

Simulointiohjelmien ominaisuuksien arviointi

Näkökulmia energiasimulointiohjelmien
vertailuun

Rami Mäkinen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Talotekniikka
LVI

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-tekniikka

RAMI MÄKINEN:

Simulointiohjelmien ominaisuuksien arviointi
Näkökulmia energiasimulointiohjelmien vertailuun

Opinnäytetyö 32 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Toukokuu 2013

Energiankulutuksen ja sisäilmasto-olosuhteiden simulointi on viime vuosina saanut merkittävän roolin rakennuksia suunniteltaessa ja suunnitteluratkaisuja vertailtaessa. Vuonna 2012 uudistunut Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 velvoittaa käyttämään dynaamista laskentatyökalua rakennuksen energialaskennassa, pientaloja lukuun ottamatta. Simulointiohjelmien vertailulla ja niiden ominaisuuksia arvioimalla voidaan valita oikea työkalu oikeaan laskentatilanteeseen sekä toisaalta tunnistaa ohjelmien vahvuuksia ja heikkouksia haluttua käyttötarkoitusta ajatellen.

Opinnäytetyön tavoitteena on raportoida niistä tekijöistä, jotka saattavat vaikuttaa käytettävän simulointiohjelman valintaan. Simulointiohjelmien vertailusta ja ominaisuuksien arvioinnista julkaistua materiaalia on melko vähän. Tämän takia tässä työssä esitetyt vertailumetodit ovat pohtivia ja perustuvat joidenkin simulointiohjelmien käytöstä saatuihin kokemuksiin sekä niihin seikkoihin, joilla simuloitaessa, laskennan valmistelussa ja tulosten esittämisessä on havaittu olevan vaikutusta energialaskentaprosessiin. Ominaisuuksien arviointimetodit ja kriteerit on esitetty yleisellä tasolla ja pyritty enimmäkseen pohtimaan niiden käytännöllisyyttä työn tuottavuuden ja työtehokkuuden kannalta.

Työn pohjalta on havaittavissa, että simulointiohjelmiä ja niiden ominaisuuksia arvioitaessa on lukuisia eri tekijöitä, jotka vaikuttavat työn tehokkuuteen ja ohjelmien käytettävyyteen. Koska käyttäjillä voi olla eri intressejä ja mieltymyksiä, on yleistävä vertailu eri ohjelmien välillä melko vaikeaa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Building service engineering
HVAC Services

RAMI MÄKINEN:
Simulation Software Performance Evaluation
Perspectives to Compare Energy Simulation Softwares

Bachelor's thesis 32 pages, appendices 1 pages
May 2013

Simulations of energy consumption and indoor climate conditions have gained a significant role in the building design in recent years. Finnish building regulations, which were upgraded in 2012, now require that a dynamic calculation tool must be used when making energy calculations for buildings. By comparing different simulation softwares and their features the right tool for the right situation can be chosen. At the same time it is possible to find out each software's strengths and weaknesses.

The objective of this thesis was to report the factors that may have an influence on which simulation software to be chosen. There is hardly any published material about comparing simulation softwares and, therefore, methods in this thesis are based on reflection and practical experiences achieved by observation. Evaluation methods are presented on a general level, and the main aim has been in considering their effects on work productivity and work efficiency.

On the basis of this thesis it is clear that simulation softwares and their features are quite difficult to evaluate universally because different users have different interests and each user will appreciate different features on a case-by-case basis.

Key words: energy calculation, simulation software, energy consumption

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	Energiankulutuksen laskenta ja simulointi.....	8
2.1	Yleistä	8
2.2	Laskennan kulku	8
2.3	Rakennuksen lämpöhäviöt	9
2.3.1	Lämmönjohtuminen	10
2.3.2	Säätiedot.....	10
2.3.3	Kylmäsillat	11
2.3.4	Vuotoilma.....	11
2.3.5	Ilmanvaihto	12
2.4	Muut energiankulutukseen vaikuttavat tekijät.....	12
2.4.1	Sähköenergia.....	12
2.4.2	Lämminkäyttövesi.....	12
2.4.3	Järjestelmät ja niiden häviöt.....	13
2.5	Dynaaminen laskentamenetelmä	13
2.6	Rakennuksen muut sisäiset olosuhteet.....	13
2.7	Rakentamismääräyskokoelman osan D3 määräykset	14
2.7.1	E-luku	14
2.7.2	Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	15
2.7.3	Standardikäyttö	15
2.7.4	Säätiedot.....	15
2.7.5	Olosuhteet	16
3	Simulointiohjelmat	17
3.1	Simulointi.....	17
3.1.1	Simuloinnin merkitys	17
3.1.2	Laatuvaatimukset sekä standardit simuloinnille ja laskennalle	18
3.2	MagiCAD Comfort and Energy (Riuska).....	18
3.3	IDA ICE 4.5.....	19
3.3.1	IDA Early Stage Building Optimization (ESBO).....	20
3.4	Muita simulointiohjelmia.....	20
4	Simulointiohjelmien ominaisuudet.....	22
4.1	Tavoitteet	22
4.1.1	Arvioinnin lähtökohdat	22
4.1.2	Perehtymisen merkitys ja objektiivisuus arvioinnissa	22
4.2	Arviointi.....	22
4.2.1	Laskelmat ja niiden tulokset	23

4.2.2 Ohjelmisto - helppokäyttöisyys ja selkeys.....	23
4.2.3 Matemaattinen malli	24
4.2.4 Mallin hyödyntäminen	25
4.2.5 Järjestelmät ja niiden muunneltavuus	26
4.2.6 Tietokannat, kirjastot ja lähtötietojen antaminen.....	26
4.2.7 Laskennan muunneltavuus ja versiointi.....	27
4.2.8 Raportit ja tulosteet	28
5 YHTEENVETO	30
LÄHTEET.....	31
LIITTEET	32
Liite 1. Rakentamismääräyskokoelman osan D3 Liite 12 Taulukko 13: E-luvun laskennan tulosten esittäminen.	32

ERITYISSANASTO

Sisäiset lämpökuormat	rakennuksen käyttöön liittyvät lämpökuormat, esim. valaistuksen, laitteiden ja ihmisten luovuttama lämpöenergia
Matemaattinen malli	rakennuksen tietomalli, jossa on määritelty rakennuksen muoto, kerrokset, ym. rakenteelliset seikat
Suunnitteluratkaisu	simuloitavan tai laskettavan rakennuksen suunnitelma, joka on aikomus toteuttaa
E-luku	Energiatehokkuusluku, jonka yksikkö on kWh/m ² a

1 JOHDANTO

Rakennuksen energiankulutukseen ja sisäisiin olosuhteisiin on viime vuosina alettu kiinnittää huomiota enenevässä määrin. Tätä kehitystä on pitkälti ohjailnut toisaalta viranomaismääräykset ja toisaalta energian hinta ja hintakehitysnäkymät. Lisäksi yleinen tahtotila ympäristövaikutuksiin sekä viihtyisien sisäilmasto-olosuhteiden aikaansaamiseen on jossain määrin lisääntynyt. Rakennuksen ominaisuuksia pyritäänkin tarkastelemaan jo suunnittelun alkuvaiheissa, jotta varmistutaan lopputuloksesta, joka täyttää halutut laatuvaatimukset ja ennen kaikkea rakennusmääräykset.

Erilaiset laskenta- ja simulointiohjelmat ovat nykypäiväinen työkalu rakennuksen energia- ja olosuhdetarkastelussa. Koska energiatarkastelu on merkittävä osa suunnittelutyötä, tulee laskennassa käytettäviin työkaluihin eli simulointiohjelmiin kiinnittää erityistä huomiota. Simulointiohjelmat ovat kehittyneet 2000-luvulla sellaiselle tasolle, että useimpien suunnittelutoimistojen on mahdollista suorittaa simulointilaskelmia. Simulointiohjelmien kehitystä on ohjailnut toisaalta tarve saada luotettavampia laskentatuloksia sekä toisaalta tietotekniikan kehitys sellaiselle tasolle, että laskenta on kohtuullisella suorituskyvyllä ja kohtuullisessa ajassa mahdollista.

