

**KESÄAJAN LÄMPÖTILANHALLINNAN TARKASTELU
JÄÄHDYTTÄMÄTTÖMÄSSÄ ASUINKERROSTALOSSA**

Maria Tikka

Opinnäytetyö
Rakennustekniikka
Insinööri (AMK)

2014

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIikka JA LIIKENNE

Rakennustekniikka

Opinnäytetyö

**KESÄAJAN LÄMPÖTILANHALLINNAN TARKASTELU
JÄÄHDYTTÄMÄTTÖMÄSSÄ ASUINKERROSTALOSSA**

Maria Tikka

2014

Toimeksiantaja Sweco Talotekniikka Oy

Ohjaaja DI Kai Ryyänen

Hyväksytty 14.5.2014

Työ on Theseus-verkkokirjastossa.

Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikka

Tekijä	Maria Tikka	Vuosi	2014
Toimeksiantaja	Sweco Talotekniikka Oy		
Työn nimi	Kesäajan lämpötilanhallinnan tarkastelu jäähdyttämättömässä asuinkerrostalossa		
Sivu- ja liitemäärä	44 + 2		

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kerrostaloa, joka on rakennettu ennen uusien energiamääräysten voimaantuloa. Tutkittavana kohteena oli uusissa energiamääräyksissä vaadittu kesäajan lämpötilanhallinnan määräysten mukaisuuden osoittaminen. Tarkoituksena oli selvittää täyttääkö vanhojen määräysten mukaan rakennettu asuinkerrostalo uusien määräysten vaatimukset kesäajan lämpötilanhallinnan osalta. Lisäksi ajatuksena oli tutkia, millaisilla suojausratkaisuilla uusien määräysten vaatimukseen päästään, jos rakennus ei täytä sellaisenaan määräysten asettamia raja-arvoja.

Materiaalina tutkimuksessa käytettiin tutkittavan rakennuksen suunnitelma-asiakirjoja, rakentamismääräyskokoelman osia D2, D3 ja D5 sekä MagiCAD Room- ja IDA ICE -ohjelmia. Rakennuksesta tehtiin suunnitelmien mukainen kolmiulotteinen malli, joka simuloitiin IDA ICE -ohjelmalla.

Ensimmäisen simuloinnin tuloksena selvisi, että yksikään rakennuksen huoneistoista ei täyttäisi nykyisiä vaatimuksia. Vaikeimman olohuoneen ja makuuhuoneen jatkosimuloinnista eri vertailuvaihtoehdoilla saatiin yksi vaihtoehto, jolla määräysten vaatimukset täyttyisivät.

Avainsana

lämpötilanhallinta, huonelämpötila, IDA ICE, simulointi

School of Technology
Degree Programme in
Civil engineering

Author	Maria Tikka	Year	2014
Commissioned by	Sweco Systems		
Subject of thesis	Summertime Temperature Management in Uncooled Multistorey Apartment House		
Number of pages	44 + 2		

The goal of this thesis was to study a multistory apartment house that has been built before the new energy regulations took effect. The subject of the study was the summertime temperature regulation. The idea was to find out if a building built before new regulations would measure up today's standards concerning summertime temperature. The idea was also to explore what options would we have if the building would not meet the regulation.

The National Building Code of Finland sections D2, D3 and D5, MagiCAD Room and IDA ICE were used as material in this thesis. Three-dimensional model of the building was made and it was simulated with IDA ICE program.

The result of the first simulation was that none of the apartments would fulfil current regulations about summertime temperature. After that the most difficult living room and bedroom were simulated again with different options. The result of that simulation was that one option would meet with the new regulations.

Key words temperature management, room temperature, IDA ICE, simulation

SISÄLTÖ

KUVIOLUETTELO	1
TAULUKKOLUETTELO	2
1 JOHDANTO	3
2 KESÄAJAN LÄMPÖTILANHALLINNAN LASKENTA	4
2.1 MÄÄRÄYKSET JA OHJEET	4
2.2 LASKENNASSA HUOMIOITAVAA	7
2.2.1 <i>Muodot, rakenteet ja pinnat</i>	7
2.2.2 <i>Talotekniikka ja sisäiset lämpökuormat</i>	10
2.3 SIMULOINTIOHJELMISTA	14
3 SIMULOINTI ESIMERKKIKOORTEELLE	16
3.1 LÄHTÖTIEDOT	16
3.2 KOLMIULOTTEISEN MALLIN LUOMINEN	20
3.3 LÄMPÖKUORMALTAAN VAIKEIMPIEN HUONEIDEN MÄÄRITYS	24
3.4 HUONELÄMPÖTILOJEN VERTAILU ERI LÄHTÖTIEDOILLA	36
4 POHDINTA	41
LÄHTEET	43
LIITTEET	44

KUVIOLUETTELO

Kuvio 1. Ilman lämpeneminen sisätilassa (sisälämpötila +25 °C) kulkevassa eristämättömässä kanavassa eri kanavapituuksilla (5, 10 ja 15 metriä) kanavaan tulevan ilman lämpötilafunktiona	10
Kuvio 2. Projektitietoikkuna MagiCAD:n Room-sovelluksessa.....	21
Kuvio 3. Kerrosasetusikkuna MagiCAD:n Room-sovelluksessa	21
Kuvio 4. Rakennuksen 4. kerroksen pohjapiirustus kohdennettuna asemapiirustukseen	22
Kuvio 5. 3D-esikatseluikkuna MagiCAD:n Room-sovelluksessa.....	23
Kuvio 6. Ifc-malli tuotuna IDA ICE -ohjelmaan.....	24
Kuvio 7. Rakenteiden määritysikkuna IDA ICE -ohjelmassa.....	24
Kuvio 8. Ifc-mallin tietojen yhdistäminen IDA ICE -ohjelman resursseihin.....	25
Kuvio 9. Uuden vyöhykkeen oletusarvot IDA ICE -ohjelmassa	26
Kuvio 10. Vyöhykkeet pohjapiirustuksessa IDA ICE -ohjelmassa	26
Kuvio 11. Vyöhykkeen tiedot ja asetukset -ikkuna IDA ICE -ohjelmassa	27
Kuvio 12. Rakennus suunnattuna ja varjostavat rakennukset lisättyinä asemapiirustuksen päälle IDA ICE -ohjelmassa	27
Kuvio 13. Varjostavat rakennukset IDA ICE -ohjelmassa kolmiulotteisena esityksenä	28
Kuvio 14. Parvekkeiden lisäys IDA ICE -ohjelmassa	29
Kuvio 15. Ikkunan muokkausvalikko ja ikkunasuojauseditori-ikkuna IDA ICE -ohjelmassa.....	29
Kuvio 16. Säätitietojen ja sijainnin valintaikkuna IDA ICE -ohjelmassa.....	30
Kuvio 17. Ilmanvaihtokoneen määritysikkuna IDA ICE -ohjelmassa	30
Kuvio 18. Vuotoilmavirran määritysikkuna IDA ICE -ohjelmassa	31
Kuvio 19. Kylmäsiltojen määritysikkuna IDA ICE -ohjelmassa	32
Kuvio 20. Lämpimän käyttöveden kulutuksen ja lämpöhäviön määritysikkuna IDA ICE -ohjelmassa.....	33
Kuvio 21. Simuloinnin valintaikkuna IDA ICE -ohjelmassa.....	34
Kuvio 22. Lämpötilanhallinnan kannalta vaikein asunto 3D-mallina.....	36
Kuvio 23. Versio-puu IDA ICE -ohjelmassa	38

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Rakennusten ja tilojen käyttötarkoituseroittelu	4
Taulukko 2. Lämmityskauden huonelämpötilan tilakohtaisia ohjearvoja tiloille, joiden huonelämpötilan suunnitteluarvo ei ole 21 °C.....	5
Taulukko 3. Kesäajan huonelämpötilan laskennassa käytettävät jäähdytyksen raja-arvot.....	6
Taulukko 4. Rakennuksen standardikäyttö ja sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti.....	6
Taulukko 5. Pinnoille ominaisia heijastuskertoimia sekä heijastuskertoimen oletusarvo	8
Taulukko 6. Ohjearvoja viivamaisen kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille ulkoseinän ja yläpohjan, ulkoseinän ja välipohjan sekä ulkoseinän ja alapohjan välisissä liitoksissa	9
Taulukko 7. Ohjearvoja viivamaisen kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille ulkoseinien välisissä nurkkaliitoksissa sekä ikkuna- ja oviliitoksissa	9
Taulukko 8. Ohjearvot viivamaisen kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille liitoksissa, joille ei ole annettu erillistä arvoa taulukoissa 6 ja 7	10
Taulukko 9. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutuksia ja niitä vastaavia lämmitysenergian nettotarpeita lämmitettyä nettoalaa kohti	11
Taulukko 10. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon ja siihen kytkettyjen lämmityslaitteiden lämpöhäviöiden ominaistehot	12
Taulukko 11. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon ominaispitouksia	13
Taulukko 12. Tyypillisiä lämpökuormien suunnitteluarvoja	13
Taulukko 13. Käyttötarkoituksen mukainen henkilötiheys.....	14
Taulukko 14. 2. kerroksen asuntojen olohuoneiden ja makuuhuoneiden astetuntien lukumäärät simulointiajanjaksolla, jolloin huoneen lämpötila on yli 27 °C	34
Taulukko 15. 3. kerroksen asuntojen olohuoneiden ja makuuhuoneiden astetuntien lukumäärät simulointiajanjaksolla, jolloin huoneen lämpötila on yli 27 °C	35
Taulukko 16. 4. kerroksen asuntojen olohuoneiden ja makuuhuoneiden astetuntien lukumäärät simulointiajanjaksolla, jolloin huoneen lämpötila on yli 27 °C	35
Taulukko 17. 5. kerroksen asuntojen olohuoneiden ja makuuhuoneiden astetuntien lukumäärät simulointiajanjaksolla, jolloin huoneen lämpötila on yli 27 °C	35
Taulukko 18. Otteita vertailun tuloksista	39

1 JOHDANTO

Suomen rakentamismääräyskokoelma uudistui vuonna 2012 rakennusten energiamääräysten osalta. Uusissa energiamääräyksissä uudisrakennuksilta vaaditaan kesäajan lämpötilanhallinnan määräystenmukaisuuden osoittaminen energiaselvityksen lisänä. Lämpötilanhallinnan tarkastelun tarkoituksena on estää rakennuksen asuinmukavuuden heikkeneminen energiavaatimusten tiukentuessa.

Ennen viimeisimmän määräysuudistuksen voimaantuloa energiamääräyksiä on tiukennettu säännöllisesti, mutta kesäajan lämpötilanhallinnasta ei ole annettu määräystä, ainoastaan kehoitus tehdä arvio kesäaikaisesta huonelämpötilasta. Tämä arvio on aikaisemmin laskettu kuukausitason laskentamenetelmällä, joka ei ota huomioon rakenteiden kykyä sitoa lämpöä.

Asuinkerrostalorakentamisessa muutoksia varsinaisessa rakentamistavassa tapahtuu hyvin vähän. Rakennuttajat rakentavat kerrostaloja ”jonossa” samalla kaavalla. Miten uudistuneet energiamääräykset ovat ohjanneet kerrostalorakentamista? Ovatko uudet määräykset pakottaneet rakennuttajia parantamaan lämpötilanhallinnan suojausratkaisuja myös tavallisissa asuinkerrostaloissa? Täyttääkö, ennen uusien määräysten voimaantuloa, rakenteille lähtenyt kerrostalo nykyisten määräysten lämpötilavaatimukset?

2 KESÄAJAN LÄMPÖTILANHALLINNAN LASKENTA

2.1 Määräykset ja ohjeet

Uudisrakennuksen kesäajan lämpötilalta vaaditulla määräysten mukaisuuden osoituksella havainnollistetaan rakennuslupavaiheessa suunnitteluratkaisun kesäajan laskennallinen huonelämpötilojen vaatimustenmukaisuus tilojen standardikäytöllä ja säällä. (RakMK 2012b, 6.)

Määräyksissä rakennukset jaotellaan taulukon 1 mukaisiin luokkiin. Rakennuksille, jotka kuuluvat luokkiin yksi ja yhdeksän, ei kesäajan lämpötilalaskentaa tarvitse suorittaa. (RakMK 2012b, 3, 10.)

Taulukko 1. Rakennusten ja tilojen käyttötarkoitukseluokkajaottelu (RakMK 2012b, 3)

Luokka 1	Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot
Luokka 2	Asuinkerrostalot
Luokka 3	Toimistorakennukset
Luokka 4	Liikerakennukset
Luokka 5	Majoitusliikerakennukset
Luokka 6	Opetusrakennukset ja päiväkodit
Luokka 7	Liikuntahallit pois lukien uima- ja jäähallit
Luokka 8	Sairaalat
Luokka 9	Muut rakennukset

Tämän luokkajaon lisäksi määräykset eivät koske eräitä tuotantorakennuksia, joissa tuotantoprosessi itsessään luovuttaa suuren määrän lämpöenergiaa sekä rakennuksia, joiden lämmitetty nettoala on enintään 50 m². Kesäajan lämpötilalaskelmaa ei tarvitse suorittaa maatalousrakennuksille, jotka on suunniteltu muuhun kuin asuinkäyttöön ja joissa energiankäyttö on vähäinen sekä kasvihuoneille, väestönsuojille tai muille rakennuksille, joiden käyttö tarkoitukseensa vaikeutuisi kohtuuttomasti. Lisäksi loma-asunnot, joihin ei ole suunniteltu kokovuotiseen käyttöön tarkoitettua lämmitysjärjestelmää sekä määräaikaisten rakennukset, jotka on valmistettu ennen määräysten voimaantuloa ja joiden käyttötarkoitus ei oleellisesti muutu on laskettu määräysten ulkopuolelle. (RakMK 2012b, 3.)

Rakennus pitää suunnitella ja rakentaa siten, etteivät tilat lämpene haitallisesti. Liiallisen lämpenemisen estämiseksi tulisi käyttää ensisijaisesti rakenteellisia ja muita passiivisia keinoja sekä yöllä tehostettua ilmanvaihtoa. Muilla passiivisilla keinoilla tarkoitetaan tässä tapauksessa esimerkiksi auringonsuojusratkaisuja, lasipintojen kokoa ja suuntausta sekä rakennuksen massoitteita. (RakMK 2012b, 9–10.)

Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 21 °C. Taulukossa 2 on esitetty poikkeavia suunnittelun huonelämpötiloja erilaisille tilatyypeille. Taulukon arvoja käytettäessä tulee kuitenkin huomioida viereiset tilat siten, että niiden viihtyisyys ei heikkene. (RakMK 2012a, 6.)

Taulukko 2. Lämmityskauden huonelämpötilan tilakohtaisia ohjearvoja tiloille, joiden huonelämpötilan suunnitteluarvo ei ole 21 °C (RakMK 2012a, 6)

Tila	Huonelämpötila [°C]
Porrashuone	17
Kylpyhuone	22
Kuivaushuone	24
Myymälä	18
- myymälän kiinteä työpiste	21
Liikuntahalli	18
Kirkkosali	18
Tehdashalli, keskiraskas työ	17
Autokorjaamo, katsastustilat	17
Hissikuilu	17

Kesäajan huonelämpötilalle on asetettu jäähdytysrajan arvot, jotka on esitetty taulukossa 3. Kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää näitä arvoja enempää kuin 150 astetuntia 1. kesäkuuta ja 31. elokuuta välisenä aikana säävyöhykkeen yksi säätiedoilla ja taulukossa 4 esitetyillä sisäisillä lämpökuormilla laskettuna. (RakMK 2012b, 9–10, 18.)

