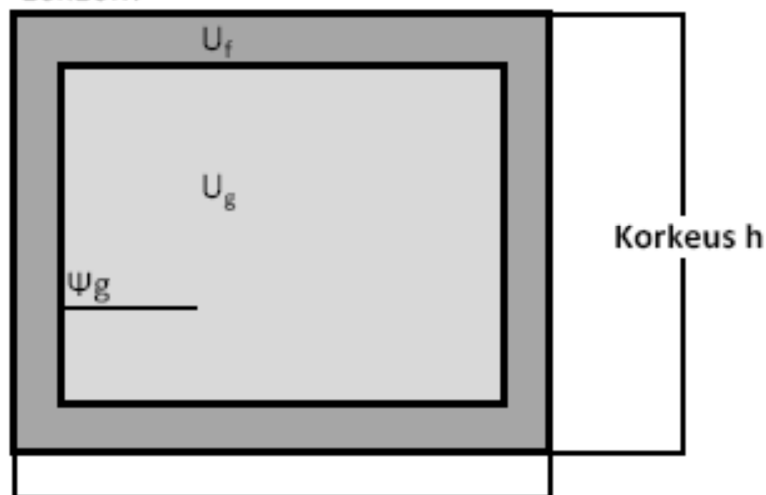
$$\Psi := L2d - hw \cdot Uw - 0.5 \cdot B \cdot U = 0.132$$

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Lammitalo

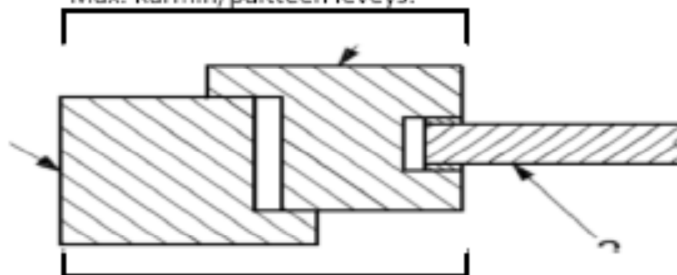
Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 10x16M



Leveys b

Max. Karmin/puitteen leveys:



Min. Karmin/puitteen leveys:

$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	1,000 m		
Ikkunan korkeus h :	1,600 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	1,21m ²		
Lasin ja karmin reunan mitta l_g :	4,56m		
		Prosentti osuus ikkunasta:	
		m ²	%
		Lasi 1,21m ²	76
		Karmi 0,39m ²	24

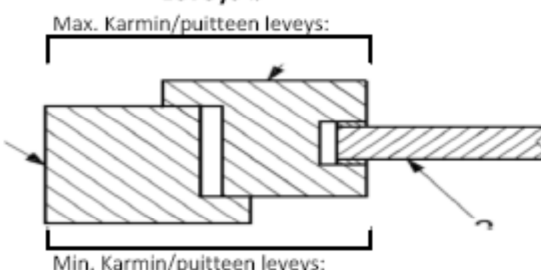
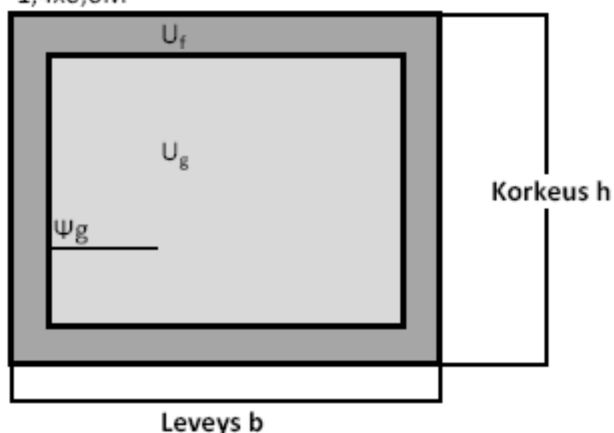
Ikkunan **U_w** : **0,7W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Lammitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 1,4x0,6M



$$U_W = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	1,400 m		
Ikkunan korkeus h :	0,600 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	0,55m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l_g :	3,36m	m ²	%
		Lasi 0,55m ²	65
		Karmi 0,29m ²	35