Tässä työssä tuodaan esille simulointiohjelmien ominaisuuksia, joilla on koettu olevan tärkeä merkitys energianlaskentaprosessissa. Työssä ei oteta kantaa juurikaan itse laskentaprosessiin tai ohjelman laskentatekniikkaan, vaan keskitytään muiden ominaisuuksien, kuten käytettävyyden ja käyttäjäystävällisyyden, analysointiin. Ominaisuuksien pohjalta voidaan arvioida eri ohjelmien käytettävyyttä ja tarkoituksen mukaisuutta omaan käyttöön sekä pohtia, mitä ominaisuuksia tai toimintoja käyttäjä haluaa ohjelmalta. Työn pohjana ovat omat käyttökokemukset eri simulointiohjelmissa lukuisine laskentatapauksineen.

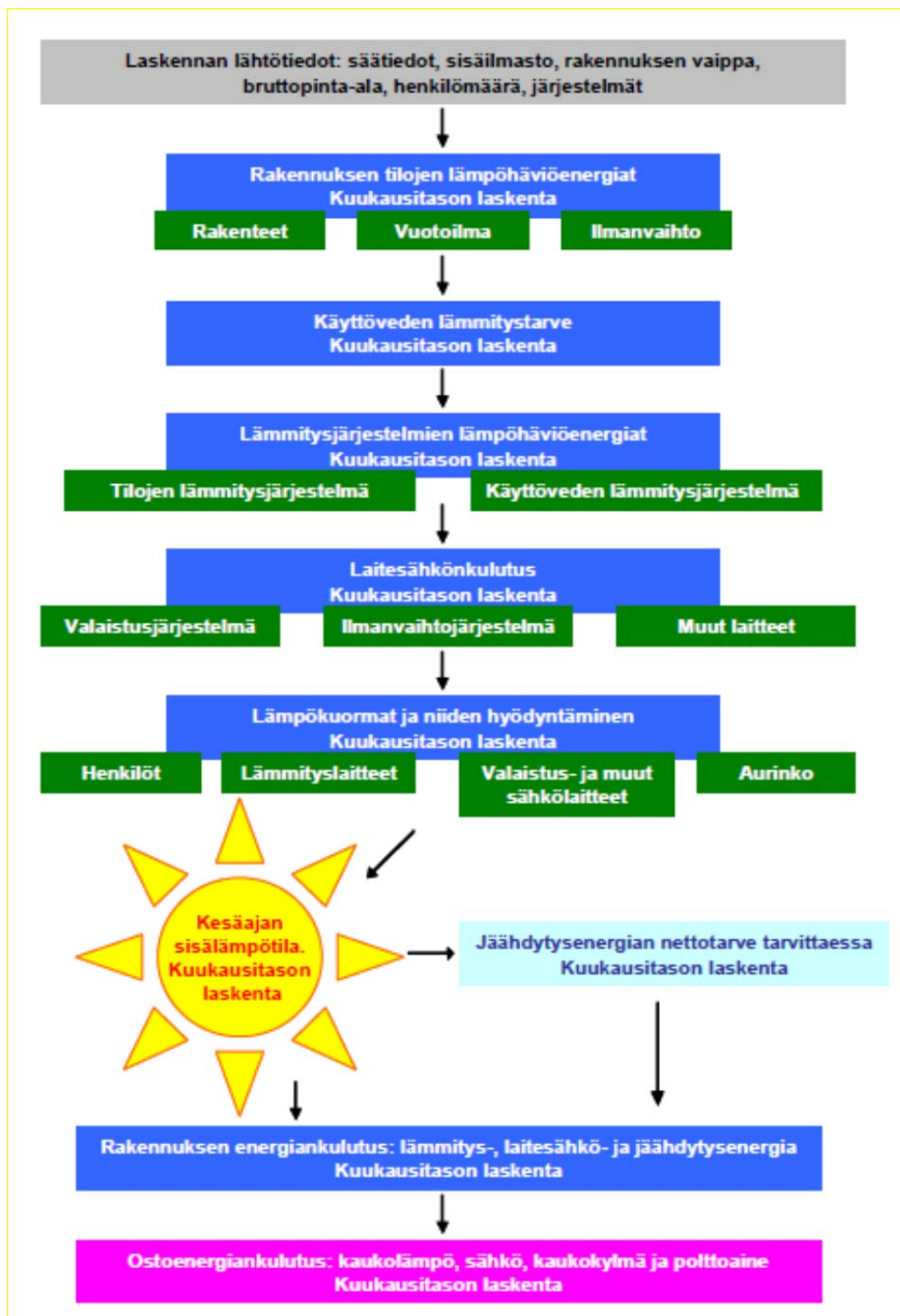
2 Energiankulutuksen laskenta ja simulointi

2.1 Yleistä

Rakennuksen energiankulutuksen laskemisessa on tärkeää tuntea laskennan taustalla olevat fysikaaliset ilmiöt. Lisäksi rakennuksen energiatarkastelussa on hyvä tuntea LVI-tekniisiä järjestelmiä ja niiden säätötapoja, jotta voidaan varmistaa laskelmien oikeellisuus. Tässä luvussa esitellään tärkeimmät rakennuksen energialaskentaan liittyvät ilmiöt.

2.2 Laskennan kulku

Rakennuksen energiankulutuksen laskenta on monivaiheinen ja koostuu useasta eri osasta. Laskenta vaatii riittävän tarkat lähtöarvot laskettavasta kohteesta, jotta laskenta saadaan suoritettua loppuun. Kuvassa 1 on esitelty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 2007 järjestys, jonka mukaan energialaskenta pääpiirteissään etenee.



KUVA1. Rakennuksen energiankulutuksen laskeminen (Ympäristöministeriö, 2007)

2.3 Rakennuksen lämpöhäviöt

Rakennuksen lämpöhäviöenergiat muodostavat koko rakennuksen lämmitysenergian tarpeen, joka on suurin osa koko rakennuksen energiantarpeesta.

2.3.1 Lämmönjohtuminen

Tarkasteltaessa rakennuksen lämpöhäviötä, on yksi merkittävimmistä seikoista vaipan läpi kulkeva lämpöenergia. Rakenteen läpi johtuvasta energiasta käytetään yleisesti fysikaalista termiä johtuminen. Lämmönjohtuminen on kiinteässä aineessa liike-energian siirtymistä toiseen. Johtumisesta aiheutuvaa energian siirtymistä sanotaan lämpövirraksi ja sen suuruus on riippuvainen lämpötilaerosta. Rakenteen lämmönjohtavuus on riippuvainen käytettävästä materiaalista; metalleilla on erinomainen lämmönjohtavuus, kun taas kaasuilla se on yleensä huono. (Seppänen, 2001)

Kokonaisen rakenteen lämmönjohtavuus saadaan laskettua eri materiaalikerrosten paksuudet ja lämmönjohtavuusominaisuudet huomioon ottaen. Lämpövirran määrää kuvataan U-arvolla, jonka yksikkö on W/m^2K . (Seppänen, 2001)

Tarkasteltaessa rakennuksen lämpöhäviöitä määritellään kullekin vaipan rakenteelle ominaiset U-arvot. Rakennuksen vaippa sisältää seinät, yläpohjan, alapohjan, ikkunat sekä ovet. Laskennassa tulee ottaa huomioon, että rakennuksen vaippa voi sisältää useampaa eri rakennetyyppejä, esimerkiksi kahta erilaista seinärakennetta (Seppänen, 2001).

Rakennusmateriaalilla, kuten kaikilla aineilla, on sille tyypillinen lämpökapasiteetti, jonka mukaan materiaali sitoo ja luovuttaa lämpöenergiaa. Rakennuksen massan sitoessa tai luovuttaessa lämpöenergiaa se vaikuttaa hidastavasti rakennuksen olosuhdemuutoksiin. Tätä ilmiötä kutsutaan rakennuksen dynaamiseksi käyttäytymiseksi. Rakennuksen lämpödynaamisuuuden tarkka laskeminen on melko monimutkainen prosessi materiaalien lämpötilojen muuttuessa jatkuvasti. Siksi dynaamiseen laskemiseen tarvitaan käytännössä tietokoneohjelmia (Seppänen, 2001).