Taulukko 3. Kesäajan huonelämpötilan laskennassa käytettävät jäähdytyksen raja-arvot (RakMK 2012b, 18)

Käyttötarkoitukseluokka	Jäähdytysraja [°C]
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	27
Asuinkerrostalo	27
Toimistorakennus	25
Liikerakennus	25
Majoitusliikerakennus	25
Opetusrakennus ja päiväkoti	25
Liikuntahalli	25
Sairaala	25

Taulukko 4. Rakennuksen standardikäyttö ja sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti (RakMK 2012b, 19–20)

Käyttötarkoitukseluokka	Kellon-aika ^d	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset ^a
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00–24:00	24	7	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Asuinkerrostalo	00:00–24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Toimistorakennus	07:00–18:00	11	5	0,65	12 ^c	12	5
Liikerakennus	08:00–21:00	13	6	1	19 ^c	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00–24:00	24	7	0,3	14 ^c	4	4
Opetusrakennus ja päiväkoti	08:00–16:00	8	5	0,6	18 ^c	8	14
Liikuntahalli	08:00–22:00	14	7	0,5	12 ^c	0	5
Sairaala	00:00–24:00	24	7	0,6	9 ^c	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c ohjearvo uudisrakennukselle ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erilliselvitys energialaskennan lähtötietojen osana

d ilmanvaihdon käyntiaika saadaan rakennuksen käyttöajasta niin, että ilmanvaihto käynnistetään yksi tunti ennen rakennuksen käyttöajan alkua ja kytketään käyttöajan ulkopuoliseen tilaan yksi tunti käyttöajan päättymisen jälkeen lukuun ottamatta jatkuvasti käytettäviä rakennuksia

Kesäajan lämpötilahallinnan laskennassa käytettävät säävyöhykkeen I sää-tiedot perustuvat Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemien mittauksiin Vantaalla Helsinki-Vantaan lentoasemalla. Tämä säävyöhyke on valittu laskentaan koko maassa, koska kolme neljäsosaa Suomen rakennuskannasta sijaitsee vyöhykkeiden yksi ja kaksi alueella. (Ympäristöministeriö 2011.)

Kesäajan lämpötilan vaatimuksenmukaisuus osoitetaan tekemällä laskelma erilaisille tilatyypeille, joissa on eniten lämpökuormaa. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi etelä- ja länsijulkisivujen tilat tai pienet asunnot. Tällaisia voivat olla myös tilat, joissa on suuria lasipintoja tai laitekuormia. Asuinkerrostaloissa lämpötilalaskelma tehdään vähintään yhdelle olohuoneelle ja yhdelle makuuhuoneelle, joissa on suurimmat lämpökuormat. Nämä huoneet eivät välttämättä sijaitse samassa asunnossa. Muissa rakennuksissa lämpötilalaskelma tehdään yhdelle jokaisen tilatyyppin huoneelle kuten esimerkiksi opetustila, toimistotila jne. (RakMK 2012b, 10.)

Kesäajan lämpötilan hallinnan laskelmat tulee suorittaa dynaamisella laskentatyökalulla, jonka lämmönsiirron laskenta ottaa huomioon rakenteiden lämmönvarausominaisuuden ajasta riippuvaisena. (RakMK 2012b, 27.)

2.2 Laskennassa huomioitavaa

2.2.1 Muodot, rakenteet ja pinnat

Rakennuksen muoto, naapurirakennukset ja ulkoalueet vaikuttavat rakennuksen lämpötilaolosuhteisiin minkä vuoksi ne tulisi huomioida olosuhdesimulointia tehtäessä. Rakennuksessa itsessään olevat rakenteet kuten parvekkeet, ikkunalipat ja säleiköt varjostavat rakennusta ja siten antavat suojaa auringon lämmöltä. Myös viereiset rakennukset ja kasvillisuus kuten puut ja pensaat muodostavat suojan auringon säteilyltä. Kaikki tällaiset varjostavat elementit on mahdollista ottaa simuloinnissa huomioon varjostavina elementteinä. Myös ulkotilojen pinnat voidaan huomioida laskennassa heijastavina elementteinä. Esimerkiksi asfalttipinta heijastaa lämpösäteilyä vähemmän kuin vaikkapa kirkas ruoho. Taulukossa 5 on kerrottu heijastuskerroimet eri pinnoille sekä oletusarvo, jota on mahdollista käyttää laskennassa. (Ympäristöministeriö 2012, 10–11.)

Taulukko 5. Pinnoille ominaisia heijastuskertoimia sekä heijastuskertoimen oletusarvo (Ympäristöministeriö 2012, 11)

Pinta	Heijastuskerroin
Oletuskero	0,2
Asfaltti	0,1
Murskattu kivi	0,2
Kirkas ruoho	0,25
Uusi betoni	0,32
Vanha betoni	0,22

Rakennuksen rakenteesta huomioon otetaan suunnitelmien mukaiset ominaisuudet, kuten rakenteiden tyypit, u-arvot ja massiivisuus. Rakenteen ilmanpitävyyden arvo otetaan suunnitelmien mukaisena huomioon, jolloin arvo on vakio, joka ei ota tuulenpainetta huomioon. Ovien ja ikkunoiden tyypit, u-arvot, g-arvot sekä karmin osuus ikkunoista tulee myös ottaa laskentatietoihin mukaan. Ikkunoiden karmin osuudesta ikkuna-aukosta voidaan ottaa suunnitelmien mukaisena huomioon, jolloin on esitettävä laskelma, joka osoittaa karmin prosentuaalisen osuuden. Jos tällaista laskelmaa ei haluta esittää, voidaan ikkunoissa oletusarvona käyttää 10 % ikkuna-aukosta. Huomioitavaa on myös sekä ovien että ikkunoiden lasin sijainti rakenteen syvyys suunnassa. Kuitenkaan avattavien rakenteiden, kuten tuuletusikkunat, ikkunat ja parvekeovet, avattavuutta ei saa huomioida ilmanvaihdon tehostavana elementtinä. Huoneistoissa olevat väliovet voidaan laskennassa pitää avoimina jolloin tilojen lämpötilaerot tasaantuvat. (Ympäristöministeriö 2012, 10–11.)

Rakennuksen ilmanvuotolukuna käytetään vertailulämpöhäviön laskennassa lukua $2,0 \text{ m}^3/\text{h m}^2$. Vuotoilmavirta $q_{v,vuotoilma}$ [m^3/s] lasketaan kaavalla 1. (RakMK 2012b, 14, 23)

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaiippa} \quad (1)$$

missä

q_{50} on rakennusvaipan ilmanvuotoluku [$\text{m}^3/\text{h m}^2$]
 $A_{vaiippa}$ on rakennusvaipan pinta-ala [m^2]

x on kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 sekä viisikerroksisille ja korkeammille rakennuksille 15

3600 on kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä m³/h yksikköön m³/s.

Rakenteiden kylmäsillat huomioidaan suunnitelmien mukaisina. Jos suunniteluarvoja ei ole käytettävissä, voidaan käyttää taulukoissa 6–8 esitettyjä arvoja. Sellaiset rakenteiden väliset liitokset, joille ei löydy arvoa näistä taulukoista, voidaan jättää laskennassa huomioimatta. (RakMK 2012c, 16–17.)

Taulukko 6. Ohjearvoja viivamaisen kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille ulkoseinän ja yläpohjan, ulkoseinän ja välipohjan sekä ulkoseinän ja alapohjan välisissä liitoksissa (RakMK 2012c, 17)

Ulkoseinä- materiaali	Lisäkonduktanssi [W/mK]									
	Yläpohjan (ulkonurkka) runkomateriaali			Välipohjan runkomateri- aali			Alapohjan runkomateriaali			
	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni, maan vast.	betoni, ryöm. tila	kevytbe- toni, ryöm. tila	puu, ryöm. tila
betoni	0,08	–	0,04	0,00	–	–	0,24	0,28	–	–
kevytbetoni	0,18	0,06	0,04	0,10	0,00	–	0,09	0,08	0,03	–
kevytsora- betoni	0,13	–	0,04	0,07	–	–	0,15	0,11	–	–
tiili	0,08	–	0,04	0,00	–	–	0,17	0,06	–	–
puu	–	–	0,05	–	–	0,05	0,10	–	–	0,06
hirsi	–	–	0,04	–	–	0,00	0,11	–	–	0,09

Taulukko 7. Ohjearvoja viivamaisen kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille ulkoseinien välisissä nurkkaliitoksissa sekä ikkuna- ja oviliitoksissa (RakMK 2012c, 17)

Liitos	Lisäkonduktanssi [W/mK]					
	Ulkoseinän runkomateriaali					
	betoni	kevytbetoni	kevytsorabetoni	tiili	puu	hirsi
ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05
ikkuna- ja oviliitos, lämmöneristeen kohdalla *)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
ikkuna- ja oviliitos, muussa tapauksessa	0,15	0,07	0,10	0,10	0,07	0,07

*) Karmi peittää vähintään 40 % lämmöneristeen kokonaispaksuudesta.

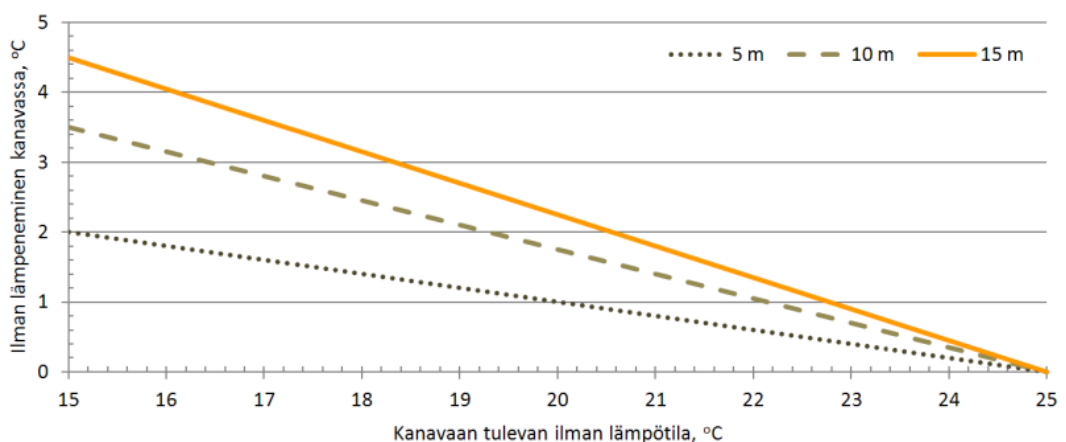
Taulukko 8. Ohjearvot viivamaisen kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille liitoksissa, joille ei ole annettu erillistä arvoa taulukoissa 6 ja 7 (RakMK 2012c, 16–17)

Liitos	Lisäkonduktanssi [W/mK]
ulkoseinän ja yläpohjan liitos	0,3
ulkoseinän ja alapohjan liitos	0,5
ulkoseinän ja välipohjan liitos	0,2
ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	0,1
ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	-0,1
ikkuna- ja oviliitos	0,2

Ikkunoissa olevat auringonsuojaratkaisut otetaan laskennassa huomioon olettaen, että ne ovat käytössä koko tarkastelujakson ajan. Esimerkiksi sälekaihtimet lasketaan olevan 45 asteen kulmassa aurinkoa vasten ja 100 %:n peittoasteella. Myös parvekelasitukset huomioidaan suunnitelmien mukaisina ja jos lasit ovat avattavia, ne voidaan olettaa olevan tarkasteluajana koko ajan auki. (Ympäristöministeriö 2012, 11.)

2.2.2 Talotekniikka ja sisäiset lämpökuormat

Kesäajan lämpötilan hallinnan tarkastelussa talotekniikan järjestelmät ja niiden ohjaus huomioidaan suunnitelmien mukaisina. Ilmanvaihdon tehostusta voidaan käyttää laskennassa yllämpenemisen hallinnan keinona, jos tehostus ei ylitä äänitason normaalin käyttöajan ohjearvoja. Laskennassa otetaan myös huomioon ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen puhaltimessa ja kanavistossa. (Ympäristöministeriö 2012, 11–12.)



Kuvio 1. Ilman lämpeneminen sisätilassa (sisälämpötila +25 °C) kulkevassa eristämättömässä kanavassa eri kanavapituuksilla (5, 10 ja 15 metriä) kanavaan tulevan ilman lämpötilafunktiona (Ympäristöministeriö 2012, 12)

Laskelmin voidaan osoittaa ilman lämpeneminen verkostossa, mutta jos tällaista laskelmaa ei haluta esittää, käytetään oletuksena +1 °C puhaltimelle ja +1 °C tai kuvion 1 mukaisesti kanavistolle. Kanaviston aiheuttamaa lämpenemistä ei tarvitse ottaa huomioon jos kanavisto on lämpöeristetty. Ilmanvaihdon käyttöaika saadaan taulukon 4 mukaisesti ja lämmön talteenotto sekä jälkilämmityspatteri huomioidaan suunnitelmien mukaisilla arvoilla ja asetusarvoilla. (Ympäristöministeriö 2012, 11–12.)

Lämmitysjärjestelmistä päälämmitysjärjestelmää ei tarvitse ottaa laskennassa huomioon, jos se ei ole kesäkaudella käytössä. Muista järjestelmistä huomioidaan esimerkiksi yläkerran lattialämmityksen häviöt, jos rakenteissa ei ole lämpöeristeitä, käyttövesipatterien tuomat lämpökuormat, mukavuuslattialämmityksen aiheuttama lämpökuorma, lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt tarkasteltavaan tilaan sekä muut mahdolliset järjestelmien aiheuttamat lämpökuormat. Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpökuormista 50 % huomioidaan tilaan tulevana lämpökuormana, jollei laskelmin tarkemmin osoiteta muuta. Taulukossa 9 on esitetty lämpimän käyttöveden ominaiskulutuksia ja lämmitysenergian nettokulutuksia eri rakennustyypeille (Ympäristöministeriö 2012, 12; RakMK 2012b, 20–21.)

Taulukko 9. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutuksia ja niitä vastaavia lämmitysenergian nettotarpeita lämmitettyä nettoalaa kohti (RakMK 2012b, 21)

Käyttötarkoitukseluokka	LKV:n ominaiskulutus [l/m ² a]	Lämmitysenergia [kWh/m ² a]
Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalot, asuinkerrostalo	600	35
Toimistorakennus	103	6
Liikerakennus	68	4
Majoitusliikerakennus	685	40
Opetusrakennus ja päiväkot	188	11
Liikuntahalli	343	20
Sairaala	515	30

Lämpimän käyttöveden kierron aiheuttamat lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 2. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon ja siihen liitettyjen laitteiden ominais-tehojen ohjearvot on esitetty taulukossa 10 ja näitä voidaan käyttää laskennassa, jos tarkempaa tietoa ei ole käytettävissä. Lämpimän käyttöveden kierto-vesipumpun käyttöaikana käytetään arvoa 24 h/vrk. Taulukossa 11 esitetty-

jä rakennustyypikohtaisia lämpimän käyttöveden kiertojohdon ominaispi-
tuuksia lämmitettyä nettoalaa kohti käytetään laskennassa, mikäli yksityis-
kohtaisempi tieto puuttuu. (RakMK 2012c, 42–43.)

$$Q_{lkv,kierto} = \left(\Phi_{lkv,kiertohäviö,omin} * L_{lkv} + \Phi_{lkv,lämmitys,omin} * n_{lämmityslaitte} \right) * \frac{t_{lkv,pumppu} * 365}{1000} \quad (2)$$

missä

$Q_{lkv,kierto}$	on	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöpöhäviö [kWh/a]
$\Phi_{lkv,kiertohäviö,omin}$	on	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöpöhäviön ominaisteho [W/m]
L_{lkv}	on	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus [m]
$\Phi_{lkv,lämmitys,omin}$	on	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho [W/kpl]
$n_{lämmityslaitte}$	on	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä [kpl]
$t_{lkv,pumppu}$	on	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika [h/vrk].

Taulukko 10. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon ja siihen kytkettyjen lämmityslaitteiden lämpöpöhäviöiden ominaistehot (RakMK 2012c, 43)

Eristystaso	Kiertojohdon lämpöpöhäviön ominaisteho $\Phi_{lkv,kiertohäviö,omin}$
ei tietoa	40 W/m
0,5 D	10 W/m
1,5 D	6 W/m
suojaputki	15 W/m
suojaputki + 0,5 D	8 W/m
suojaputki + 1,5 D	5 W/m
Lämmityslaitteiden lukumäärä	Kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho
lukumäärä ei tiedossa	lisäys kiertojohdon lämpöpöhäviön ominaistehoon $\Phi_{lkv,kiertohäviö,omin} + 40$ W/m
lukumäärä tiedossa	$\Phi_{lkv,lämmitys,omin} = 200$ W/kpl

Taulukko 11. Lämpimän käyttöveden kiertojohton ominaispituuksia (RakMK 2012c, 43)

Rakennustyyppi	Kiertojohton ominaispituus [m/m ²]
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalot	0,043
Asuinkerrostalo	0,043
Toimistorakennus	0,020
Liikerakennus	0,020
Majoitusliikerakennus	0,043
Opetusrakennus ja päiväkoti	0,020
Liikuntahalli	0,020
Sairaala	0,043

Sisäiset lämpökuormat huomioidaan taulukon 4 mukaisina standardikäytön vakiokuormina tai suunnitellun käytön käyttöprofiilina, jonka tulee olla kuitenkin kokonaiskuormaltaan yhtä suuri kuin taulukossa 4 esitetty standardikuorma. Taulukossa 12 on esitetty esimerkkejä eri tilatyypeille käytetyistä suunnitellun käytön lämpökuormista ja käyttöarvoista. (Ympäristöministeriö 2012, 13, 15.)