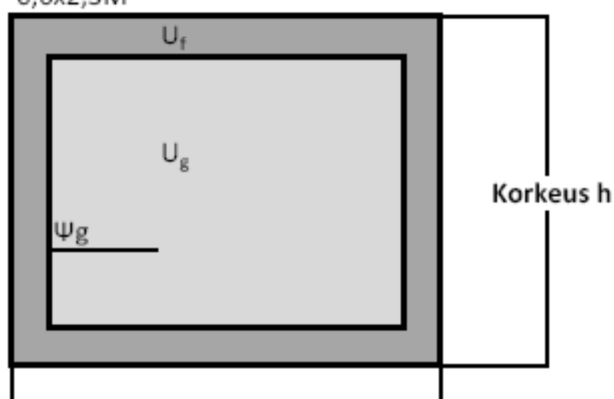
Ikkunan U_w : **0,9W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

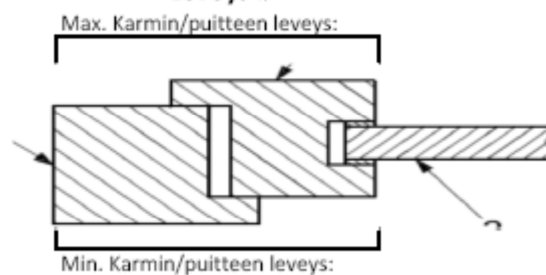
Kohde: Lammitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 0,6x2,3M



Leveys b



$$U_W = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	0,600 m		
Ikkunan korkeus h :	2,300 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	0,94m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l_g :	5,16m	m ²	%
		Lasi 0,94m ²	68
		Karmi 0,44m ²	32

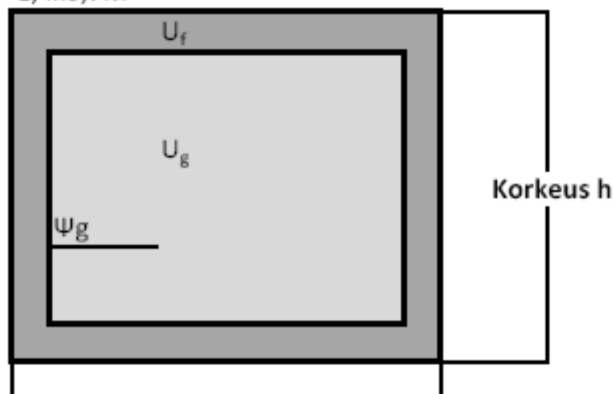
Ikkunan U_w : **0,8W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

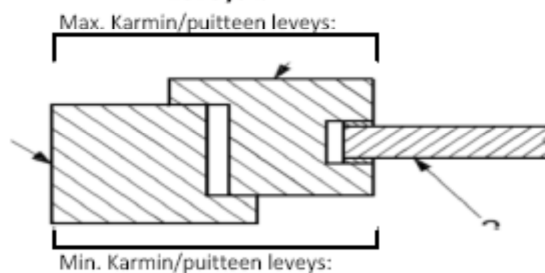
Kohde: Lammitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 1,4x0,7M



Leveys b



Min. Karmin/puitteen leveys:

$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	1,200 m		
Ikkunan korkeus h :	1,200 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,330W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	1,08m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l_g :	4,16m	m ²	%
		Lasi 1,08m ²	75
		Karmi 0,36m ²	25

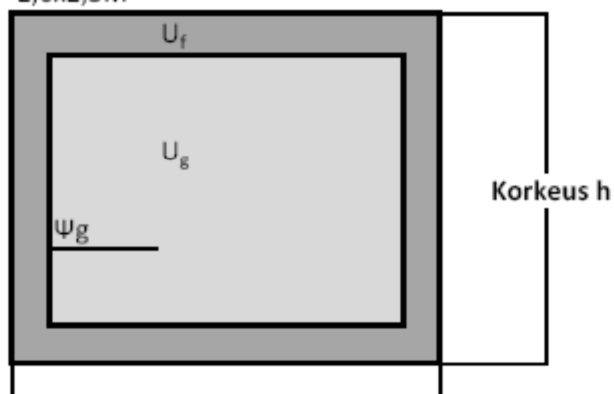
Ikkunan U_w : 0,7996W/K m²

ISO 10017-1 mukaan:

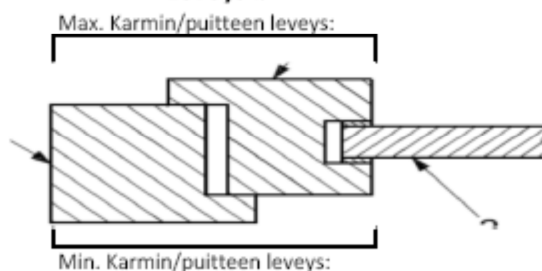
Kohde: Lammitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 2,6x2,3M



Leveys b



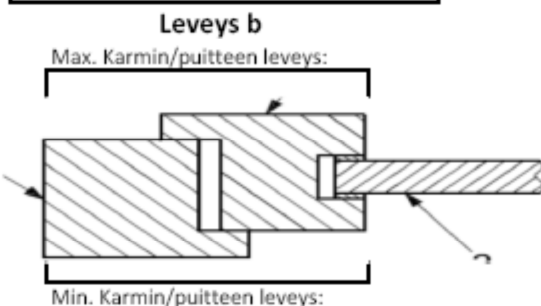
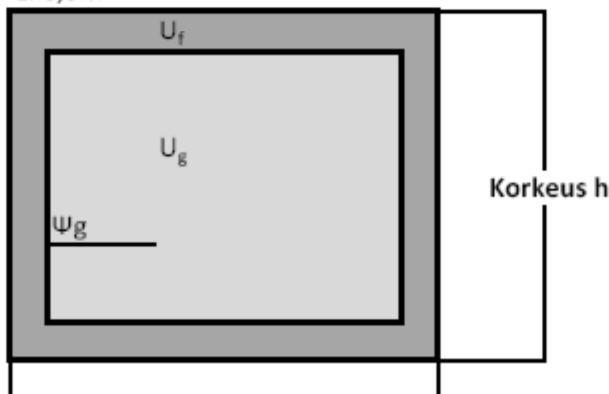
$$U_W = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	2,600 m	
Ikkunan korkeus h :	2,300 m	
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m	
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m	
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²	
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²	
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m	
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	5,22m ²	Prosentti osuus ikkunasta: m ² %
Lasin ja karmin reunan mitta l_g :	9,16m	
		Lasi 5,22m ² 87
		Karmi 0,76m ² 13

Ikkunan U_w : **0,6W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Lammitalo
 Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8
 Ikkunan koko: 2x0,6M



$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b:	2,000 m		
Ikkunan korkeus h:	0,600 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U _g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U _f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ _g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A _g :	0,81m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l _g :	4,56m	m ²	%
		Lasi 0,81m ²	67
		Karmi 0,39m ²	33

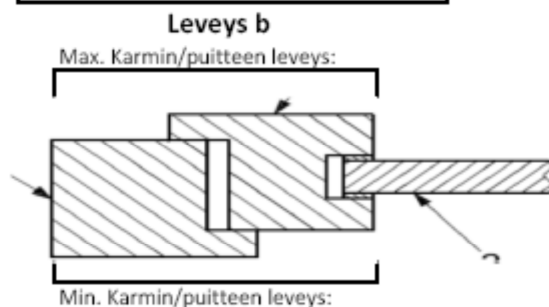
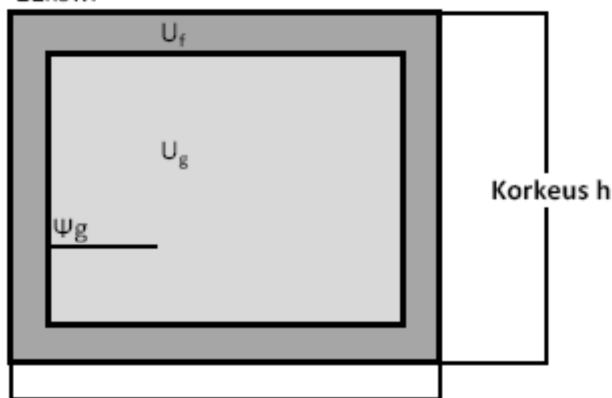
Ikkunan U_w : **0,8W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Lammitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 21x9M



$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	0,900 m		
Ikkunan korkeus h :	2,100 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	1,44m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmin reunan mita l_g :	5,36m	Lasi	1,44m ² 76
		Karmi	0,45m ² 24