2.3.2 Säätiiedot

Kuten edellä todettiin, on lämmöntarve verrannollinen lämpötilaeroon. Rakennuksen energiakulutusta laskettaessa tämä lämpötilaero on rakennuksen sisä- ja ulkoilman

välinen lämpötilaero tai tarkasteltaessa rakennuksen alapohjanhäviötä maanlämpötilan ja sisäilman välinen lämpötilaero. Laskentatapauksen maantieteelliseen sijaintiin liittyvät olosuhteet vaikuttavat täten oleellisesti rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen. Esimerkiksi pääkaupunkiseudun vuoden keskilämpötila on 4,4 °C, kun taas Rovaniemellä vastaava luku on 0,2 °C. (Seppänen, 2001)

2.3.3 Kylmäsillat

Kylmäsilta on rakennuksen ulkovaipassa oleva paikallinen lämmöneristyksen heikkeneminen, joka aiheuttaa suuremman lämpövirran suhteessa vaipan U-arvoon. Tällaista heikkenemistä voi tapahtua esimerkiksi rakenteiden liittyessä toisiinsa, jolloin eristekerros joudutaan läpäisemään tai sitä on ohennettu. Tavallisimpia kylmäsilloja syntyy seinien, ylä- ja alapohjan, parvekelaattojen yms. rakenteiden liitoksissa. Lisäksi pistemäisiä kylmäsilloja syntyy, kun rakenne joudutaan lävistämään esimerkiksi tukiraidoilla. (Seppänen, 2001)

2.3.4 Vuotoilma

Rakenteissa ja niiden liittyessä toisiinsa ei voida välttyä raoilta, joista ilma pääsee vuotamaan. Ilman vuotaminen vaipan läpi johtuu ulkoilman ja rakennuksen sisäilman välisestä paine-erosta. Paine-eroja syntyy joko lämpötilaerojen tai ilmanvaihdon aiheuttamasta ali- tai ylipaineesta. Lisäksi tuuli voi aiheuttaa paine-eroja eri puolille vaippaa, muodostaen ylipaineen rakennuksen toiselle puolelle ja alipaineen toiselle. (Seppänen, 2001)

Tarkasteltaessa rakennuksen vuotoilmaa oletetaan, että rakennus on alipaineinen ja että vuotoilman aiheuttama lämmöntarve muodostuu ulkoa sisälle virtaavan ilman lämmittämisestä (Seppänen, 2001). Rakennuksen tiiveyttä kuvataan vuotoilmaluvulla (q_{50}) ja sen yksikkö on $m^3/(h \cdot m^2)$ (Ympäristöministeriö, 2012).

2.3.5 Ilmanvaihto

Rakennuksen vaipan ollessa tiivis ja hyvä lämmöneristävyydeltään korostuu ilmanvaihdon merkitys rakennuksen energiankulutuksessa. Ilmanvaihdon kuluttama lämpöenergia koostuu tarvittavan ilmamäärän lämmittämisestä ulkoilmasta halutuksi sisäänpuhalluslämpötilaksi. Useimmiten ilmanvaihdossa käytetään lämmöntalteenottoa, jolla siirretään rakennuksesta ulospuhallettavasta ilmasta lämpöenergiaa sisään puhallettavaan ilmaan. Joissain tilanteissa voidaan ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimesta saatavan lämpöenergian katsoa lämmittävän sisään puhallettavaa ilmaa. (Seppänen, 2001)

2.4 Muut energiankulutukseen vaikuttavat tekijät

2.4.1 Sähköenergia

Rakennuksen sähköenergian kulutus riippuu pitkälti rakennuksen käyttötarkoituksesta ja varustelutasosta. Rakennuksen lämmitys voidaan toteuttaa sähköllä, mutta sähkön kulutusta muodostuu myös muun muassa valaistuksesta, talotekniikasta (puhaltimet, pumput, jäädytys, ohjaukset), kiinteistä laitteista (hissit, keittiön koneet, kiukaat) ja käyttäjien laitteista. Sähkön kulutuksesta osa saadaan hyödyksi rakennuksen lämmittämisessä, mutta toisaalta sähkön kulutusta voidaan tarkastella, etenkin kesällä, yllilämpönä, josta aiheutuu jäädytystarvetta. (Lappalainen, 2005)

2.4.2 Lämminkäyttövesi

Lämpimän käyttöveden kulutus riippuu täysin käyttäjistä. Käyttöveden kulutus on tyypillisesti suurinta asuinrakennuksissa, joissa vettä kuluu vähintään neljännes lämmitysenergian tarpeesta (Lappalainen, 2005). Käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia muodostuu lähinnä kylmän veden lämmittämisestä sekä putkiston ja siihen liitettyjen lämmityslaitteiden sekä mahdollisten varaajien häviöstä (Ympäristöministeriö, 2007). Kuten sähköenergian käytössä, myös osa lämpimän käyttöveden energiasta päätyy tilojen lämmittämiseen (Ympäristöministeriö, 2007).

2.4.3 Järjestelmät ja niiden häviöt

Jotta rakennuksen lämpöhäviöt saataisiin katettua, tarvitaan rakennuksessa lämmitysjärjestelmä. Lämmitysjärjestelmät eivät ole häviöttömiä ja niiden säädössä on järjestelmästä riippuen hitautta (Ympäristöministeriö, 2007).

Erilaiset säätö- ja ohjausjärjestelmät sekä lämmön tuotanto- ja jakelujärjestelmät vaikuttavat lämmitysratkaisujen hyötysuhteeseen. Lämpöhäviöenergia on järjestelmään tuodun ja järjestelmän tarvitseman energian erotus. Vaikka järjestelmissä on häviöitä, osa häviöstä päätyy kuitenkin lämpökuormina hyödyksi rakennuksen lämmitykseen. (Ympäristöministeriö, 2007)

2.5 Dynaaminen laskentamenetelmä

Dynaaminen laskentamenetelmä ottaa lämmönsiirron laskennassa huomioon rakenteen (massan) lämmönluvutusominaisuudet ajan suhteen. Lämpöenergian varastoituminen on otettava huomioon laskennassa, jotta saadaan laskettua rakennuksen mahdollisesti tarvitsema jäähdysteho (Seppänen, 2001).

Dynaamista laskentamenetelmää tarvitaan myös kuvaamaan rakenteiden varastoima ylilämpö, joka on hyödyksi rakennusta lämmitettäessä. Tämän kaltainen lämpökuormien hyödyntäminen saattaa olla merkittävä esimerkiksi toimistorakennuksissa, joissa lämpökuormat ajoittuvat tiettyyn aikaan vuorokaudessa (Kurnitski, 2012).

2.6 Rakennuksen muut sisäiset olosuhteet

Useimmiten simuloinnilla pyritään saamaan tietoa rakennuksen jäähdytys- ja lämmitystarpeesta. Suunnittelussa halutaan kuitenkin painottaa myös sisäilman muita ominaisuuksia kuten ilmankosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta.

Hiilidioksidipitoisuus voidaan laskea, kun tiedetään ilmanvaihdon ottaman ulkoilman hiilidioksidipitoisuus, joka on riippuvainen rakennuksen muusta ympäristöstä. Hiilidioksiditaso saadaan, kun tuotuun ulkoilmaan lisätään rakennuksen sisäiset hiilidioksidin lähteet ja verrataan tuodun ilman sekoittuvuutta poistettavaan ilmaan.

2.7 Rakentamismääräyskokoelman osan D3 määräykset

Ympäristöministeriön 1. heinäkuuta 2012 voimaan tulleen Rakentamismääräyskokoelman osa D3 – rakennuksen energiatehokkuus (myöhemmin RakMK D3) antaa määritteet uusien rakennuksien energialaskentaan. Lisäksi täysin uutena asiana määräykset velvoittavat rakennuksen sisäilmaston hallintaan ja sisäilmaston olosuhteiden toteennäyttämiseen dynaamisella laskentatyökalulla. (Kurnitski, 2012) Käytännössä tämä tarkoittaa, että pientaloja lukuun ottamatta rakennuksen olosuhteita on tarkasteltava hyväksytyllä simulointiohjelmalla ja laskennan tulokset on esitettävä viranomaisille muun muassa rakennuslupaa haettaessa.