Taulukko 12. Tyypillisiä lämpökuormien suunnitteluarvoja (Ympäristöministeriö 2012, 15)

Tilatyyppi	Lämpökuorma	Käyttöaika	Lämpökuorma
Olohuone	Valaistus	ma-su 07-08 ja 18-22	80 W
	Kuluttajalaitteet	ma-su 07-08 ja 18-22	250 W
	Ihmiset	ma-su 07-08 ja 18-22	Makuuhuoneiden lukumäärä +1
Makuuhuone	Valaistus	ma-su 07-08 ja 21-22	40 W
	Kuluttajalaitteet	-	-
	Ihmiset	ma-su 22-07	1 tai 2 hlö
Toimistohuone	Valaistus	ma-pe 08-17	12 W/m ²
	Kuluttajalaitteet	ma-pe 08-17	15 W/m ²
	Ihmiset	ma-pe 08-17	0,1 hlö/m ²
Avotoimistotila	Valaistus	ma-pe 08-17	12 W/m ²
	Kuluttajalaitteet	ma-pe 08-17	15 W/m ²
	Ihmiset	ma-pe 08-17	0,12 hlö/m ²
Neuvotteluhuone	Valaistus	ma-pe 09-11 ja 12-16	12 W/m ²
	Kuluttajalaitteet	ma-pe 09-11 ja 12-16	5 W/m ²
	Ihmiset	ma-pe 09-11 ja 12-16	0,3 hlö/m ²
Päiväkoti	Valaistus	ma-pe 08-16	18 W/m ²
	Kuluttajalaitteet	ma-pe 08-16	8 W/m ²
	Ihmiset	ma-pe 08-16	0,2 hlö/m ²
Luokkahuone	Valaistus	ma-pe 08-16	18 W/m ²
	Kuluttajalaitteet	ma-pe 08-16	8 W/m ²
	Ihmiset	ma-pe 08-16	0,2 hlö/m ²

Henkilöstä aiheutuva lämpökuorma voidaan laskea, joko taulukossa 4 esitetyllä neliöperustaisella tavalla tai vaihtoehtoisesti taulukossa 13 esitetyllä henkilötiheyteen perustuvalla tavalla. Jos käytetään jälkimmäistä menetelmää, henkilön kokonaislämmönluovutuksena käytetään yleensä 125 W. Kuiva lämpökuorma, joka ei sisällä kosteaa lämmönsiirtoa, saadaan kertomalla kokonaislämmönluovutus luvulla 0,6. Lasten kokonaislämmönluovutuksena voidaan käyttää 110 W, kun suunnitellun käytön käyttöprofiileja esimerkiksi kouluille ja päiväkodeille. Tällöin on kuitenkin huomioitava, että kokonaislämmönluovutus on yhteensä vähintään taulukon 4 mukainen. (Ympäristöministeriö 2012, 15.)

Taulukko 13. Käyttötarkoituksen mukainen henkilötiheys (Ympäristöministeriö 2012, 15)

Käyttötarkoitukseluokka	Henkilötiheys [hlö/m ²]
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	1/43
Asuinkerrostalo	1/28
Toimistorakennus	1/17
Liikerakennus	1/43
Majoitusliikerakennus	1/21
Opetusrakennus ja päiväkot	1/5
Liikuntahalli	1/17
Sairaala	1/11

2.3 Simulointiohjelmista

MagiCAD Room

MagiCAD Room on AutoCAD-pohjainen mallinnusohjelma, jolla voidaan luoda yksinkertaisesti rakennusten tai tilojen kolmiulotteisia malleja. MagiCAD Room:illa voidaan suorittaa rakennuksen/tilan lämmitystarpeen laskenta sekä pinta-ala- ja tilavuuslaskelmat. Lisäksi MagiCAD Room mahdollistaa tilakohtaisten määräluetteloiden luomisen. MagiCAD Room:ssa luodun mallin voi tallentaa useille eri tiedostoformaateille, joista yleisimmin käytetty on ifc-malli. (Progman Oy 2014.)

IDA Indoor Climate and Energy

IDA Indoor Climate and Energy, eli IDA ICE, on simulointiohjelma, jolla voidaan mallintaa niin itse rakennus kuin siinä olevat järjestelmät sekä niiden ohjaukset. IDA ICE -ohjelma on suunniteltu simuloimaan dynaamisesti useita vyöhykkeitä kerrallaan. Ohjelmalla voidaan tutkia muun muassa sisäilmaston lämpötilan käyttäytymistä sekä energian kulutusta koko rakennuksen osalta. (EQUA Simulation AB.)

3 SIMULOINTI ESIMERKKIKOHTEELE

3.1 Lähtötiedot

Kesäajan lämpötilan hallinnan laskentavertailun esimerkkikohteena on Rovaniemelle vuonna 2013 valmistunut viisikerroksinen asuinkerrostalo, jossa kaikki kerrokset sijaitsevat katutasen yläpuolella. Kohteen ensimmäisessä kerroksessa sijaitsevat autotallit (17 kpl), väestönsuoja, huoneistovarastot (46 kpl), ulkoiluvälinevarastot (2kpl), kuivaushuone, sähköpääkeskukset (2 kpl), lämmönjakuhuone, siivouskomero sekä sisääntuloaula. Neljä ylintä kerrosta sisältävät asuinhuoneistoja, joita on yhteensä 46 kappaletta. Rakennuksen kokonaispinta-ala on 3800 m² ja huoneistoala 2468 m².

Alapohjarakenteet

Rakennuksen alapohjan rakenteen sisemmän alueen U-arvo on 0,16 W/m²K ja ulomman reuna-alueen U-arvo on 0,17 W/m²K. Rakennekerrokset sisäpinnalta lueteltuna ovat:

- pintakäsittely ja materiaali
- 80 mm (autotallit 100 mm, väestönsuoja 150 mm) teräsbetoni-laatta
- kuitukangas
- 120 (1m levyisellä ulommalla reuna-alueella 190 mm) solupolystyreeni levy, $\lambda_d = 0,041$ W/mK
- 300mm tiivistetty ja pesty sepeli 6...32 mm, salaojitettu
- suodatinkangas
- routimaton soratäyttö
- perusmaa.

Seinärakenteet

Kohteen normaalin ulkoseinän U-arvo on 0,16 W/m²K ja rakenne sisältä ulos lueteltuna on:

- pintakäsittely
- 140 mm teräsbetoninen sisäkuori
- 240 mm ristiin uritettu urasuojattu vuorivillalevy, Paroc cos 5ggt, $\lambda_d = 0,035$ W/mK
- 90 mm teräsbetoninen ulkokuori.

Ulkoseinän rakenne väestönsuojan kohdalla on paksumpi kuin muualla. Tällöin ulkoseinän U-arvo on $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja rakenne sisältäpäin:

- pintakäsittely
- 300 mm teräsbetoniseinä
- 150 mm solupolyuretaanilevy, esim. SPU-AL, $\lambda_d = 0,023 \text{ W/mK}$
- 40 mm asennusvara
- 100 mm teräsbetoninen ulkokuori.

Kantavat väliseinät rakennuksessa ovat 180 mm paksuja teräsbetoniseiniä. Löylyhuoneiden viereisiin kantaviin väliseiniin on löylyhuoneen puolelle lisätty seuraavat rakennekerrokset:

- 50 mm runko 50x50 k600 ja mineraalivilla 50 mm, esim. Paroc Extra
- alumiiniviivistyspaperi, saumat 200 mm limittäin ja teippaus
- 25 mm koolaus 25x100 k600, tuuletettu ilmatila
- verhouspaneeli ja pintakäsittely.

Kevyet väliseinät on rakennettu seuraavalla rakenteella:

- pintakäsittely
- 13 mm kipsilevy
- vesieristys (vain pesuhuoneet)
- 66 mm kertopuuranka 39x66 k600 (laatoitettavilla seinillä k400), pesuhuoneen seinissä mineraalivilla 50 mm, esim. Paroc Extra
- 13 mm kipsilevy
- pintakäsittely.

Pesuhuoneen ja löylyhuoneen välisten kevyiden väliseinien rakenne on:

- keraaminen laatta
- vesieristys
- 13 mm kipsilevy
- 66 mm kertopuuranka 39x66 k400 ja mineraalivilla 50mm, esim. Paroc Extra, pesuhuoneen puolella 16 mm paineentasausrako
- 22 mm vaakakoolaus 22x50 k600, tuuletettu ilmatila
- alumiiniviivistyspaperi, saumat 200 mm limittäin ja teippaus
- pystykoolaus 22x50 k600, tuuletettu ilmatila
- verhouspaneeli ja pintakäsittely.

Kellarikerroksen palo-osastoivat (EI60) kevyet väliseinät ovat rakenteeltaan:

- pintakäsittely
- 13 mm kipsilevy
- 13 mm kipsilevy
- 66 mm kertopuuranka 39x66 k600 ja mineraalivilla 50 mm, A2-s1, d0
- 13 mm kipsilevy
- 13 mm kipsilevy
- pintakäsittely.

Välipohjarakenteet

Välipohjarakenteen rakenne yläpinnalta lueteltuna on seuraava:

- 15 mm pintamateriaali
- 10 mm työvara
- 240 mm teräsbetoniaatta
- pintakäsittely tai alaslasku.

Väestönsuojan yläpuolinen välipohja poikkeaa rakenteeltaan normaalista ja on ylhäältäpäin lueteltuna seuraavan lainen:

- 15 mm pintamateriaali ja -käsittely
- 85 mm teräsbetoniaatta
- kuitukangas
- 280 mm solupolystyreenilevy
- 320 mm teräsbetoniaatta
- pintamateriaali tai -käsittely.

Myös välipohja autotallien kohdalla poikkeaa normaalista välipohjarakenteesta. Tällöin välipohja ylhäältä luettuna on seuraava:

- 15 mm pintamateriaali ja -käsittely
- 10 mm työvara
- 240 mm teräsbetoniaatta
- 66 mm koolaus 44x66 k400
- vuorivilla 70 mm, esim. Paroc COS 10
- 13 mm kipsilevy
- pintakäsittely.

Yläpohja rakenteet

Yläpohjarakenteen U-arvo on $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja rakennekerrokset sisältäpäin:

- pintakäsittely tai alaslasku
- teräsbetoni-laatta
- 500 mm puhallusvilla, esim. Isover-PUH, $\lambda_d = 0,045 \text{ W/mK}$
- 50mm reuna-alueilla tuulensuojamineraalivillalevy 1,2 m:n leveydelle tai tuulenohjauslevy 1200 mm, esim. Tuulileijona
- tuuletettu ilmatila
- puiset kattorakenteet
- 23 mm raakapontti 23x95, jatkoksen tuella.

Kattokaltevuudet ovat 1:40 ja 25° .

Ovet ja ikkunat

Tuulikaapin ulko-ovi ja tuulikaapin ja porrashuoneen välinen ovi sekä lämmönjakohuoneen ja ulkoiluvälinevaraston ovet ovat rungoltaan lämpökarkaitua alumiiniprofiilia. Tuulikaapin ulko-ovessa on kaksinkertaiset lasit, joissa eristyslementti on turvalasia. Tuulikaapin ja porrashuoneen välisen oven lasit ovat 1-kertaista turvalasia. Lämmönjakohuoneen ja ulkoiluvälinevaraston ovet ovat umpiovia. Autotallien nosto-ovet ovat uretaanieristeisiä ja niissä on galvanoidut teräspinnoitteet molemmin puolin.

Väestönsuojan ovi ja luukku ovat S1-luokan suojauksella varustettuja ovia. Puupalo-ovia (EI30) on käytetty ulkoiluvälinevarastossa, kellarissa porrashuoneen ja käytävien välillä, kuivaushuoneessa, autotalleissa, sähköpääkeskuksissa sekä porrashuoneen sähköroiloissa. Asuntojen ja porrashuoneen väliset ovet ovat kaksilehtisiä huullettuja laakaovia (EI15). Loput välivet ovat yksilehtisiä huullettuja laakaovia paitsi saunan ovi, joka on kokolasin väliovi turvalasilla. Parvekkeiden ovet ovat 1-lehtisiä ulospäin aukeavia ns. puu-alumiiniovia.

Tuulikaapin suuret ikkunat ovat metallirakenteisia. Tuulikaapin ulkoikkuna on kolminkertaisella kiinteällä eristyslementillä ja turvalasilla varustettu ikkuna. Tuulikaapin ja porrashuoneen välinen ikkuna on 1-kertaista turvalasia. Loput ikkunat ovat ns. puu-alumiini-ikkunoita, joiden U-arvo on $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ikkunoissa, joiden korkeus on 1900 mm, on turvalasi. Ikkunat on asennettu ulko-

seinään siten, että mitta ulkoseinän ulkopinnasta ikkunan ulkopintaan on 100 mm.

LVI-järjestelmät

Rakennus on liitetty kaukolämpöverkkoon. Rakennuksessa on vesikiertoinen radiaattorilämmitys 70/40 °C lämpötiloilla. Patteriverkoston pumppu pysähtyy kun ulkolämpötila kohoaa yli +17 °C asteen. Rakennuksen käyttövesi lämmitetään myös kaukolämmöllä. Lämpimän käyttöveden pumppu käy ympäri vuoden ja kiertojohto on eristetty eristyspaksuudella 1,5 D. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon ei ole yhdistetty lämmityslaitteita.

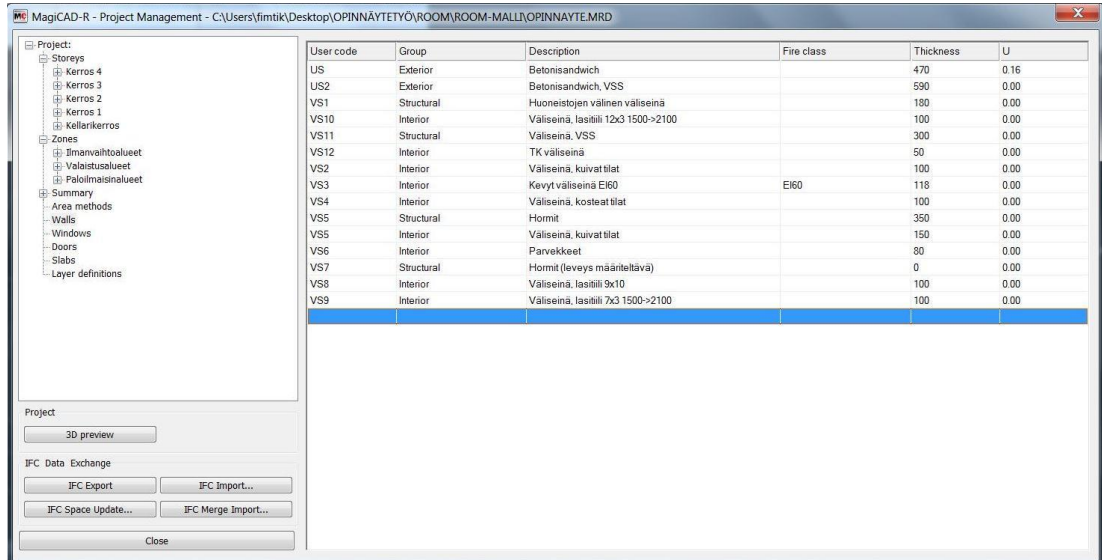
Rakennuksen asuinhuoneistot on varustettu huoneistokohtaisilla tulo- ja poistoilmanvaihtokoneilla, joissa on liesikupuliitääntä. Laitteissa on levylämmöntalteenotto, jossa on automaattinen kesäohitus sekä keittiöohitus. Puhaltimet ovat tasavirtapuhaltimia, joissa on kolme säätöastetta: poissa, normaalitila sekä tehostus. Asuinhuoneistojen tuloilmakanavistoja ei ole lämpöeristetty, mutta sekä tulo, että poistoilmakanavistoissa on äänenvaimentimet.

3.2 Kolmiulotteisen mallin luominen

Kohteesta on käytettävissä kaksiulotteiset arkkitehti- ja rakennesuunnitelmat, joiden pohjalta rakennuksesta mallinnetaan kolmiulotteinen malli. Mallinnuksen voi tehdä millä tahansa mallinnusohjelmalla, jolla mallin voi muuntaa yleisimmin käytössä olevaan tiedostomuotoon. Rakennuksen voi myös mallintaa suoraan IDA ICE -ohjelmalla. Ohjelman mallinnustoimintojen piirtologiikka poikkeaa kuitenkin paljon perinteisten AutoCAD-pohjaisten ohjelmien piirtologiikoista. Tässä tapauksessa mallinnus tehdään MagiCAD-ohjelman Room-sovelluksella. Lopuksi malli tallennetaan ifc-tiedostomuotoon, joka on yleisin käytetty tiedonsiirtomuoto kolmiulotteisen geometrian siirtoon.