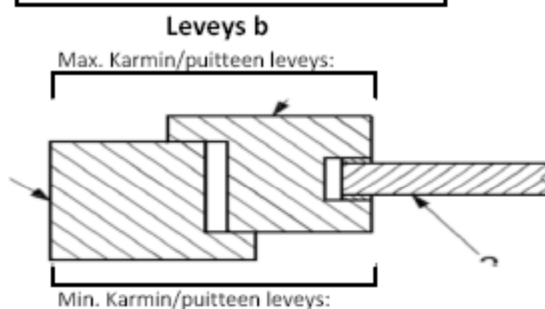
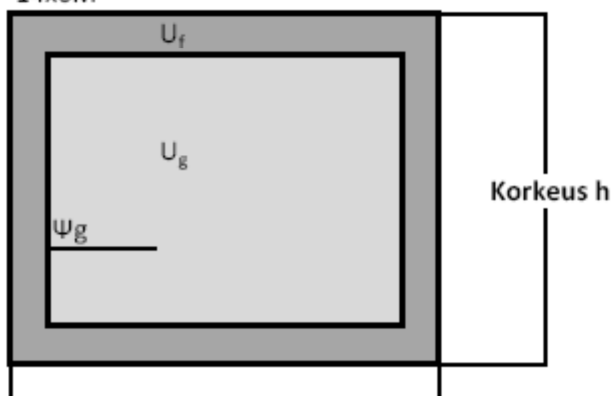
Ikkunan **U_w** : **0,7W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Lammitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 14x6M



$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	1,400 m		
Ikkunan korkeus h :	0,600 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	0,55m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l_g :	3,36m	m ²	%
		Lasi 0,55m ²	65
		Karmi 0,29m ²	35

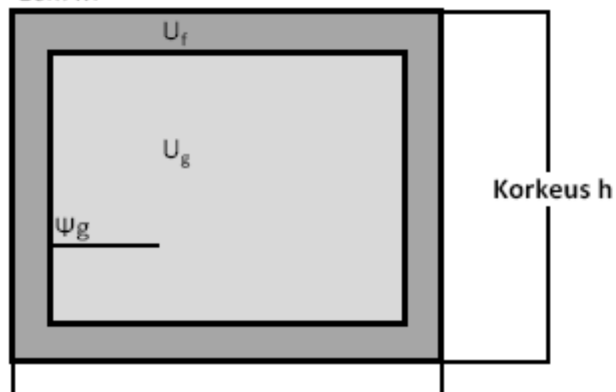
Ikkunan **U_w** : **0,9W/K m²**

ISO 10017-1 mukaan:

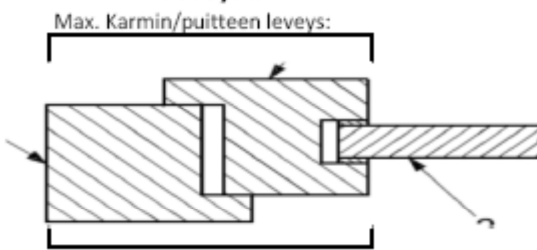
Kohde: Lammitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 10x7M



Leveys b



Min. Karmin/puitteen leveys:

$$U_W = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

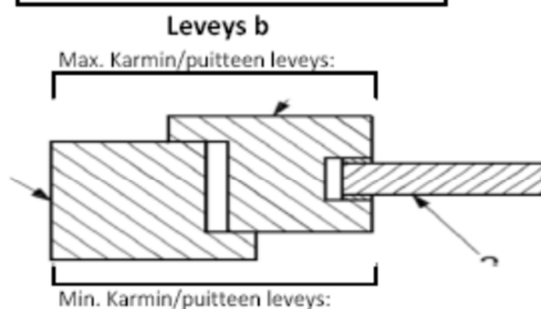
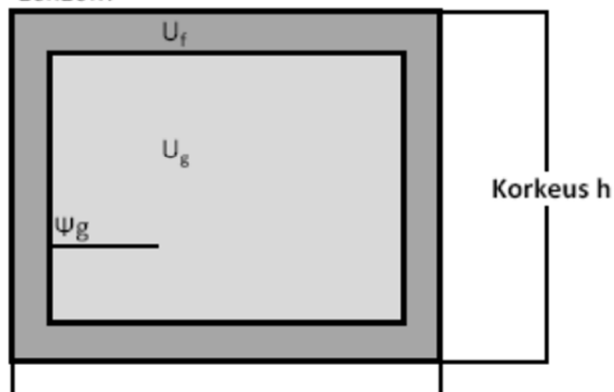
Ikkunan leveys b :	1,000 m		
Ikkunan korkeus h :	0,700 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	0,45m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l_g :	2,76m	m ²	%
		Lasi 0,45m ²	65
		Karmi 0,25m ²	35
Ikkunan U _w :	0,9W/K m²		

