

Emil Laine, Henrik Kemppainen

Energiatodistusasetuksen (176/2013) mukaisten energiatehokkuusluokkien edellytykset suunnitteluratkaisuille uusissa toimistorakennuksissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

1.10.2013

Tekijät Otsikko	Emil Laine, Henrik Kemppainen Energiatodistusasetuksen (176/2013) mukaisten energiatehokkuusluokkien edellytykset suunnitteluratkaisuille uusissa toimistorakennuksissa
Sivumäärä Aika	108 sivua + 4 liitettä 1.10.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka, suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	energiatekniikan yliopettaja, TkT Piia Sormunen energia-asiantuntija, DI Sini Virkajärvi toimitusjohtaja, DI Juha Pihlajamäki
<p>Insinöörityön aiheena oli selvittää 1.6.2013 voimaan tulleiden lain rakennusten energiatodistuksesta (50/2013) ja ympäristöministeriön asetuksen rakennusten energiatodistuksesta (176/2013) tuomia vaatimuksia uuden toimistorakennuksen suunnitteluratkaisuille, tavoiteltaessa asetuksen mukaisia energiatehokkuusluokkia A–C.</p> <p>Tavoitteena oli saada selville sellaiset yksittäiset suunnitteluratkaisut, joilla uudessa toimistorakennuksessa voitaisiin päästä energiatehokkuusluokkaan A tai B. Lisäksi näille suunnitteluratkaisuille etsittiin karkeisiin kustannusarvioihin perustuvaa tärkeysjärjestystä. Toisena tavoitteena oli avata uudistunutta lainsäädäntöä ja sen tuomia haasteita käytännön energialaskennassa.</p> <p>Tutkimusmenetelmänä käytettiin dynaamista energiasimulointia, jonka avulla määriteltiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisia E-lukuja erilaisille yksittäisille suunnitteluratkaisuille ja yhdistelmäratkaisuille, joilla pyrittiin energiatehokkuusluokkaan A tai B. Laskentatyökaluna käytettiin MagiCAD Comfort & Energy 2012.11 -ohjelmopakettia.</p> <p>Tulokseksi saatiin E-luvut 30 erilaiselle yksittäisen suunnitteluratkaisun vaikutukselle simuloituun E-lukuun. Yksittäisten ratkaisujen osalta vaikutus oli enimmillään n. 10 kWh/m². Kaikkien yksittäisten ratkaisujen tapauksissa päädyttiin energiatehokkuusluokkaan C. Energiatehokkuusluokkaan B päästiin yhdistelemällä muutamia ratkaisuja kokonaisuudeksi, mutta energiatehokkuusluokkaan A pyrittäessä jouduttiin ottamaan lähes kaikki ratkaisut käyttöön.</p> <p>Tuloksista voidaan päätellä, että yksittäisillä ratkaisulla ei päästä energiatehokkuusluokkiin A tai B vaan niiden saavuttamiseksi tarvitaan koko rakennushankkeen ajan tehtävää kokonaisenergiatarkastelua ja perustasosta poikkeavia ratkaisuja. Lisäksi pyrittäessä luokkaan A joudutaan soveltamaan mm. tontilla tuotettua uusiutuvaa omavaraisenergiaa.</p> <p>Insinöörityön toimeksiantajan, Projectus Team Oy:n kannalta työ onnistui vastaamaan asetettuihin tavoitteisiin ja saatiin arvokasta tietoa siitä, millä keinoilla uusiutuneen lainsäädännön mukaisiin energiatehokkuusluokkiin päästään. Lisäksi insinöörityö toimii hyvänä yhteenvedona käytännön suunnittelijalle ja voitiin todeta Progman Oy:n MagiCAD Comfort & Energy ohjelmaketin toimivan säädösten mukaisen E-luvun laskennassa.</p>	
Avainsanat	energiatodistus, energiatehokkuus, energiasimulointi

Authors Title Number of Pages Date	Emil Laine, Henrik Kemppainen Requirements of design solutions in new office buildings according to the Finnish Energy Performance Certificate Regulation (176/2013) 108 pages + 4 appendices 1 October 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineer
Specialisation option	HVAC Technology, Design Oriented
Instructors	Piia Sormunen, Principal Lecturer Sini Virkajärvi, Energy Specialist Juha Pihlajamäki, Managing Director
<p>The subject of this Bachelor's thesis was to specify the requirements that the new Finnish act on building energy performance and other statutes set on building design solutions. The goal was to seek out such individual design solutions that would result in building energy performance classes A and B. Another goal was to explain the new regulations and the challenges they bring to building energy simulation. Dynamic energy simulation was used to determine the numeric energy performance indicator (kWh/m²). The simulations were carried out for both individual solutions and their combinations.</p> <p>As a result, a numeric energy performance indicator was calculated for 30 solutions. All individual solutions resulted in building energy performance class C. Building energy performance class B was achieved by using several solutions as a combination, and class A was achieved only by combining almost every solution in one case.</p> <p>The outcome suggests that individual design solutions for energy efficiency do not result in building energy performance classes A and B. Moreover, a continuous energy analysis is required throughout the building process to achieve the classes A and B. The results also suggest that the application of on-site renewable energies is required when aiming at class A. This thesis provides useful information on the new energy efficiency classes and regulations.</p>	
Keywords	energy performance certificate, energy efficiency

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tavoitteet ja työnjako	3
3	Energiatehokkuuden parantamisen vaatimukset	5
3.1	Euroopan unioni	5
3.2	Maankäyttö- ja rakennuslaki	8
3.3	Suomen rakentamismääräyskokoelma	8
3.4	Kuntien rakennusvalvontaviranomaiset	9
3.5	Korjausrakentamisen energiatehokkuuden parantaminen	9
3.6	Vaatimukset kiristyvät tulevaisuudessa	10
4	Energiatehokkuus osana rakennushanketta	13
4.1	LVI-kortin 03-10125 mukainen uudisrakennushanke	13
4.1.1	Rakennushankkeen vaiheet	14
4.1.2	Rakennushankkeen osapuolet	15
4.2	Matalaenergiarakennushanke	16
4.3	Energialaskenta suunnitteluprosessin osana	18
4.3.1	Energialaskennan periaatteet	18
4.3.2	Energialaskennan tapa	19
4.4	Tietomalli- ja tehtäväluettelopohjainen energialaskenta	20
4.4.1	Suunnittelun valmistelu	21
4.4.2	Hankesuunnittelu	21
4.4.3	Ehdotussuunnittelu	21
4.4.4	Yleissuunnittelu	22
4.4.5	Rakennuslupatehtävät	22
4.4.6	Toteutussuunnittelu	23
4.4.7	Rakentaminen	23
4.4.8	Käyttöönotto ja takuu aika	24
5	Energiamääräysten asettamat edellytykset energialaskentaan	25
5.1	Energialaskennan lähtökohtana uudistunut Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3	25
5.2	Energiaselvitys ja rakennuksen energiatehokkuuden vaatimukset	27

5.2.1	Muita rakennuksen energiatehokkuuden vaatimuksia	29
5.2.2	Vaatimukset laskentatyökaluille	30
5.3	Kokonaisenergiankulutuksen laskenta	30
5.3.1	D3 2012:n asettamat E-luvun laskentasäännöt	31
5.3.2	Laskennan lähtötiedot	34
5.3.3	Rakennuksen ostoenergiankulutus	37
5.3.4	Rakennuksen laskennallinen kokonaisenergiankulutus	38
5.3.5	Laskennan tulokset	39
6	Rakennusten energiatodistus	40
6.1	Energiatodistustilaki 2013	40
6.2	Energiatodistusasetus 2013	42
6.3	Vanha energiatodistustilaki vuodelta 2007	44
7	Rakennuksen energiatehokkuutta parantavat suunnitteluratkaisut	47
7.1	Rakennuksen energian nettotarpeiden minimointi	47
7.1.1	Tilojen lämmittämisen lämmitysenergian nettotarve	48
7.1.2	Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve	49
7.1.3	Käyttöveden lämmittämisen nettoenergiantarve	51
7.1.4	Jäähdytysenergian nettotarve	51
7.1.5	Sähköenergiantarve	54
7.2	Teknisten järjestelmien energiatehokkuus	54
7.2.1	Lämmitysjärjestelmä	55
7.2.2	Jäähdytysjärjestelmä	58
7.2.3	Ilmanvaihtojärjestelmä	60
7.3	Uusiutuvat omavaraisenergiat	62
7.3.1	Lämpöpumput	62
7.3.2	Aurinkojärjestelmät	64
7.3.3	Tuulisähkö	66
8	Energiasimulointi	67
8.1	Energiasimulointimenetelmä	67
8.2	Esimerkkikohteiden esittely	68
8.2.1	Toimistorakennus 1	68
8.2.2	Toimistorakennus 2	68
8.3	Simuloidut suunnitteluratkaisut	69
8.3.1	Yksittäiset ratkaisut	69
8.3.2	Yhdistelmäratkaisut	70

8.3.3	Vertailuratkaisu	74
8.4	Laskennan lähtötiedot	76
9	Tulosten analysointi	78
9.1	Energiasimulointien tulokset	78
9.2	Yksittäisten ratkaisujen analysointi	84
9.2.1	Rakennuksen muodon vaikutus	84
9.2.2	Rakenteellisten ratkaisujen vaikutus	84
9.2.3	Rakennuksen aukotuksen vaikutus	86
9.2.4	Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus	88
9.2.5	Lämmitysjärjestelmän vaikutus	91
9.2.6	Jäähdytysjärjestelmän vaikutus	92
9.2.7	Uusiutuvien omavaraisenergioiden vaikutus	93
9.2.8	Valaistussähkön kulutuksen vaikutus	95
9.3	Energiatehokkuusluokat ja yhdistelmäratkaisut	95
10	Yhteenveto	98
10.1	Tutkimuskysymyksien vastaukset	98
10.2	Muut johtopäätökset	100
10.3	Mahdolliset jatkotutkimuksen aiheet	102
	Lähteet	103
	Liitteet	
	Liite 1. Energiatodistuksen E-luvun laskennan lähtötiedot	
	Liite 2. Laskennan lähtötiedot	
	Liite 3. IV-palvelualueiden lähtötiedot energiasimuloinneissa	
	Liite 4. Simuloitujen suunnitteluratkaisujen laskentaperusteet	

1 Johdanto

Energiatehokkuuden tavoittelu rakentamisessa perustuu vuonna 1990-luvulla aloitetun YK:n ilmastopimuksen Kioton pöytäkirjan kansainvälisiin tavoitteisiin vähentää kasvi-huonekaasujen määrää ja tätä kautta hidastaa ilmaston lämpenemistä. Insinööriyö käsittelee energiatehokkuutta rakennusten suunnittelun näkökulmasta. Kokonaisvaltaiseen kestäväan kehityksen mukaiseen energiatehokkuuteen pyrkiminen sisältää muitakin kuin rakennusten energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä, kuten laitteiden, ajoneuvojen ja energiapalvelujen edistäminen energiatehokkaampaan suuntaan. Suomen valtioneuvoston periaatepäätöksessä energiatehokkuustoimenpiteistä on lueteltu niitä osa-alueita ja tarkempia toimenpiteitä, joilla Suomessa aiotaan käynnissä olevalla vuosikymmenellä vaikuttaa maan energiatehokkuuteen. (1)

Tässä insinööriyössä on lähtökohtaisesti käsitelty rakennusten energiatehokkuutta Suomen sisällä vallitsevien säädösten puitteissa, jotka ovat linjassa EU:n ja kansainvälisten säädösten kanssa. Insinööriyössä on pyritty lähestymään energiatehokkuutta käytännönläheiseltä tasolta ja selvittämään, mitä energiatehokkuuteen pyrkiminen tarkoittaa käytännön suunnittelussa.

Insinööriyön toimeksiantajana on Projectus Team Oy. Työn motivaationa toimivat uudistunut laki rakennuksen energiatodistuksesta (50/2013) ja asetus rakennuksen energiatodistuksesta (176/2013) sekä 1.7.2012 voimaan tullut Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3, jotka vaikuttavat olennaisesti uudisrakennusten LVIAS-suunnittelun yhteydessä laadittaviin energialaskelmiin, rakennuslupamenettelyn edellyttämiin energiaselvityksiin ja olemassa oleviin rakennuksiin tehtäviin energiatodistuksiin.

Vuoden 2013 kesäkuussa voimaan tuleva energiatodistuslaki edellyttää kaikilta uudisrakennuksilta ja olemassa olevilta rakennuksilta (pois lukien tietyt rajoitukset ja siirtymäajat) voimassa olevaa energiatodistusta myynnin ja vuokrauksen yhteydessä (2, s. 2). Uuden energiatodistuksen laskenta perustuu E-lukuun, jonka laskeminen jäähdyteytissä kiinteistöissä vaatii dynaamisen laskentatyökalun tekemän tuntitason energiasimuloinnin (3, s. 27).

Tästä uudistuneesta lähtökohdasta on tarkasteltu kahden tyypillisen toimistorakennuksen kokonaisenergiankulutusta (E-lukua) ja selvitetty sen pohjalta, minkälaisia suunnitteluratkaisuja energiatodistusasetuksen (176/2013) mukaisiin energiatehokkuusluokkiin pyrkiminen edellyttää tämän käyttötarkoituksiluokan rakennuksissa.

Työstä toivotaan olevan hyötyä toimeksiantajan käytännön työssä ja sen oletetaan selvittävän tarpeeksi tarkalla tasolla voimassa olevia ja voimaan lähitulevaisuudessa astuvia säädöksiä ja tavoitteita. Tarkoituksena on siis myös luoda tietopaketti LVIAS- ja energiasuunnittelua tekeville suunnittelijoille.

2 Tavoitteet ja työnjako

Tässä insinööriyössä on ensimmäisenä tavoitteena tutkia, miten tyypillisessä toimistorakennuksessa voidaan eri tekijöillä vaikuttaa E-lukuun (kWh/m²) ja mikä on näiden toimenpiteiden tärkeys- ja olennaisuusjärjestys, sekä selvittää, mitkä ovat ”minimivaihtoehdot”, joilla toimistorakennus saavuttaa kesällä 2013 voimaan tulevat energiatodistusluokat A–C. Tarkoituksena on vertailla eri suunnitteluratkaisujen tekemiä muutoksia rakennuksen E-luvussa ja luoda siltä pohjalta malli, joka kuvaa eri luokkiin vaadittavia ratkaisuja. Tärkeys- ja olennaisuusjärjestystä tutkitaan tekemällä karkeat kustannusarviot eri vaihtoehtojen toteuttamisesta.

Lisäksi tässä insinööriyössä tavoitteena on selvittää, miten energiatehokkuusluokkiin A, B tai C pyrkiminen tulee ottaa huomioon rakennushankkeen eri vaiheissa. Tavoitteena on myös selvittää, miten E-luku lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti ja mitä erilaiset energiatehokkuuteen vaikuttavat suunnitteluratkaisut tarkoittavat käytännössä.

Yhteenvedona insinööriyön tärkeimmät tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Millä suunnitteluratkaisuilla uudessa toimistorakennuksessa päästään energiatehokkuusluokkiin A–C ja mikä on näiden suunnitteluratkaisujen tärkeysjärjestys?
- Millä tavalla energiatehokkuusluokkiin pyrkiminen tulee ottaa huomioon rakennushankkeen eri vaiheissa?

Insinööriyö toteutettiin sen laajan aiheen vuoksi ryhmätyönä. Insinööriyön työnjako on ollut seuraavan taulukon mukainen.

Taulukko 1. Insinööriyön työnjako

Insinööriyön työnjako	Emil Laine	Henrik Kemppainen	Yhteistyö
Teoriaosuus	<ul style="list-style-type: none"> • Luku 3 • Luku 4 • Luku 6 	<ul style="list-style-type: none"> • Luku 5 • Luku 7 • Luku 9 	<ul style="list-style-type: none"> • Luvut 1, 2, (9) ja 10
Tutkimusosuus	Toimistorakennus 1, energiasimulointi ja -laskenta	Toimistorakennus 2, energiasimulointi ja -laskenta	Yhdistelmäratkaisujen simulointi ja kärkeiden kustannusarvioiden tekeminen
Tulosten analysointi			Energialaskennan tulosten analysointi ja johtopäätökset

Insinööriyön työmäärät jakaantuivat tasaisesti kummallekin osapuolelle. Toteutuneen tuntikirjauksen perusteella molemmat osapuolet uhrasivat työlle lähes saman määrän tunteja.