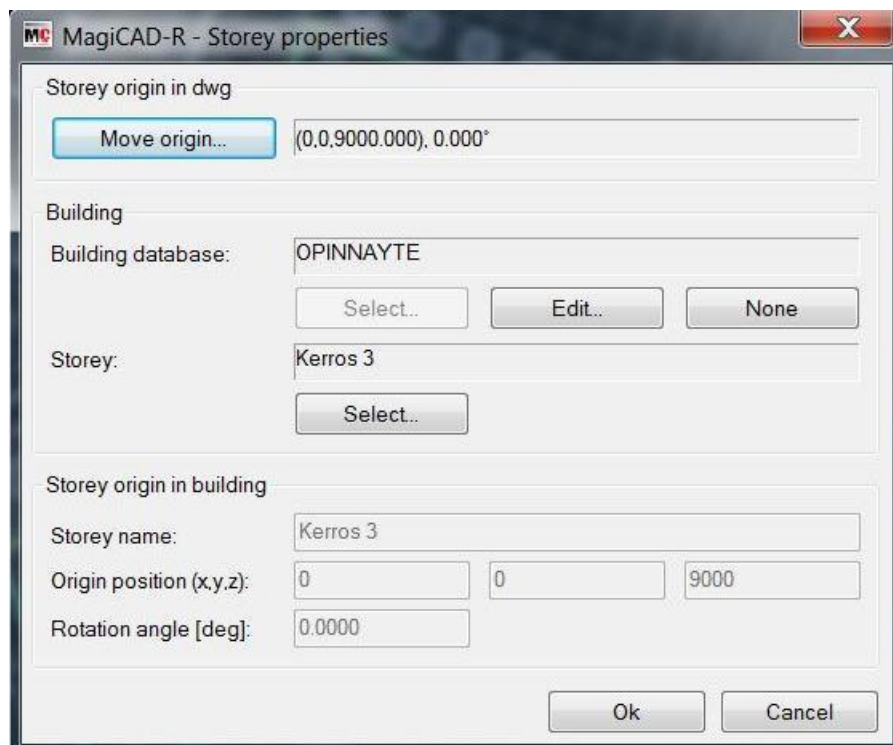
MagiCAD:n Room-sovelluksessa projektille luodaan projektitiedosto (kuviokuva 2), jonne syötetään mallinnuksen kannalta oleelliset tiedot. Kesäajan lämpötilanhallinnan mallinnusta varten tehtävän ifc-mallin on hyvä olla yksinkertainen, jotta IDA ICE -ohjelmassa laskennassa ei olisi ylimääräistä tietoa, joka hidastaa laskentaprosessia eikä ole laskennan kannalta välttämätöntä.

Room:iin kannattaa mallia varten antaa rakenteiden oikeat paksuudet sekä ikkunoiden ja ovien aukkojen oikea koko ja sijainti. Lisäksi rakennuksen kerrosten korkeudet tulee syöttää malliin oikein.



Kuvio 2. Projektitietoikkuna MagiCAD:n Room-sovelluksessa

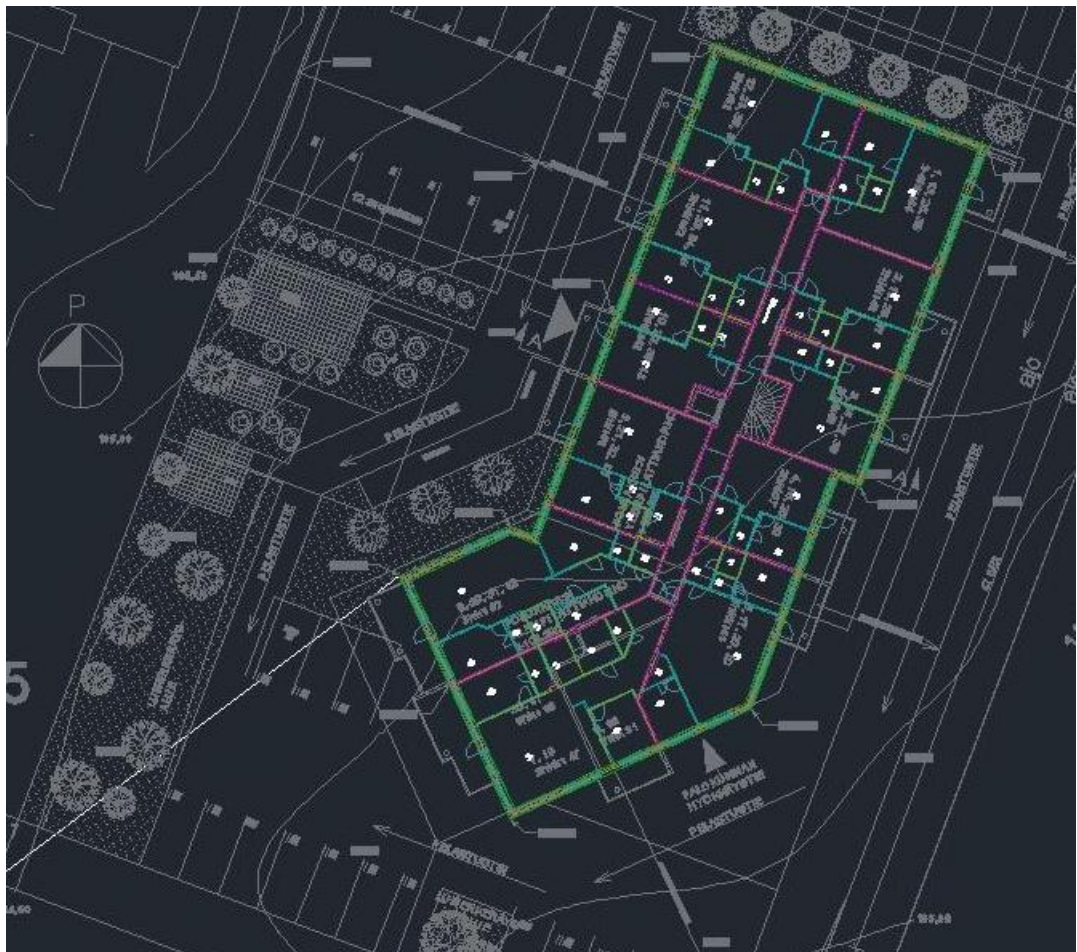
Rakennuksen mallille annetaan kerrosasetukset (kuvio 3). Origo asetetaan siten, että se on 0,0,0 pohjakerroksessa ja muissa kerroksissa muuten sama, mutta korkeus kerroksen korkeudessa.



Kuvio 3. Kerrosasetusikkuna MagiCAD:n Room-sovelluksessa

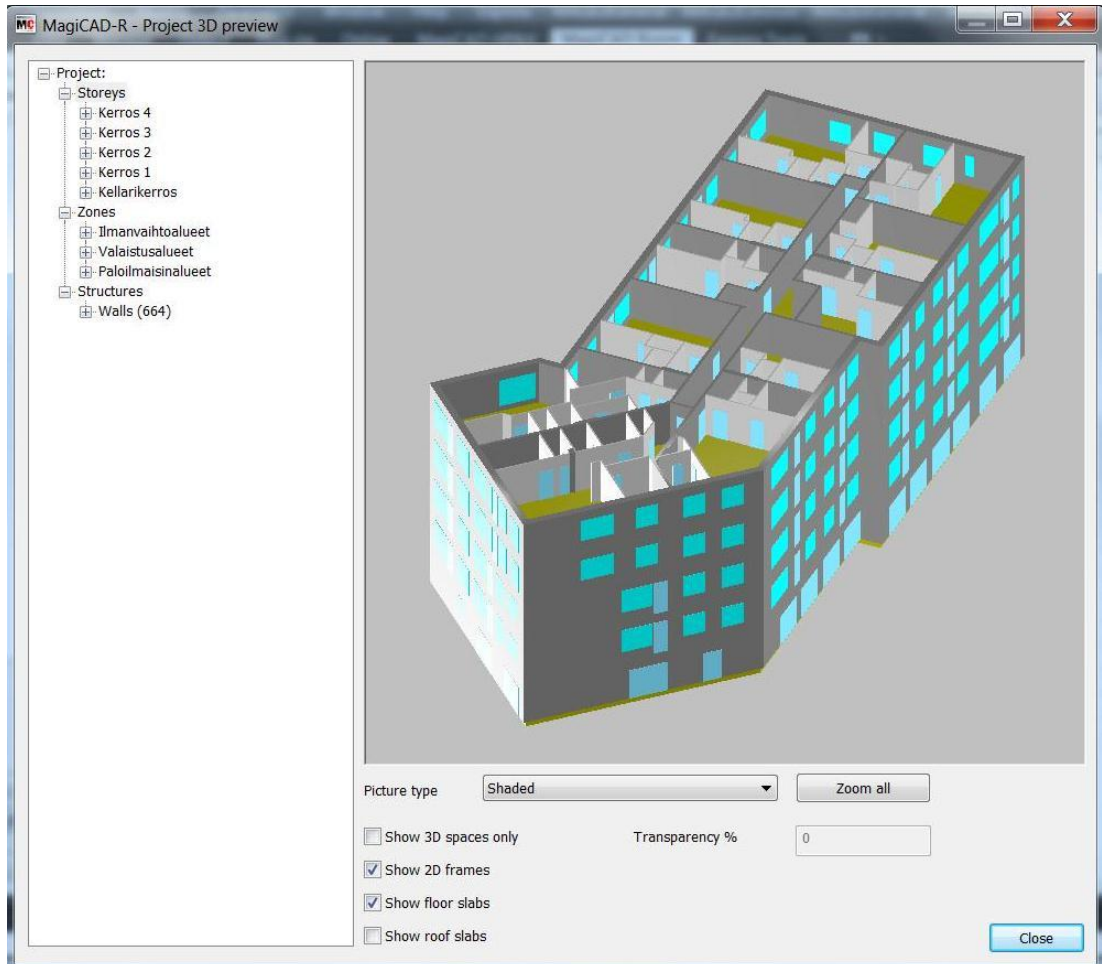
Rakennuksesta piirretään seinät oikeilla paksuuksilla ja tämän jälkeen seiiniin sijoitetaan ovet ja ikkunat oikeille paikoille. Seinien rajoittamat tilat määritellään Room:ssa siten, että niille annetaan toisistaan poikkeavat nimet ja koodit. Lämpötilanhallinnan mallia tehtäessä tiloista ei ole tarpeellista antaa lämpötilavaatimuksia yms. ifc-malliin, koska IDA ICE -ohjelmassa annetaan kyseiset tiedot.

Lopuksi rakennus kohdistetaan asemapiirrokseen ja käännetään koordinaatistossa siten, että pohjoinen on ruudussa ylhäällä ja etelä alhaalla. Näin toimimalla ifc-malli avautuu suoraan oikein päin IDA ICE -ohjelmaan vietäessä ja malli on kohdistettuna valmiiksi asemapiirrokseen, mikä helpottaa IDA:ssa varjostavien objektien lisäämistä. Kuviossa 4 näkyy harmaalla referenssipiirroksena asemapiirros ja väreillä rakennuksen kolmas kerros mallinnettuna Room-sovelluksella.



Kuvio 4. Rakennuksen 4. kerroksen pohjapiirustus kohdennettuna asemapiirustukseen

Kuten kuvioista 5 käy ilmi, Room:ssa ei voida mallintaa rakennuksen kattoa. Katon voi mallintaa IDA ICE:n puolella samoin kuin muut varjostavat objektit kuten parvekkeet, puut jne.

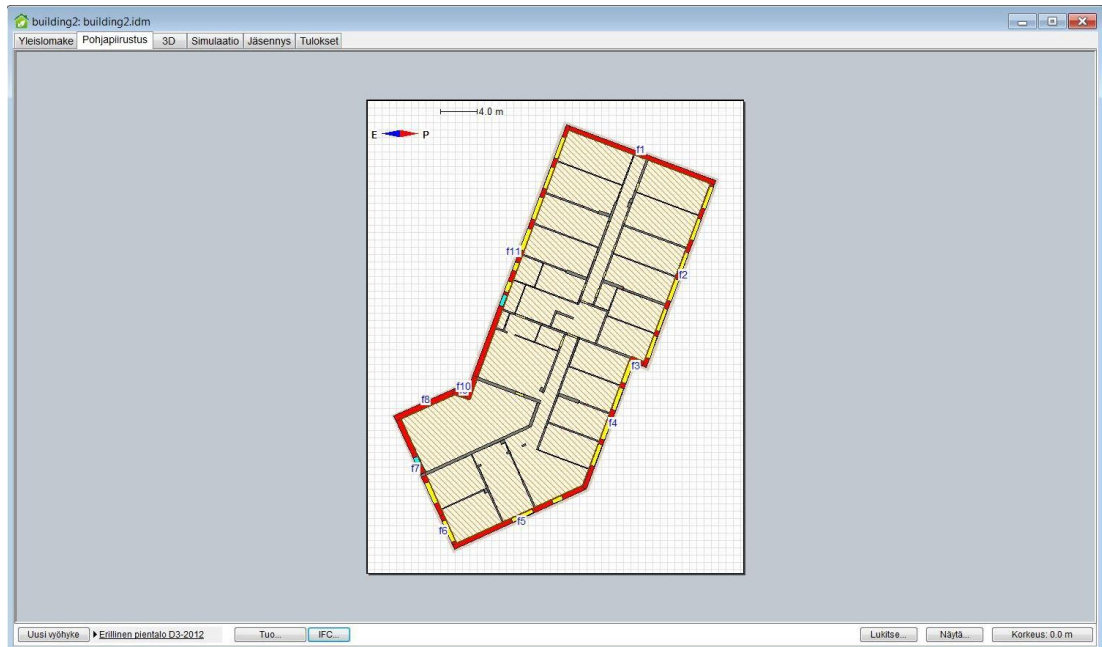


Kuvio 5. 3D-esikatseluikkuna MagiCAD:n Room-sovelluksessa

Mallin ollessa valmis, se tallennetaan ifc-malliksi joko jokainen kerros erikseen tai koko rakennus samaan malliin. Tässä tapauksessa järkevintä oli tehdä koko rakennuksesta yksi malli.

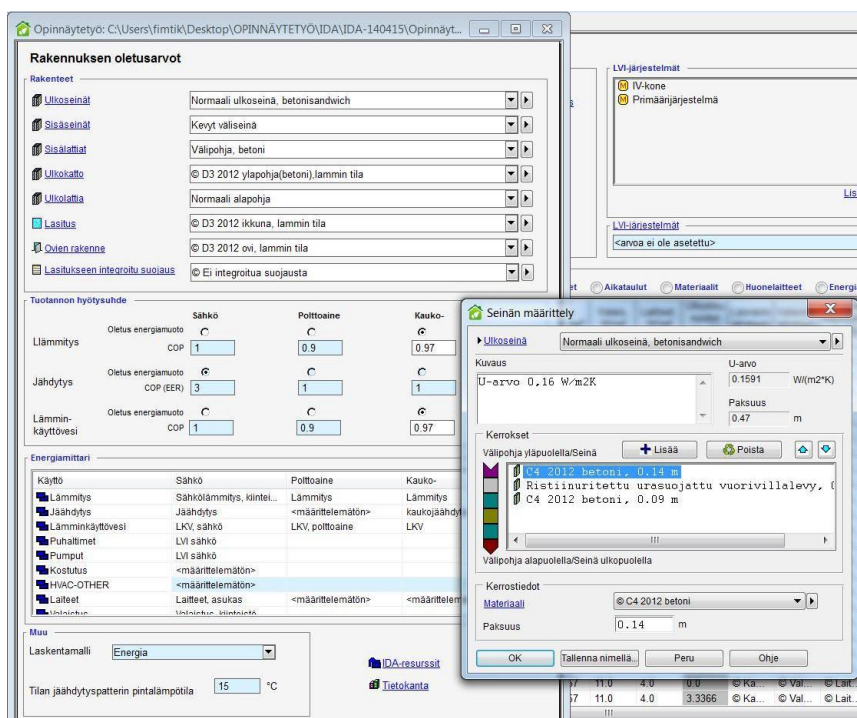
3.3 Lämpökuormaltaan vaikeimpien huoneiden määrittys

Rakennuksen työstäminen IDA ICE -ohjelmassa aloitetaan tuomalla luotu ifc-malli ohjelmaan (kuvio 6).