ISO 10017-1 mukaan:

Kohde: Lammitalo

Ikkunan tyyppi: Fenestra polaris MS2E 0,8

Ikkunan koko: 10x16M










$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Ikkunan leveys b :	1,000 m		
Ikkunan korkeus h :	1,600 m		
Max. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
Min. Karmin/puitteen leveys:	0,080 m		
U-arvo lasi U_g :	0,470W/K m ²		
U-arvo karmi U_f :	1,130W/K m ²		
Ψ Ikkunalasin lasin reuna Ψ_g :	0,040W/K m		
Ikkunan lasinpinta-ala A_g :	1,21m ²	Prosentti osuus ikkunasta:	
Lasin ja karmen reunan mitta l_g :	4,56m	m ²	%
		Lasi 1,21m ²	76
		Karmi 0,39m ²	24

Ikkunan **U_w** : **0,7W/K m²**

Kuu kai si	Vaip- pa ja Kyl- mäsil- lat	Sisä- seinät ja mas- sat	Ulkoik- kunat ja Auringon säteily	Kon- tu- loilma	Vuo- toil- ma & Au- kot	Ihmi- set	Lait- tee t	Va- lais- tus	Paikalliset lämmityslaitteet
1	-1538,1	21	-365	-129	-70,6	134,3	181,9	80,8	1666,5
2	-1414,8	0,6	-252,3	-116,2	-66,5	121,3	164,3	73	1474
3	-1406,2	0	-47,7	-129,3	-64,7	134,4	181,9	80,8	1230,4
4	-1006,2	-25,8	386,9	-143,5	-42,9	127	176	78,2	427,2
5	-754,1	4,2	633,5	-234,5	-49,6	111,2	181,9	80,8	0,5
6	-627,1	-17,1	633,4	-241	-127,4	101	176	78,2	0
7	-547,2	-13	763,5	-251,3	-331,9	92,2	181,9	80,8	0
8	-462,2	49	502,9	-241	-234	98,5	181,9	80,8	0
9	-576,9	29,3	242,1	-170,8	-28,9	122,3	176	78,2	107,1
10	-892,4	1,5	-108,7	-129,1	-41	136,2	181,9	80,8	752
11	-1215,5	0,5	-276,1	-124,5	-54	130,8	176	78,2	1267,3
12	-1448	0,1	-346	-128,6	-63,7	134,5	181,9	80,8	1571,2
Yh- teen sä	- 11888,6	50,4	1766,4	-2038,9	- 1175,4	1443,7	214 1,6	951,9	8496









Ostoenergiankulutusraportti

		Ostoenergiankulutus		Primary energy	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	1150	7.2	1955	12.2
	HVAC aux	1262	7.9	2146	13.4
	Electric heating	248	1.6	421	2.6
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	2660	16.6	4522	28.3
	Heating	6961	43.5	4872	30.4
	Domestic hot water	6981	43.6	4887	30.5
	Yhteensä, Kiinteistö polttoaine*	13942	87.1	9759	61.0
	Cooling	0	0.0	0	0.0
	Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	0	0.0	0	0.0
	Yhteensä	16602	103.8	14281	89.3
	Equipment, tenant	2588	16.2	4399	27.5
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2588	16.2	4399	27.5
	Yhteensä	19190	119.9	18680	116.7

*Lämpöarvo

Kuukausi	Vaippa ja Kylmäsillat	Sisäseinät ja massat	Ulkoikkunat ja Auringon säteily	Kon. tuloilma	Vuotoilma & Aukot	Ihmiset	Laitteet	Valaistus
Yhteensä	-14223	29,2	1178,2	-1956,1	-840,9	1476,9	2141,6	951,9
1	-1921,4	21,4	-456	-136,1	-87,4	133,3	181,9	80,8
2	-1741,2	0,5	-296,8	-118,1	-79,8	120,6	164,3	73
3	-1621,9	-0,9	-45,9	-129,5	-72,6	134	181,9	80,8
4	-1152	-0,4	375,5	-132	-52,2	129,1	176	78,2
5	-888,8	-34,1	603,6	-165,3	-31,7	128,2	181,9	80,8
6	-700,1	-13,4	691,2	-257,1	-97,5	97,9	176	78,2
7	-613,3	-9,1	633,9	-257,6	-137,4	96,8	181,9	80,8
8	-572,5	34,1	430,7	-232,8	-56,5	110,4	181,9	80,8
9	-695,1	29,1	136	-144,6	-33,6	127,7	176	78,2
10	-1082,7	1,6	-141,1	-129	-49,2	135,2	181,9	80,8
11	-1437,4	0,2	-314,9	-124,5	-64,2	130	176	78,2
12	-1796,6	0,2	-438	-129,5	-78,6	133,7	181,9	80,8
Yhteensä	-14223	29,2	1178,2	-1956,1	-840,9	1476,9	2141,6	951,9