3 Energiätehokkuuden parantamisen vaatimukset

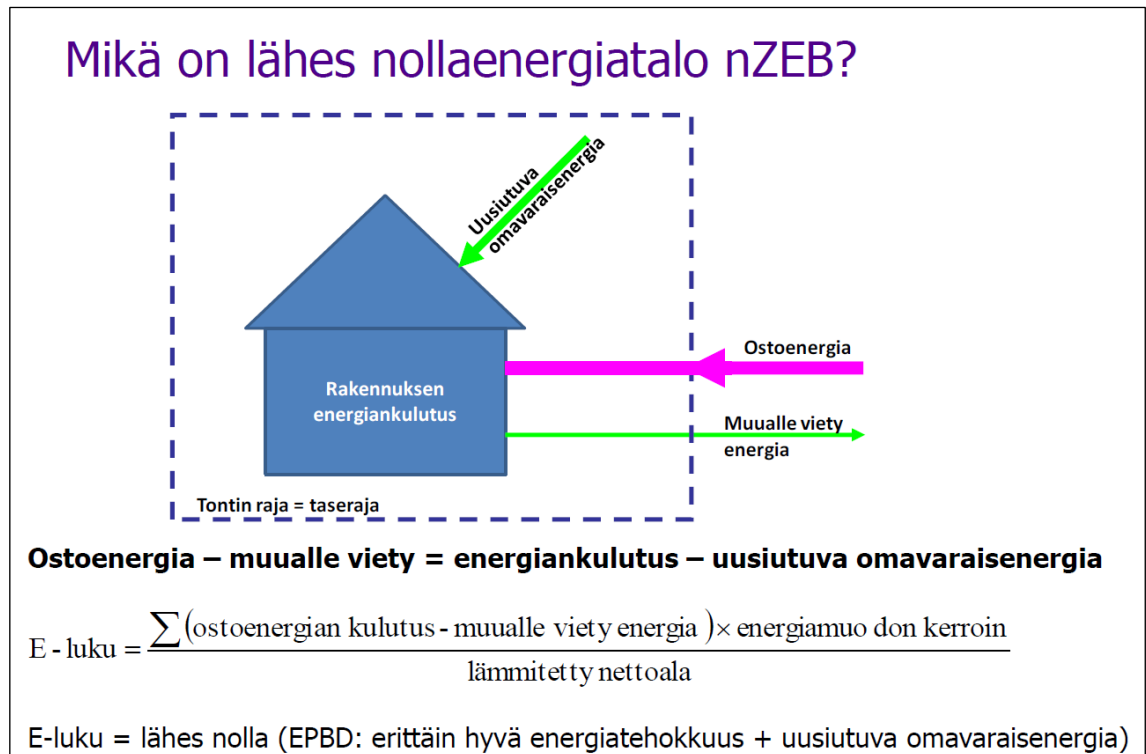
3.1 Euroopan unioni

Energiätehokkuudella ja sen parantamisella pyritään EU:n tasolla EU:n asettamiin ”20/20/20” -tavoitteisiin, joilla tarkoitetaan 20 %:n vähennystä kasvihuonekaasupäästöihin verrattuna vuoden 1990 tasoon verrattuna, uusiutuvien energioiden tuotannon nostamista 20 % EU:n kokonaisenergiakulutuksesta ja 20 % korotusta EU:n energiätehokkuuteen. Kaikki nämä tavoitteet olisi tarkoitus saavuttaa vuoteen 2020 mennessä (4). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU rakennusten energiätehokkuudesta määrittelee seuraavaa:

Rakennukset aiheuttavat 40 prosenttia unionin kokonaisenergiankulutuksesta. Tämä ala laajenee, mikä nostaa väistämättä sen energiankulutusta. Energiankulutuksen vähentäminen ja uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käyttö rakennusalaalla ovat näin ollen tärkeitä toimenpiteitä, joita tarvitaan unionin energiariippuvuuden ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. (5, s. 1.)

Lisäksi kyseisen direktiivin yhdeksännen artiklan mukaan kaikkien uudisrakennusten tulisi olla vuoteen 2020 mennessä lähes nollaenergiarakennuksia. Lähes nollaenergiarakennuksen määrittely on jokaisen jäsenvaltion jäsenvaltiokohtainen tehtävä (5, s. 9–10). Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry:n kirjan matalaenergiarakentaminen, toimitilat (RIL 259-2012) mukaan lähes nollaenergiatalo määriteltäisiin primäärienergiankulutukseen perustuvalla tunnusluvulla ja raja lähes nollaenergiatalolle olisi teknisesti kohtuullisin keinoin mahdollinen jäsenmaassa. Kustannukset joko ovat tai eivät ole optimaaliset. (6, s. 17.)

Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitran verkkosivuilta löytyvän Jarek Kurnitskin ”Nollaenergiarakentamisesta kehityksen veturi” -esityksestä löytyvästä kuvasta näkyvät tärkeimmät seikat pyrittäessä lähes nollaenergiarakentamiseen (7, s. 50–100).

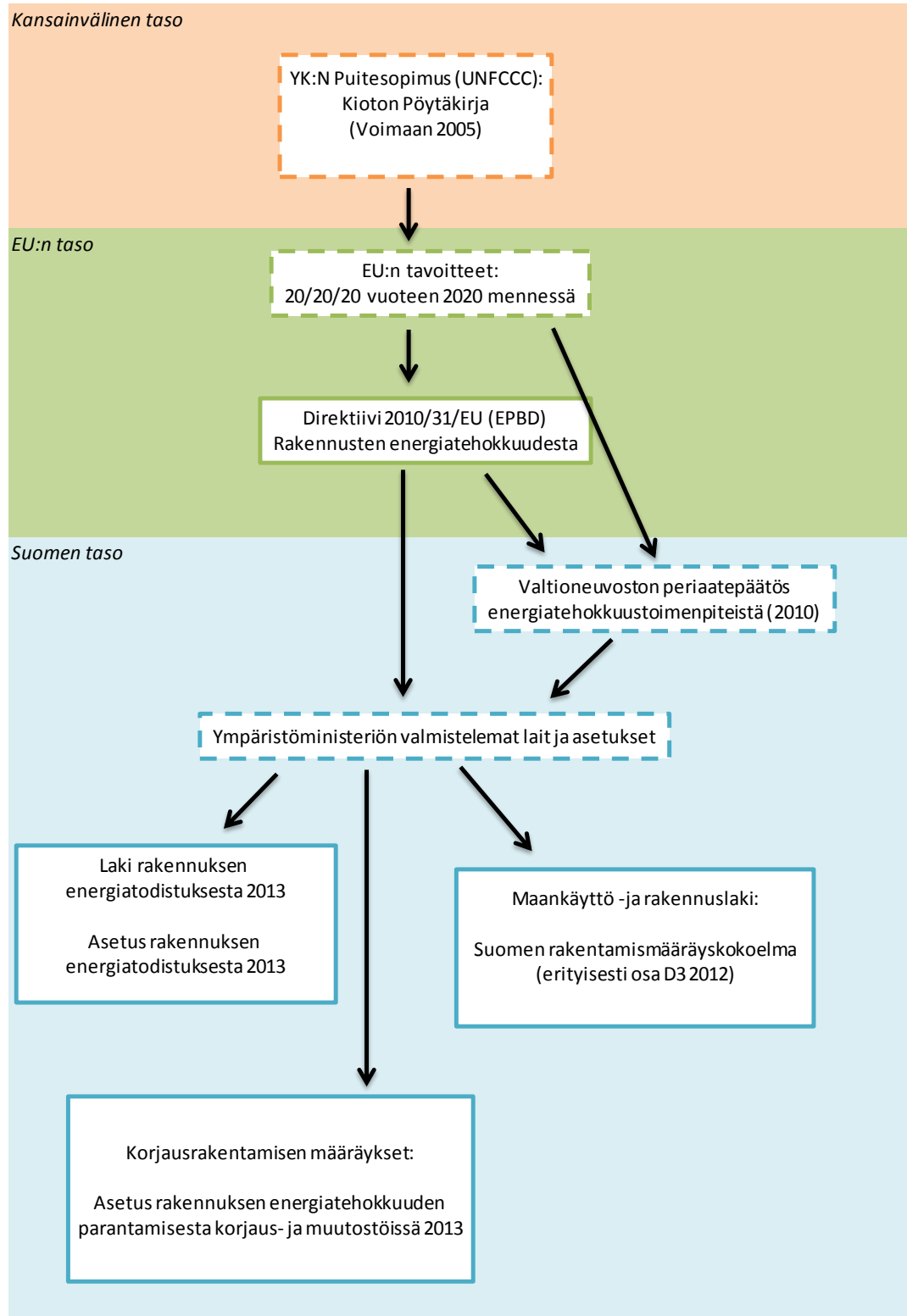


Kuva 1. Jarek Kurnitskin määritelmä lähes nollaenergiatalosta (7, s. 6)

Kuvassa 1 esitetystä E-luvun kaavasta voidaan päätellä, että mitä alhaisempi on ostoenergian kulutus ja mitä suurempi on rakennuksesta ulos syötetyn energian osuus, sitä pienempi on rakennuksen E-luku. Kuvasta 1 nähdään myös, että rakennuksen ostoenergian tarvetta voidaan vähentää tuottamalla tontilla uusiutuvaa omavaraisenergiaa ja pienentämällä rakennuksen energiankulutusta. Näin voidaan päästä rakennusten energiatehokkuusdirektiivin mukaiseen tavoitteeseen energiankulutuksen vähentämisestä ja uusiutuvan energian käytön lisäämisestä rakennusallalla (5, s. 1).

Kansainvälisen ja Euroopan unionin säätelyn siirtyminen Suomen tasolle on tehdyn taustatyön ja lähteiden etsinnän perusteella monimutkainen prosessi. Kuva 2 havainnollistaa rakennusten energiatehokkuutta koskevan lainsäädännön siirtymistä osaksi Suomen lainsäädäntöä vuonna 2013.

Rakennusten energiatehokkuutta koskevan sääntelyn siirtyminen kansainväliseltä tasolta Suomen tasolle



Kuva 2. Rakennusten energiatehokkuutta koskevan sääntelyn siirtyminen kansainväliseltä tasolta Suomen tasolle

Tiivistettynä voidaan sanoa, että rakennusten energiatehokkuusdirektiivi määrittelee ne työkalut, joiden avulla rakennusten energiatehokkuutta on Suomessa kansallisella tasolla alettu parantamaan. Yhtenä näistä työkaluista voidaan pitää E-lukuun perustuvaa rakennusten energiatodistusta, joka edellytetään jäsenmailta direktiivin artiklassa numero 12 (5, s. 11–12). Lisäksi kuten Jarek Kurnitski toteaa kirjassaan *Energiamääräykset 2012*, direktiivissä on määritelty rakennuksen energiatehokkuuden laskennan kehys ja tästä suorana seurauksena on 2012 uusittu Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3, joka määrittelee E-luvun laskennan Suomessa (9, s. 7–8, 95).

3.2 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) ensimmäisen luvun ensimmäisen pykälän ensimmäisen momentin mukaan:

Tämän lain tavoitteena on järjestää alueiden käyttö ja rakentaminen niin, että siinä luodaan edellytykset hyvälle elinympäristölle sekä edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestäväää kehitystä (8).

Maankäyttö- ja rakennuslain pykälässä 117 g § (muutos 958/2012) määritellään, että rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan energiatehokkaaksi. Energiatehokkuuden vähimmäisvaatimusten toteutuminen tulee osoittaa energiankäyttöön, energiahäviöön ja energiamuotoon perustuvilla laskelmilla. Lisäksi pykälän mukaan luvanvaraisen korjaus- ja muutostyön tai rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä on parannettava rakennuksen energiatehokkuutta. Ympäristöministeriön antamissa asetuksissa annetaan tarvittavia tarkempia säädöksiä esimerkiksi energiatehokkuuden vähimmäisvaatimuksista ja näiden laskentatavasta, energialaskennan lähtötiedoista ja määräystenmukaisuuden osoittamisesta. (8)

3.3 Suomen rakentamismääräyskokoelma

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 (2012) velvoittaa uutta rakennusta rakennettaessa laskemaan rakennukselle kokonaisenergiakulutuksen (E-luvun), joka perustuu rakennuksen käyttämään ostoenergiaan ja lämmitettyyn nettoalaan ja on painotettu energiamuotojen kertoimilla. E-lukua lasketaan uusille rakennuksille, jossa käytetään

tetään energiaa tiettyjen sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi. Tämän vuoksi E-luku lasketaan esimerkiksi lämpötilaolojen suhteen standardikäytöllä, jotta energiaa ei säästetä sisäilmaston kustannuksella. D3 määrittelee myös E-luvulle ylärajat rakennustyyppikohtaisesti. (3, s. 8–9.)

Lisäksi rakentamismääräyskokoelman osa D5 antaa työkaluja ja lähtötietoja energiasuunnittelua varten koskien myös uusiutuvia omavaraisenergioita (aurinkoenergia, lämpöpumput yms.) ja jäähdytystä. Nämä työkalut ja lähtötiedot ovat tarpeen, kun tehdään aikaisessa vaiheessa olevia energiasimulointeja eivätkä kaikki lähtötiedot ole tiedossa tai päätetty. (10)

3.4 Kuntien rakennusvalvontaviranomaiset

Kuntien rakennusvalvontaviranomaiset ovat antaneet energiaselvitystä koskien omia ohjeitaan. Esimerkiksi Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten rakennusvalvonta ovat julkaisseet asiasta yhteisen käytännön. Kyseisessä käytännössä edellytetään rakennuslupahakemuksen liitteeksi samat tarkastelut kuin D3:n kohdassa 5.1. Tuon ohjeen mukaisesti energiaselvityksen tarkastelut tulee esittää seuraavilla osioilla:

- E-luvun laskennan lähtötietojen ja tulosten esittäminen rakennusvalvonnan edellyttämällä tavalla
- lämpöhäviöiden tasauslaskelma
- energiatodistus
- kesäaikaisen huonelämpötilan tarkastelu
- lämmitys- ja jäähdytysteho.

Käytäntö asettaa myös D3:n mukaiset vaatimukset laskentatyökaluille. Mikäli rakennuksessa on jäähdytys muuten kuin yksittäisissä tiloissa, tulee käyttää dynaamista laskentatyökalua, jonka kelpoisuus pitää osoittaa. (11)

3.5 Korjausrakentamisen energiatehokkuuden parantaminen

Rakennukseen, johon tehdään maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) määrittelemiä luvanvaraisia korjaus- tai muutostöitä taikka käyttötarkoituksen muutos, tulee tulevai-

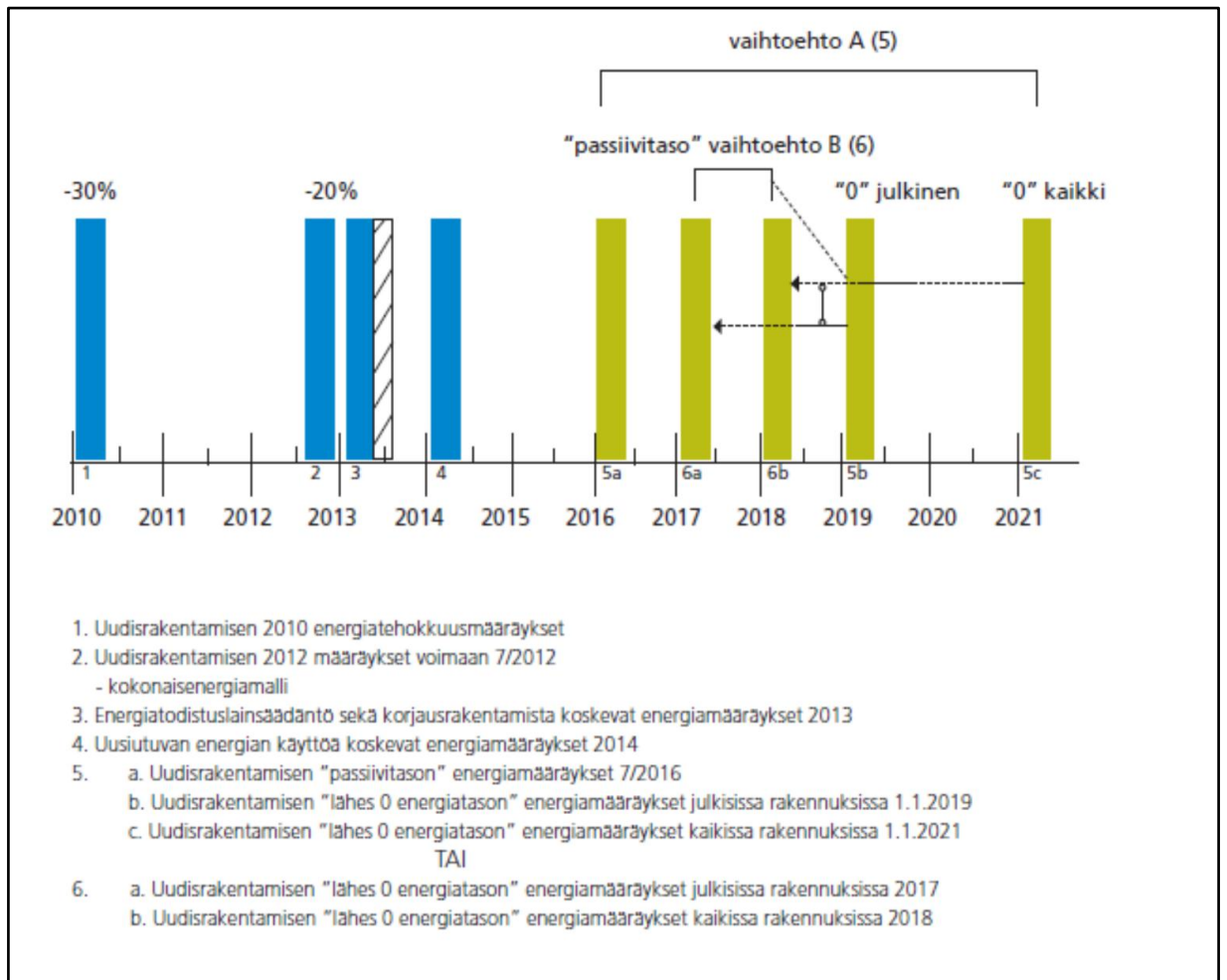
suudessa tehdä toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseksi. Tätä asiaa koskee ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä (4/13). Asetus antaa erilaisia vaihtoehtoja luvanvaraisen työn ohessa tehtäviin energiaparannuksiin ja antaa ehtoja energiatehokkuuden parantamisen osoittamiseksi (12, s. 1, 3). Lisäksi asetuksessa määritellään, että energialaskennassa, laskentatyökalun valinnassa ja tulosten esittämisessä sovelletaan D3:a (12, s. 2). Asetuksessa annetaan kolme vaihtoehtoa hankkeeseen ryhtyvälle toteuttaa vaadittu energiatehokkuuden parantaminen (12, s. 3):

- Pyritään parantamaan rakennuksen rakennusosakohtaisia ja teknisiä järjestelmiä niin, että ne vastaavat asetuksessa määriteltyjä vähimmäisarvoja esimerkiksi U-arvojen, LTO:n vuosihyötysuhteen ja SFP-luvun (specific fan power) osilta.
- Pyritään alittamaan asetuksessa määritelty rakennustyyppikohtainen energiankulutus lämmitettyä nettoneliometriä kohden.
- Pyritään alittamaan alkuperäisen rakennuksen E-luku niin, että uusitun rakennuksen E-luvun osuus vanhasta olisi esimerkiksi 70 % (vaihtelee rakennustyypeittäin).