Kuvio 6. Ifc-malli tuotuna IDA ICE -ohjelmaan

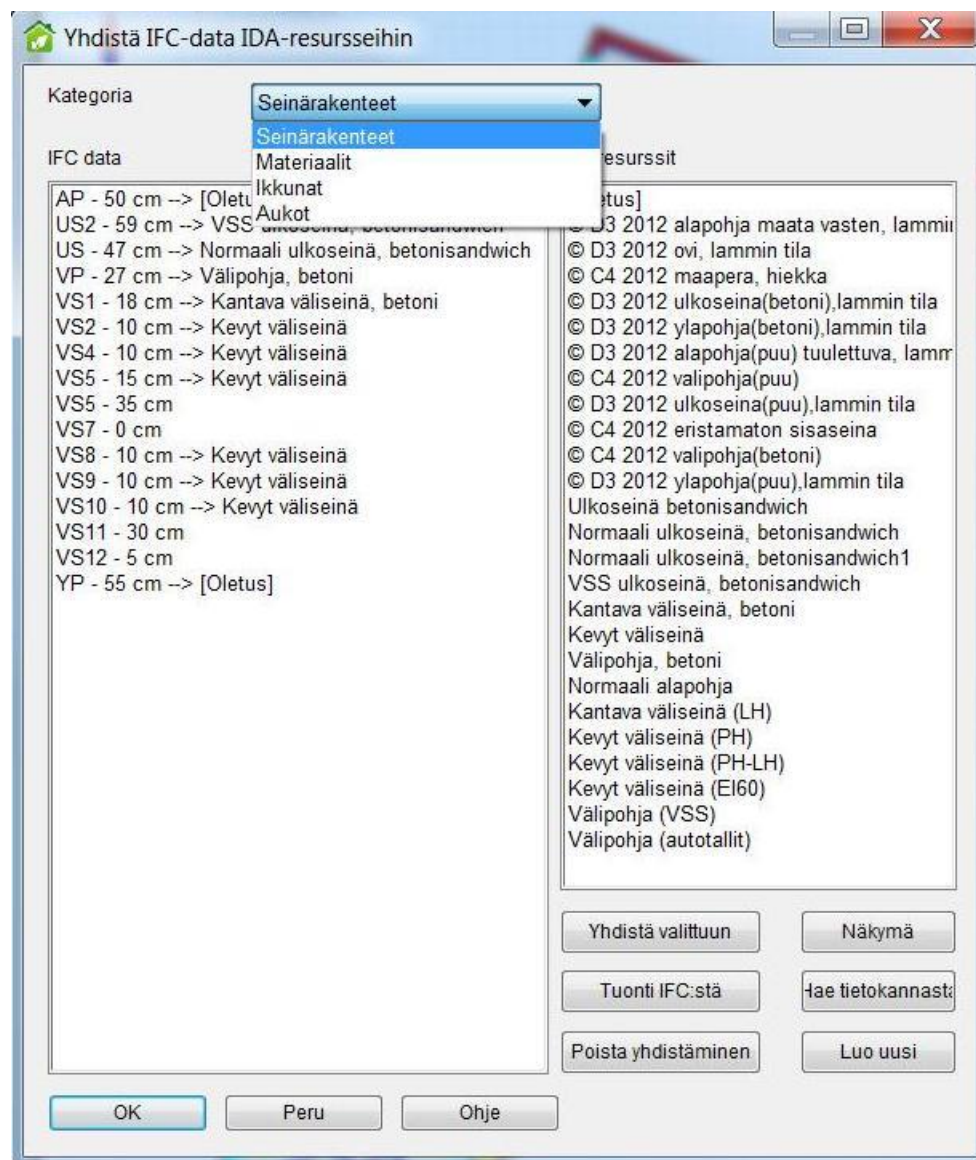
Tämän jälkeen voidaan siirtyä rakenteiden määrittämiseen (kuvio 7). Tässä vaiheessa on suositeltavaa määrittää mahdollisimman kattavasti eri rakenteet ja valita oletusrakenteet.



Kuvio 7. Rakenteiden määrittysikkuna IDA ICE -ohjelmassa

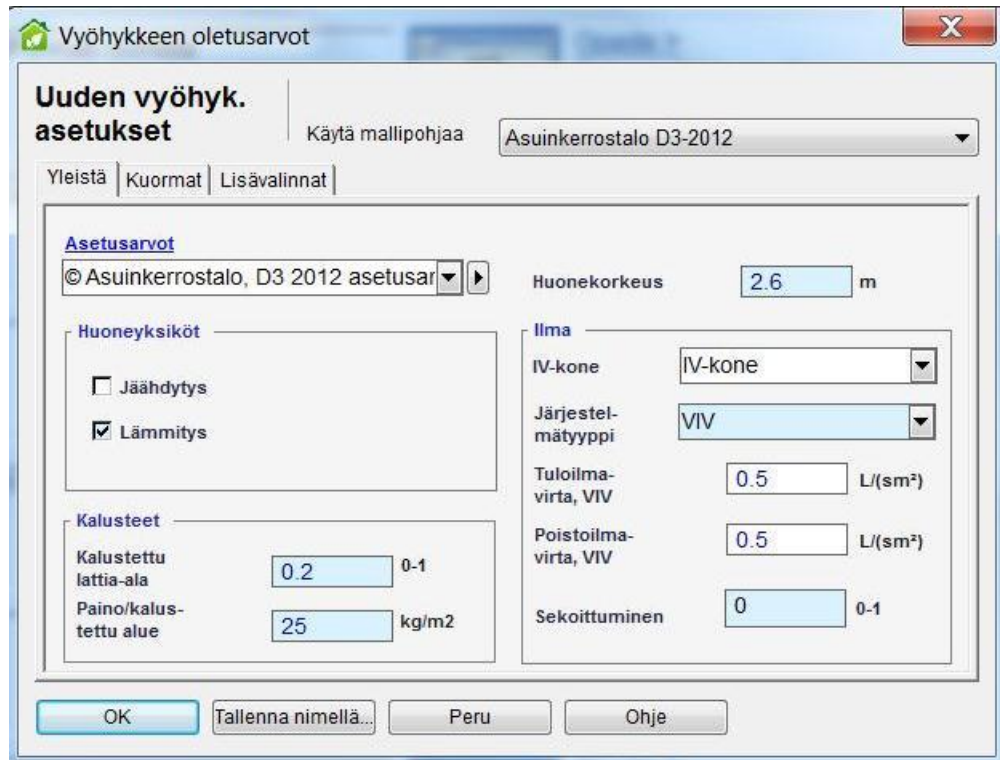
Rakenteita voi lisätä myöhemminkin, mutta helpoimmalla pääsee, kun tekee rakenteet heti alkuun mahdollisimman valmiiksi. IDA ICE -ohjelmaan on valmiiksi määriteltynä rakentamismääräyskokoelman vaatimusten mukaisia rakenteita, joita voi käyttää, jos tarkempaa tietoa ei ole saatavilla. Ohjelmaan pystyy myös luomaan omia rakenteita, materiaalitietoja jne.

Kun rakenteet ja muut oletusarvot kuvion 7 ikkunassa on määritetty mahdollisimman tarkasti, kohdistetaan nämä tiedot tuodun ifc-mallin tietoihin (kuvio 8). Malliin voi kohdistaa lähinnä vain seinä ja pohjarakenteet. Muut rakennetiedot, kuten ikkunat ja ovet, IDA ICE -ohjelma ottaa oletusarvoiksi määritellyistä rakenteista. Jos jokin rakenne poikkeaa oletusarvosta, se täytyy muuttaa oikeaksi vyöhykkeiden luomisen yhteydessä manuaalisesti.



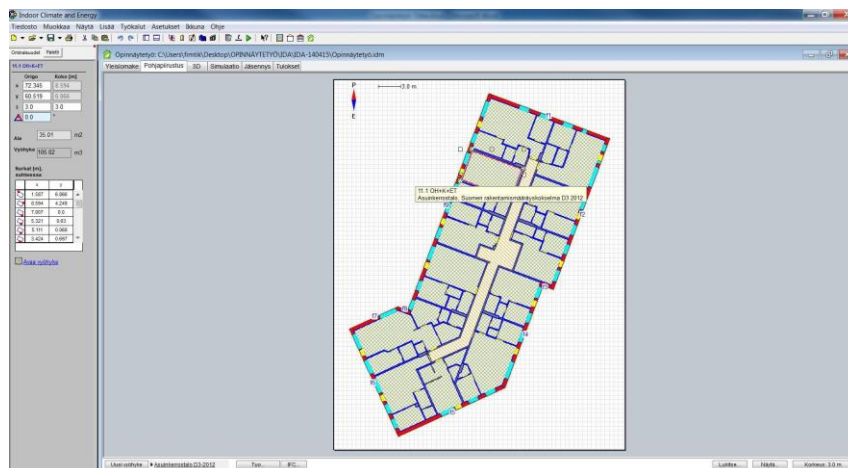
Kuvio 8. IFC-mallin tietojen yhdistäminen IDA ICE -ohjelman resursseihin

Rakenteiden kohdistamisen jälkeen siirrytään vyöhykkeiden luomiseen, jossa ensin määritellään uuden vyöhykkeen oletusarvot (kuvio 9). IDA ICE -ohjelmassa on valmiiksi määriteltynä rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaiset vyöhykkeet eri käyttötarkoituseroittain. Tässä tapauksessa valitaan asuinkerrostalon oletuspohja.



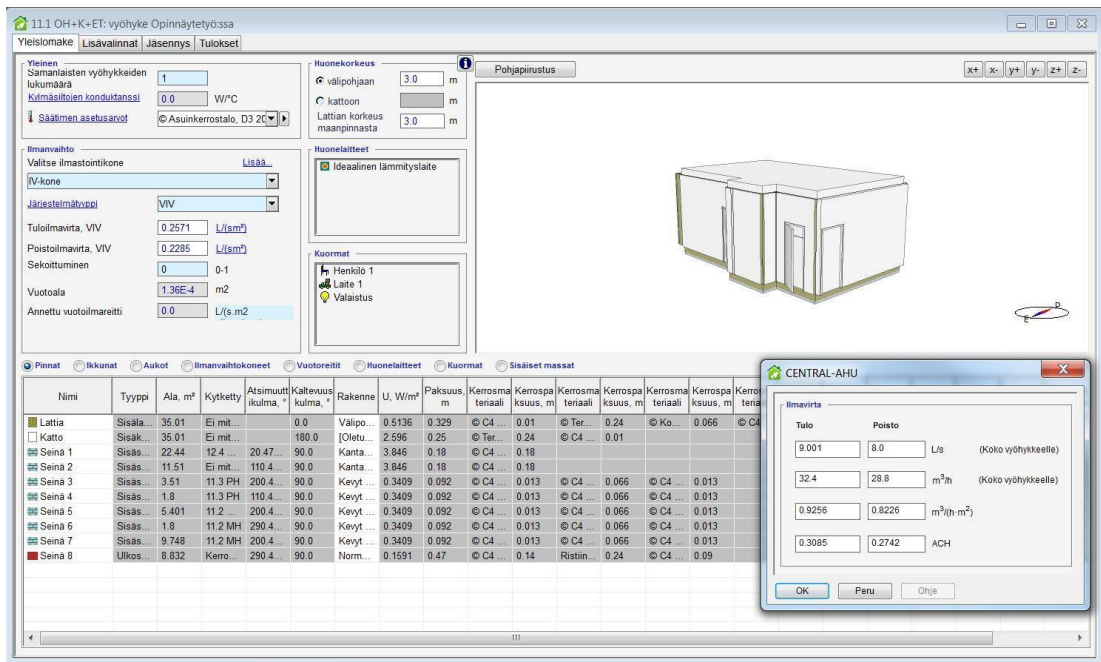
Kuvio 9. Uuden vyöhykkeen oletusarvot IDA ICE -ohjelmassa

Vyöhykkeiden luonti tehdään valitsemalla pohjapiirustuksesta tarvittavat seinien rajoittamat tilat ja painamalla uusi vyöhyke nappia (kuvio 10). Tässä vaiheessa voi valita, mitä vyöhyke pohjaa käyttää. Oletuksena on edellisvaiheessa määritelty pohja.



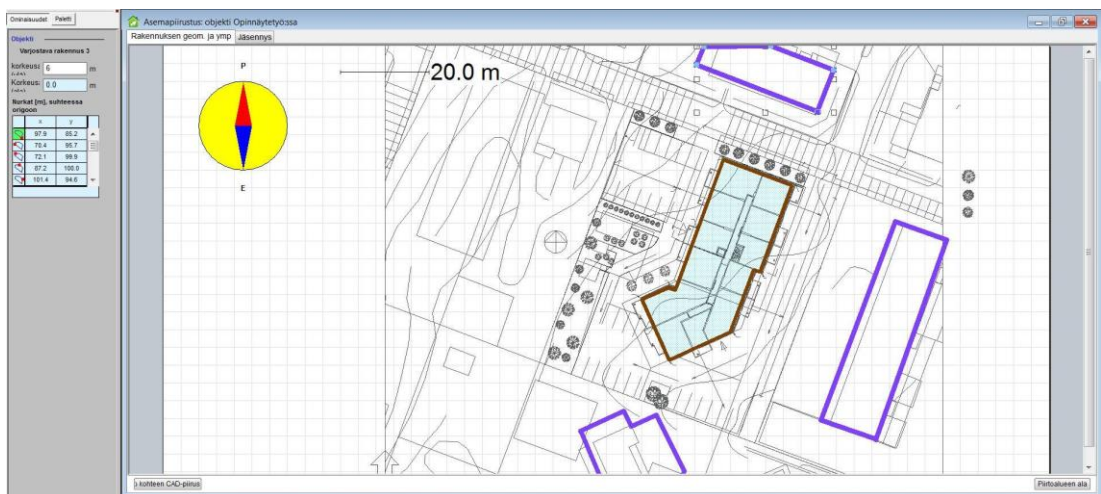
Kuvio 10. Vyöhykkeet pohjapiirustuksessa IDA ICE -ohjelmassa

Kun vyöhyke on luotu, avataan sen tietoikkuna (kuvio 11), josta voidaan muuttaa vyöhykkeen tietoja, jos se on tarpeellista. Tässä tapauksessa Vyöhykkeitä muutetaan siten, että kaikki huoneiston sisäiset väliovet ovat aina auki ja huoneiston ja porrashuoneen väliset ovet sekä parvekkeiden ovet ovat aina kiinni. Lisäksi vyöhykkeille syötetään LVI-suunnitelmien mukaiset ilmamäärät.



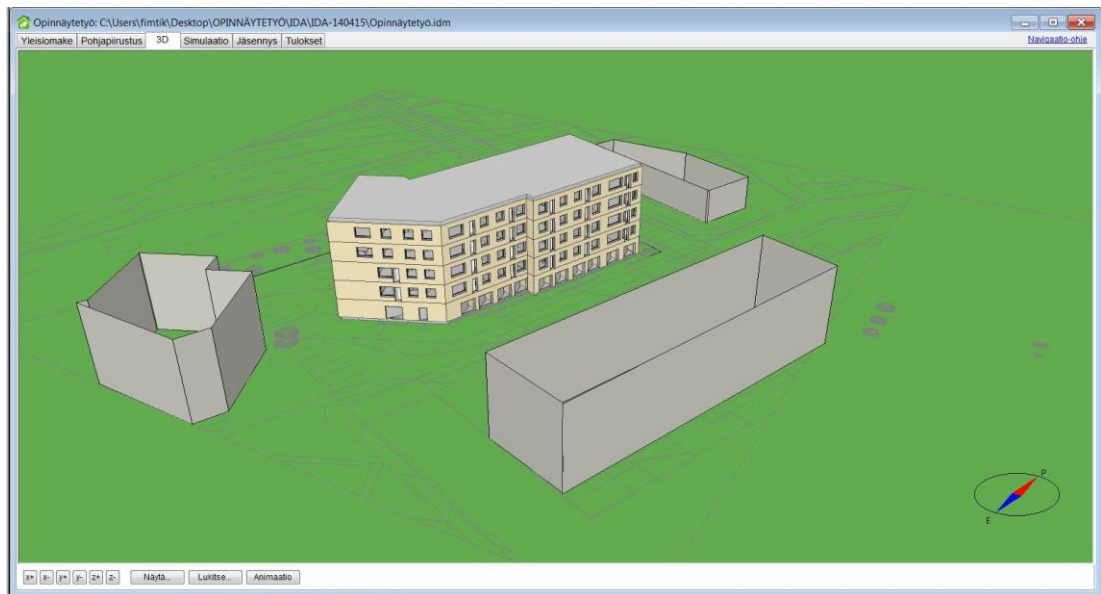
Kuvio 11. Vyöhykkeen tiedot ja asetukset -ikkuna IDA ICE -ohjelmassa

Vyöhykkeiden lisäämisen jälkeen rakennukselle määritetään suuntaus ja varjostavat objektit (kuvio 12).