2.7.1 E-luku

E-luvulla kuvataan rakennuksen kokonaisenergiankulutusta painotetulla primäärienergiamuodon kertoimella, ja se ilmaisee (laskennallisen) vuotuisen ostoenergian kulutuksen lämmitettyä nettoalaa kohti. E-luvun laskennassa on otettu huomioon lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien, kuluttajalaitteiden sekä valaistuksen energiankulutus, josta on vähennetty omavarainen energiantuotanto (Ympäristöministeriö, 2012).

Primäärienergiamuotojen kertoimet (Ympäristöministeriö, 2012):

- sähkö	1,7
- kaukolämpö	0,7
- kaukojäähdytys	0,4
- fossiiliset polttoaineet	1,0
- uusiutuvat polttoaineet	0,5

2.7.2 Rakennuksen käyttötarkoitusluokka

Rakennukset on jaettu yhdeksään eri käyttötarkoitusluokkaan kullekin ominaisin piirtein. Rakennuksen käyttötarkoitusluokalle on annettu oma vakioitu rajansa niin E-luvun kuin luokan ilmamäärien, käyttöaikojen, henkilötiheyden, käyttöveden kulutuksen ja lämpökuormienkin suhteen. Näin rakennukset ovat vertailukelpoisia omissa luokissaan. Käyttötarkoitusluokat ja niiden ominaispiirteet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. D3-lähtöarvoja (Ympäristöministeriö, 2012)

Käyttötarkoitusluokka	Käyttöaika		Käyttöaste	Kuormat			Lämpimän käyttöveden kulutus dm ³ /(m ² a)	Olosuhteet		
	d/7d	h/24h		Valaistus W/m ²	laitteet W/m ²	Ihmiset W/m ²		Ulkoilma- virta dm ³ /(s m ²)	Lämmitys- raja °C	Jäähdytys- raja °C
1 Pientalo, rivitalo	7	24	0,6	8	3	2	600	0,4	21	27
2 Asuinkerrostalo	7	24	0,6	11	4	3	600	0,5	21	27
3 Toimistorakennus	5	11	0,65	12	12	5	103	2	21	25
4 Liikerakennus	6	13	1	19	1	2	68	2	18	25
5 Majoitusliikerakennus	24	24	0,3	14	4	4	685	2	21	25
6 Opetusrakennus	8	8	0,6	18	8	14	188	3	21	25
7 Liikuntaahalli	14	14	0,5	12	0	5	343	2	18	25
8 Sairaala	24	24	0,6	9	9	8	515	4	22	25

2.7.3 Standardikäyttö

Jotta rakennukset olisivat vertailukelpoisia keskenään, täytyy laskuista eliminoida käyttäjistä johtuvat seikat. Tätä varten on käyttötarkoitusluokille 1-8 kullekin määritetty omat tyypilliset piirteet eli niin sanotut normikulutukset, jotka koostuvat rakennuksen käynti- ja käyttöajoista, sisäilmasto-olosuhteista sekä lämpökuormista. Käyttöajat ja kuormat ovat näkyvillä taulukossa 1. Ilmanvaihdon käyttöaika saadaan lisäämällä tunti ennen ja jälkeen taulukossa olevaan käyttöaikaan. (Kurnitski, 2012)

2.7.4 Säätiöt

Jotta suunnitteluratkaisut olisivat keskenään vertailukelpoisia, lasketaan energialaskenta

samalla säätiedolla riippumatta rakennuksen todellisesta sijainnista. Tätä kyseistä sää tietoa sanotaan energialaskennan testivuodeksi, joka on koostettu Helsinki-Vantaan viimeisen kolmenkymmenen vuoden säätiedoista. Testivuosi kattaisi todellisuudessa 75 % Suomen rakennuskannasta, ja sen säätiedot ovat ladattavissa ympäristöministeriön verkkosivuilta. (Ympäristöministeriö, 2011)

2.7.5 Olosuhteet

RakMK D3:ssa on ilmoitettu kullekin käyttötarkoituluokalle ominaiset sisäilmasto-olosuhteet, joilla energialaskenta tulee suorittaa. Laskennassa on huomioitava, että jäähdytysrajan saa ylittää enintään 150 astetunnilla (Ympäristöministeriö, 2012). Olosuhteet on esitetty taulukossa 1.

3 Simulointiohjelmat

3.1 Simulointi

Simuloinnin perusajatuksena on yksinkertaisimmillaan, kuten ylipäättään energialaskennassa, syöttää lähtötiedot ja saada näistä laskettuja tuloksia siitä, paljonko rakennus kuluttaa energiaa, sekä siitä, mihin energia kuluu ja millaiset olosuhteet rakennuksessa tulee olemaan. Energialaskennassa tietokoneavusteista simulointia tehdään laskennan helpottamiseksi, laskennan vaatiessa monimutkaisia tai suuren määrän toistuvia laskujen ratkaisuja. Matemaattis-fysikaalisesti simuloinnin pohjalla on pinta-alat rakennusfysikaalisine ominaisuuksineen (U-arvot jne.). Simuloinnilla pyritään saamaan aikaiseksi rakennuksen todellista käyttäytymistä kuvaavat laskelmat. Tämän takia on tärkeää käyttää rakennukseen suunniteltuja (tai jo toteutuneita, mikäli kyseessä on olemassa oleva rakennus) arvoja rakenteiden ja järjestelmien osalta sekä oikeaa tietoa säästä ja ympäristöstä. Poikkeuksena voidaan pitää Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisia laskusääntöjä, joissa tietyt arvot ovat vakioituja. Jotta laskenta vastaisi todellista tilannetta, käytetään simulointiohjelmissa rakennuksen matemaattista mallia, jolla voidaan osoittaa pinta-alat ja rakenteet omille paikoilleen.

3.1.1 Simuloinnin merkitys

Rakennuksen suunnitteluvaiheen energiankulutuksen ja olosuhteiden simuloinnin voidaan katsoa olevan ennaltaehkäisevää suunnittelutyötä. Simuloimalla saadaan selville suunnitellun rakennuksen ominaisuudet, ja rakennus- ja taloteknisiä suunnitelmia voidaan muuttaa niin, että päästään haluttuun lopputulokseen. Rakentamismääräysten uusiutumisten myötä on simuloinnista tullut joissakin tapauksissa pakollinen menetelmä rakennuksen energiankulutuksen laskennassa, ja täten simuloinnista on tullut yksi tavanomainen suunnittelun työvaihe. Simuloinnin voidaan myös katsoa olevan ainoa järkevä laskennallinen keino päästä kiinni rakennuksen jäädytysenergian kulutukseen, joka johtuu rakenteiden lämpödynaamisesta käyttäytymisestä (Seppänen, 2001).

3.1.2 Laatuvaatimukset sekä standardit simuloinnille ja laskennalle

Laskentatyökalun (energiasimulointiohjelman) levittäjän tulee osoittaa työkalun kelpoisuus. Työkalu tulee validoida SFS EN-, CIBSE- tai ASHRAE -standardien mukaisesti tai IEA BESTEST:n laskennan testitapauksella. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että laskennan tulosten tulee olla standardissa lueteltujen tulosten mukaisia silloin, kun laskentatyökalulla tehdyt laskelmat on tehty standardissa määritetyillä lähtöarvoilla. Standardissa SFS-ISO 13790 on määritelty rakennuksen energialaskennan kriteerejä sekä laskentamenetelmiä (Ympäristöministeriö, 2012).