Rakennuksen ulkovaippaa ja teknisiä järjestelmiä parantaessa on samalla huolehdittava, että rakenteet ovat lämpö-, ääni-, palo- ja kosteusteknisesti toimivia sekä riittävän ilmanpitäviä. Myös ilmanvaihdon riittävyys tulee osoittaa ja teknisten järjestelmien perussäätö täytyy suorittaa. Mikäli rakennuksen omistaja on tehnyt aiemmin energiatehokkuutta parantavia vapaaehtoisia toimenpiteitä, ne voidaan lukea hyväksi luvanvaraisen toimenpiteen yhteydessä (12, s. 4).

3.6 Vaatimukset kiristyvät tulevaisuudessa

Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitran verkkosivuilla on ympäristöministeriön rakennetun ympäristön osaston ylläjohtaja Helena Säterin esitys ”Rakennusten energia-vaatimusten RoadMap – moottoritie kohti 2020”. Esityksen mukaan ympäristöministeriö toteutti keväällä 2012 sähköisen kyselyn energiavaatimusten tiekartasta.



Kuva 3. Rakennusten energiavaatimusten tiekartta Sitran energiaohjelman päätösseminaariesityksestä (13 s. 7)

Kuvasta 3 saadaan käsitys siitä, miten energiatehokkuutta koskevat määräykset voisivat kehittyä tulevaisuudessa. Kirjoittamishetkeen mennessä kuvan mukaisista oli toteutunut kohtaan 3 asti, ja energiatodistuslainsäädäntö sekä korjausrakentamisen energiamääräykset tulivat voimaan insinööriyön kirjoittamisen aikana. Kuvasta 3 nähdään myös, että vuonna 2014 pitäisi tulla uusiutuvan energian käyttöä koskevat energiamääräykset ja vuoteen 2020 mennessä energiamääräysten olisi tarkoitus olla nollaenergiatasolla.

Ympäristöministeriön tiekartasta teettämään kyselyyn osallistuneet tahot olivat huolissaan nopeasta aikataulusta nollaenergiarakentamista kohti. Liian tiukalla aikataululla rakentamisen laatu saattaa kärsiä, kun ei ole riittävästi tutkimusta nollaenergiataloista, ohjeita rakentamisen eri osapuolille tai edes määritelmää lähes nollaenergiatalosta. Uudis- ja korjausrakentaminen halutaan eriyttää. Lisäksi säädösten ja määräysten tueksi kaivataan esimerkiksi motivoivia kannustimia ja asenneilmaston muutosta. (13, s. 10–11.)

Suomessa on myös aloitettu vuonna 2010 ”ERA17 – energiaviisaan ympäristön aika 2017” -toimintaohjelma. Toimintaohjelma on aloitettu Sitran ja Tekesin (Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus) yhteistyönä tammikuussa 2010. Toimintaohjelman tarkoitus on edistää energiaviisautta Suomessa ja tuoda Suomi maailman kärkeen energiatehokkuudessa ja vähäpäästöisyydessä. Toimintaohjelman sivuilla on toimenpiteitä, joiden toteutumista ERA17 valvoo ja yksi näistä toimenpiteistä on rakentamismääräysten tiekartta, jonka toteutuksesta vastaa Ympäristöministeriö. Kirjoittamishetkellä tiekartta on sivujen mukaan valmistumassa ”toteutumassa viiveellä”. ERA17 ohjaa myös esimerkiksi uusien rakentamisen tehtäväluetteloiden tekemistä yhteistyössä RAKLI:n kanssa, energiatodistukseen liittyviä rekisterejä sekä korjausrakentamisen uusia määräyksiä. (14)

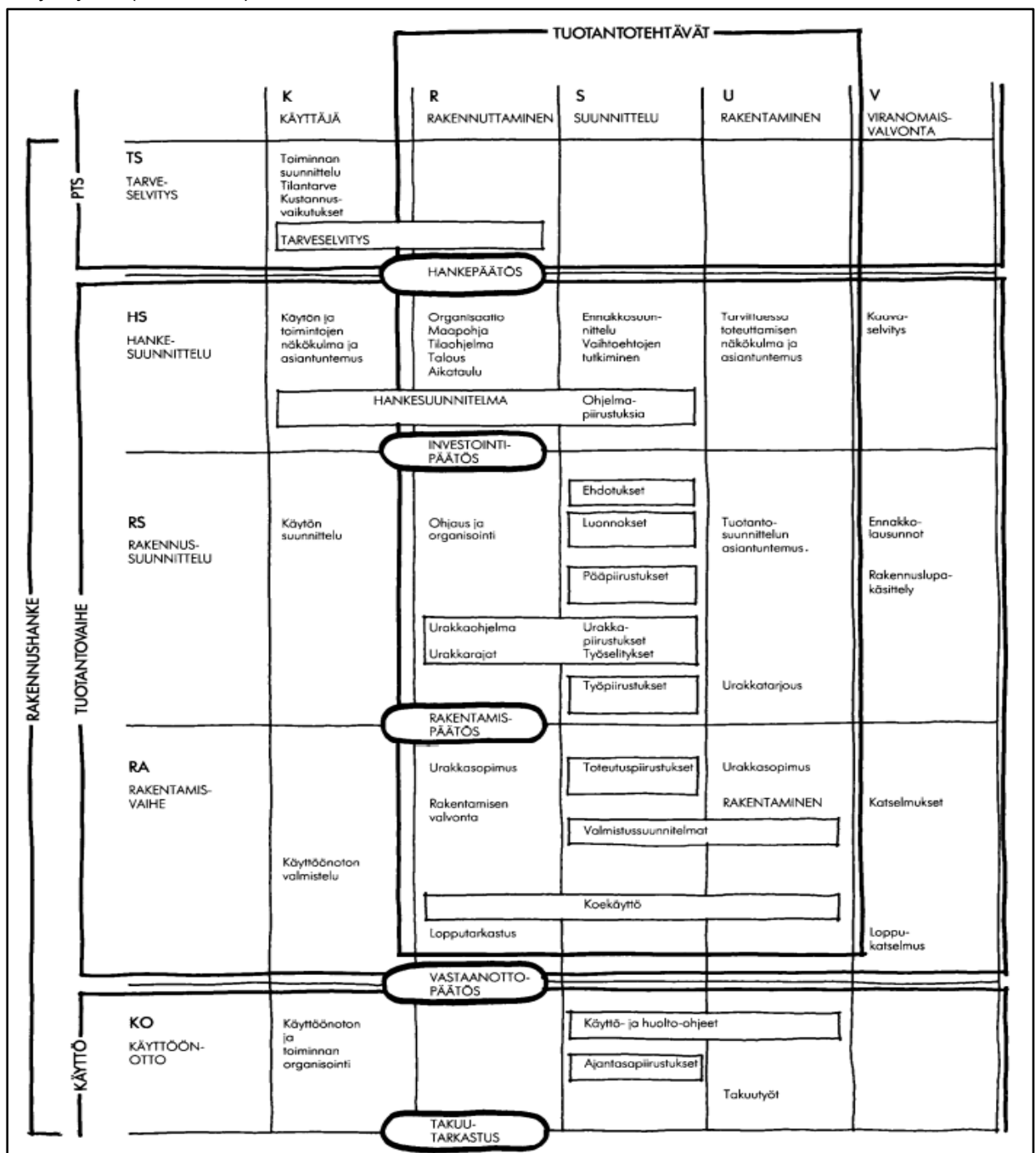
Toimitilojen matala-energiarakentamisen oppaassa (RIL 259-2012) on myös hahmoteltu tulevia määräyksiä vastaavanlaisesti. Kirjan mukaan energiamääräyksiä tiukennetaan niin, että vuonna 2013–2014 luodaan laajamittaisen korjausrakentamisen yhteydessä toteutettavien energiatehokkuusparannuksien määräykset ja vuonna 2015 tiukennetaan rakennusten E-luvun vaatimuksia 30–40 % kansallisesti kustannusoptimaalisella tasolla. Vuonna 2020 pitäisi uudisrakentamisen olla jo lähes nollaenergiatasolla, julkisissa rakennuksissa jo vuonna 2018. (6, s. 156.)

Kurnitskin kirjassa *Energiamääräykset 2012* selvennetään, että pitkän tähtäimen tavoitteena Euroopassa on tavoitteena vähentää päästöjä 80 % vuoteen 2050 mennessä, nykyinen politiikka on kuitenkin johtamassa vain noin 40 %:n päästövähennyksiin (9, s. 106–107).

4 Energiatehokkuus osana rakennushanketta

4.1 LVI-kortin 03-10125 mukainen uudisrakennushanke

Rakennustietosäätiön julkaisema LVI-kortti LVI 03-10125 vuodelta 1989 kuvaa yleisellä tasolla talonrakennushankkeen kulkua perinteisen mallin mukaan. Kortti käsittelee uudisrakennushanketta kokonaishintaurakkana eli sellaisena urakkana, jossa urakoitsija sitoutuu tekemään sovittun rakennustyön sovittuun kokonaishintaan. Rakennushanke alkaa, kun tehdään päätös hankkia tila rakentamalla, ja päättyy, kun tila luovutetaan käyttäjälle (15, s. 1–2). Hankkeen etenemistä havainnollistaa kuva 4:



Kuva 4. Yksinkertaistettu kuvaus talonrakennushankkeen kokonaisuudesta (15, s. 4)

Kuva 4 on laadittu siten, että vasemmassa reunassa kulkevat hankkeen vaiheet ylhäältä alas ja yläreunassa kulkevat hankkeen osapuolet vasemmalta oikealle. Hankkeen osapuolien koko saattaa vaihdella hyvinkin paljon hankkeesta riippuen, mutta osapuolien jaon tulisi olla melko sama riippumatta hankkeesta. Käyttäjän ja rakennuttajan välinen suhde saattaa joissakin tapauksissa olla hieman epäselvä. Tämä johtuu siitä, että hankkeissa on myös tilaaja, joka puolestaan saattaa olla joko käyttäjä tai rakennuttaja tai ei kumpikaan. Tilaaja voi myös olla kaikki kolme samalla kertaa. (15, s. 6.)

4.1.1 Rakennushankkeen vaiheet

Rakennushanke alkaa tarveselvitysvaiheesta. Tarveselvitysvaiheessa todetaan tilantarve ja mietitään tuon tarpeen täyttämiseksi olevia taloudellisia ja muita edellytyksiä sekä pohditaan erilaisia toteuttamismahdollisuuksia. Selvitetään esimerkiksi, halutaanko uudisrakennus vai laajennetaanko olemassa olevaa. Tarveselvitysvaiheen loppuksi tehdään hankesuunnittelupäätös, mikäli uudisrakennus päätetään rakentaa. (15, s. 10.)

Hankesuunnitteluvaiheessa punnitaan hieman tarkemmin hankkeen tarpeet, toteuttamistavat ja mahdollisuudet, vertaillaan eri vaihtoehtoja ja tehdään kustannusarvioita investoinneista ja ylläpidosta, sekä aikatauluja toteutuksesta. Hankesuunnitteluvaiheessa päätetään myös hankkeen laajuus- ja laatutavoitteet. Kun hankesuunnitelma hyväksytään, tehdään hankkeesta investointipäätös. (15, s. 11.)

Rakennussuunnitteluvaiheessa käärivät hihat ja luodaan rakennuksen arkkitehtoninen ratkaisu sekä suunnitellaan rakenteet ja tekniset järjestelmät. Rakennussuunnitteluvaiheessa olennaisena osana on myös rakennusluvan hankkiminen rakennusvalvontaviranomaisilta, sekä tarvittavien urakka-asiakirjojen (esimerkiksi piirustukset, urakkasopimukset ja urakkaohjelma) laadinta. Rakennussuunnitteluvaiheen loppuksi tehdään rakentamispäätös ja solmitaan urakkasopimukset pääsääntöisesti urakkakilpailun pohjalta. (15, s. 12.)

Rakentamisvaiheessa suunniteltu rakennus rakennetaan urakkasopimusten mukaisesti. Suunnittelijat täydentävät suunnitelmia, mikäli se nähdään tarpeelliseksi. Viranomaisen valvoo rakentamisvaihetta erinäisin katselmuksin ja vastaavan työnjohtajan hyväksymismenettelyn kautta. Rakentamisvaihe alkaa urakkasopimuksista ja päättyy vastaanottopäätökseen. (15, s. 14.)

Käyttööntovaiheessa käyttäjä perehdytetään rakennuksen käyttöön ja käyttäjälle luovutetaan siihen liittyvät asiakirjat. Rakentaja korjaa takuuajan aikana ilmenevät puutteet ja virheet. Käyttäjä organisoii suunnitelmien pohjalta rakennuksen ylläpitoon liittyvät toiminnot, kuten kiinteistöhuollon. (15, s. 15.)

4.1.2 Rakennushankkeen osapuolet

Käyttäjä asettaa rakennushankkeelle toiminnalliset ja laadulliset tavoitteet. Rakennuttajan tehtävä on toimittaa käyttäjälle asetettujen tavoitteiden mukainen rakennus. Rakennuttaja voi olla henkilö tai organisaatio, joka järjestää hankkeen toteutuksen suunnittelusta rakentamisen kautta käyttööntoon. Rakennuttaja valvoo kaikkea toimintaa ja suunnittelee kustannuksia ja aikatauluja. Rakennuttaja on hankkeen toimeenpaneva elin. (15, s. 5–6.)

Suunnittelijat jakaantuvat eri alojen mukaan ja vastaavat omista kokonaisuuksistaan ja suunnittelutuotteestaan. Pääsuunnittelija johtaa suunnittelua ja usein pääsuunnittelijana toimii arkkitehti. Arkkitehti vastaa siitä, että rakennus on hankesuunnitelman mukainen toiminnallinen, tekninen, taiteellinen ja taloudellinen kokonaisuus, unohtamatta terveellisyttä ja turvallisuutta. Rakennesuunnittelija huolehtii rakenteiden toimivuudesta ja toteutettavuudesta. LVI-, sähkö- ja rakennusautomaatiosuunnittelijat huolehtivat rakennukseen teknisten järjestelmien toimivuudesta. Lisäksi saattaa hankkeeseen liittyen olla vielä muita erityissuunnittelijoita, kuten erillinen kustannus- ja määrälaskentasuunnittelija. (15, s. 7.)

Rakentaja vastaa rakennuksen fyysisestä tuottamisesta rakennuttajan toimeksiannosta urakkasopimuksen mukaan. Viranomaisen valvoo rakennushankkeen edistymistä Suomessa voimassa olevien lakien ja määräysten mukaisesti; käytännössä valvova viranomaisen Suomessa on rakennusvalvonta. (15, s. 8–9.)

4.2 Matalaenergiarakennushanke

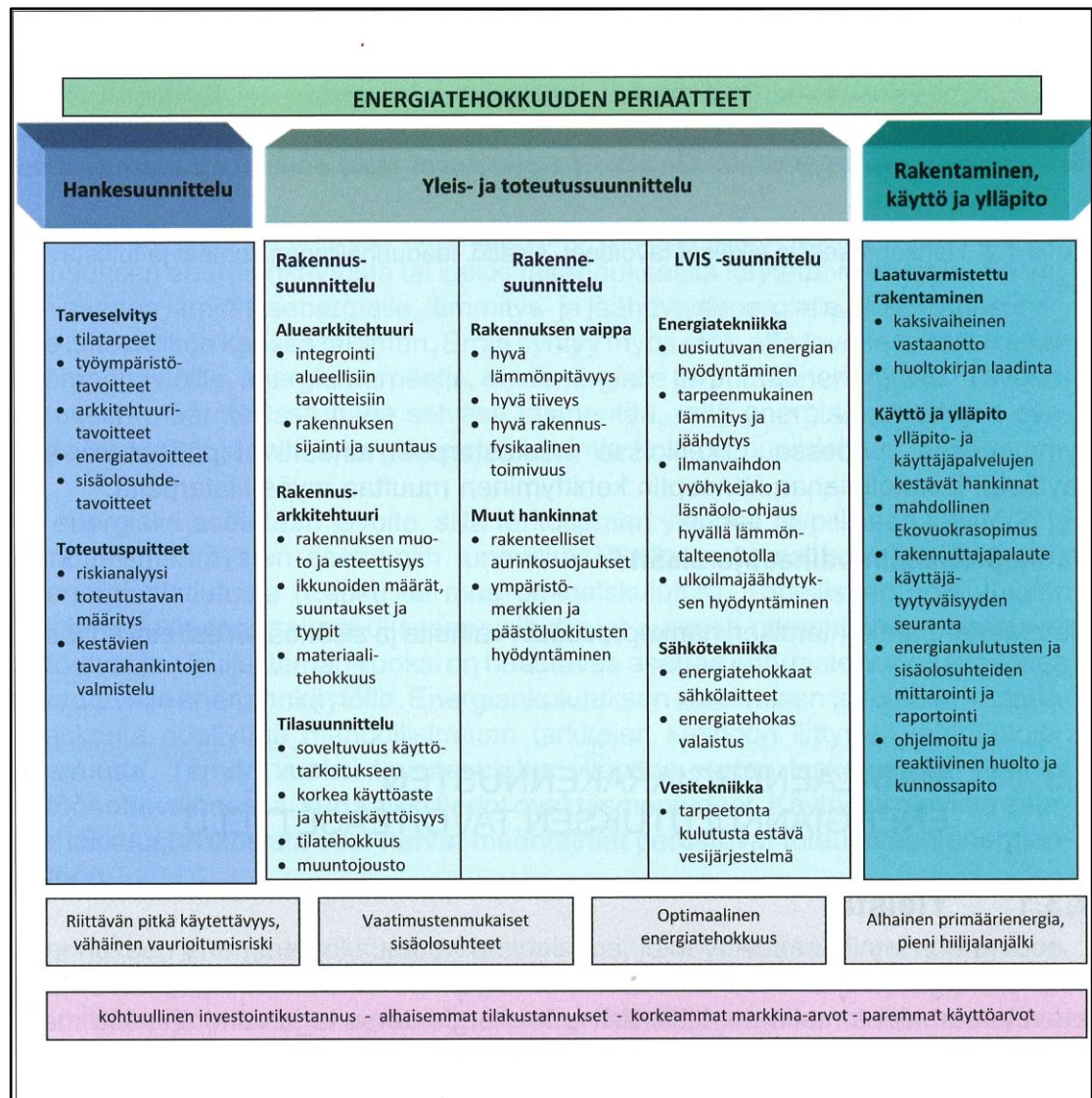
Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry:n julkaisema opas ”RIL 259-2012: Matalaenergiarakentaminen, toimitilat” kuvaa matalaenergiarakennuksen rakennushanketta ja hankkeen eri vaiheissa tehtäviä ratkaisuja, joilla voidaan saavuttaa energiatehokkaampi rakennus.