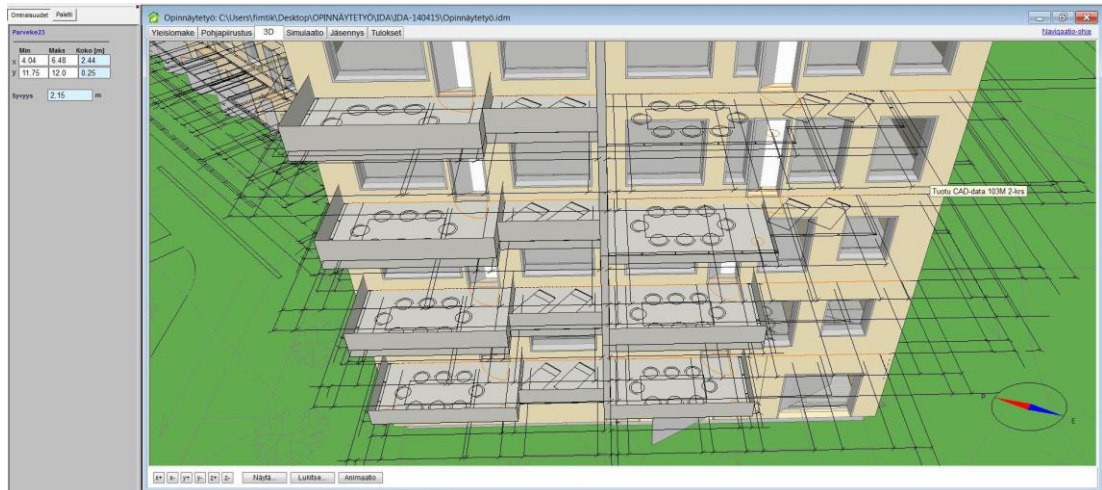


Kuvio 12. Rakennus suunnattuna ja varjostavat rakennukset lisättyinä asemapiirustuksen päälle IDA ICE -ohjelmassa

Tässä vaiheessa lisätään myös parvekkeet sekä ikkunoiden syvennykset, jos niitä ei ole aikaisemmin määritelty. Rakennuksen suuntaamisessa ja varjostavien objektien lisäämisessä ifc-mallin alle avataan asemapiirros. Asemapiirroksen avulla pohjoissuunta käännetään ylöspäin ja varjostavat rakennukset piirretään ääri viivoja pitkin sekä niille annetaan korkeus. varjostavia rakennuksia on tässä tapauksessa kolme: Pohjoisessa kaksikerroksinen rakennus sekä idässä ja etelässä nelikerroksiset rakennukset. Kuviossa 13 rakennukset näkyvät kolmiulotteisessa ikkunassa.

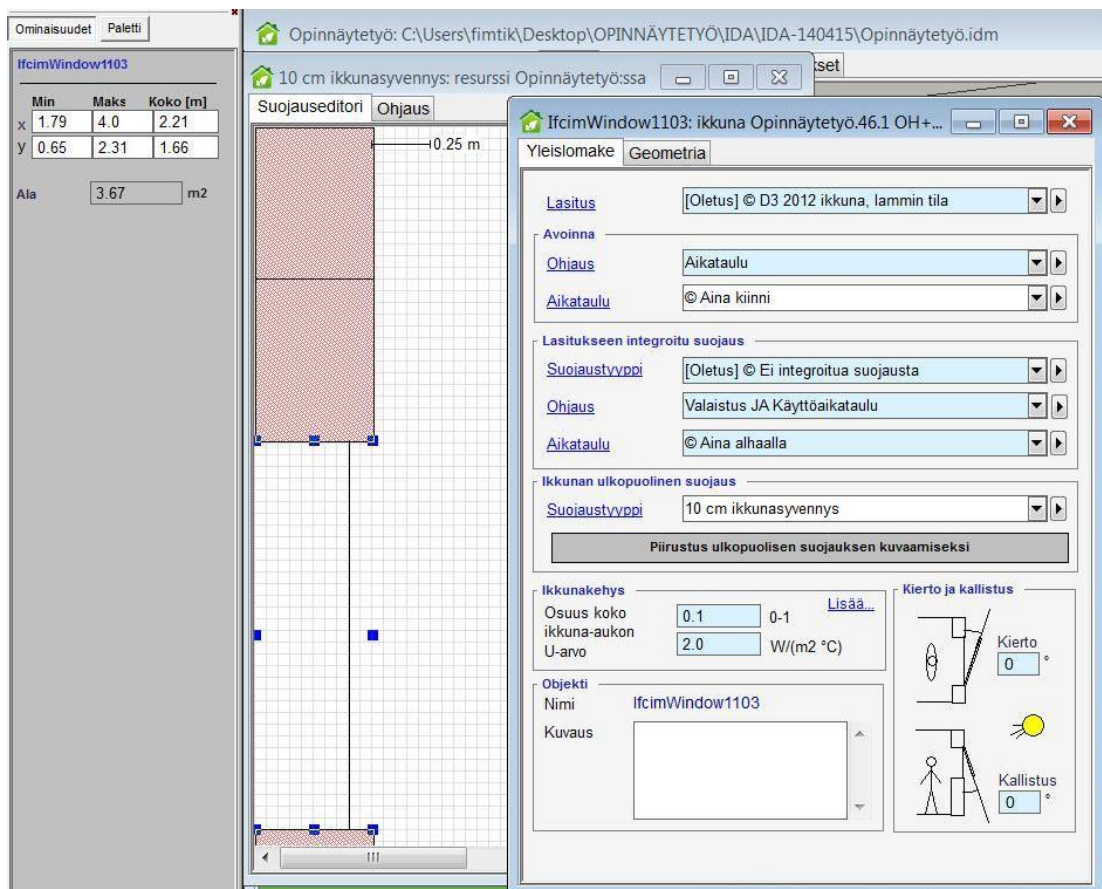


Kuvio 13. Varjostavat rakennukset IDA ICE -ohjelmassa kolmiulotteisena esityksenä Parvekkeille käytetään IDA ICE -ohjelmassa valmista parvekettä, jota muokataan tarpeen mukaan. Ensin parveke lisätään seinälle, minkä jälkeen sille voidaan määrittellä tarkempi paikka seinällä sekä leveys, korkeus ja syvyys. Apuna parvekkeen paikan ja mittojen määrittämisessä malliin voidaan tuoda 2D-arkkitehtipohjat alle (kuvio 14). Kun oikean kokoinen parveke on määritetty, siitä voidaan tallentaa projektiin resurssi, joka voidaan lisätä muille seinille, joissa on samankokoisia parvekkeita.



Kuvio 14. Parvekkeiden lisäys IDA ICE -ohjelmassa

Ikkunoiden syvennykset määritellään näpäyttämällä kolmiulotteisesta mallista jokin ikkunoista auki. Tällöin avautuu ikkunan muokkausvalikko, jossa näkyvät kaikki ikkunan ominaisuudet (kuvio 15). Ikkunasyvennyks on ohjelmassa ikkunan ulkopuolinen suojaus, jonka saa määriteltävä resurssiksi työhön. Kun resurssi on luotu yhden ikkunan kohdalla, pitää se käydä valitsemassa kaikkiin muihinkin ikkunoihin.



Kuvio 15. Ikkunan muokkausvalikko ja ikkunasuojausestori-ikkuna IDA ICE -ohjelmassa

Rakennuksen sijainniksi valitaan Helsinki ja säätiedoiksi Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 säävyöhykkeen 1 testivuoden 2012 säätiedot (kuvio 16).

Sijainti

Sijainti © Helsinki

Maa: Suomi
 Kaupunki: Helsinki
 Leveyspiiri: 60.1 P ° Korkeus merenpin: 4 m
 Pituuspiiri: 24.56 I ° Aikavyöhyke: 2 I h

Mitoituspäivät

	Talvi	Kesä	
Min kuivalämpötila	-26.5	14.3	°C
Maks kuivalämpötila	-25.5	24.1	°C
Maks märkälämpötila	-25.5	16.3	°C
Tuulen suunta	270	180	°
Tuulen nopeus	2	2	m/s
Auringon säteilykerroin	1.0	1.0	0-1

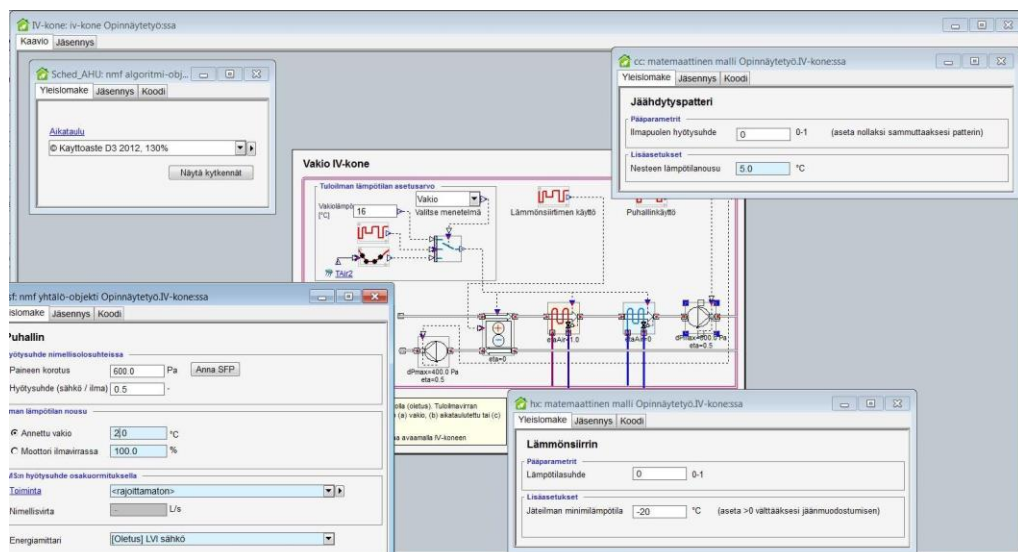
Ilmastokuvaus © HKI-Vantaa_Ref_2012

Objekti

Nimi: Helsinki
 Kuvaus: Helsinki

OK Peru Tallenna nimellä... Ohje

Kuvio 16. Säätietojen ja sijainnin valintaikkuna IDA ICE -ohjelmassa Ilmanvaihtokoneen oletusarvoja muutetaan vastaamaan mallinnettavan rakennuksen suunnitteluarvoja (kuvio 17).



Kuvio 17. Ilmanvaihtokoneen määrittäminen IDA ICE -ohjelmassa

Jäähdytyspatterin arvo asetetaan nollaan, jolloin ohjelma ei laske järjestelmälle jäähdytystä. Lisäksi LTO-laitteen hyötysuhde asetetaan myös nollaan, koska ilmanvaihtokojeissa on kesällä lämmöntalteenoton ohitus automaattisena. Puhallin käytölle valitaan tehostus käyttö sekä tuloilmapuhaltimelle asetetaan ilman lämpenemisen arvo puhaltimessa ja kanavistossa.

Rakennuksen vuotoilmavirta syötetään ohjelmaan yksikössä $\text{m}^3/\text{h m}^2 A_{\text{vaippa}}$ (kuvio 18). Vuotoilmavirta lasketaan kaavasta 1, mutta yksikköä ei tarvitse muuttaa muotoon m^3/s .

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{2\text{m}^3/\text{h m}^2}{15} A_{\text{vaippa}} = 0.1333 \text{m}^3/\text{h m}^2 A_{\text{vaippa}}$$

Vuotoilma

Menetelmä
Vuotoilmayksikö

Tuulesta johtuva ilmavirta

Ilmatiiviyys m3/(h.m2
paine-erolla Pa
[Painekertoimet](#)

Vakio vuotoilmavirta

Vuotoilmavirta m3/(h.m2 ulkovaippa)

Jakautuminen vyöhykkeissä
Jaa suhteessa

Tuulesta johtuva ilma

Ilmatiiviyys vyöhykkeissä L/(s.m2 ulkovaippa)
paine-erolla Pa

Vakio vuotoilmavirta

Vakiovuotoilmavirta vyöhykkeissä L/(s.m2 ulkovaippa)

Rakennuksen vuotoilma voidaan mallintaa joko todellisen tuulen paineen tai vakiovuotoilmavirran avulla.
Vakiovuotoilmavirran tapauksessa valitse Vakiovuotoilmavirta ja syötä sille arvo.
Tuulesta riippuvan vuotoilmavirran tapauksessa valitse Tuulen paineesta riippuva vuotoilmavirta, aseta rakennuksen vaipan ilmatiiviyys ja [anna ulkopintojen painekertoimet](#). Sisäiset vuotoilmareitit vyöhykkeiden välillä tulee määrittellä erikseen. Lisää ovet tai sisäseinien vuotoilma-aukot.
Vuotoilmadata päivittyy automaattisesti vyöhykkeille ja korvaa sen hetkisen vyöhykkeen "Vuoto-alaan ...". Kuitenkaan erikseen määritellyt pintojen vuotoja ei korvata.
ACH = ilmanvaihtuvuus (huonetilavuus tunnissa)

Kuvio 18. Vuotoilmavirran määrittäminen IDA ICE -ohjelmassa

Rakenteiden kylmäsiltojen lisäkonduktanssit syötetään ohjelmaan taulukoista 6–7 niiden liitosten osalta, jotka taulukoissa on esitetty (kuvio 19). Ohjelman taulukossa on virhe ensimmäisen arvon kohdalla, missä lukee ”Ulkoseinä/alapohja”. Tähän kenttään kuuluu syöttää ulkoseinän ja välipohjan liitoksen lisäkonduktanssi.

Kylmäsiltojen määritysikkuna IDA ICE -ohjelmassa. Ikkunan otsikko on "Kylmäsilto: objekti Opinnäytetyö:ssä".

Kylmäsilto

Arviointitasot: Ei yhtä, Hyvä, Normaali, Huono, Erittäin huono.