Ostoenergiankulutusraportti

		Ostoenergiankulutus		Primary energy	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	66	0.5	111	0.8
	Cooling	36	0.3		
	HVAC aux	1620	11.9	2755	20.3
	Electric heating	593	4.4	1008	7.4
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	2315	17.0	3874	28.5
	Heating	11401	83.9	19381	142.7
	Domestic hot water	5892	43.4	10016	73.8
	Yhteensä, Kiinteistö polttoaine*	17293	127.3	29397	216.4
	Yhteensä	19608	144.4	33271	245.0
	Lighting, tenant	1135	8.4	1929	14.2
	Equipment, tenant	1973	14.5	3355	24.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	3108	22.9	5284	38.9
	Yhteensä	22716	167.3	38555	283.9

*Lämpöarvo

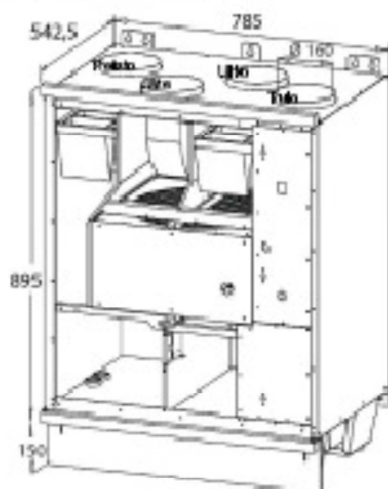
Kohde:

Käsitteijä:

Sivu 1

05.09.2011

Pandion eco EDE



Laitteetiedot: Pandion eco EDE	
Kanavälähdiö	Ø 160 mm
Leveys	785 mm
Korkeus	895 mm
Syvyys	543 mm
Paino	90 kg
Puhallin teho	230 W
Pyöriä lämmönsäiliö	
Sähköpatterin teho (sisäinen)	800 W
Ei jäähdytystä	
Asennus lämpimään tilaan	
Sähköliedot: 230 V/50 Hz, 1-vaihe, sulake 10 A nopea	

Ääni:											
	53	125	250	500	1k	2k	4k	8k	all	all(A)	
Tila	49	50	49	43	42	30	23	0	54,3	45,9	
Tila 10m2 alapinta LpA:											41,9
Tulo	51	51	53	59	62	60	50	37	66,2	65,5	
Pohjo	49	42	41	42	46	33	22	19	52,0	47,1	
Ulkö	47	46	45	48	42	37	30	21	53,4	47,9	
Jäte	57	58	57	61	67	61	55	47	70,0	69,1	

Mittausarvot	Tulo	Pohjo
Ilmavirta:	77 l/s	81 l/s
Kanavapaine:	125 Pa	125 Pa
Suodatusteho:	F5	F5

Tulokset	Tulo:	Pohjo:
Mittausolosuhteet:		
Puhallinnopeus:	57 %	58 %
Ilmavirta:	77 l/s	81 l/s
Kanavapaine:	125 Pa	125 Pa
Ohuteho:	62 W	64 W
SFP:	1,56 kW(m³/s)	
Huippuoteho:		
Ilmavirta:	127 l/s	132 l/s
Kanavapaine:	341 Pa	330 Pa
Tehostusarvo:	65 %	62 %

Ohutputkenpaine:		
Kanavälähdiö (Ø160 mm):	3,83 mPa	4,09 mPa
LTO (Ø420 mm):	1,13 mPa	1,19 mPa

Patterit		
Lämmityspatteri: Sähkö 200 x 325 mm sisäinen, 800 W		
Ohutputkenpaine:	1,18 mPa	
Painehäviö:	4 Pa	