Matalaenergiarakennuksella voidaan tarkoittaa esimerkiksi määräysten minivaatimukset E-luvun osalta 20 %:lla alittavaa rakennusta (6, s. 15). Matalaenergiatalolle voidaan antaa myös tarkempia määritelmiä, kuten passiivitalo tai lähes nollaenergiatalo. Passiivitaloa rakennettaessa keskitytään lämmitysenergian tarpeen minimoimiseen ja mahdollisesti uusiutuvan energian hyödyntämiseen. Passiivitalo-määritelmän käyttö ei ole tarkoituksenmukaista toimitiloja rakennettaessa, sillä passiivitalon määritelmät eivät ota huomioon, että riippuen talon lämmitettävän tilavuuden ja lämpöhäviötä aiheuttavan ulkovaipan pinta-alan suhteesta lämpöenergian tarve voi olla hyvinkin erilainen eri rakennustyypeillä. Lähes nollaenergiatalo puolestaan on rakennus, jossa on erittäin hyvä energiatehokkuus ja jossa iso osa rakennuksen energiankulutuksesta tulisi kattaa omavaraisella uusiutuvalla energialla. (6, s. 15-17.)

Matalaenergiarakentamisen voidaan ajatella lähtevän kestävästä kiinteistötalouden vaatimuksista. Kestävä kiinteistötalous ottaa huomioon taloudellisen, sosiaalisen ja ympäristöllisen näkökulman ja on vielä laajempi kokonaisuus kuin rakentaminen. Kestävästä kiinteistötalouden mukaan voidaan asettaa tavoitteita esimerkiksi energiatehokkuuden, sisäilmaston, turvallisuuden, ympäristönäkökohtien ja monien muiden asioiden osalta (6, s. 11). Kestävästä kiinteistötalouden tavoitteita asettaessa tulee ottaa huomioon esimerkiksi seuraavat asiat (6, s. 12):

- yhteiskuntavastuullisuus
- liiketoiminta, laadunhallinta ja käyttäjätyytyväisyys
- ympäristövaikutukset ja hiilijalanjälki.

Matalaenergiarakentamisen hankeprosessi muistuttaa aiemmin käsiteltyä vuoden perinteistä uudisrakentamisen hankeprosessia ja on pääpiirteittäin melko samanlainen. Energiatehokkuuden periaatteita noudattavan hankkeen kokonaisuutta hahmottaa RIL 259-2012 -kirjan seuraava kuva 5:



Kuva 5. Toimitalojen matalaenergiarakentamisen periaatteet (6, s. 13)

Kuvasta 5 nähdään, miten kokonaisvaltaista tavoitteiden asettamista ja niihin pyrkimistä energiatehokkuuden tavoittelu rakentamisessa vaatii. Huomattavaa on myös, että energiatehokkuuden periaatteet läpileikkaavat kaikki suunnittelualat ja hankkeen vaiheet. Alareunassa on myös nähtävissä energiatehokkaan rakentamisen kustannusvaihteluja ja niiden muodostumisen periaatteita: kustannukset tasaantuvat koko elinkaaren ajalle tasaisemmin.

Matalaenergiarakennushankkeessa on huomioitava, että suunnittelualojen tiivis yhteistyö korostuu, sillä energiavoitteet on otettava huomioon jo hankkeen alkuvaiheessa ja kaikkien suunnittelualojen olisi huomioitava omat energiatehokkuuteen vaikuttavat rat-

kaisunsa koko suunnitteluprosessin ajan. Lisäksi suunnittelu, toteutus ja ylläpito saattavat tarvita normaalia läheisempää yhteensovittamista. (6, s. 12–13.)

Matalaenergiarakennushankkeessa voidaan käyttää samoja toteutusmuotoja kuin muissakin rakennushankkeissa urakkamuodon ja maksuperusteiden suhteen. Matalaenergiahankkeen suunnittelua kilpailutettaessa täytyy tavoitteet ja kriteerit olla kirjattu niin, että suunnittelijat pystyvät mitoittamaan tarjouksensa oikein. Mikäli halutaan painottaa energiatehokkuuden laatukriteereitä hankinta- ja elinkaarikustannusten rinnalla, voidaan hankkeesta teettää elinkaarikilpailu, johon sisällytetään suunnittelu, toteutus ja ylläpito sovitulla ajanjaksolla. Elinkaarikilpailutuksen yhtenä etuna on, että se toisi läpinäkyvyyttä hinnoitteluun. (6, s. 40–41.)

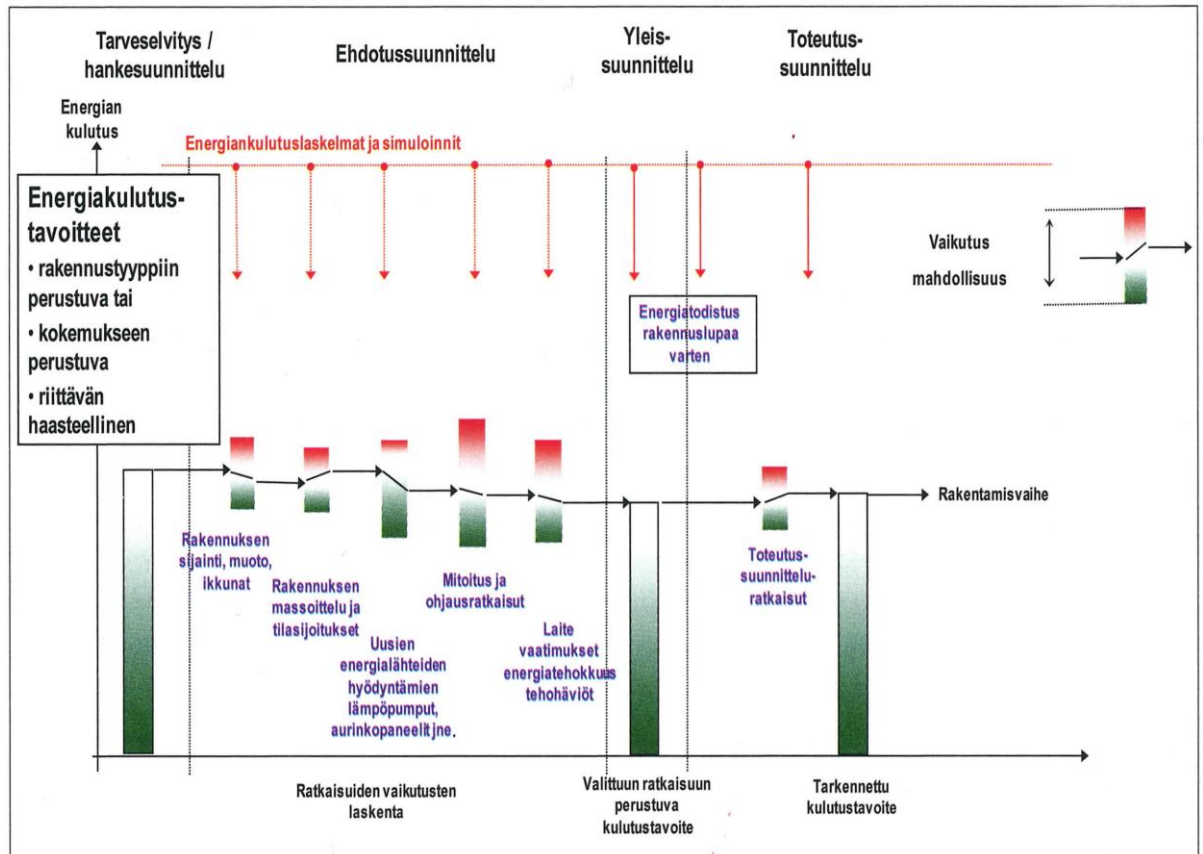
4.3 Energialaskenta suunnitteluprosessin osana

4.3.1 Energialaskennan periaatteet

Rakennustietosäätiö RTS:n ja COBIM-hankkeen (Common BIM Requirement, Senaatti-kiinteistöjen mallintamisohjeiden laajentamis- ja päivittämishanke) osapuolien julkaisemien Yleisten tietomallivaatimusten osan 10 energia-analyysit mukaan energia-analyysejä voidaan hyödyntää rakennushankkeen eri vaiheissa suunnittelun aloittamisesta rakentamiseen ja rakennuksen käyttöönottoon asti. Energia-analyysejä laaditaan sen mukaan, mitä suunnittelusopimuksissa on sovittu tehtäväksi. Analyysin tekijä voi vaihdella hankkeesta riippuen ja tyypillinen tekijätaho saattaa olla energiakonsultti, elinkaarisuunnittelija tai TATE-suunnittelija. (16, s. 2.)

Energialaskenta tulisi ottaa käyttöön mahdollisimman aikaisessa vaiheessa hanketta. Tämän tavoitteena on malli, jossa energialaskenta ohjaa päätöksentekoa jo luonnosvaiheessa. Näin saadaan aikaiseksi arkkitehtonisesti ja energiatehokkaasti pätevä ratkaisu, joka syntyy vuorovaikutuksessa eri suunnittelutahojen kesken. Nykyään suuri ongelma energialaskennassa on se, että energialaskenta aloitetaan vasta kun rakennuslupaa varten tarvitaan energiaselvitys ja jolloin suuri osa energiatehokkuuteen vaikuttavista ratkaisuista on jo tehty. (6, s. 24.)

Hankkeen aikana tehtävän energialaskennan vaikutusmahdollisuuksia rakennuksen lopulliseen energiakulutukseen havainnollistaa RIL 259-2012 -kirjan kuva 6:



Kuva 6. Energiasimuloinnit suunnittelun eri vaiheissa ja kunkin vaiheen vaikutusmahdollisuus kulutustasoon (6, s. 26).

Kuvasta 6 nähdään, että suunnittelun alkuvaiheessa tehtävät ratkaisut korostuvat ja että alkuvaiheessa tulisi tarkasteluja tehdä riittävän tiheästi ottaen huomioon eri ratkaisut kaikilta suunnittelualoilta.

4.3.2 Energialaskennan tapa

Uudisrakennuksen tulee olla voimassa olevien rakentamismääräysten mukainen ja rakennukselle lasketaan siis standardikäytön mukainen E-luku. Standardikäytön mukainen E-luku ilmoittaa rakennuksen energiamuotokertoimilla painotetun ostoenergiakulutuksen lämmitettyä nettoneliötä kohden. Koska rakennuksen todellinen käyttö ja kuormitus saattaa poiketa tästä todellisuudessa, puhutaan käyttäjän ennustaman todellisen käytön ja kuormituksen mukaan tehdyistä energialaskelmista tavoite-energiakulutuksena.

Suunnitteluprosessin alussa on tärkeää määritellä, halutaanko energiatehokkuuden tavoitteita asettaa rakennuksen E-luvulle vai tavoite-energiankulutukselle (rakennuksen

todelliselle käyttäjältä riippuvalle energiakulutukselle) ja mitä energialaskelmia suunnittelun aikana halutaan sisällyttää suunnittelusopimukseen. Laskettaessa E-lukua energiatehokkuustavoite tulisi kirjata suunnittelusopimukseen tarkoin tunnusluvuihin. Tavoite-energiankulutukseen sitoutuminen sopimuksessa on verrattain haastavaa, sillä sen tarkka ennustaminen on vaikeaa ilman selkeitä rajoituksia rakennuksen käytölle. Tästä syystä tavoite-energiankulutukseen sitoutuminen on riskialtista. (6, s. 15.)

4.4 Tietomalli- ja tehtäväluettelopohjainen energialaskenta

Kun rakennuksessa on jäähdytys muutenkin kuin yksittäisissä tiloissa, tulee uuden D3:n mukaan rakennuksen energialaskenta suorittaa tuntitason dynaamisella laskentamenetelmällä, joka on tiettyjen standardien mukaan validoitu. Myös kesäajan huonelämpötilan tarkastelu tulee suorittaa dynaamisella laskentaohjelmalla. (3, s. 26–27.)

Rakennustietosäätiö RTS:n johdolla ja COBIM-kehittämishankkeen tuloksena useiden eri tahojen yhteistyönä syntyneet Yleiset tietomallivaatimukset YTV 2012 on julkaisusarja, joka voidaan ottaa rakennushankkeessa suunnittelusopimusten sitoviksi vähimmäisvaatimuksiksi, mikäli niitä halutaan käyttää. Yleiset tietomallivaatimukset sisältää 14 osaa, jotka on jaoteltu suunnittelualoittain ja jotka asettavat kullekin suunnittelualalle vaatimuksia mallinnuksen laadusta hankkeen eri vaiheissa. Tietomallivaatimukset on nimensä mukaan tarkoitettu kohteille, joissa toteutetaan suunnittelu tietomallinnuksena. (16, s. 1–2.)

Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry on julkaissut yhteistyössä suunnittelijoita ja konsultteja edustavien liittojen kanssa rakennushankkeen johtamisen ja suunnittelun uudet tehtäväluettelot vuonna 2012. Osana tätä on myös laadittu uusi taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE 12. TATE 12 on tarkoitettu suunnittelusopimukseen liitettäväksi dokumentiksi, joka määrittelee suunnittelutehtävien laajuuden. Uudet tehtäväluettelot on määrä julkaista RT-kortteina tulevaisuudessa. Tehtäväluettelossa on mahdollista valita hankkeelle oletuslaajuus, joka käsittää perustehtävät, ja lisäksi on mahdollista valita hankkeeseen erikseen tilattavia tehtäviä. (17, s. 1.)

Tässä luvussa on käsitelty rakennuksen energialaskentaa dynaamisella ohjelmalla käyttäen apuna rakennuksesta tehtävää tietomallia. Viitekehyksenä on käytetty yleisten tietomallivaatimusten osaa 10. energia-analyysit ja uusiutumassa olevaa taloteknisen

suunnittelun tehtäväluetteloa TATE 12 (työversio), jotka perustuvat samaan käsitykseen hankeprosessista. Rakennushanke käydään vaihe vaiheelta läpi ja esitellään kummankin lähteen käsitys eri vaiheissa tehtävistä energialaskentatehtävistä.

4.4.1 Suunnittelun valmistelu

TATE 12 -tehtäväluettelon mukaisesti suunnittelun valmisteluun kuuluu hankkeen lähtötietojen ja suunnittelun laajuuteen liittyvien tekijöiden määrittely. Suunnittelun valmistelussa voidaan käyttää erillistä tilaajan laatimaa hanketietokorttia, josta ilmenee kohdassa 2.4 analysointien ja visualisointien vaatimustaso. Kohdassa voidaan määrittellä, tehdäänkö hankkeessa rakennuksen energiatarkastelut rakennusvalvonnan edellyttämällä tavalla vai tehdäänkö lisäksi tavoite-energiälaskenta ja millä tarkkuudella kyseiset tarkastelut tehdään. (17, s. 12; 18, s. 5.)

4.4.2 Hankesuunnittelu

Hankesuunnitteluvaiheessa YTV:n mukaan voidaan suorittaa esimerkiksi sisäilmatavoitteiden asettamista tukevat olosuhde- ja energialaskelmat. Lähtötietoina tätä varten tulisi olla arkkitehdin vaatimusmalli, joka sisältää taulukkomuotoisen tilaohjelman, josta ilmenee tilaajan ja käyttäjän vaatimukset eri tiloille. Laskelmia varten voidaan myös käyttää energia-analyysejä varten erikseen laadittavaa tietomallia. (16, s. 4.)

TATE 12 -tehtäväluettelossa on hankesuunnittelun kohdalla erikseen tilattavissa tehtävissä kohta ”B 4.4 Rakennuspaikan hyödyntäminen energian käytössä”, joka tarkoittaa, että selvitetään, voidaanko maaperää hyödyntää rakennukseen tarvittavan lämmitys- tai jäähdytysenergian tuotannossa tai varastoinnissa. Asiasta tehdään tarvittavat selvitykset ja raportit. (17, s. 15.)

4.4.3 Ehdotussuunnittelu

Ehdotussuunnitteluvaiheessa vertaillaan YTV:n mukaan alustavia energiankulutus- ja olosuhdesimulointeja erilaisten ratkaisujen mukaan. Erilaisia ratkaisuja voivat olla muun muassa julkisivu-, auringonsuojaus- ja teknisten järjestelmävaihtoehtojen ratkaisut. Lähtötietoina käytetään arkkitehdin tilamallia ja lisäksi tarvitaan taloteknisen suunnittelun vaatimusmallia, jossa määritellään tilojen talotekniset vaatimukset esimerkiksi

sisäilmastosta ja valaistuksesta. Mikäli rakennetyypeistä ei ole tarkempaa tietoa, käytetään rakennusmääräysten vertailuarvoja ja ikkunoiden osalta olisi tiedettävä vähintään tilakohtaiset ikkunapinta-alat. (16, s. 5.)

Ehdotussuunnittelun perustehtäviin kuuluu TATE 12 -tehtäväluettelon mukaan energiankulutuslaskenta, jossa vertaillaan rakennuksen eri toteuttamisvaihtoehtojen ja ominaisuuksien vaikutusta kokonaisenergiankulutukseen. Lisäksi erikseen tilattaviin tehtäviin voidaan sisällyttää tarkempi tuntitason energiakulutuslaskenta simulointiohjelmalla eri vaihtoehdoille. (17, s. 17.)