Kylmäsilto	W/K/(m liitos)	Yhteensä vierekkäisille tiloille	Yhteensä vierekkäisille tiloille
Ulkoseinä / alapohja	0.0	W/K/(m liitos)	Yhteensä vierekkäisille tiloille
Ulkoseinä / sisäseinä	0	W/K/(m liitos)	Yhteensä vierekkäisille tiloille
Ulkoseinä / ulkoseinä	0.06	W/K/(m liitos)	
Ulkoikkunoiden ympärysmitta	0.04	W/K/(m ympärysm.)	
Ulko-ovien ympärysmitta	0.04	W/K/(m ympärysm.)	
Katto / ulkoseinät	0.08	W/K/(m liitos)	
Alapohja / ulkoseinä	0.24	W/K/(m liitos)	
Parvekkeen lattia / ulkoseinä	0	W/K/(m liitos)	
Alapohja / sisäseinä	0	W/K/(m liitos)	Yhteensä vierekkäisille tiloille
Ulkokatto / sisäseinä	0	W/K/(m liitos)	Yhteensä vierekkäisille tiloille
Ulkoseinä, sisänurkka	-0.06	W/K/(m2 ulkoseinä)	Negatiivinen luku
Ulkoseinät W/K/(m2 ulkoseinä)	0	W/K/(m2 ulkoseinä)	

Kuvio 19. Kylmäsiltojen määritysikkuna IDA ICE -ohjelmassa

Lämpimän käyttöveden keskimääräinen kulutus saadaan taulukosta 9. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 2. IDA ICE -ohjelmaan kyseinen lämpöhäviö tulee syöttää yksikössä W/m^2 (kuvio 20) ja rakennuksen käyttövesijärjestelmään ei ole yhdistetty lämmityslaitteita, joten kaavasta voidaan jättää kilowattituntimuunnos pois.

$$6 \frac{W}{m} * 0,043 \frac{m}{m^2} = 0,258 \frac{W}{m^2}$$

Lisäenergia ja häviöt: objekti Opinnäytetyö:ssä

Lisäenergia ja energiahäviöt

Lämpimän käyttöveden kulutus

Keskimääräinen lämpimän käyttöveden: L/(lattia-m²,vuosi) [LKV jakelu](#)

© Jatkuva käyttö

[T_DHW = 55°C (saapuva 5°C); lisää yksityiskohtia täältä [Lämmön- ja jäähdytyksen tuotto ja lämmöntuotto](#)] [Käyrä automaattisesti uudelleen skaalataan annettuun keskimääräiseen käyttöön]

Jakelujärjestelmän häviöt

Lämmin käyttövesi

W/(m2 lattia-ala) % vyöhykkeis

Lämpö vyöhykkeisiin

[Lämmitysjärjestelmän lämmöntuoton osuus \[%\]\(ml. ideaaliset lämmityslaitteet\)](#) % vyöhykkeis

Jäähdytys vyöhykkeisiin

[Jäähdytysjärjestelmän kylmäntuoton osuus \[%\]\(ml. ideaaliset jäähdytyslaitteet\)](#) % vyöhykkeis

Ei liukua valittavissa

Tuloilmakanaviston häviöt

W/m2 lattia-ala, 7 °C dT:lla kanavasta vyöhykkeeseen % vyöhykkeis

[*vyöhykkeiden häviöiden osuus jaetaan suhteessa lattia-alaan]

Lämmöntuoton häviöt

Häviö jäähdytyksen tuotosta W Häviö lämmityksen tuotosta W

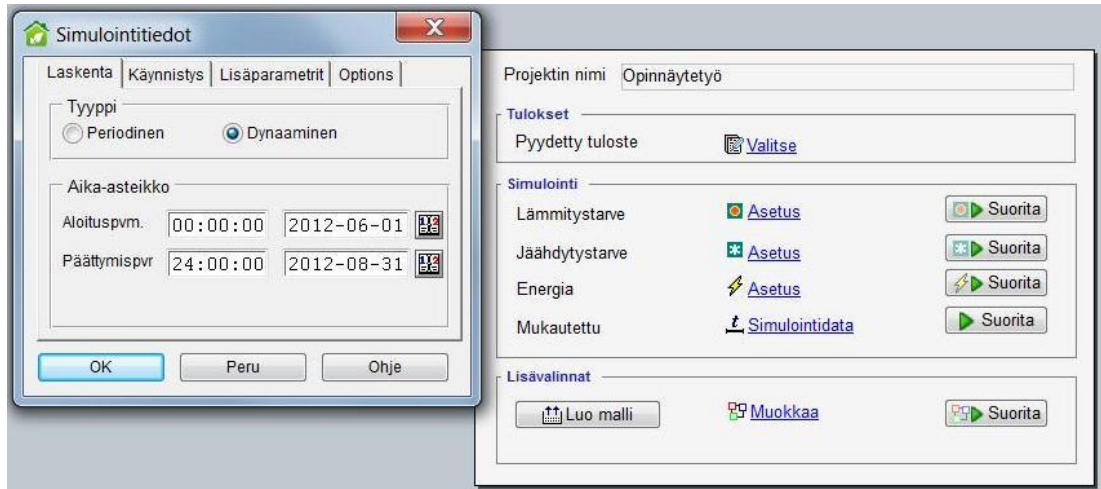
Lisäenergiankulutus

Nimi	Nimellisteho [kW]	Nimellisteho [W/(lattia-m ²)]	Kok. nimellisteho... kW	Aikataulu	Energiamittari

Kuvio 20. Lämpimän käyttöveden kulutuksen ja lämpöhäviön määritysikkuna IDA ICE -ohjelmassa

Tämän jälkeen rakennuksen kaikki tarvittavat määritykset lämpötilanhallinnan laskemisen kannalta on tehty ja voidaan siirtyä ohjelmassa simulointivaiheeseen (kuvio 21). Ensin painetaan luo malli -painiketta, jolloin ohjelma laskee rakennuksen järjestelmille ja rakenteille mallin sekä varjostukset. Mallin luo-

misen jälkeen määritellään simulointidata-linkin alta dynaaminen laskenta sekä aikaväliksi 1.6.–31.8.



Kuvio 21. Simuloinnin valintaikkuna IDA ICE -ohjelmassa

Tulokset

Ohjelman suoritettua dynaamisen lämpötilalaskennan laskenta-aikajaksolle, päästään tarkastelemaan tuloksia. Taulukoissa 14–17 on esitetty asuntojen olo- ja makuuhuoneiden astetuntien lukumäärät, jotka ylittävät määräysten mukaisen vaatimuksen, 27 °C. Taulukkoon 16 on värjätty keltaisella ne solut, joissa on vaikeimman olohuoneen ja makuuhuoneen astetuntiarvot. Tuloksista voidaan nähdä, että rakennuksen passiiviset suojausratkaisut ovat täysin riittämättömät, sillä kaikkien asuntojen makuuhuoneiden ja olohuoneiden astetunnit ylittävät reilusti 150 astetunnin raja-arvon.

Taulukko 14. 2. kerroksen asuntojen olohuoneiden ja makuuhuoneiden astetuntien lukumäärät simulointiajanjaksolla, jolloin huoneen lämpötila on yli 27 °C

Asunto	Olohuoneet	Asetunnit yli 27 °C	Makuuhuoneet	Asetunnit yli 27 °C
AS 1, 2-3h+kk+s, 54 m ²	1.1 OH+K+ET(+MH2)	1613	1.2 MH1	1528
AS 2, 2h+kk+s, 46 m ²	2.1 OH+K+ET	691	2.2 MH	507
AS 3, 2h+kk, 40 m ²	3.1 OH+K+ET	1480	3.2 MH	935
AS 4, 2h+kk, 37 m ²	4.1 OH+K+ET	1057	4.2 MH	597
AS 5, 3h+kk+s, 63 m ²	5.1 OH+K+ET	1741	5.2 MH1	1603
			5.3 MH2	1568
AS 6, 1h+kk, 31 m ²	6.1 OH+K+ET+ALK	489		
AS 7, 2h+kk+s, 47 m ²	7.1 OH+K+ET	1862	7.2 MH	1740
AS 8, 3h+k+s, 82 m ²	8.1 OH+K+ET	1944	8.2 MH1	1907
			8.3 MH2	1892
AS 9, 2h+kk+s, 56 m ²	9.1 OH+K+ET	1783	9.2 MH	1740
AS 10, 2h+kk+s, 42 m ²	10.1 OH+K+ET	1674	10.2 MH	1683
AS 11, 2h+kk+s, 52 m ²	11.1 OH+K+ET	1801	11.2 MH	1754
AS 12, 3h+k+s, 62 m ²	12.1 OH+K+ET	1734	12.2 MH1	1633
			12.3 MH2	1634

Taulukko 15. 3. kerroksen asuntojen olohuoneiden ja makuuhuoneiden astetuntien lukumäärät simulointiajanjaksolla, jolloin huoneen lämpötila on yli 27 °C

Asunto	Olohuoneet	Astetunnit yli 27 °C	Makuuhuoneet	Astetunnit yli 27 °C
AS 13, 2-3h+k+s, 54m ²	13.1 OH+K+ET(+MH2)	1590	13.2 MH1	1449
AS 14, 2h+kk+s, 46 m ²	14.1 OH+K+ET	825	14.2 MH	524
AS 15, 2h+kk, 40m ²	15.1 OH+K+ET	949	15.2 MH	595
AS 16, 2h+kk+s, 37 m ²	16.1 OH+K+ET	805	16.2 MH	541
AS 17, 3h+kk+s, 63 m ²	17.1 OH+K+ET	1845	17.2 MH1	1730
			17.3 MH2	1659
AS 18, 1h+kk, 31 m ²	18.1 OH+K+ET+ALK	519		
AS 19, 2h+kk+s, 47 m ²	19.1 OH+K+ET	1697	19.2 MH	1601
AS 20, 3h+k+s, 82 m ²	20.1 OH+K+ET	1958	20.2 MH1	1912
			20.3 MH2	1903
AS 21, 2h+kk+s, 56 m ²	21.1 OH+K+ET	1786	21.2 MH	1744
AS 22, 2h+kk+s, 42 m ²	22.1 OH+K+ET	1671	22.2 MH	1684
AS 23, 2h+kk+s, 52 m ²	23.1 OH+K+ET	1791	23.2 MH	1749
AS 24, 3h+k+s, 62 m ²	24.1 OH+K+ET	1761	24.2 MH1	1644
			24.3 MH2	1656

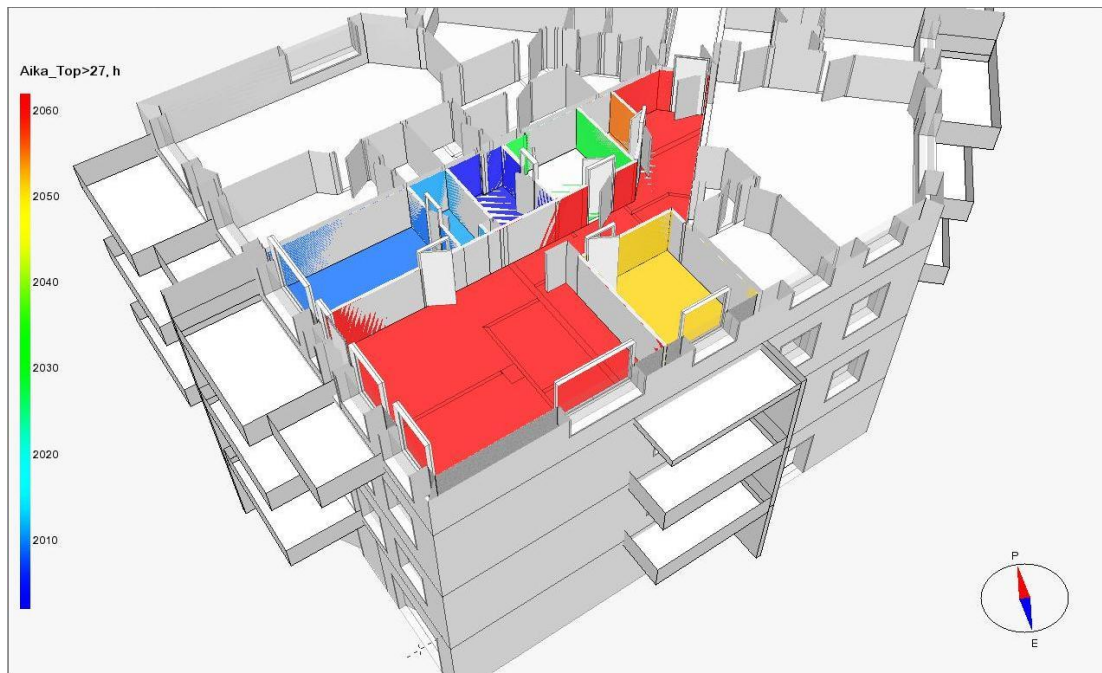
Taulukko 16. 4. kerroksen asuntojen olohuoneiden ja makuuhuoneiden astetuntien lukumäärät simulointiajanjaksolla, jolloin huoneen lämpötila on yli 27 °C

Asunto	Olohuoneet	Astetunnit yli 27 °C	Makuuhuoneet	Astetunnit yli 27 °C
AS 25, 2-3h+k+s, 54 m ²	25.1 OH+K+ET(+MH2)	1615	25.2 MH1	1499
AS 26, 2h+kk+s, 46 m ²	26.1 OH+K+ET	995	26.2 MH	554
AS 27, 2h+kk, 40 m ²	27.1 OH+K+ET	1644	27.2 MH	364
AS 28, 2h+kk, 37 m ²	28.1 OH+K+ET	1424	28.2 MH	980
AS 29, 3h+kk+s, 63 m ²	29.1 OH+K+ET	1868	29.2 MH1	1756
			29.3 MH2	1702
AS 30, 3h+k+s, 88 m ²	30.1 OH+K+ET	2062	30.2 MH1	2009
			30.3 MH2	2051
AS 31, 3h+k+s, 82 m ²	31.1 OH+K+ET	1966	31.2 MH1	1907
			31.3 MH2	1907
AS 32, 2h+kk+s, 56 m ²	32.1 OH+K+ET	1954	32.2 MH	1674
AS 33, 2h+kk+s, 42 m ²	33.1 OH+K+ET	1669	33.2 MH	1682
AS 34, 2h+kk+s, 52 m ²	34.1 OH+K+ET	1796	34.2 MH	1753
AS 35, 3h+k+s, 62 m ²	35.1 OH+K+ET	1763	35.2 MH1	1643
			35.3 MH2	1657

Taulukko 17. 5. kerroksen asuntojen olohuoneiden ja makuuhuoneiden astetuntien lukumäärät simulointiajanjaksolla, jolloin huoneen lämpötila on yli 27 °C

Asunto	Olohuoneet	Astetunnit yli 27 °C	Makuuhuoneet	Astetunnit yli 27 °C
AS 36, 2-3h+k+s, 54 m ²	36.1 OH+K+ET(+MH2)	1412	36.2 MH1	1035
AS 37, 2h+kk+s, 46 m ²	37.1 OH+K+ET	570	37.2 MH	474
AS 38, 2h+kk, 40 m ²	38.1 OH+K+ET	1088	38.2 MH	642
AS 39, 2h+kk, 37 m ²	39.1 OH+K+ET	883	39.2 MH	564
AS 40, 3h+kk+s, 63 m ²	40.1 OH+K+ET	1644	40.2 MH1	1538
			40.3 MH2	1468
AS 41, 3h+k+s, 88 m ²	41.1 OH+K+ET	1978	41.2 MH1	1758
			41.3 MH2	1835
AS 42, 3h+k+s, 82 m ²	42.1 OH+K+ET	1777	42.2 MH1	1724
			42.3 MH2	1730
AS 43, 2h+kk+s, 56 m ²	43.1 OH+K+ET	1630	43.2 MH	1608
AS 44, 2h+kk+s, 42 m ²	44.1 OH+K+ET	1543	44.2 MH	1517
AS 45, 2h+kk+s, 52 m ²	45.1 OH+K+ET	1612	45.2 MH	1593
AS 46, 3h+k+s, 62 m ²	46.1 OH+K+ET	1589	46.2 MH1	1491
			46.3 MH2	1506

Tässä tapauksessa molemmat, sekä vaikein olohuone että vaikein makuuhuone, sijaitsevat samassa asunnossa. Asunnon numero on 30 ja se sijaitsee rakennuksen neljännessä kerroksessa. Asunnon pinta-ala on 88 m² ja sen suuntaus on rakennuksen länsi–etelänurkassa, parvekkeet etelään päin (kuvio 22). Asunnon ikkunoiden korkeus on 1,9 m. Olohuone sijaitsee länsi–etelänurkassa ja makuuhuoneen ikkuna on etelään päin.



Kuvio 22. Lämpötilanhallinnan kannalta vaikein asunto 3D-mallina

3.4 Huonelämpötilojen vertailu eri lähtötiedoilla

Huonelämpötilojen vertailu erilaisilla ikkunoiden suojaustyypeillä, lasituksilla yms. halutuilla lähtötiedoilla kannattaa suorittaa vain vaikeimmalle makuuhuoneelle ja olohuoneelle. Jos vertailussa käytettäisiin koko talon mallia, tiedostosta ja laskennasta tulee niin raskas, että ohjelma saattaa kaatua tai laskennan suorittaminen kestää todella kauan.

Vertailulaskelmaa varten karsitaan tehdystä mallista ylimääräiset vyöhykkeet pois, jolloin jäljelle jää ainoastaan ne vyöhykkeet, jotka ovat samassa huoneistossa vaikeimman makuuhuoneen ja olohuoneen kanssa. Jos nämä huoneet ovat eri asunnossa, simuloidaan nämä kaksi asuntoa.

Tässä tapauksessa vertailuarvoina ovat seuraavat tiedot:

- ikkunakoko
 - pieni
 - normaali
 - iso (suunnitelmien arvo)

- ikkunan sisäänveto
 - ei sisäänvetoa
 - 100 mm (suunnitelmien arvo)
 - 200 mm

- ikkunan lasitus
 - kirkas (suunnitelmien arvo)
 - aurinkosuoja
 - aurinkosuoja plus

- kaihtimet
 - ei kaihtimia (suunnitelmien arvo)
 - kaihtimet ikkunan sisäpuolella
 - kaihtimet ikkunan lasien välissä

- ilmanvaihdon tehostus
 - ei tehostusta
 - tehostus 30 % (suunnitelmien arvo)

- ikkunassa lippa
 - ei lippaa (suunnitelmien arvo)
 - 100 mm lippa
 - 300 mm lippa.

Vertailu suoritetaan ristiinvertailuna siten, että vertailuvaihtoehtoja tulee yhteensä 486 kappaletta, joista yksi on samanlainen rakennuksen suunnitteluarvojen kanssa.

Vertailua varten karsitusta simulointimallista tallennetaan niin sanottu mother case, jossa on tallessa alkuperäiset asetusarvot. Tämän jälkeen mallista tallennetaan "puu" versioista (kuviokuva 23), joihin muutetaan asetusarvoja siten, että kaikille halutuille vertailuarvoille löytyy oma versionsa.