3.2 MagiCAD Comfort and Energy (Riuska)

Insinööritoimisto Granlundin kehittämä Riuska perustuu DOE (Department of Energy) 2.1 -simulointiohjelmaan ja se on kehitetty yhteistyössä yhdysvaltalaisen Lawrence Berkeley National Laboratoryn kanssa. Riuska täyttää BREAAAM-sertifiointin vaatimukset. Ohjelman markkinoinnin ja jakelun hoitaa Suomessa Progman Oy. (Granlund verkkosivut, 2013)

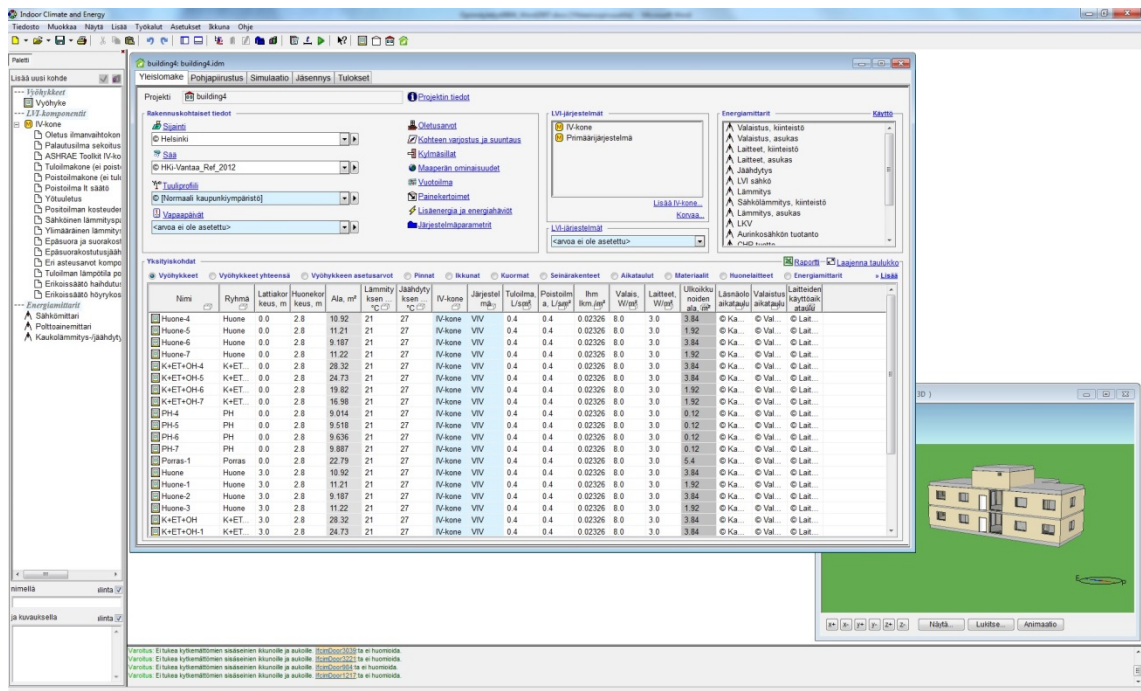
The screenshot shows the Riuska software interface. On the left, there is a 3D model of a building with a yellow highlighted area. Below the model is a legend for material colors. The main window displays a table of material properties. The table has columns for material name, type, and various physical properties. Below the table, there are sections for 'Tilan rakenteet' (Room structures) and 'Rakenteiden ovet ja ikkunat' (Room structures doors and windows).

Tila	Kerros	Turvas	Nimi	af	af	mas d(f)	mas d(f)	mas d(f) af	mas d(f) af	w	w/af	h/a	K/af	Typppi	Laatuaste	mas °C	Laatu
0000	300	IKK	IKK	345	75	52	52	15	15	0	0.0	0.228	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
3000	200	Poiso	Poiso	228	528	34	34	15	15	0	0.0	0.111	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
3000	211	KvET+	KvET+	263	793	42	42	15	15	0	0.0	0.135	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
3000	212	PH	PH	95	273	14	14	15	15	0	0.0	0.203	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
3000	213	Huone	Huone	112	314	17	17	15	15	0	0.0	0.141	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
3000	221	KvET+	KvET+	169	855	30	30	15	15	0	0.0	0.136	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
3000	222	PH	PH	89	277	15	15	15	15	0	0.0	0.136	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
3000	223	Huone	Huone	109	305	16	16	15	15	0	0.0	0.135	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
3000	231	KvET+	KvET+	170	475	25	25	15	15	0	0.0	0.112	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
3000	241	PH	PH	45	767	14	14	15	15	0	0.0	0.176	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
3000	242	Huone	Huone	92	257	14	14	15	15	0	0.0	0.205	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
3000	243	Huone	Huone	112	314	17	17	15	15	0	0.0	0.135	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
3000	244	PH	PH	80	252	14	14	15	15	0	0.0	0.207	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	109	Poiso	Poiso	228	528	34	34	15	15	0	0.0	0.111	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	111	KvET+	KvET+	263	793	42	42	15	15	0	0.0	0.135	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	112	PH	PH	95	273	14	14	15	15	0	0.0	0.203	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	113	Huone	Huone	112	314	17	17	15	15	0	0.0	0.141	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	121	PH	PH	192	595	30	30	15	15	0	0.0	0.191	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	122	PH	PH	89	277	15	15	15	15	0	0.0	0.136	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	123	Huone	Huone	109	305	16	16	15	15	0	0.0	0.135	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	131	KvET+	KvET+	170	475	25	25	15	15	0	0.0	0.112	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	132	PH	PH	85	267	14	14	15	15	0	0.0	0.132	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	134	Huone	Huone	97	267	14	14	15	15	0	0.0	0.195	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	141	KvET+	KvET+	247	832	27	27	15	15	0	0.0	0.139	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	142	PH	PH	80	252	14	14	15	15	0	0.0	0.207	0.00	Taivastoh.	Hjvs		
0	143	Huone	Huone	112	314	17	17	15	15	0	0.0	0.140	0.00	Taivastoh.	Hjvs		

KUVA 2. Riuskan perusnäkymä

3.3 IDA ICE 4.5

IDA ICE -ohjelma (Indoor Climate and Energy) on alun perin kehitetty Kungliga Tekniska Högskolanin ja Teknillisen korkeakoulun LVI-laboratorion komponenttimallien avulla vastaamaan rakennus- ja talotekniikka-alan tarpeisiin. Kehitystä hoitaa nykyisin ruotsalainen Equa Simulation AB. IDA:lla voidaan suorittaa muun muassa rakennuksen lämpödynaamista laskentaa, energialaskentaa sekä sisäilmasto-olosuhdelaskentaa hiilidioksidipitoisuuksineen. Jakelua, markkinointia sekä käyttötukea hoitaa Suomessa Equa Simulation Finland Oy. (Sisäilmätieto verkkosivut, 2013)



Kuva 3. IDA:n perusnäky

3.3.1 IDA Early Stage Building Optimization (ESBO)

ESBO on ilmainen ohjelmisto, jolla voi suorittaa rakennuksen dynaamista energialaskentaa sekä laskea huonelämpötiloja. Ohjelma on Aalto-yliopiston ja Equa Simulation AB:n yhteistyön tulos. Ohjelmassa on valmiita geometriamalleja, eikä rakennusten malleja voi muokata. Ohjelmalla voi vertailla eri rakennusratkaisuja sekä taloteknisiä järjestelmiä ja niiden vaikutusta lopputulokseen, mutta se ei sovellu yksityiskohtaiseen simulointiprojektin laskentaan. ESBO sisältyy myös IDA ICE -ohjelmistoon, jolloin rakennuksen geometriaa voidaan vapaasti muokata. (ESBO verkkosivut, 2013)

3.4 Muita simulointiohjelmiä

IES VE-ware on skotlantilaisen IES-yhtiön (Integrated Environmental Solutions Ltd.) valmistama ja jakelema energialaskentamoottori, joka on osa laajempaa IES-laskentaohjelmistoa. IES VE-ware on läpäissyt IEA BESTEST:n mukaiset testilaskentatapaukset. (IES verkkosivut, 2013)

Kattava lista muista simulointiohjelmista löytyy esimerkiksi Yhdysvaltain energiaviraston Internet-sivuilta (U.S. Department of Energy verkkosivut, 2013). Useimpien ohjelmien kotisivuilta löytää tietoa validoinneista ja testilaskuista. Sivuilta löytyy tietoa muun muassa ohjelmien maksullisuudesta, ominaisuuksista, kehityksestä sekä jakelijoista. Suurin osa listalla olevista ohjelmista ei sovellu kokonaisenergiatarkasteluun, mutta niillä voidaan simuloida tiettyjä osa-alueita, kuten esimerkiksi auringon aiheuttamaa lämpökuormaa huoneeseen.