4.4.4 Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaiheessa YTV:n mukaan LVI-suunnittelija selvittää olosuhdesimulointien avulla tarvittavat ilmavirrat sekä rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystehot. Kun toteutettava ratkaisu on valittu, tarkennetaan energia- ja olosuhdesimulointeja valittujen ratkaisujen mukaan. Lähtötiedoiksi tarvitaan ainakin arkkitehdin tilamalli, jossa tilat ovat tilaobjekteina ja rakennuksen ulkovaippa on paikallaan. Lisäksi tarvitaan tarkemmat tiedot rakenne-, ikkuna- ja ovityypeistä. (16, s. 5.)

Yleissuunnittelun erikseen tilattaviin tehtäviin kuuluu TATE 12 -tehtäväluettelon mukaan tuntitason energiankulutuksen laskenta, jossa otetaan huomioon mahdollisten yleissuunnitteluvaiheessa tehtyjen muutoksien vaikutus, käyttötiedot, ulkoiset ja sisäiset kuormat, sekä valittujen rakenneratkaisujen ja järjestelmien vaikutus energiankulutukseen. (17, s. 20.)

4.4.5 Rakennuslupatehtävät

Rakennuslupaa varten tulee YTV:n mukaan uudisrakennukselle tehdä energiaselvitys, joka sisältää olosuhdelaskelmat kesäaikaisen huonelämpötilan pysyvyydestä ja energialaskelmat rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta eli E-luvun. Lisäksi E-luvun pohjalta laaditaan rakennukselle uuden energiatodistuslain mukainen energiatodistus. Energialaskentaa voidaan myös käyttää hyväksi laadittaessa energiaselvitykseen liitettäviä lämpöhäviöiden tasauslaskelmia ja mitoitusilanteen lämmitystehoja. (16, s. 5.)

Rakennuslupaan liittyvien perustehtävien joukkoon kuuluu TATE 12 -tehtäväluettelon mukaan myös rakentamismääräysten edellyttämät energiatehokkuuden osoittavat laskelmat, eli energiaselvitys. Energiaselvitykseen liittyvät selvitykset ja laskelmat kootaan pääsuunnittelijalle, joka vastaa energiaselvityksen laadinnasta. (17, s. 21.)

4.4.6 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnitteluvaiheessa tehdään YTV:n mukaan tarvittavia päivityksiä energialaskentaan, mikäli suunnittelussa on tehty merkittävästi energiankulutukseen vaikuttavia muutoksia, kuten ikkunatyypin tai aurinkosuojausten muutos. Myös saatavilla olevat taloteknisten järjestelmien tiedot voivat vaikuttaa energialaskelmiin ja ne tulisi päivittää. (16, s. 5–6.)

TATE 12 -tehtäväluettelon mukaan toteutussuunnitteluvaiheen erikseen tilattaviin tehtäviin voidaan sisällyttää tarkennetut energialaskelmat hankintoja palvelevista suunnitelmista. Hankintoja palvelevissa suunnitelmissa tarkastellaan esimerkiksi eri laitevaihtoehtoja. Myös toteutuvien taloteknisten järjestelmien vaikutukset energiankulutukseen otetaan huomioon toteutussuunnitelmien mukaisesti. (17, s. 26.)

4.4.7 Rakentaminen

Rakentamisvaiheessa energialaskelmat päivitetään vaiheen loppuun YTV:n mukaan urakoitsijoiden tekemien laitevalintojen mukaisiksi. Tätä varten tarvitaan urakoitsijalta valittujen laitteiden tiedot. Energiakulutukselle lasketaan myös tavoitearvo rakennuksen normaalikäytölle. Tässä on otettava huomioon, että rakennuksen 1. käyttövuosi poikkeaa normaalikäytöstä esimerkiksi siten, että 1. käyttövuonna rakennuksen ilmanvaihtoa käytetään usein läpi vuorokauden rakennusmateriaalien emissioiden poistamiseksi. (16, s. 6.)

Erikseen tilattavana tehtävänä rakentamisvaiheessa on TATE 12 -tehtäväluettelon mukaan energiankulutuksen laskenta valituilla laitteilla. Valittujen laitteiden mukaisen kokonaisenergiankulutuksen ja tavoite-energiankulutuksen väliset erot raportoidaan, jotta voidaan todeta, toteuttavatko tehdyt laitevalinnat suunnitellut energiatehokkuustavoitteet. (17, s. 31.)

4.4.8 Käyttöönotto ja takuu aika

Käyttöönoton yhteydessä tehdään energialaskelmiin YTV:n mukaan rakennuksen normaalikäytön todellisten käyttöaikojen mukaiset tarkennukset. Ensimmäisen käyttövuoden aikana tehdään usein taloteknisiin järjestelmiin hienosäätöä ja optimoidaan järjestelmät toimimaan todellisen käytön mukaan. Näin luodaan edellytykset seurata asetetuissa energiatehokkuustavoitteissa pysymistä. (16, s. 6.)

Takuuajana voidaan erikseen tilattavana tehtävänä suorittaa TATE 12 -tehtäväluettelon mukaan energialaskelmat toteutuneiden käyttöaikojen ja asetusarvojen mukaisesti. (17, s. 34.)

5 Energiamääräysten asettamat edellytykset energialaskentaan

5.1 Energialaskennan lähtökohtana uudistunut Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3

Vuonna 2012 uudistuneen rakentamismääräyskokoelman osan D3 myötä on siirrytty ajatteluun, jossa rakennuksen energiankulutusta käsitellään kokonaisuutena. Kokonaisenergian kulutusta kuvaa laskennallinen E-luku, joka ottaa huomioon rakennuksessa kulutetun energian lisäksi myös kulutetun energian tuotantotavan. Tämän uudenlaisen suunnittelun ohjaustavan on tarkoitus saada aikaan energiatehokkaampia rakennuksia kustannustehokkaammin. (9, s. 5, 8.)

Kurnitskin mukaan (9, s. 7–9) kokonaisenergiatarkastelu asettaa kaikki rakennuksien energiatehokkuuteen liittyvät ratkaisut lähtökohtaisesti samalle tasolle. Tällä tavalla jokaiseen rakennukseen on mahdollisuus valita siihen parhaiten sopivat energiatehokkuutta parantavat ratkaisut. Aiemmissa rakennuksien energiatehokkuutta koskevissa määräyksissä on ollut koviakin rakennusosakohtaisia vaatimuksia, jotka ovat näyttäneet suunnan rakennuksen suunnittelulle. Rakennusosakohtaisista vaatimuksista on nyt siirrytty tarkastelemaan rakennuksen energiankulutusta kokonaisuutena. RakMK D3 2012:n mukainen kokonaisenergiatarkastelu sisältää reunaehdoja ja vaatimuksia eri rakennusosille ja teknisille järjestelmille, mutta rakennuksen energiankulutuksen tarkastelu kokonaisenergiatasolla ei ohjaa suunnittelua tiettyyn suuntaan niin paljoa kuin aiemmat määräykset.

Vertailtaessa RakMK D3 2012:ta ja aiempia energiamääräyksiä, suurimpina muutoksina energianlaskennassa esille nousevat (9, s. 7–12):

- Energiamääräykset ovat koottuna yhteen tiedostoon eli RakMK D3 2012:een.
- D3 2012:een sisältyy kokonaisenergian kulutuksen eli E-luvun laskenta.
- Energiaselvitykseen sisältyvät dokumentit (3; 20).
- Taso on kiristetty 20 % aiempaan määräystasoon verrattuna (6, s. 156).

Aiemmissa energiamääräyksissä määräyksiä on ollut hajautetusti eri rakentamismääräyskokoelman osissa. Esimerkiksi RakMK D3 2010 viittasi ilmanvaihdon ominaissäh-

kötehon kohdalla rakentamismääräyskokoelman osaan D2 2010. Nyt tällaiset viittaukset energiatehokkuuden määräyksistä ovat poistuneet. Ohjeita energialaskentaa varten on koottu RakMK osaan D5.

RakMK D3 2012:ssa esitetty kokonaisenergian kulutus (E-luku) tarkoittaa rakennuksen vuotuista energiamuotojen kertoimilla painotettua ostoenergian kulutusta (kWh/m²). E-luvun laskenta suoritetaan RakMK D3:ssa määritettyjen laskentasääntöjen mukaan (3, s. 8). RakMK D3:ssa on määritetty myös rakennuksen standardoitu käyttö, jossa määritetään rakennuksen käyttötarkoituksiluokasta riippuvat lähtötiedot. Standardoidun käytön tarkoitus on, että rakennuksen tuleva käyttäjä ei pysty vaikuttamaan rakennuksen E-lukuun omalla toiminnallaan, vaan energian kulutukseen vaikuttavat ainoastaan rakennuksen ominaisuudet. (9, s. 20–24.)

Energiaselvitykseen vaadittavat asiakirjat vuoden 2012 D3:ssa ovat pääosin samat kuin vuoden 2010 D3:ssa lukuun ottamatta kahta poikkeusta. Vuoden 2012 D3:n mukaiseen energiaselvitykseen vaaditaan energialaskennan lähtötietojen ja tulosten esittämistä D3:n mukaisilla lomakkeilla. Toinen uutuus on E-luvun esittäminen osana energiaselvitystä. (3; 20)

Rakentamismääräyskokoelman osa D3 2012 koostuu viidestä luvusta, jotka jakavat energiamääräykset helpommin hahmotettaviin osiin:

1. Yleistä-luvussa on esitelty, mitä rakennuksia (rakennuksien käyttötarkoitukseluokat) RakMK D3:n määräykset koskevat sekä siinä on määritelty käsitteet.
2. Energiatehokkuuden vaatimuksissa on esitetty rakennuksen energiatehokkuuden vaatimukset ja reunaehdot.
3. Energialaskennan lähtötiedot -luvussa määrätään laskennassa käytettävät lähtötiedot rakennuksen käyttöön liittyvissä asioissa (rakennuksen standardoitu käyttö).
4. Energialaskennan laskentasäännöt -luvussa on annettu määräykset ja ohjeet siitä, kuinka laskenta suoritetaan.
5. Määräysten mukaisuuden osoittaminen -luvussa on kerrottu energiaselvityksestä sekä asetettu vaatimukset laskentatyökaluille.

Näissä D3 2012:n osissa asetetaan vaatimukset rakennusten energiatehokkuudesta, määritetään rakennuksen standardoitu käyttö, annetaan energialaskennan laskentäsäännöt sekä määritetään, kuinka rakennuksen energiatehokkuus osoitetaan.

5.2 Energiaselvitys ja rakennuksen energiatehokkuuden vaatimukset

RakMK D3 määrää, että rakennusta suunniteltaessa on tehtävä energiaselvitys. Energiaselvitys on myös osa rakennuksen rakennuslupahakemusta (21, s. 27). Energiaselvitykseen sisältyvät asiakirjat tulee toimittaa rakennuslupahakemuksen käsittelijälle. Ennen rakennuksen käyttöönottoa energiaselvitys on päivitettävä rakennuksen ominaisuuksia vastaavaksi (3, s. 26).

Taulukko 2. Rakennuksen energiaselvitykseen sisältyvät tarkastelut. (3 s. 26)

Energiaselvitykseen sisältyy seuraavat tarkastelut:		
Vaadittava tarkastelu	Tarkennus	Millä osoitetaan/todennetaan?
Rakennuksen kokonaisenergiankulutus	Tarkoittaa rakennuksen E-luvun laskentaa.	Laskemalla ostoenergiankulutus ja E-luku.
Energialaskennan lähtötiedot ja tulokset	Laskennan lähtötiedot ja tulokset on esitettävä RakMK D3 liitteen 3 taulukoiden 12 ja 13 mukaisiin taulukoihin.	RakMK D3 liitteen 3 taulukot 12 ja 13
Kesäajan huonelämpötilan hallinta	Kesäaikainen (1.6. - 31.8.) huonelämpötila ei saa ylittää jäähdytysrajaa enempää kuin 150 astetuntia.	Huonelämpötilojen laskennalla.
Rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuus	Rakenteiden U-arvojen enimmäisarvot eivät saa ylittyä.	Lämpöhäviöiden tasauslaskennalla.
Rakennuksen lämmitysteho mitoitus tilanteessa	Lämmitysjärjestelmän teho mitoitetaan vastaamaan mitoitus ulkolämpötilan edellyttämää tehoa.	Esitetään rakennuksen suunnitelmissa.
Rakennuksen energiatodistus	1.6.2013 alkaen laaditaan E-lukuun pohjautuva energiatodistus.	Laatimalla rakennukselle energiatodistus.

Taulukossa 2 on esitetty rakennuksen energiaselvityksen sisältämät dokumentit tai tarkastelut. Taulukossa ensimmäinen kohta tarkoittaa rakennuksen kokonaisenergian kulutuksen eli E-luvun (kWh/m²) laskentaa. E-luku kuvaa rakennukseen ostettavaa energiankulutusta huomioon ottaen käytettävän energiamuodon. E-luvun laskenta edellyttää rakennuksen vuotuisen ostoenergiankulutuksen laskemista energian kulutusluokittain, jotka sitten kerrotaan energiamuotoja vastaavilla energiamuotokertoimilla. Ostoenergiankulutus on rakennuksessa tarvittava energia, joka ostetaan rakennukseen sähköverkosta, kaukolämpö- tai kaukojäähdytysverkostosta tai jonkin polttoaineen muodossa. Uudisrakennuksen E-luku ei saa ylittää RakMK D3:ssa annettuja arvoja,

jotka on määritetty rakennuksen käyttötarkoitukseluokittain. Käyttötarkoitukseluokat on esitelty D3:n liitteessä 1.

Taulukon toisen kohdan mukaisesti RakMK D3 edellyttää, että E-luvun laskennassa käytetyt lähtötiedot ja tulokset tulee esittää energiaselvityksen osana RakMK D3:n liitteinä olevilla lomakkeilla (3, s. 33–34).

Kuten taulukon kolmannesta kohdasta nähdään, kesäaikaan rakennuksessa olevat tilat eivät saa lämmitä haitallisesti eli rakennuksen käyttötarkoitukseluokan mukaan määräyty sisäilmasto-olosuhteet tulee pystyä ylläpitämään. Tilojen huonelämpötilan vaatimusten mukaisuus osoitetaan lämpötilalaskennalla ja RakMK D3:n vaatimus on, että kesäajan (1.6.–31.8.) huonelämpötila ei saa ylittää jäähdytysrajan arvoa enempää kuin 150 astetuntia kyseisenä aikana. Usein määräytyjen tavoitteiden saavuttaminen vaatii erillisen jäähdytysjärjestelmän, mutta ensisijaisesti tulee käyttää passiivisia keinoja lämpökuorman pienentämiseksi ja vasta sen jälkeen suunnitella tiloihin jäähdytystä. Energiaselvityksen osana huonelämpötilan hallinta voidaan todentaa ympäristöministeriön laskentaoppaan (Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksen mukaisuuden osoittaminen) liitteen 1 mukaisilla lomakkeilla.

Taulukon neljännen kohdan mukaan energiaselvityksen osana tulee osoittaa, että rakennuksen lämpöhäviöt eivät ylitä määräysten asettamaa tasoa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuus osoitetaan lämpöhäviön tasauslaskelmalla. Lämpöhäviön tasauslaskenta voidaan suorittaa ympäristöministeriön julkaisemalla lämpöhäviön tasauslaskenta-laskurilla. Lämpöhäviön tasauslaskelmalla osoitetaan, että rakennuksen lämpöhäviö on korkeintaan yhtä suuri kuin rakennuksen vertailulämpöhäviö, joka määritetään RakMK D3:n mukaisilla vertailuarvoilla. Lämpöhäviöön sisältyy rakennuksen ulkovaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöt. Huomion arvoista on se, että RakMK D3:n enimmäislämmönläpäisykerroimet eli U-arvot eivät tarkoita samaa kuin U-arvojen vertailuarvot. U-arvojen enimmäisarvot on esitetty RakMK osassa D3 (2012).

Taulukon viides kohta tarkoittaa, että rakennuksen lämmitysjärjestelmä tulee mitoittaa niin, että RakMK D3:n liitteessä 2 esitetyillä ulkoilman mitoituslämpötiloillakin saadaan ylläpidettyä rakennuksessa vaaditut sisäilmasto-olosuhteet. Vaikka energiankulutuksen laskennassa sisäiset kuormat otetaan huomioon rakennusta lämmittävänä tekijänä, lämmitystehon mitoituksessa niitä ei saa ottaa huomioon.

Energiaselvitykseen kuuluu myös taulukon 2 mukaan rakennuksen energiatodistus. Energiatodistus laaditaan ympäristöministeriön antaman asetuksen mukaisesti, ja sen laatii pätevätoimintainen energiatodistuksen laatija (2, s. 4). Energiatodistuksessa määritetään rakennuksen energiatehokkuusluokka, ja nämä energiatehokkuusluokat pohjautuvat E-lukuun.

5.2.1 Muita rakennuksen energiatehokkuuden vaatimuksia

Rakennuksen ilmatiiveyden sekä ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuuden osoittaminen sisältyvät energiaselvityksen asiakirjoihin, mutta niille ei ole omia, erillisiä asiakirjoja.

Rakennuksen ilmatiiveys

RakMK D3:ssa on vaatimus rakennuksen ilmapitävyydelle. RakMK D3:n määrittelemä ilmavuotoluku ($q_{50} = \text{m}^3/\text{h}, \text{m}^2$) lasketaan rakennuksen vaipanalaan kohti ja sen minimiarvo on $4 \text{ m}^3/\text{h}, \text{m}^2$. Laskelmissa voidaan käyttää parempaa ilmavuotolukua, jos rakennuksen parempi ilmatiiveys osoitetaan esimerkiksi mittamalla. (3, s. 10.)

Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus

Ilmanvaihdon energiatehokkuudesta vaatimukset määräävät enimmäisarvot ominaissähköteholle (SFP-luvut) sekä poistoilman lämmön talteenoton vuosihyötysuhteelle. RakMK D3:n mukaan ominaissähkötehon enimmäisarvo on $2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ tulo- ja poistoilmajärjestelmälle ja poistoilmajärjestelmälle vastaava arvo on $1 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Poistoilman lämmön talteenotosta on määrätty lämmön talteenottolaitteiston vähimmäisvuosihyötysuhde, joka on 45 % ilmanvaihdon tarvitsemasta vuotuisesta lämpöenergiasta. (3, s. 15–16.)

Energiankäytön mittaus

D3 2012 edellyttää, että rakennuksen energiankulutusta on mitattava tai on ainakin järjestettävä mahdollisuus mittaukselle. Vaadittuja energiamittauksia ovat sähkö- ja lämpöenergiamittaukset. Eri taloteknisten järjestelmien energiankulutus on pystyttävä mittaamaan. (3, s. 16.)

5.2.2 Vaatimukset laskentatyökaluille

Jos rakennuksessa ei ole jäähdytystä tai jäähdytystä on vain yksittäisissä tiloissa, RakMK D3:n mukaan laskennan voi suorittaa laskentatyökalulla, joka perustuu kuu-kausitason laskentaan. Ei-jäähdytettyjen rakennusten energialaskennassa voidaan käyttää laskentatyökalua, joka perustuu RakMK:n osaan D5.

Muiden rakennusten osalta taas vaaditaan sellaisen laskentatyökalun käyttämistä, joka tekee laskennan dynaamista eli ajasta riippuvaa laskentamenetelmää käyttäen. Tällöin on myös laskettava lämmitysenergian nettotarpeen lisäksi jäähdytysenergian nettotarve. Tuntitason laskentaan pystyvien laskentatyökalujen kelpoisuus tulee osoittaa ja RakMK D3 edellyttää, että laskentatyökalu on testattu siihen tarkoitettujen testien mukaan. (3, s. 27.)

5.3 Kokonaisenergiankulutuksen laskenta

Rakennuksen kokonaisenergiankulutus eli E-luku [kWh/m²] lasketaan summaamalla rakennuksen ostoenergiankulutuksien ja energiamuotokertoimien tulot. Laskentakaavana E-luku näyttää seuraavalta.

$$E - luku = \frac{\text{Ostoenergian kulutus} * \text{energiamuodon kerroin}}{\text{Lämmitetty nettoala}}$$

E-luvun laskenta lyhyesti

E-luvun laskenta lähtee rakennuksen energian nettotarpeiden määrittämisestä. Jäähdytetyissä rakennuksissa lämmitys- ja jäähdytysenergian osalta tämä täytyy tehdä käyttäen tuntitason eli dynaamista laskentamenetelmää.

Rakennuksen ostoenergian kulutus lasketaan lisäämällä energian nettotarpeisiin järjestelmien häviöt. Jos häviöistä ei ole tarkempaa tietoa, ne voidaan määrittää rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisella tavalla.

Kokonaisenergian kulutus lasketaan kertomalla rakennuksen ostoenergian kulutukset energiamuodon kertoimilla ja jakamalla saatu tulo rakennuksen lämmitetyllä nettoalalla. Kokonaisenergiakulutusta laskiessa on ostoenergian kulutukset laskettava ostoenergian kulutuslajeittain, jotta energiamuodon kertoimilla painottaminen voidaan tehdä. (3)

5.3.1 D3 2012:n asettamat E-luvun laskentasäännöt

Laskentasääntöjen tarkoituksena on varmistaa, että kaikki laskevat energiankulutuksen samalla tavalla ja tällä tavoin varmistetaan laskelmien vertailukelpoisuus (9, s. 24).

Yleiset laskentasäännöt

RakMK D3:n laskentasäännöissä on määritelty, että rakennuksessa olevia erikoistiloja ei tarvitse erikseen ottaa huomioon E-luvun laskennassa. Ne huomioidaan laskelmissa muun rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. Samoin muita teknisiä järjestelmiä ja erikoistiloja, joita RakMK D3:ssa ei ole mainittu, kuten esimerkiksi ulkovalaistusta, ammattikeittiöitä, hissejä tai sulatuskaapeleita, ei oteta laskennassa huomioon.

Laskentaa varten rakennusta ei tarvitse jakaa yksityiskohtaisiin vyöhykkeisiin. Esimerkiksi pientalot ja muut pienet yhden käyttötarkoituksen rakennukset voidaan käsitellä yhtenä laskentavyöhykkeenä. Suuremmissa rakennuksissa laskenta suoritetaan jakamalla tilat käyttötarkoituksen ja käyntiaikojen mukaan. Tähän poikkeuksena RakMK D3 toteaa, että jos jonkin käyttötarkoituksen osa on alle 10 % lämmitetystä nettoalasta, se voidaan laskea osana muuta rakennusta. (3, s. 22.)

Lämmitysenergian nettotarve

Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve koostuu tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmittämisestä. Tilojen lämmitysenergian nettotarve koostuu johtumishäviöistä, vuoto- ja tuloilman lämpenemisestä tiloissa. Auringon aiheuttama ja sisäisten lämpökuormien tiloja lämmittävä vaikutus huomioidaan lämmitysenergian nettotarpeen määrittämisessä. Jos rakennuksessa on aurinkosuojausta, tämä tulee huomioida lämmi-

tysenergian nettotarvetta määritettäessä. Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitysenergian nettotarpeeseen sisältyy tuloilman lämmittämiseen kuluva energia. Laskennassa otetaan huomioon lämmön talteenottolaitteisto. Käytännössä tämä tarkoittaa, että energian nettotarve on ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin käyttämä energiamäärä. (3, s. 22.)

Rakennusvaipan lämpöhäviöt

Rakennuksen ulkovaipan lämpöhäviöiden määrittämisessä käytetään rakennuksen lämmitettyä nettoalaa. Lämmitetyn nettoalan on määritetty olevan kerrostasojen summa, jotka on määritetty kerrostasoja ympäröivien ulkoseinien sisäpintojen mukaisesti. (3, s. 5, 23.)

Uutena asiana RakMK D3 2012:ssa on rakenteiden välisten liitosten huomioiminen lämpöhäviöiden laskennassa eli epäsäännöllisten kylmäsiltojen huomioiminen. Säännölliset kylmäsiltoja ovat rakenteisiin sisältyviä kylmäsiltoja, ja ne on yleensä huomioitu jo rakenteita suunniteltaessa ja sisältyvät rakenteiden U-arvoihin (9, s. 25). Käytännössä epäsäännölliset kylmäsiltoja huomioidaan lämpöhäviötä määritettäessä lisäämällä lämpöhäviöön kylmäsilta aiheutuva lämpöhäviö (3, s. 23).

Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmien energiankäyttö koostuu tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan energian lisäksi järjestelmissä aiheutuvista häviöistä. Energialaskennassa huomioitavia häviöitä ovat lämmönjakoon ja -luovutukseen liittyvät häviöt, lämmitysenergian tuotannon häviöt, lämpimän käyttöveden siirron, varastoinnin ja kiertojohtoon häviöt sekä apulaitteiden eli pumppujen ja säätölaitteiden sähkön kulutus. Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian häviöt otetaan laskennassa huomioon jakamalla kyseessä olevan järjestelmän nettoenergiantarve lämmönjaon tai -siirron hyötysuhteella. (3, s. 23–24.)

Muita laskennassa huomioitavia seikkoja lämmitysjärjestelmien osalta ovat tulisijojen, ilma-ilmalämpöpumppujen sekä märkätilojen sähköisen lattialämmityksen huomioiminen. Tulisijat voidaan ottaa huomioon tilaan saatavana lämpöenergiana. Tulisijasta saatava energia on rajattu enintään 2 000 kWh vuodessa. Jos tulisijaa käytetään hyödyksi käyttöveden lämmityksessä ja se on liitetty nestekiertoisella lämmönsiirtimellä

lämmitysjärjestelmään, tulisija otetaan laskennassa huomioon lämmityskattilana. Laskennassa ilma-ilmalämpöpumppujen tuottama lämmitysenergia vuodessa on enintään 1 000 kWh. Rakennuksen ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmien osana toimivien ilma-ilmalämpöpumppujen tuottama energia voidaan ottaa huomioon kokonaisuudessaan. Rakennuksessa olevat märkätilojen sähkölattialämmityksien kuluttama energia täytyy osoittaa laskelmin. Ellei näin tehdä, sähköinen lattialämmityksen lasketaan olevan 50 % tilojen lämmitysenergiantarpeesta. (3, s. 23–24.)

Lämpöpumppujärjestelmissä käytettävä lisälämmitys on otettava huomioon, ellei lämpöpumppujärjestelmää ole mitoitettu täydelle teholle (3, s. 24).

Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus lasketaan RakMK D3:n mukaisilla käyntiajoilla ja ilmamäärillä. Jos rakennuksessa ilmanvaihto on ohjattu tarpeenmukaisesti, kokonaisenergian kulutuksen laskennassa voidaan käyttää suunniteltuja ilmamääriä (3, s. 18). Lämmön talteenottolaitteiston energian kulutus lasketaan osana lämmitysenergian nettokulutusta. Syy tähän on, että lämmön talteenotto vaikuttaa lämpökuormien hyödyntämiseen, eikä niitä muutoin pystyisi laskennassa huomioimaan (9, s. 27). Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus lasketaan kaikille rakennuksessa oleville ilmanvaihtokoneille ja huippuimureille (3, s. 25).

Jäähdytysjärjestelmä

Jäähdytysjärjestelmän energiankulutukseen tulee laskennassa sisällyttää jäähdytysenergian tuoton sekä apulaitteiden sähkön kulutus (3, s. 25).

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkäyttö

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkulutus huomioidaan rakennuksen energian kulutuksen laskennassa lämpökuormana. Käyttöaikana käytetään RakMK D3:n lähtötietoa, joka on annettu D3:n lähtötieto-osiossa. Kuluttajalaitteiden sähkön kulutukseen ei voida E-luvun laskennassa vaikuttaa. RakMK D3 määrittää rakennuksien käyttötarkoituksittain kuluttajalaitteiden sähkön kulutukselle arvon, jota E-luvun laskennassa on noudatettava. (3, s. 19.)

Valaistuksen sähkön kulutus lasketaan myös RakMK D3:n antamien arvojen mukaisesti. Valaistuksen käyttämä sähkö otetaan huomioon lämpökuormana, ja sen yksikkö on myös W/m^2 . Pienempiä lämpökuormia voidaan käyttää, jos osoitetaan, että valaistustaso säilyy esimerkiksi standardin SFS-EN 12464-1 esittämällä tasolla. (3, s. 19.)

5.3.2 Laskennan lähtötiedot

Kokonaisenergian kulutuksen eli E-luvun laskennassa käytetyt lähtötiedot tulee esittää RakMK D3:n liitteen 3 mukaisella lomakkeella. Lähtötietolomakkeeseen täytetään seuraavat asiat:

- rakennuskohteen perustiedot
- rakenteiden ominaisuudet (U-arvot) ja rakenteiden määrät
- ikkunoiden ominaisuudet (u- ja g-arvot), ikkunoiden määrät ja suuntaukset
- ilmanvaihtojärjestelmän tiedot
- lämmitysjärjestelmän tiedot
- jäähdytysjärjestelmän tiedot
- lämpimän käyttöveden kulutus sekä
- rakennuksen sisäiset lämpökuormat.

Energiaselvityksen osana oleva lähtötietolomake tulee päivittää ennen rakennuksen käyttöönottoa. (3, s. 26.)

Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 2012 määritetään lähtötietoja ostoenergiankulutuksen laskentaan. Annetut lähtötiedot määrittävät rakennuksen käyttöajat, järjestelmien käyntiajat, ulkoilman säätiedot sekä rakennuksen sisäiset kuormat. Näitä määräyksen antamia lähtötietoja kutsutaan rakennuksen standardoiduksi käytöksi. (3, s. 18–21.)

Vertailtaessa rakennuksien energiatehokkuutta E-luvun laskennassa käytettävä rakennuksen standardoitu käyttö asettaa rakennukset samalle viivalle. Tällöin rakennuksen

käyttäjää ei pysty vaikuttamaan energialaskennan tuloksiin, vaan niihin vaikuttavat puhtaasti rakennuksen ominaisuudet.

Taulukko 3. Vuoden 2012 rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukainen rakennuksen standardoitu käyttö toimistorakennukselle (3, s. 18–21).

E-luvun laskennassa D3:n asettamat lähtötiedot	
Toimistorakennus	
<u>Ulkoilman säätiedot</u>	
- säävyöhykkeen I säätiedot	
<u>Sisäilmasto-olosuhteet</u>	
- ulkoilmavirta	2 dm ³ /s/m ²
- käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta	0,15 dm ³ /s/m ²
- lämmitysraja	21 °C
- jäähdytysraja	25 °C
<u>Rakennuksen käyttöajat</u>	
- käyttöaika	07:00-18:00 11 h/24h 5 d/7d
- käyttöaste	0,65
- ilmanvaihdon käyntiaika	06:00-19:00 13 h/24h 5 d/7d
<u>Lämpökuormat</u>	
<u>Henkilöt</u>	
- henkilötiheys	1/17 hlö/m ²
- henkilön lämmönluovutus tai	125 W/hlö
- henkilönlämmönluovutus	5 W/m ²
<u>Laitteet ja valaistus</u>	
- kuluttajalaitteiden lämmönluovutus	12 W/m ²
- valaistus	12 W/m ²
<u>Lämminkäyttövesi</u>	
- LKV:n ominaiskulutus	103 dm ³ /(m ² a)
- lämmitysenergia	6 kWh/(m ² a)

Muut energialaskennassa tarvittavat lähtötiedot kootaan rakennuksen suunnitteluasiakirjoista. Muita laskennassa tarvittavia lähtötietoja ovat rakennuksen rakennusosien ja teknisten järjestelmien ominaisuudet, joilla pystytään vaikuttamaan rakennuksen energiatehokkuuteen ja sitä kautta rakennuksen kokonaisenergian kulutukseen. Muut laskennassa tarvittavat lähtötiedot on esitetty kattavasti RakMK D3:n liitteessä 3.

Taulukko 4. Kokonaisenergian kulutuksen suuruuteen voidaan vaikuttaa taulukossa esitetyin keinoin (3).

<p>E-luvun laskennan lähtötiedot, joilla voidaan vaikuttaa E-luvun suuruuteen</p> <p><u>Rakennuksen suuntaus</u></p> <p><u>Rakennusosat</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - rakenteiden U-arvot - rakennuksen tiiviys - ikkunoiden ominaisuudet - kylmäsillat <p><u>Passiiviset keinot</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - aurinkosuojajärjestelmät - rakenteelliset aurinkosuojat - yöaikaan tehostettu ilmanvaihto <p><u>Ilmanvaihto</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - puhallinsähkön kulutus (SFP-luku) - lämmön talteenotto ratkaisut - tarpeenmukainen ilmanvaihdon ohjaus <p><u>Lämmitysjärjestelmä</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - lämmön jako- ja luovutustapa - lämmön tuotantotapa <p><u>Jäähdytysjärjestelmä</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - jäähdytysenergian tuotantotapa <p><u>Sähköenergia</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - tarpeenmukainen valaistus - valaistuksen tarpeenmukainen ohjaus <p><u>Uusiutuvien omavaraisenergioiden lisääminen rakennukseen</u></p>

5.3.3 Rakennuksen ostoenergiankulutus

Rakennuksen ostoenergian kulutuksella tarkoitetaan nimensä mukaisesti rakennukseen ostettavaa energiamäärää, joka ostetaan rakennukseen sähköverkosta, kaukolämpöverkostosta, kaukojäähdytysverkostosta sekä uusiutuvan tai fossiilisen polttoaineen muodossa (3, s. 6).

Ostoenergiankulutuksen taseraja on helppo ymmärtää, kun ajattelee sen kulkevan tontin rajaa pitkin. Kaikki tämän taserajan yli kulkeva ja rakennuksessa käytettäväksi ostettu energia on rakennuksen ostoenergian kulutus. (9, s. 12.)

Yksinkertaistetusti ostoenergiankulutus on rakennuksen teknisten järjestelmien kuluttama energia. Teknisten järjestelmien kuluttama energia ei ole sama asia kuin energian nettotarve, vaan ostoenergiankulutuksen laskennassa otetaan huomioon järjestelmissä syntyvät järjestelmähäviöt ja -muunnokset. Uusiutuva omavaraisenergia, joka tuotetaan kiinteistöön kuuluvalla laitteistolla, otetaan huomioon ostoenergiankulutuksessa. Käytännössä kiinteistöön kuuluvalla laitteistolla tuotettu ja hyödynnetty energia vähennetään laskennassa ostoenergiankulutuksesta. (9, s. 11–14.)



Kuva 7. Rakennuksen ostoenergian kulutuksen taseraja (3).

Kuvasta 7 nähdään, että RakMK D3 2012:sta ostoenergiankulutuksen taserajan yli toiseen suuntaan eli energiaverkkoihin päin oleva nuoli vielä puuttuu. Tämä mahdollistaisi kiinteistöissä tuotetun ylimääräisen energian myymisen energiaverkkoihin. Tällaisella mahdollisuudella olisi mahdollista pienentää rakennuksen ostoenergiankulutusta ja sitä kautta myös E-lukua entisestään. (9, s. 14.)

5.3.4 Rakennuksen laskennallinen kokonaisenergiankulutus

RakMK D3:ssa rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku) määritetään seuraavasti:

Rakennuksen kokonaisenergiankulutuksella, E-luvulla (kWh/m^2), tarkoitetaan energiamuotojen kertoimilla painotettua rakennuksen vuotuista ostoenergian laskennallista kulutusta näissä määräyksissä annetuilla säännöillä ja lähtöarvoilla laskettuna lämmitettyä nettoalaa kohden (3, s. 6).