Kaavio		Jäsennys	Tout Deg-C	Tret Deg-C	Tsup Deg-C
-	MC				
-	1 tehostus				
-	1.1 pieni ikkuna				
-	1.1.1 ei sisäänvetoa				
-	1.1.1.1 kirkas ikkuna				
-	1.1.1.1.1 ei kaihtimia				
	1.1.1.1.1.1 ei lippaa				
	1.1.1.1.1.2 lippa 100mm				
	1.1.1.1.1.3 lippa 300mm				
-	1.1.1.1.2 kaihtimet sis väli				
	1.1.1.1.2.1 ei lippaa				
	1.1.1.1.2.2 lippa 100mm				
	1.1.1.1.2.3 lippa 300mm				
-	1.1.1.1.3 kaihtimet ulk väli				
	1.1.1.1.3.1 ei lippaa				
	1.1.1.1.3.2 lippa 100mm				
	1.1.1.1.3.3 lippa 300mm				
-	1.1.1.2 aur suoja ikkuna				
-	1.1.1.2.1 ei kaihtimia				
	1.1.1.2.1.1 ei lippaa				
	1.1.1.2.1.2 lippa 100mm				
	1.1.1.2.1.3 lippa 300mm				
-	1.1.1.2.2 kaihtimet sis väli				
	1.1.1.2.2.1 ei lippaa				
	1.1.1.2.2.2 lippa 100mm				
	1.1.1.2.2.3 lippa 300mm				
-	1.1.1.2.3 kaihtimet ulk väli				
	1.1.1.2.3.1 ei lippaa				
	1.1.1.2.3.2 lippa 100mm				
	1.1.1.2.3.3 lippa 300mm				
-	1.1.1.3 aur suoja plus ikkuna				
-	1.1.1.3.1 ei kaihtimia				
	1.1.1.3.1.1 ei lippaa				
	1.1.1.3.1.2 lippa 100mm				
	1.1.1.3.1.3 lippa 300mm				
-	1.1.1.3.2 kaihtimet sis väli				
	1.1.1.3.2.1 ei lippaa				

Kuvio 23. Versio-puu IDA ICE -ohjelmassa

”Puussa” versioiden nimeämiseen kannattaa käyttää numerosysteemiä nimen alussa, koska IDA:n tulostusraportteihin version nimestä tulostuu vain yhdeksän ensimmäistä merkkiä. Tässä projektissa versioiden nimissä on käytetty seuraavaa rakennetta.

- 1. numero: 1 = ilmanvaihdon tehostus 30 %
2 = ei ilmanvaihdon tehostusta
- 2. numero: 1 = pieni ikkuna (karmin osuus 30 %)
2 = normaali ikkuna (karmin osuus 20 %)
3 = suuri ikkuna (karmin osuus 10 %)
- 3. numero: 1 = ikkunassa ei ole sisäänvetoa
2 = ikkunassa on 100 mm:n sisäänveto
3 = ikkunassa on 200 mm:n sisäänveto
- 4. numero: 1 = kirkas ikkunalasi
2 = auringonsuojaikkunalasi
3 = auringonsuoja plus -ikkunalasi
- 5. numero: 1 = ei sälekaihtimia
2 = sälekaihtimet ikkunan sisäpuolella
3 = sälekaihtimet lasien välissä

- 6. numero: 1 = ikkunassa ei ole lippaa
 2 = ikkunan päällä on 100 mm:n lippa
 3 = ikkunan päällä on 300 mm:n lippa.

Kun kaikille versioille on muutettu tarvittavat arvot, voidaan versioipuu päivittää, jolloin ohjelma laskee kaikki versiot peräjälkeen. Tässä laskennassa voi kestää useita tunteja riippuen laskentamallin raskaudesta.

Tulokset

Vertailun kohteena olevassa asunnossa vaadittuihin raja-arvoihin päästiin vain vaihtoehdolla, jossa kaikki muutokset ovat suojauksen kannalta parhaassa vaihtoehdossa: karmin osuus ikkunapinta-alasta 30 %, ilmanvaihdon tehostus 30 %, auringonsuoja plus ikkunalasi, sälekaihtimet ikkunalasin välissä, ikkunan sisäänveto 200 mm ja ikkunan yläpuolella 300 mm:n lippa. Taulukossa 18 on esitetty otteita tuloksista.

Taulukko 18. Otteita vertailun tuloksista

Vertailu arvot	Astetunnit yli 27 °C		
	OH	MH1	MH2
tehostus 30 %	2062	2009	2051
edellinen + ikkunakarmin osuus 30 %	1812	1646	1697
edellinen + auringonsuoja plus ikkunalasi	552	434	474
edelliset + kaihtimet ikkunalasin välissä	194	92	116
edelliset + sisäänveto 200 mm	180	72	100
edelliset + lippa 300 mm	146	53	72
tehostus 30 % + karmi 20 % + auringonsuoja plus lasi + kaihtimet lasin väissä + sisäänveto 200 mm + lippa 300 mm	198	98	115
tehostus 30 % + karmi 30 % + auringonsuojalasi + kaihtimet lasin väissä + sisäänveto 200 mm + lippa 300 mm	233	143	153
tehostus 30 % + karmi 30 % + auringonsuoja plus lasi + kaihtimet lasin sisäpuolella + sisäänveto 200 mm + lippa 300 mm	254	157	172
tehostus 30 % + karmi 30 % + auringonsuoja plus lasi + kaihtimet lasin välissä + sisäänveto 100 mm + lippa 300 mm	172	70	88
tehostus 30 % + karmi 30 % + auringonsuoja plus lasi + kaihtimet lasin välissä + sisäänveto 200 mm + lippa 100 mm	166	62	88

Koko talossa, vertailuarvolla, jossa kaikki muutokset on huomioitu, päästään kaikissa asunnoissa raja-arvojen alle. Suurimmassa osassa huoneistoista riittäisi vähempikin suojaus.

Huoneistot, joissa vaatimukset saatiin helpoimmin täytettyä, sijaitsivat rakennuksen itä- ja pohjoisjulkisivuilla. Lisäksi näissä huoneistoissa oli pienimmät ikkunapinta-ala (ikkunoiden korkeus enintään 1,5 m). Huoneistoissa, jotka vaativat suurimmat muutokset, sijaitsivat etelä- ja länsijulkisivuilla ja ikkunapinta-alat olivat suurimmat (ikkunakorkeus 1,9 m).

Liitteessä 1 on esitetty vertailun huoneiston numero 30 olohuoneen ja makuuhuoneen 2 kesäajan lämpötilanhallinnan lähtötiedot ja tulokset määräysten vaatimassa muodossa.

4 POHDINTA

Opinnäytetyöni vertailun tulokset olivat mielestäni jokseenkin yllättävät. Vaikka oletin, että vaadittuihin raja-arvoihin voi olla vaikea päästä osassa huoneistoista, en kuitenkaan uskonut, että vain yksi vaihtoehto olisi riittävä. Kyseisen vertailun huoneiston vaikeaa lämpötilanhallintaa selittää paljon se, että huoneiston ikkunat ovat todella suuret. Mahdollisesti ikkunoita pienentämällä voitaisiin päästä raja-arvojen alle vähemmällä suojausratkaisuilla.

Laskentaa tehdessäni mietin myös paljon sitä, miksi lämpötilanhallinnan määräystenmukaisuuden osoittaminen tulee tehdä Helsingin säätiedoilla, vaikka rakennus sijaitsee Rovaniemellä. Ymmärrän, että energiatodistusta tehdessä näin menetellään, koska silloin rakennukset ovat vertailukelpoisia paikkakunnasta riippumatta. Kuitenkin lämpötilanhallinnan päätarkoitus on, että rakennuksen sisäilmasto pysyisi hyvänä tiiviistä vaipparakenteesta huolimatta. Eikö tällöin olisi järkevämpää tehdä lämpötilanhallinnan laskenta lähempänä oikeaa tilannetta olevilla säätiedoilla?

Jatkotutkimuksena olisi mielenkiintoista mitata kesän ajan lämpötilat kyseisessä vertailun kohteena olleessa huoneistossa. Tutkimus pitäisi päästä toteuttamaan siten, että saisin kontrolloida ovien ja ikkunoiden aukioloa sekä muita laskentamallissa käytettyjä arvoja. Kiinnostavaa tässä tutkimuksessa olisi erityisesti se, kuinka paljon ohjelman laskemat arvot poikkeavat todellisesta tilanteesta.

Toinen, ehkä vielä toteuttamiskelpoisempi tutkimus, mikä juolahti mieleeni tätä tutkimusta tehdessäni, olisi laboratorio-olosuhteissa tehtävä simulointi/mittaus tutkimus. Tässä tutkimuksessa rakennettaisiin tila, jonka lähtötiedot mitattaisiin ja simuloitaisiin ohjelmalla. Tämän jälkeen samalle tilalle suoritettaisiin mittausjakso kesän aikana. Nämä tulokset olisivat enemmän vertailukelpoisia simulointiohjelman toiminnan kannalta, koska tiedettäisiin tismalleen, miten kyseinen tila on rakennettu.

Käyttämästäni simulointiohjelmasta, IDA Indoor Climate and Energy, ajatuksia työn edetessä kertyi jonkin verran, koska teknisiltä ongelmilta en välttynyt. Ohjelma on erittäin monimutkainen ja siinä voi vaikuttaa mielestäni liian moniin asioihin siten, että virheiden tekeminen on helppoa. Ohjelmassa pääsee

käsiksi kaikkiin kaavoihin ja parametreihin. Lisäksi ohjelmaan ei ole tehty sellaista opasta, joka opastaisi, mihin pitää mitäkin arvoja syöttää, jotta saadaan lämpötilanhallintamalli tehtyä. IDA:lla kun voidaan laskea muitakin malleja kuin lämpötilanhallinta. Ohjelman osa suomennoksista on myös ontuvia, joista ei aivan selviä, mitä siinä tarkoitetaan. Myös suomenkielisen käyttöoppaan puute on mielestäni ohjelman miinuspuolia.

Vastauksena alussa miettimiini kysymyksiin: mielestäni lämpötilanhallinnan määräystenmukaisuuden osoittaminen ohjaa rakennuttajia huomioimaan paremmin sisäilmaston laadun. Määräyksistä on vaikeaa päästä läpi pelkästään tiiviitä rakenteita rakentamalla, ellei käytetä laittomia huijauskeinoja. Auringsuojaukseen joudutaan panostamaan entistä enemmän, koska tiiviit rakenteet eivät anna samaa vuotoilman tuomaa viilennystä kuin ennen.

LÄHTEET

EQUA Simulation AB. IDA Indoor Climate and Energy. Osoitteessa
<http://www.equa-solutions.co.uk/en/software/idaice>. 8.5.2014.

Progman Oy. 2014. MagiCAD Room. Osoitteessa
<http://www.magicad.com/fi/content/magicad-room>. 8.5.2014.

RakMK 2012a = Suomen rakentamismääräyskokoelma. D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet.

– 2012b = Suomen rakentamismääräyskokoelma. D3: Rakennusten energia-
tehokkuus. Määräykset ja ohjeet.

– 2012c = Suomen rakentamismääräyskokoelma. D5: Rakennuksen energi-
ankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012.

Ympäristöministeriö. 2011. Rakennusten energialaskennan testivuodet.
Osoitteessa
<http://www.ym.fi/download/noname/%7B8D997677-9ECB-49DC-9D73-9DD93C1C875E%7D/31275>. 6.5.2014.

Ympäristöministeriö. 2012. D3 Laskentaopas: Kesäajan huonelämpötilan
vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen. Osoitteessa
<http://www.ym.fi/download/noname/%7B7B8D0893-4715-4FD1-B685-D2B71D6A6559%7D/31274>. 6.5.2014.

LIITTEET

Kesäajan huonelämpötilalaskelman lähtötiedot ja tulokset Liite 1



Kesäajan huonelämpötilalaskelman lähtötiedot

Rakennuskohde

Osoite	
Rakennuksen käyttötarkoitus	Asuinkerrostalo
Tarkasteltavat tilat	Rakennuksen 4. kerroksen asunnon 30 MH2 ja OH+K+ET

Muoto

Kuvaus	Arkkitehtipiirustukset
Ikkunapinta-ala	MH2 2,1 m ² ja OH+K+ET 9,9 m ²
Ikkunan osuus lattiapinnasta	MH2 21 % ja OH+K+ET 20%

Rakenne

Rakennetyypit	Rakennetyyppien 1.6.2012 mukaisesti
Ikkuna	
- Tekniset arvot	0,6 W/m ² K, g=0,25
- Karmit	Karmin suhde ikkuna-aukosta 30%
- Verhot	Sälekaihtimet ikkunalasien välissä
- Tuuletusikkuna	Kiinni
Ovi	Sisäovet auki
Auringonsuojaus	Ikkunasyvennys 200mm, Ikkunan päällä 300 mm:n lippa

Talotekniikka

Ilmanvaihtojärjestelmä	Tulo- / poistoilmanvaihtokone
Lämmöntalteenoton ohjaus	Kesäajan ohitus
Jälkilämmityspatteri	Asetusarvo +15 °C
Ilmavirta	MH2 +10 l/s ja OH+K+ET +12 l/s / -10 l/s +tehostus 30%
Tuloilman lämpeneminen ilmanvaihtojärjestelmässä	+2,0°C
Lämmitysjärjestelmä	Tiloissa patterilämmitys, joka kiinni kesällä
Märkätilojen lämmitys	-

Muut järjestelmät**Sisäiset lämpökuormat**

Kuormat	Rakentamismääräyskokoelman D3 (2012) mukaisesti
---------	-------------------------------------------------

Käyttötarkoitusluokka	Kelloaika	Käyttöaika	Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset
	-	h/24h	d/7d	-	W/m ²	W/m ²
Asuinkerrostalo	00.00-24.00	24	7	0,6	11	4

Tarkastelu laadittu dynaamisella laskentatyökalulla; IDA ICE 4.51

Päiväys	Allekirjoitus	Nimen selvennys
11.5.2014		Sweco Talotekniikka Oy / Maria Tikka

Kesäajan huonelämpötilalaskelman tulokset

Rakennuskohde

Osoite _____

Rakennuksen käyttötarkoitus Asuinkerrostalo

Kesäajan huonelämpötilan 27°C jäädytysrajan astetuntiyhteykset D3 (2012)

Tarkasteltu tila 4. Kerroksen asunto 30 MH2

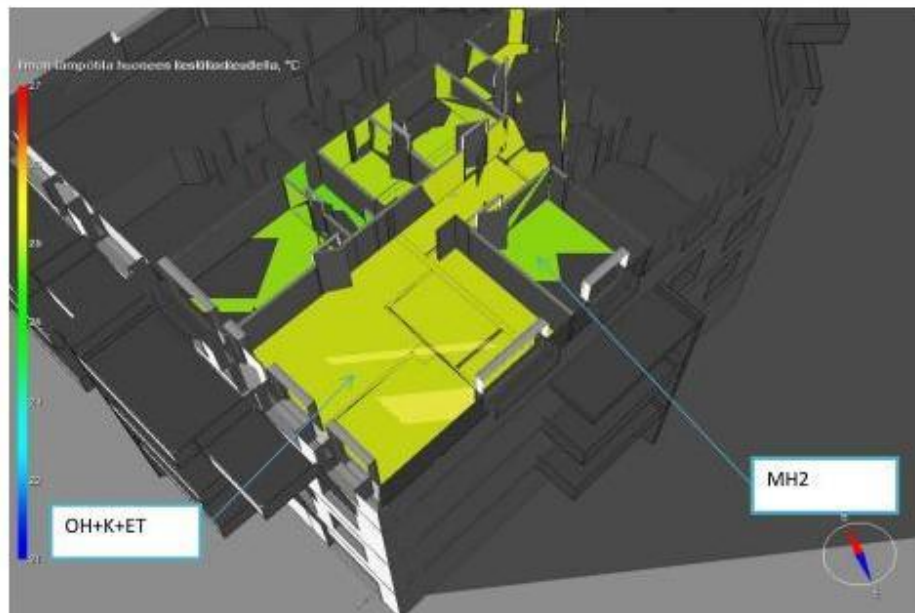
Astetunnit 72 °Ch

Raja-arvo 150 °Ch alittuu

Tarkasteltu tila 4. Kerroksen asunto 30 OH+K+ET

Astetunnit 146 °Ch

Raja-arvo 150 °Ch alittuu

Kuva laskentamallista


Päiväys

11.5.2014

Allekirjoitus

Nimen selvennys

Sweco Talotekniikka Oy / Maria Tikka