4 Simulointiohjelmien ominaisuudet

4.1 Tavoitteet

Simulointiohjelmien ominaisuuksien arvioinnissa tavoitteena on tunnistaa niitä seikkoja, jotka mahdollisesti voivat vaikuttaa käytettävän ohjelman valintaan. Yleensä käytettävän työkalun valinta ei ole yksiselitteistä, ja energiakulutuksen simuloinnissa monille seikoille voi antaa erilaisia painoarvoja ohjelman käyttäjän tarpeista riippuen.

4.1.1 Arvioinnin lähtökohdat

Arvioinnin lähtökohtana on, että simulointiohjelmalla voidaan suorittaa Suomen rakentamismääräysten mukaisia laskelmia tai ainakin osia niistä. Siksi arviointikriteerit pohjautuvat hyvin pitkälti juuri uusien energiamääräysten toteuttamiseen tai määräysten mukaisten laskelmien laskentaprosessiin.

4.1.2 Perehtymisen merkitys ja objektiivisuus arvioinnissa

Jotta voidaan analysoida simulointiohjelmiä ja niiden käyttömahdollisuuksia omiin tarpeisiin, täytyy tuntea simulointiin ja energialaskentaan liittyvät seikat tarkasti. Työn alkuosassa on käsitelty perusasioita energialaskennasta, jotka kuuluvat laskijan perusammattitaitoon. Laskijan riittävä energia-asioiden hallinta ja ilmiöiden tunteminen takaa myös tietyn kriittisyyden saatavia tuloksia kohtaan. Näin laskija kykenee tunnistamaan mahdolliset virheet laskelmissa, jotka ovat voineet aiheutua esimerkiksi väärin syötetyistä lähtötiedoista.

4.2 Arviointi

Liike-elämässä yksi tärkeimmistä työkalujen arviointikriteereistä on tuotannolliset seikat. Suunnittelutyössä tuotannon tehokkuus tarkoittaa ajankäytön suhdetta saavutettuihin lopputuloksiin, suunnitelmiin. Suunnittelutyön tehokkuutta on kuitenkin

melko hankalaa mitata, sillä suunnittelu on harvemmin niin sanottua liukuhihnatyötä, koska projektit eroavat aina ainakin jollain tasolla toisistaan.

Seuraavissa kappaleissa on pyritty tuomaan esille sellaisia asioita, joilla on huomattu olevan merkitystä simulointiprosessiin ottamatta kantaa itse ohjelmiin tai niiden ominaisuuksiin. Tarkoituksena ei ole kertoa, millä työkalulla voidaan tehdä tietynlaisia toimintoja ja millä ei. Tarkoituksena on enemmänkin tuoda lukijan tietoisuuteen se, millaisia mahdollisuuksia ja ominaisuuksia simulointiohjelmalla olisi energialaskentaprosessin sujuvuuden kannalta hyvä olla. Ohjelmia vertailtaessa kannattaa tarkastella, millaisia ominaisuuksia ohjelmalta tulisi vaatia ja suhteuttaen vaateet käyttäjän (tai laskentatapausten) tarpeisiin. Erityistä painoarvoa tulisi antaa seikoille, jotka jollain tavalla rajoittavat projektin simulointia eli mikäli tarkasteltavassa ohjelmassa on laskennan kannalta puutteellisia seikkoja.

4.2.1 Laskelmat ja niiden tulokset

Simuloinnin perusajatuksen kannalta tärkeintä on lopputulos. Yksinkertaisin keino tarkastella simulointiohjelmia on tutkia laskennasta saatavia tuloksia. Jos simulointiohjelma on läpäissyt standardien mukaiset testilaskelmat, voidaan olettaa, etteivät itse laskentatulokset poikkea merkittävästi toisistaan identtisissä laskentatapauksissa.

4.2.2 Ohjelmisto - helppokäyttöisyys ja selkeys

Ohjelman selkeyteen vaikuttaa olennaisena osana visuaalinen ilme sekä helposti ymmärrettävä termistö. Lähtötietoja syötettäessä olisi hyvä olla näkyvillä vaikkapa kuva asiasta, jota käsitellään. Esimerkiksi järjestelmän (esim. ilmanvaihtojärjestelmä) komponentteja valittaessa olisi hyvä, jos ruudulla näkyisi samaan aikaan valitun komponentin kuva, joka kuvaisi komponentin toimintaa. Tämän kaltaisilla pienillä visuaalisilla asioilla voidaan vähentää väärinkäsityksiä ja toisaalta havainnollistaa hyvin järjestelmän toimintaa. Muokattaessa jotakin tiettyä tilaa, seinää, ikkunaa tai muuta vastaavaa rakennuksessa, olisi hyvä, että ohjelma osoittaa samanaikaisesti muokattavaa

kohdetta mallissa. Tällöin voidaan varmistua, että muokkauksen alla on juuri haluttu kohde.

Luvun alussa mainittu perusteellinen perehtyminen simulointiohjelmaan on osa ohjelman käyttöä. Käytön opetteluun voidaan järjestää koulutusta. Ohjelmiston arviointi voidaankin aloittaa jo koulutusvaiheesta, oli se sitten itseopiskelua tai jonkun ulkopuolisen antamaa koulutusta. Koulutusta arvioitaessa voidaan ottaa huomioon, kuinka usein koulutusta on tarjolla ja tuleeko koulutuksesta lisäkustannuksia sekä millaisia resursseja koulutus vaatii.

Käyttöä ja sen helppoutta arvioitaessa merkitystä on ohjeiden ja tuen saamisella. Käyttötukea arvioitaessa tulee kiinnittää huomiota siihen, millaista tukea on saatavilla ja millaisella aikataululla. Tyypillisiä tuen muotoja ovat sähköpostiviestintä ja puhelimitse tapahtuva tuki. Myös ohjelmiston manuaali voidaan katsoa osaksi käyttötukea. Manuaalin olisi hyvä olla johdonmukainen, hyvin jäsennelty ja mielellään suomeksi. Hyvä ohjekirja sisältää myös esimerkkejä ja kuvia ohjelman käytöstä sekä kattaa kaikki ohjelman toiminnot. Ohjelman valmistajan tai levittäjän muu panostus, esimerkiksi video-ohjeet, kannattaa ottaa arvioinnissa huomioon. Lisäksi pikaohjeet ohjelman sisällä ovat erittäin hyödyllisiä, koska silloin käyttäjän ei tarvitse etsiä epäselvää asiaa manuaalista, vaan ohjelman käyttö voi jatkua mahdollisimman vaivattomasti ja nopeasti.

Koska simulointi sisältää runsaasti laskentaa, vie itse tietokoneen tekemä laskentavaihe aikaa. Mikäli laskenta on kovin raskas ja aikaa vievä vaihe, seisahtuu itse laskentaprosessi tietokoneen tekemään simuloinnin ajaksi. Tämä saattaa aiheuttaa työskentelyyn ei-toivotun katkoksen.

4.2.3 Matemaattinen malli

Simulaatiossa käytettävän matemaattisen mallin tulisi olla mahdollisimman tarkka, jotta rakennuksen energiankulutusta ja siihen liittyviä fysikaalisia ilmiöitä voidaan tutkia mahdollisimman hyvällä tarkkuudella. Mallissa pitää olla vähintään tieto seinien, ylä-, ala- ja välipohjien, katon sekä ovien ja ikkunoiden koot ja sijainnit toisiinsa nähden. Olennaista on, että tilat ovat sisämitoiltaan, eli pinta-alallisesti ja tilavuudeltaan,

oikeanlaiset. Lisäksi tarvitaan tietoa identifioimaan huoneet ja alueet toisistaan, niin kutsutuiksi vyöhykkeiksi. Ohjelmasta riippuen rakennuksen malli voidaan tehdä joko ohjelmalla itsellään tai sen voi tuoda ohjelman ulkopuolelta niin sanottuna tietomallina.