E-luvun eli rakennuksen kokonaisenergian kulutuksen laskenta edellyttää, että ostoenergiankulutus on laskettu energiamuodoittain. Kun ostoenergiankulutukset on laskettu näin, saadaan E-luku kertomalla ostoenergiankulutus energiamuotokertoimilla ja summaamalla saadut tulot yhteen. (3, s. 6.)

Energiamuotojen kertoimien määrittämisen perusteena on ollut primäärienergia. Primäärienergialla tarkoitetaan sitä energiaa, joka on saatavilla jalostamattomana mekaanisena-, lämpö- tai sähköenergiana (22, s. 4–5). Aalto yliopiston ympäristöministeriölle tekemän raportin mukaan energiamuotojen kerroin on kulutetun energian ja kulutuksen seurauksien välinen verrannollisuuskerroin (23, s. 3). Yksinkertaistetusti RakMK D3 2012:n energiamuotojen kertoimet on määritetty jakamalla tuotantoon käytetty primäärienergia tuotetulla energiamäärällä (23, s. 3–4). Taulukossa 5 on esitetty RakMK D3:n asettamat energiamuotojen kertoimet.

Taulukko 5. Energiamuodon kertoimet 2012 (3).

Energiamuotojen kertoimet:	
Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

5.3.5 Laskennan tulokset

E-luvun laskennan tulokset tulee esittää RakMK D3:n liitteen 3 mukaisesti. Lomakkeen ensimmäiseen kohtaan täytetään kohteen perustiedot, eli rakennuksen osoite sekä muut tarpeelliset tiedot. Seuraavassa kohdassa esitetään rakennuksen ostoenergiankulutukset, energiamuotokertoimet sekä E-luku. Tulokset-lomakkeessa esitetään myös uusiutuvien omavaraisenergioiden osuudet energiankulutuksesta, rakennuksen järjestelmien energiankulutukset, energian nettotarpeet sekä tilojen lämpökuormat. (3, s. 34.)

6 Rakennusten energiatodistus

6.1 Energiatodistustilaki 2013

Rakennusten energiatodistuksesta säädetään uudessa laissa rakennuksen energiatodistuksesta (50/2013). Laki on säädetty 18.1.2013 ja astuu voimaan 1.6.2013. Lain tarkoitus käy hyvin ilmi ensimmäisen luvun ensimmäisestä pykälästä:

Tämän lain tarkoituksena on erityisesti lisäämällä mahdollisuuksia rakennusten energiatehokkuuden vertailuun edistää rakennusten energiatehokkuutta ja edistää uusiutuvan energian käyttöä rakennuksissa (2, s. 1).

Lain toisessa luvussa säädetään energiatodistuksen laatimiseen, hankkimiseen, käyttöön ja voimassaoloon liittyvistä asioista. Energiatodistuksen hankkii rakennuksen omistaja tai rakennuksen haltija. Energiatodistus tulee hankkia kaikkiin rakennuksiin, joissa käytetään energiaa sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi. Poikkeuksena tästä energiatodistusta ei tarvitse hankkia esimerkiksi:

- korkeintaan 50 neliön kokoiselle rakennukselle
- yksityiseen loma-asumiseen tarkoitettulle rakennukselle
- rakennukseen liittyvälle tai erilliselle ajoneuvosuojalle
- puolustushallinnon rakennukselle.

Energiatodistus voidaan tehdä erikseen eri rakennusosille, mikäli niiden käyttötarkoitus poikkeaa toisistaan. Uudisrakennukselle hankittava energiatodistus on osa rakennuslupaa varten tarvittavia selvityksiä ja energiatodistus on päivitettävä jos tiedot tarkentuvat hankkeen edetessä. Energiatodistus tulee esittää rakennusta myytäessä tai vuokrattaessa, ja lisäksi yli 250 neliön julkisissa tiloissa se tulee olla esillä selkeästi näkyvässä paikalla. Uusi rakennuksen energiatodistus on voimassa enintään 10 vuotta kerrallaan, ja energiatodistus uusitaan sen mennessä vanhaksi. (2, s. 1–3.)

Kolmannessa luvussa säädetään energiatodistuksen sisällöstä siten, että energiatodistuksessa tulee ilmaista rakennuksen energiatehokkuus sijoittamalla rakennukselle ominainen energiamuotokertoimilla painotettu laskennallinen ostoenergiankulutus vertailuasteikolle. Lisäksi on ilmoitettava toteutunut ostoenergiankulutus, mikäli tiedot ovat saatavilla. Todistukseen on myös sisällytettävä suosituksia keinoista, joilla rakennuk-

sen energiatehokkuutta voidaan parantaa, jos kyseessä ei ole uudisrakennus. (2, s. 3–4).

Energiatodistuksen laillisesta laatijasta ja toiminnan harjoittamisesta säädetään neljännessä luvussa. Energiatodistuksen laatijalla tulee olla pätevyys, jonka myöntää ympäristöministeriön nimeämä yhteisö tai taho. Pätevyyttä varten energiatodistuksen laatijalla tulee olla soveltuva tekniikan alan koulutus tai korvaava työkokemus ja hyväksytyt laatijakoe. Pätevyys on voimassa enintään seitsemän vuoden ajan. (2, s. 4–5.)

Energiatodistusten valvonnasta ja tietojen säilytyksestä säädetään kuudennessa luvussa. Energiatodistustilain valvomisesta on ympäristöministeriöllä valvonnan ylin johto. Asumisen rahoittamis- ja kehittämiskeskus ARA valvoo lain ja sen nojalla annettujen säännösten noudattamista. ARA rekisteröi tiedot sekä rakennusten energiatodistuksista, että energiatodistusten laatijoista. Tämän lisäksi energiatodistusten laatijoilla on velvollisuus säilyttää energiatodistuksen laatimiseen liittyvä materiaali 12 vuoden ajan. (2, s. 5–6.)

Lain voimaantulosta säädetään yhdeksännessä luvussa. Uusi laki tulee voimaan ja kumoaa vanhan lain 1.6.2013. Vanhan lain mukaisesti myönnettyt energiatodistukset ovat voimassa vanhan lain määrittelemän ajan, ja isännöitsijätodistuksen osana olevat todistukset ovat voimassa vuoden 2014 loppuun. Rakennuksen käyttöönottoon asti voidaan soveltaa vanhoja säädöksiä energiatodistuksen hankinnasta, mikäli rakennuslupahakemus on laitettu vireille ennen uuden lain voimaantuloa. Uuden lain mukainen energiatodistus saadaan hankkia käyttöön otettuihin rakennuksiin seuraavan luettelon siirtymäaikaisten mukaisesti (2, s. 8–9):

- 1.7.2014 alkaen kolmen tai useamman huoneiston yksikerroksisille asuinrakennuksille, liike- ja toimistorakennuksille
- 1.7.2015 alkaen hoitoalan rakennuksille, kokoontumisrakennuksille ja opetusrakennuksille
- 1.7.2017 alkaen ennen vuonna 1980 käyttöön otettua enintään kahden asuinhuoneiston asuinrakennusta.

Lain viidennessä luvussa annetaan mahdollisuus kevennettyyn energiatodistusmenettelyyn. Mikäli kyseessä oleva kiinteistö on arvoltaan hyvin vähäinen tai myynti tai vuokraus tapahtuu lähisukulaisten välillä, voidaan hankkia kevennetyn menettelyn mukainen energiatodistus (2, s. 5). Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten energia-

todistuksesta (176/2013) on määritelty tarkemmin kevennetyn energiatodistuksen ehdot (24, s. 2).

6.2 Energiatodistusasetus 2013

Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatodistuksesta (176/2013) annettiin 27.2.2013 ja se astuu voimaan yhdessä uuden energiatodistuslain kanssa 1.6.2013. Sen mukaan rakennuksen energiatodistuksen mukainen luokka A–G perustuu rakennuksen laskennalliseen kokonaisenergiakulutukseen eli E-lukuun. Rakennuksille määritetään laskennallinen E-luku, joka sijoittuu rakennuksen RakMK D3:n mukaisen käyttötarkoituseräluokkajonon mukaisille asteikoille. Tästä esimerkkinä on kuvassa 8 toimistorakennusten energiatehokkuusluokka-asteikko:

Toimistorakennukset

Käyttötarkoituseräluokka: Toimistorakennukset
Terveyskeskukset
Muut terveydenhuoltorakennukset

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh _E /m ² vuosi)
A	E-luku ≤ 80
B	81 ≤ E-luku ≤ 120
C	121 ≤ E-luku ≤ 170
D	171 ≤ E-luku ≤ 200
E	201 ≤ E-luku ≤ 240
F	241 ≤ E-luku ≤ 300
G	301 ≤ E-luku

Kuva 8. Energiatodistusasetuksen (2013) mukainen E-lukuun perustuva energiatehokkuusluokka-asteikko toimistorakennuksille (24, liite 2)

Asetuksen mukaan E-luku lasketaan jäähdytetyille rakennuksille dynaamisella menetelmällä, muille rakennuksille voidaan käyttää kuukausitason menetelmää. Energiatodistuksen laatijan tulee arvioida myös rakennuksen energiasäästömahdollisuudet tarkasti esimerkiksi rakennuksen ulkovaipan ja teknisten järjestelmien osalta ja ilmoittaa laskennallinen arvio näiden muutosten tuomasta energiasäästöstä. Mikäli rakennuksen energiatodistus on laadittu vanhan energiatodistuslain (487/2007) mukaan, pitää myyn-

ti- tai vuokrausilmoituksessa esitettävässä energiatehokkuusluokan tunnuksessa olla alaindeksinä 2007 (24, liite 1).

Asetuksen ensimmäinen liite käsittelee tarkemmin energiatodistusta varten määritettävän E-luvun laskemista. Laskenta noudattaa pääasiallisesti RakMk:n osan D3 laskentamenetelmää standardikäyttöineen ja käyttötarkoituksiluokkineen. Liite sisältää paljon käyttökelpoisia lähtötietoja, joita voi käyttää energialaskennan lähtötietoina olemassa olevissa rakennuksissa (24, liite 1).

Energiatodistusta varten laskettavaa E-lukua varten on liitteessä erikseen määritelty seuraavat säännöt:

- E-luku lasketaan pääosin D3:n mukaan.
- Laskennassa ei oteta huomioon esimerkiksi ulkovalaistuksen, hissien tai sulatuskaapeleiden aiheuttamaa energiankulutusta.
- Tarpeenmukainen ilmanvaihto ja valaistus voidaan huomioida E-luvun laskennassa D3:n ohjeiden mukaisesti.
- Uusiutuvan omavaraisenergian hyödynnettävä osuus vähentää rakennuksen ostoenergiankulutusta suoraan, mutta rakennuksesta ulos syötettyä energiaa ei oteta huomioon E-luvun laskennassa.
- Lähtökohtaisesti käytetään todistuksen antoajankohtana lähtötietoina selvitettyjä arvoja dokumenteista tai suunnitelmista tai "paikan päältä".
- Lähtötietoina voidaan käyttää myös rakennusluvan myöntämisen aikaan voimassa olleita rakentamismääräyksiä.
- Mikäli lähtötietoja ei voida selvittää muuten, voidaan käyttää liitteen 1 ohjearvoja, jotka perustuvat rakennuksen rakennusluvan vireilletulovuoteen.

Ensimmäisessä liitteessä määritellään myös E-luvun laskentaa varten tarvittavia lähtötietoja. Insinööriyön liitteenä 1 olevassa taulukossa on yhteenvedona tärkeimmät käsitellyt lähtöarvot kokonaisuuksien mukaisesti jaettuna erikseen olemassa olevalle rakennukselle ja uudisrakennukselle. Huomioitavia asioita laskentaa tehtäessä on myös sijoitettu lähtötietojen väleihin. Alla on listattu niistä muutamia:

- Lämpimän käyttöveden kierron ja varaajan häviöistä 50 % luetaan laskennassa lämpökuormiksi, ellei toisin todisteta.

- Lämmitysjärjestelmän tilojen lämmityksen energiankulutus on tilojen lämmitysenergian nettotarve jaettuna lämmönjaon ja -luovutuksen hyötysuhteilla.
- Lämmönjaon ja -luovutuksen hyötysuhteet tulee kertoa 0,9:llä, mikäli vesikiertoisen järjestelmän laitteet on pääosin varustettu käsikäyttöisellä säädöllä.
- Lämmitysjärjestelmän ostoenergiakulutus lasketaan tuottojärjestelmittäin, ja se kattaa tilojen lämmityksen, ilmanvaihdon lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmityksen.
- Lämpöpumppujärjestelmissä on otettava huomioon lisälämmityksen energiantarve.

Tärkeää on myös huomioida, että rakennuksen sähköenergiankulutus ei sisällä lämmitykseen tai jäähdytykseen käytettyä sähköenergiaa, mutta sähkön ostoenergiakulutus ne sisältää. Rakennuksen sähköenergiankulutukseen sisältyy teknisten järjestelmien sähkönkulutus, sekä tilassa olevien laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus. Jäähdytyksen energiankulutus otetaan huomioon vain niissä rakennuksissa, joissa on jäähdytystä muutenkin kuin yksittäisissä tiloissa. Huomattavana poikkeuksena D3:n sääntöihin on se, että olemassa oleville jäähdytetyille kiinteistöille voidaan laskea E-luku kuu-kausitason menetelmällä, mikäli jäähdytyksen ostoenergian kulutus lasketaan liitteen ohjeen mukaisesti (24, liite 1).

Energiatodistusasetuksen liitteessä 2 on esitetty rakennuksen energiatehokkuuden luokitteluasteikot eri käyttötarkoituksiluokille. Asetuksen liitteissä 3 ja 4 on esitelty energiatodistuksen uudistunutta ulkoasua ja täsmennetty todistuksen eri kohtiin vaadittavia tietoja. Asetuksen liitteessä 5 on kuvattu kevennetyn energiatodistusmenettelyn mukainen energiatodistus (24, liitteet 2–5).

6.3 Vanha energiatodistuslaki vuodelta 2007

Ympäristöministeriön energiatodistusoppaassa vuodelta 2007 on käyty läpi vanhan energiatodistuksen laadintaa vanhan energiatodistuslain (487/2007) ja vanhan energiatodistusasetuksen (765/2007) pohjalta. Suurin muutos vanhaan energiatodistukseen on siirtyminen luokituksen pohjautumisessa ET-luvusta E-lukuun. Vanha ET-luku ei muun muassa ottanut huomioon energiamuodon kertoimia eli ”päästökertoimia” eikä perustunut rakennuksen standardoituun käyttöön. ET-luku perustui rakennuksen lämmitettyyn

bruttoalaan, eli ulkoseinät kuuluivat kerroksen pinta-alaan. Olemassa olevien rakennusten energiankulutus otettiin laskennassa huomioon lähtökohtaisesti mittareilla mitattuna lukemana. (25, s. 23–34.)

E-luvun ja ET-luvun eroja on kuvattu perustuen Sormusen luentomateriaaleihin taulukossa 6.

Taulukko 6. E-luvun ja ET-luvun erot (26, s. 28)

18.9.2012	E-luku	ET-luku
Mihin perustuu	Rakentamismääräys D3 / 2012	Energiatodistuslaki ja -asetus
Milloin lasketaan	Rakennuslupaa haettaessa	Rakennuslupaa haettaessa
Mitä osoitetaan	Määräystenmukaisuuden täyttyminen	Energiatehokkuusluokka A-E
Kuka vastuussa	Pääsuunnittelija	Pääsuunnittelija
Mitä sisältää	Energiamuotokertoimilla painotettu rakennustyyppin standardin mukainen ostoenergian ominaiskulutus	Energiankulutus ilman käyttäjän laitesähköä
Mitkä energiankäytön osa-alueet		
- lämmitysenergia	X	X
- jäähdytysenergia	X	X
- kiinteistösähkö	Osittain, ei hissit ja ulkopuoliset sähkönkulutukset mm. ulkovalaistus	X
- käyttäjäsähkö	X	
Energiamuotojen kertoimet	Kyllä	Ei
Ilmoitettava yksikkö	kWh/netto-m ² ,a	kWh/brm ² ,a
Mikä pinta-ala jakajana	lämmitetty nettoala	lämmitetty bruttoala
Millä lähtötiedoilla		
- sisäinen kuorma	Standardoitu D3	todelliset, huomioidaan vain lämmönlähteenä
- käyttöajat	Standardoitu D3	todelliset
- ilmavirrat	Standardoitu D3	todelliset
- tarpeenmukainen ilmanvaihto	kyllä	kyllä
- tarpeenmukainen valaistus	kyllä	kyllä
- säätiedot	Helsinki-Vantaa 2012 (D3)	Jyväskylä (referenssi vuosi 1979)
Laskentatyökalun vaatimukset	Dynaaminen laskenta jos jäähdytystä	Ei erityisvaatimuksia

Taulukosta 6 ilmenevät hyvin kaikki olennaiset erot uuden ja vanhan energiatodistuksen laskentaperusteissa. Taulukosta on jätetty pois tavoite-energiankulutus osuus, joka ei liity olennaisesti energiatodistusluokan määrittämiseen. Taulukosta selviää hyvin, että vuoden 2007 ja vuoden 2013 energiatodistukset eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Tämä johtuu peruseroista, kuten säädatan ja pinta-alan laskennan muutoksista.