Pyöriä lämmönsäiliö		
Painehäviö:	48 Pa	51 Pa
Hyötysuhde mittausolosuhteissa:		
Tuulinen jälkeä LTO:n:	12,0 °C	
Jäähdytysarvo mittausolosuhteissa:	657 W	

Vuokauskanta: Helsinki, Suomi	
Pohjo ilmasta lämmennetty	98,78 kWh
Lämpöenergia:	
Mittausolosuhteissa:	-26 °C
Vuokausjäähdytysarvo:	10,23 kWh
Tuulinen lämmönsäiliö:	19 °C
Lämpökantoin:	1 kWh sähköä = 8,3 kWh lämpöä
Vuokaushyötysuhde: Merkitse 12:n mukaisesti	76,5 %

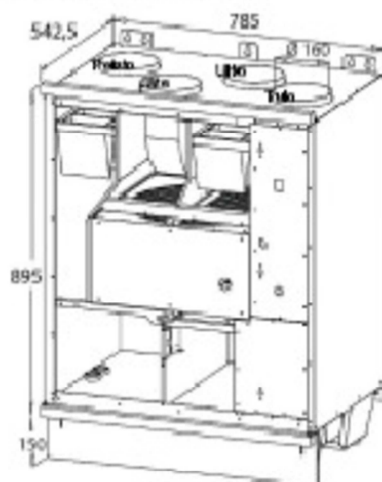
Kähdö:

Käsitteijä:

Sivu 1

05.09.2011

Pandion eco EDE



Laitteetiedot: Pandion eco EDE	
Kanavälähdi	Ø 160 mm
Leveys	785 mm
Korkeus	895 mm
Syvyys	543 mm
Paino	90 kg
Puhallimen teho	230 W
Pyöriä lämmönsiirrin	
Sähköpatterin teho (sisäinen)	800 W
Ei jäähdytystä	
Asennus lämpimään tilaan	
Sähköliedot: 230 V/50 Hz, 1-vaihe, suojake 10 A npe-ee	

Äänet:	
	53 125 250 500 1k 2k 4k 8k 16k dB(A)
Tila	49 50 48 43 42 30 23 0 54,3 45,9
Tila 10m2 absorptio LpA:	41,9
Tulo	51 51 53 59 62 60 50 37 66,2 65,5
Poisto	49 42 41 42 46 33 22 19 52,0 47,1
Ulkö	47 46 45 48 42 37 30 21 53,4 47,9
Jälke	57 58 57 61 67 61 55 47 70,0 69,1

Mittausarvot	Tulo	Poisto
Ilmavirta:	77 l/s	81 l/s
Kanavapaine:	125 Pa	125 Pa
Suodatustaso:	F5	F5

Tuotokset	Tulo:	Poisto:
Mittauspisteessä:		
Puhallinopeus:	57 %	58 %
Ilmavirta:	77 l/s	81 l/s
Kanavapaine:	125 Pa	125 Pa
Ottoteho:	62 W	64 W
SFP:	1,56 kW(m³/s)	
Huippuoteho:		
Ilmavirta:	127 l/s	132 l/s
Kanavapaine:	341 Pa	330 Pa
Tehostusvaki:	65 %	62 %

Otsapintanopeus:		
Kanavälähdi (Ø160 mm):	3,83 m/s	4,03 m/s
LTO (Ø2420 mm):	1,13 m/s	1,19 m/s

Patterit		
Lämmityspatteri: Sähkö 200 x 325 mm sisäinen, 800 W		
Otsapintanopeus:	1,18 m/s	
Painehäviö:	4 Pa	

Pyöriä lämmönsiirrin		
Painehäviö:	48 Pa	51 Pa
Hyötysuhde mittauspisteessä:		
Tuotteen jälkeinen LTO:n:	12,0 °C	
Jäähdytysarve mittauslämpötiloissa:	657 W	

Vuokasesta: Helsinki, 5 uomi	
Poistoilmasta talteenotto	98,78 kWh
Lämpöenergia	
Mittauslämpötila:	-26 °C
Vuotuinen jäähdytysarve:	10,23 kWh
Tuotteen lämpötila:	19 °C
Lämpöarvon:	1 kWh sähköä = 8,3 kWh lämpöä
Vuokaslämpötila: Modula 122:n mukaisesti	7,65 %