Mikäli ohjelmalla voidaan luoda malli, tulisi kiinnittää huomiota siihen, millä tarkkuudella tehty malli vastaa haluttua lopputulosta ja kuinka työlästä mallin luominen on. Mikäli mallin luominen on kovinkin työlästä tai vaikeahkoa, voivat projektin edetessä tapahtuvat rakennussuunnitelmien muutokset aiheuttaa melko suurta vaivaa, kun mallia joudutaan muokkaamaan.

Nykyisin useissa suunnitteluprojekteissa on käytössä niin sanottu tietomallintaminen, ja rakennuksista onkin näin ollen usein olemassa valmiita tietomalleja (IFC), joita voidaan tuoda myös energiasimulointiohjelmiin. Tietomallin on kuitenkin täytettävä edellä mainitut kriteerit matemaattiselle mallille. Useimmiten tietomallit eivät ole täysin virheettömästi luettavissa simulointiohjelmalla, vaan ohjelma voi tulkita niitä "väärin" erinäisistä syistä. Tästä johtuen eräs tärkeä tai ainakin työmäärään ja projektin nopeuteen suuresti vaikuttava mittari simulaatio-ohjelmille on valmiin tietomallin hyödyntämisen mahdollisuudet.

4.2.4 Mallin hyödyntäminen

Arvioitaessa simulointiohjelman tarjoamia mahdollisuuksia mallin hyödyntämiseen, kannattaa miettiä, missä laajuudessa ohjelma pystyy mallia käyttämään ja pitääkö tietoja kirjata manuaalisesti. Tietojen, kuten esimerkiksi käyttövedenkulutuksen, syöttäminen pinta-alasidonnaisesti ei suoranaisesti riipu rakennuksen mallin muodoista, mutta nopeuttaa laskentaa, mikäli tällainen mahdollisuus on käytettävissä. Lisäksi mallista olisi hyvä poimia tietoja rakenteiden liitoksista toisiinsa, mikä helpottaa kylmäsiltojen laskennassa, joita on useimmiten melko työläs laskea ja syöttää käsin.

Matemaattisen mallin hyödyntämisen arviointiin voidaan katsoa vaikuttavan myös rakennuksen ulkopuolisten seikkojen kuten sen, miten rakennus varjostaa itseään ja millainen varjostus tulee rakennuksen ympäristöstä. Nämä seikat vaikuttavat olennaisesti rakennuksen jäähdystarpeeseen ja ovat siksi energiankulutuksen kannalta olennaisia.

4.2.5 Järjestelmät ja niiden muunneltavuus

Kuten luvussa 2 todettiin, talotekniset järjestelmät ovat energian tuotannon, siirtämisen ja säätelyn avain. Siksi on tärkeää, että myös järjestelmiä ja niiden toimintoja voidaan kuvata mahdollisimman tarkasti simuloinnissa.

Esimerkiksi useamman eri ilmanvaihdon palvelualueiden määrittäminen simulointiohjelmaan voi olla hyödyllistä, jos suunnitelmissa rakennusta palvelee useampi ilmanvaihtokone ja niillä on erilaisia lämmöntalteenoton hyötysuhteita tai ilmanvaihto on toteutettu joiltain osin tarpeenmukaisena.

Koska simuloitaessa pyritään mallintamaan rakennuksen ja sen järjestelmien käyttäytymistä, olisi tärkeää saada laskelmiin näkyviin myös rakennusautomaation vaikutus. Tällöin voidaan simuloida järjestelmien käyttäytyminen eri tilanteissa. Automaation merkitystä laskennassa kuvaa esimerkiksi tilanne, jossa halutaan ohittaa ilmanvaihdon lämmöntalteenotto, kun sisäilman lämpötila on yli asetusarvon ja säätiedon mukaan ulkoilma on viileämpää kuin sisäilma. Kyseinen järjestely simuloinnissa vaatii ohjelmalta virtuaalisten säätimien asetusarvojen syöttämisen mahdollisuutta (jos ohjelmassa on edes mahdollisuutta säätää prosesseja) ja aikataulutietoja sekä tietenkin tietojen keräämistä simuloituista taloteknisistä prosesseista.

4.2.6 Tietokannat, kirjastot ja lähtötietojen antaminen

Tietokantojen ja kirjastojen tehtävä on pitää tieto helposti ja hallitusti saatavilla. Tämä on tarpeellista myös simuloinnissa, jossa tarvitaan verrattain suuriakin luettelomaisia tietomääriä. Tällaista massatietoutta ovat muun muassa tiedot eri rakenteista ja niiden fysikaalisista ominaisuuksista, kuten lämmönläpäisy- ja lämmönsitomiskyvystä tai eri paikkakuntien säätiedot.

Esimerkiksi rakenteiden tietojen syötön kannalta on mielekästä, että valmiita rakenteita voidaan hakea kirjastoista tai kirjastoon voidaan tallentaa uusia rakennetyyppejä tulevaan käyttöön. Näin joka projektiin ei tarvitse erikseen luoda aina uutta rakennetta, vaan pienillä muokkauksilla päästään nopeasti haluttuun rakenteeseen. Suurten tietomassojen lisääminen laskentaan järjestelmällisesti on tärkeää. Esimerkiksi tietyn tyyppisteen Seinärakenteiden muokkaaminen kerralla niin ettei jokaisen vyöhykkeen seinää tarvitse muokata erikseen.

Kirjastoista olisi hyvä löytyä valmiita malleja vähintään RakMK D3:n määräysten osoittamiin lähtöarvoihin (esitetty taulukossa 1) jo pelkästään siitä syystä, että kyseisillä lähtöarvoilla on tietenkin eniten käyttöä energialaskennassa. Mikäli ohjelmassa on mahdollisuus valita laskennan lähtöarvot esimerkiksi käyttötarkoitukseluokan perusteella, voidaan säästyä paljolta vaivalta, kun laskentaan saadaan suuri määrä tietoa yhdellä valinnalla. Lisäksi tällöin vältetään virheellisiltä lähtötietojen syötöiltä niiltä osin kuin valmis mallipohja pitää tietoja sisällään.

Tietokantoja tai lähtötietojen syöttämistä tarkastellessa kannattaa pohtia, onko ohjelmassa laskennan kannalta sellaisia oleellisia osa-alueita, joita ei voi syöttää ohjelmaan tai jokin osa-alue ylipäättään muokattavissa rakennuksen suunnitelmia vastaavaksi.

4.2.7 Laskennan muunneltavuus ja versiointi

Useimmiten energialaskentaa suoritetaan jo projektin alkuvaiheessa, eikä kaikkia ratkaisuja ole lyöty lukkoon. Suunnittelun alussa saattaa olla useampia vaihtoehtoja suunnitelmien eri osa-alueille. Vaihtoehtojen pohjalta tehdään erilaisia laskelmia ja niitä voidaan verrata keskenään. Tällöin energialaskelmissa on oltava eri versioita kullekin suunnitteluratkaisulle. Usein on hyvä dokumentoida projektin eri laskentatapaukset ja versiot, mikäli projektille ei tiedetä tarkkoja määritteitä. Järjestelmällistä laskentatapauksen tallentamista kutsutaan versioinniksi.

Versioinnin tärkeimpiä ominaisuuksia on, että versioiden ominaisuuksia pystytään helposti hallitsemaan ja toisaalta vertaamaan niiden keskeisiä eroavaisuuksia. Versiohallinta voi koostua esimerkiksi seuraavanlaisesta määrittelystä:

"Perusversiossa (emoversio) eteläpuoleisella julkisivulla on ikkuna kooltaan X. Versiossa 2 ikkuna on kooltaan X +10 % ja versiossa 3 ikkuna on kooltaan X -10 % jne."

Versioinnissa on tärkeää, että simulointiprojektin sisällä säilyy tietyt ominaisuudet, vaikka matemaattista mallia muutettaisiin rakennussuunnitelmien päivittyessä. Kun yllä olevan esimerkin mallia muutetaan niin, että eteläpuoleinen julkisivu siirtyy hieman, ei versioiden tulisi kadottaa tietoja ikkunoiden kokomäärittelyistä.

4.2.8 Raportit ja tulosteet

Energialaskennan päämääränä ovat lopputulokset ja niistä vedettävät johtopäätökset. Tämän takia tulosten esittämiseen ja dokumentointiin on syytä kiinnittää erityistä huomiota. Selkeät osa-alueet ja järjestelmällisyys ovat tärkeässä asemassa tuloksia tarkasteltaessa. Viranomaisille esitettävissä energialaskentaan liittyvissä dokumenteissa on esitettävä sekä laskennan lähtöarvot että tulokset, jolloin valvova viranomainen voi varmistua suunnitteluratkaisun määräysten mukaisuudesta ja laskelmien oikeellisuudesta.

Laskujen esitykseen vaikuttaa olennaisena osana tulosteet, jotka voivat olla joko fyysisiä paperitulosteita tai sähköisiä tallennettavissa olevia dokumentteja. Tulosteiden selkeys ja luettavuus ovat avainasioita. Ohjelmasta ulos tulostettava tieto olisi syytä saada ulos käytännöllisessä formaatissa, kuten esimerkiksi Microsoft Office -tiedostona, jolloin joidenkin tietojen, kuten esimerkiksi rakennusta koskevat osoite tiedot yms. on lisättävissä tulosteisiin jälkikäteen.

Tuloste voi olla yksi dokumentti rakennuslupahakemuksen joukossa tai asiakkaalle näytettävä kappale suunnitteluratkaisun tuomista ominaisuuksista. Siksi on tärkeää, että ulkopuolinen kykenee vaivattomasti lukemaan tulosteesta keskeiset asiat, vaikkei olisi kyseistä laskentaa tehnytkään. Siksi tulosteissa olisi hyvä esiintyä grafiikkaa, josta selkeästi ja ennen kaikkea nopeasti voidaan havaita eri osa-alueiden suhteet toisiinsa. Tällaisia voivat olla muun muassa pylväs- tai ympyrädiagrammit energiankulutuksesta tai vaipan lämpöhäviöiden muodostumisesta. Lisäksi olisi hyvä, jos eri laskenta

tapaukset ja niiden vertailut olisi saatavissa samalle tulosteelle, jolloin eri suunnitteluratkaisut ovat helposti verrattavissa keskenään. Kokonaisenergiatarkastelun (eli RakMK D3 mukaisten laskelmien) kannalta olisi tulosteissa hyvä havainnollistaa suunnitteluratkaisun energiamuodon vaikutus laskelmiin, kuten myös suunnitteluratkaisun muiden tietojen vaikutus omassa kategoriassaan, esimerkiksi ilmanvaihdon osuus kaikista lämpöhäviöistä jne.

Mitä lähempänä tulosteet ovat viranomaisten vaatimuksia, sitä enemmän säästytään ylimääräiseltä työltä, kun tietoja ei tarvitse siirtää dokumentista toiseen. Liitteessä 1 on esitetty Rakentamismääräyskokoelman osan D3 esimerkki E-luvun laskennan tulosten esittämiselle.

5 YHTEENVETO

Ohjelmien käytön arviointi ei ole yksiselitteistä, ja se pohjautuu pitkälti kunkin käyttäjän tarpeisiin ja mieltymyksiin. Tästä syystä myöskään arviointia varten esille nostettavat seikat eivät ole absoluuttisia, ja jotkut tekijät saattavat määrätyissä tilanteissa olla merkityksettömiä, mutta toisessa tapauksessa ratkaisevassa asemassa. Työssä esitettyjen seikkojen pohjalta on kuitenkin nähtävissä, että ohjelmien arviointiin vaikuttaa moni asia, eikä vertailtavien osa-alueiden eriyttäminen toisistaan ole helppoa. Tämä johtuu osittain siitä, että niin energialaskennassa kuin myös simulointiohjelmissa osa-alueet liittyvät tiiviisti toisiinsa.

Työn pohjalla olevat simulointiohjelmien käyttökokemukset ovat osoittaneet, että vaikka ohjelmissa on otettu monia asioita huomioon, ei niin sanottua täydellistä ohjelmaa ole vielä tullut esille. Siksi tämän tutkielman teko on tuonut esille monia kehitysideoita, jotka liittyvät rakentamismääräysten edellyttämien laskelmien ja simuloinnin suorittamiseen. Onkin odotettavissa, että ohjelmia tullaan kehittämään ja niistä on jo piakkoin saatavilla päivitettyjä versioita. Ohjelmien kehittämistarpeen taustalla vaikuttanee erityisesti viimeaikaiset muutokset rakentamismääräyksissä, joiden mukana ohjelmat eivät kaikilta osin ole pysyneet.

LÄHTEET

ESBO verkkosivut. Luettu 5.4.2013.

<http://www.equaonline.com/esbo/about.html>

Granlund verkkosivut. Luettu 22.2.2013.

<http://www.granlund.fi/ohjelmistot/riuska/>

IES verkkosivut. Luettu 10.4.2013.

<http://www.iesve.com/>

Kurnitski, J. 2012. Energiämääräykset 2012. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Lappalainen, M. 2005. Energia- ja ekologiakäsikirja - Suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto ry.

Sisäilmätieto verkkosivut. Luettu 7.4.2013.

<http://www.sisäilmätieto.com>

U.S. Department of Energy verkkosivut. Luettu 10.4.2013.

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/subjects.cfm/pagename=subjects/pagename_menu=whole_building_analysis/pagename_submenu=energy_simulation%20http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/subjects.cfm/pagename=subjects/pagename_menu=whole_building_analysis/pagename_submenu=energy_simulation%20ti on

Ympäristöministeriö 2007. Rakentamismääräyskokoelma, D5.

Ympäristöministeriö 2011. Rakennusten energianlaskennan testivuodet.

Ympäristöministeriö 2012. Rakentamismääräyskokoelma, D3.

LIITTEET

Liite 1. Rakentamismääräyskokoelman osan D3 Liite 12 Taulukko 13: E-luvun laskennan tulosten esittäminen.

Rakennuskohde			
Osoite			
Rakennuksen käyttötarkoitus			
Rakennusvuosi			
Lämmitetty nettoala	m ²		
E-luku	kWh/(m²a) (kWh lämmitettyä nettoalaa kohti)		
E-luvun erittely	Ostoenergia	Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus
	kWh/a	-	kWh/a kWh/(m ² a)
Sähkö		1,7	
Kaukolämpö		0,7	
Kaukojäähdytys		0,4	
Uusiutuva polttoaine		0,5	
Fossiilinen polttoaine		1	
...			
Yhteensä		-	
Uusiutuva omavaraisenergia	kWh/a	kWh/(m²a)	
Aurinkosähkö			
Aurinkolämpö			
Tuulisähkö			
Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia			
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus	Sähkö	Lämpö	Kaukojäähdytys
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Lämmitysjärjestelmä	-		
Tilojen lämmitys ¹			
Tuloilman lämmitys			
Lämpimän käyttöveden valmistus			
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus		-	
Jäähdytysjärjestelmä			
Kuluttajalaitteet ja valaistus		-	
Yhteensä			
¹ Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen			
Energian nettotarve	kWh/a	kWh/(m²a)	
Tilojen lämmitys ²			
Ilmanvaihdon lämmitys ³			
Lämpimän käyttöveden valmistus			
Jäähdytys			
² sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa			
³ laskettu lämmöntalteenoton kanssa			
Lämpökuormat	kWh/a	kWh/(m²a)	
Aurinko			
Ihmiset			
Kuluttajalaitteet			
Valaistus			
Laskentatyökalun nimi ja versio numero			
Päiväys	Allekirjoitus	Nimen selvennys	