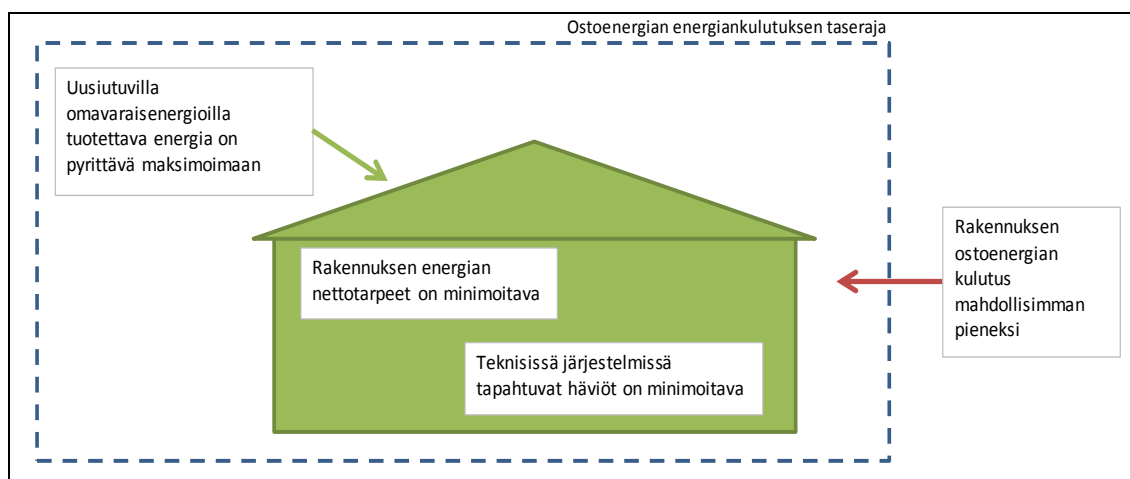
Suuri muutos on myös pientalojen lisääminen energiatodistusvaatimuksen piiriin, mikä tarkoittaa, että tulevaisuudessa myös pientalojen myynnin ja vuokrauksen yhteydessä tulee esittää voimassa oleva energiatodistus. Energiatodistuksen uudistamisella pyritään tekemään energiatodistuksesta vertailukelpoinen tunnus rakennuksen ostajalle tai vuokraajalle, joka ei riipu rakennuksen käyttäjistä vaan rakennuksen ominaisuuksista. Tällaista rakennusten energiatodistusta voidaan verrata esimerkiksi sähkölaitteiden energiamerkintöihin. Suuri muutos aiempaan on myös siinä, että ARA alkaa valvoa energiatodistuksen antajia ja pitää rekisteriä annetuista todistuksista ja pätevyystodistuksista. (27)

Uuteen energiatodistusmenettelyyn siirtyminen herättää selvästi ristiriitaisia tunteita. Jonkinlaisen näkymän mediassa esiintyviin kantoihin saa, kun kirjoittaa hakukone Googleen hakusanaksi ”uusi energiatodistus” ja selailee hieman hakutuloksia. Etelä-Suomen Sanomien nettiartikkelissa Uusi energiatodistus epäilyttää välittäjiä (Leena Johansson 30.3.2013) Suomen kiinteistövälittäjäliiton toimitusjohtaja Jaana Anttila-Kangas epäilee uutta energiatodistusmenettelyä esimerkiksi siksi, että se ei ilmoita asumiseen todellisuudessa kuluvan rahan määrää, mikä kiinnostaa ostajaa eniten. Lukijoiden kommentteissa asiaa verrataan jätevesiasetuksen aiheuttamaan sekaannukseen ja lainsäätäjiä arvostellaan armottomasti (28). Talouselämä-lehden nettiartikkelissa Tällainen on uusi energiatodistus: laskee sähkölämmitteisen talon energiankulutuksen 240 % todellista suuremmaksi (7.2.2013, ei kirjoittajaa) tarkastellaan asiaa sähkölämmityksen kannalta ja Sähkölämmitysfoorumi ry:n mukaan uuden menettelyn mukainen laskentatapa rankaisee sähkölämmitettyjä kiinteistöjä ”perusteettomasti ja kohtuuttomasti” (29). Toisenlaista katsantokantaa tarjoilee Kuopion Energian verkkolehti Sähköviesti artikkelillaan Uusi energiatodistus myös pientaloille (1.3.2013, ei kirjoittajaa). Artikkelissa on haastateltu ympäristöministeriön rakennetun ympäristön ylijohtajaa Helena Säteriä, jonka mielestä uusi energiatodistus on ”entistä selkeämpi ja luotettavampi” tapa vertailla erilaisten rakennusten energiatehokkuutta ja uutta energiatodistusta verrataan kodinkoneiden energiamerkintöihin. (30)

7 Rakennuksen energiatehokkuutta parantavat suunnitteluratkaisut

Tässä luvussa tuodaan esille, millä eri keinoilla rakennuksen kokonaisenergian kulutusta voidaan pienentää ja selvittää lyhyehkösti ratkaisujen teoriaa.

Kuvasta 9 nähdään, että tavoiteltaessa parempaa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta eli E-lukua, on minimoitava rakennuksen energian nettotarpeet ja suunniteltava järjestelmät niin, että häviöt energian siirrosta ja muunnoksista jäävät mahdollisimman pieniksi. Uusiutuvilla omavaraisenergioilla tuotettua energiaa pitäisi energiatehokkaassa rakennuksessa olla mahdollisuuksien mukaan mahdollisimman paljon, kuitenkin huomioiden se, että tällä hetkellä laskennassa saadaan ottaa huomioon ainoastaan rakennuksessa hyödynnettävä energiamäärä. Kun nämä asiat on mahdollisimman hyvin huomioitu jo rakennuksen suunnittelussa, saadaan rakennuksen ostoenergian kulutus pienentymään ja sen myötä myös rakennuksen E-luku. (9, s. 5.)



Kuva 9. Rakennuksen ostoenergian taserajan yli ostettavaa energiaa on pyrittävä pienentämään. Käytännössä tämä tapahtuu vähentämällä energian nettotarpeita ja järjestelmissä tapahtuvia häviöitä sekä lisäämällä mahdollisuuksien mukaan rakennukseen uusiutuvia omavaraisenergioita.

7.1 Rakennuksen energian nettotarpeiden minimointi

Energian nettotarpeet koostuvat tilojen ja ilmanvaihdon lämmittämisestä sekä jäähdyttämisestä, ilmanvaihdon sähköntarpeesta, käyttöveden lämmittämisestä, tilojen valaistuksesta sekä kuluttajalaitteiden sähkökäytöstä (3, s. 6). Kuten kuvassa 9 on esitetty, energiatehokasta rakennusta suunniteltaessa energian nettotarpeet on pyrittävä minimoimaan.

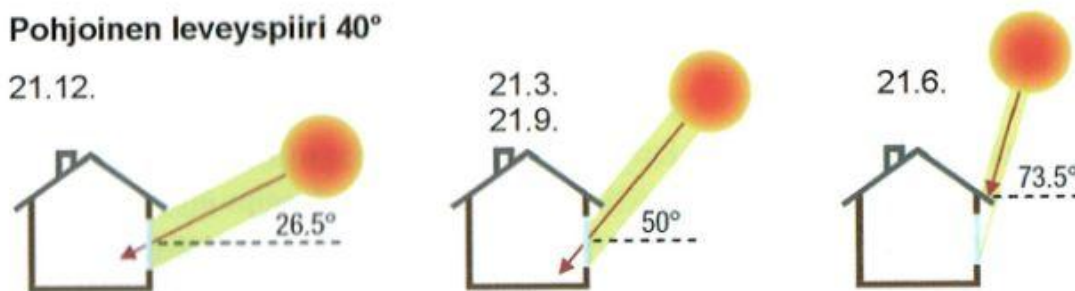
Energian nettotarpeiden vähentäminen onnistuu kiinnittämällä huomiota rakenteiden, ovien ja ikkunoiden lämmönläpäisyyteen sekä käyttämällä passiivisia ja rakenteellisia keinoja auringon aiheuttaman lämpökuorman pienentämiseksi tiloissa. (9, s. 15–17.)

7.1.1 Tilojen lämmittämisen lämmitysenergian nettotarve

Rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarpeet koostuvat johtumishäviöistä, rakenteiden välisistä kylmäsilloista sekä vuotoilmavirrasta (9, s. 29). Johtumishäviötä voidaan pienentää parantamalla rakenteiden, ikkunoiden ja ovien ominaisuuksia lämmönläpäisyydessä. Käytännössä tämä tarkoittaa rakennusosien U-arvojen (W/m^2K) pienentämistä (6). Rakenteiden välisten liitosten muodostamien kylmäsiltojen määrä on tarpeen minimoida, jotta näiden kautta tapahtuva lämpöhäviö saataisiin mahdollisimman pieneksi (6, s. 68–69). Myös rakennuksen vaipan tiiveys vaikuttaa suoraan rakennuksen ilmavuodon aiheuttamaan lämmitystarpeeseen. Tämä on johtanut siihen, että rakennuksista on ryhdytty tekemään entistä tiiviimpiä. Tiiviiden rakenteiden suunnittelussa on ehdottoman tärkeää ottaa huomioon rakenteisiin mahdollisesti muodostuva kosteus. (6, s. 58–61.)

Tärkeää on huomata, että lämmitysenergian nettotarpeesta vähennetään tiloihin kohdistuvat auringon säteilystä aiheutuva lämpökuorma sekä sisäiset lämpökuormat. Sisäiset lämpökuormat koostuvat henkilöiden, kuluttajalaitteiden ja valaistuksen aiheuttamasta lämpökuormasta. (3, s. 5, 22.) Sisäiset kuormat otetaan huomioon laskennassa RakMK D3:ssa määritettyjen käyttöaikojen mukaan.

Kuvan 10 periaatteiden mukaisesti auringon lämmittävää vaikutusta tilojen lämmityksessä kannattaa käyttää mahdollisimman paljon hyödyksi. Rakenteelliset aurinkosuojaukset kannattaakin suunnitella siten, että kesällä ne varjostavat haitallisen auringon säteilyn pois, kun taas talvella auringon paistaessa pohjoisessa matalalta, saadaan kaikki auringosta hyödynnettävissä oleva lämpöenergia hyödyksi tilojen lämmityksessä. (31, s. 6–7.)



Kuva 10. Pohjoisella pallon puoliskolla eri vuoden aikoina aurinko paistaa eri kulmista. Tämä tulee ottaa huomioon suunniteltaessa esimerkiksi rakenteellisia aurinkosuojia. (31, s. 6.)

Rakennuksen lämmitysenergian nettotarpeeseen sisältyy rakennuksen koko lämmitysenergian tarve, josta vähennetään jo mainittujen sisäisten kuormien lisäksi erilaisten lämmön talteenottolaitteistojen hyödyksi keräämä energia. Yhteenvetona lämmitysenergian nettotarpeesta voi todeta, että nettotarve on se energiamäärä, joka tuodaan tiloihin. Siihen ei sisälly järjestelmissä aiheutuvia häviötä. (3, s. 5.)

7.1.2 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve

Ilmanvaihdon nettoenergian tarpeeseen sisältyy tuloilman lämmittämiseen tarvittava energia ja se lasketaan osana lämmitysenergian nettotarvetta (9, s. 18). Tuloilman jäähdytys taas lasketaan osana jäähdytysenergian nettotarvetta. Nettoenergian tarpeisiin sisältyvät ainoastaan lämmittämiseen ja jäähdyttämiseen tarvittava energia. Apulaitte- ja puhallinsähkönkulutus lasketaan osana teknisten järjestelmien energian kulutusta.

Vartenotettava keino rakennuksen lämmitysenergian nettotarpeen pienentämisessä ovat poistoilman lämmön talteenottolaitteistot, joilla talteen saatu energiamäärä hyödynnetään rakennuksessa. Täytyy kuitenkin huomata, että talteen otettua lämpöä voidaan käyttää hyödyksi ainoastaan tuloilman ja tilojen lämmittämiseen, jotta sen voi ottaa energialaskennassa huomioon. (9, s. 18.)

Poistoilman lämmön talteenotto

E-luvun laskennassa lämmön talteenotto laitteiston vaatimukseksi on asetettu, että sen vuosihyötysuhteen tulee olla parempi kuin 45 % (3, s. 15). Vuosihyötysuhde lasketaan jakamalla lämmön talteenotto järjestelmällä hyödynnettävä lämpömäärä rakennuksen

ilmanvaihtojärjestelmän vuodessa tarvitsemalla lämpömäärällä (32, s. 10). Tämä vuosihyötysuhde ottaa huomioon koko rakennuksen lämmön talteenottolaitteistot ja energiatehokkuuden kannalta mahdollisimman suuri osa rakennuksen poistoilmasta tulisi mennä lämmön talteenoton kautta, jotta hyötysuhde saataisiin pysymään mahdollisimman korkeana (6, s. 102–103).

Lämmön talteenoton vuosihyötysuhteeseen vaikuttavat lämmön talteenottolaitteiston jäätyminen esto, rakennuksen sijainti, tulo- ja poistoilmavirtojen suhde sekä poistoilmavirtojen suhde. Lämmön talteenottolaitteen lämmönsiirto pinnalle alkaa muodostua jäätä poistoilmapuolella, kun lämmin ilmavirta kohtaa kylmän pinnan. Käytännössä jääty-
misen esto tehdään niin, että jäteilmän lämpötila pidetään 0 °C:n yläpuolella. Toimistorakennuksissa poistoilma ei sisällä kosteutta kovin suurta määrää, joten jäteilmän rajoituslämpötilana voidaan pitää 0 °C:ta (33). Poikkeuksena ovat hygroskooppiset lämmön talteenottolaitteet, jotka siirtävät myös ilman kosteudessa olevaa lämpöä tuloilmaan. Tämän tyyppisen lämmön talteenottolaitteen etuna on, että jäteilmän lämpötila voi laskea huomattavasti alemmas, koska osa poistoilmassa olevasta ilman kosteudesta siirtyy tuloilmaan lämmön talteenottokennon hygroskooppisen pintakäsittely ansiosta. Kosteuden siirtymisellä on parantava vaikutus myös lämmön talteenoton hyötysuhteeseen. (34)

Normaali rakentamisessa tuloilmavirta on tyypillisesti noin 10 % pienempi kuin poistoilmavirta. Matalaenergiarakentamisessa rakennuksista tehdään tiiviimpiä, jolloin tulo- ja poistoilmavirtojen suhde voi olla lähelle 1,0. Tämä tarkoittaa, että ilmavirrat voivat olla lähes yhtä suuret. (33)

Ilmanvaihdon lämmön talteenottolaitteita on erilaisia, ja ne toimivat hieman eri periaatteilla, vaikka pääperiaate kaikilla on sama: ottaa lämpöä talteen tiloista poistettavasta ilmasta. Koska vuosihyötysuhde riippuu rakennuksen sijainnista, usein kuvataan lämmön talteenottolaitteen tehokkuutta lämpötilahyötysuhteella. Seuraavaksi on lueteltu tyypillisimpiä lämmön talteenottolaitteita ja prosenttiluvut kertovat laitetyypeille tyypilliset tuloilman lämpötilahyötysuhteet (33):

- virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirryhdistelmät 40...60 %
- ristivirtalevyllämmönsiirtimet 50...70 %

- vastavirtalevyylämmönsiirtimet 60...80 %
- regeneratiiviset lämmönsiirtimet 60...80 %.

Lämmön talteenottolaitteisto täytyy aina valita tapauskohtaisesti. Valinta perustuu poistoilman epäpuhtauteen eli siihen mistä tiloista lämmön talteenottolaitteistolle tuleva poistoilma on peräisin. Käytännössä on todettu, että poistoilman lämmön talteenotto vaikuttaa niin merkittävästi ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuuteen, että aina kannattaa pyrkiä mahdollisimman hyvään vuosihyötysuhteeseen. (6, s. 102.)

7.1.3 Käyttöveden lämmittämisen nettoenergiantarve

Käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energiamäärä lasketaan aina RakMK D3:n mukaisilla lähtöarvoilla. RakMK D3:ssa on annettu rakennuksen käyttötarkoituksittain lähtöarvot lämpimän käyttöveden kulutuksesta ja sen lämmittämiseen kuluva energiasta. (3, s. 21.)

7.1.4 Jäähdytysenergian nettotarve

Jäähdytysenergian nettotarpeella tarkoitetaan tilojen ja ilmanvaihdon jäähdyttämiseen tarvittavaa energiaa. Jäähdytysenergian nettotarve muodostuvat tilojen sisäisistä lämpökuormista sekä auringon säteilystä aiheutuvasta lämpökuormasta. Kuten lämmitysenergian nettotarpeen laskennassa, jäähdytysenergian nettotarpeeseen ei sisälly jäähdytysjärjestelmissä aiheutuvia häviöitä. (3, s. 5.)

Sisäiset lämpökuormat, jotka otetaan huomioon energialaskennassa, koostuvat henkilöistä, kuluttajalaitteista ja valaistuksesta aiheutuvista lämpökuormista. Henkilöistä ja kuluttajalaitteista aiheutuvan lämpökuorman suuruuteen ei voi kokonaisenergiankulutusta laskettaessa vaikuttaa ja niiden osalta laskennassa käytetään RakMK D3:ssa määrättyjä lähtöarvoja. Valaistuksen lämpökuormana voidaan käyttää pienempää arvoa kuin D3:n lähtöarvo, jos laskelmin osoitetaan valaistustason riittävyys. (3, s. 19–20.)

RakMK D3 2012 määrää, että jäähdytysenergian tarvetta on pyrittävä pienentämään mahdollisimman paljon passiivisin keinoin. Passiivisia keinoja ovat erilaiset ikkunoihin

asennettavat aurinkosuojuukset sekä rakenteelliset ratkaisut, joilla pyritään pienentämään auringon säteilyn lämmittävää vaikutusta tiloissa. (3, s. 9.)

Ikkunoilla on suuri vaikutus jäähdytys- ja lämmitysenergian nettotarpeeseen. Ikkunat ovat yleensä rakennuksen vaipan huonoiten lämpöä eristävä osa ja siksi ikkunoiden ominaisuuksiin kannattaa kiinnittää erityistä huomiota (9, s. 43). Valittaessa ikkunoita kolme tärkeintä tarkastelun kohdetta ovat lämmönläpäisykerroin (U-arvo), auringon energiasäteilyn kokonaisläpäisykerroin (g-arvo) ja valonläpäisykerroin. Näistä energiatehokkuuden kannalta tärkeämpiä ovat U- ja g-arvot, koska näillä on suora vaikutus tilojen lämpöhäviöön sekä tilojen haitalliseen lämpenemiseen kesäaikaan. (31, s. 16.)

E-luvun laskennassa jäähdytysenergian nettotarpeen osalta tilojen suojaaminen auringon energiasäteilyltä on tehokas keino nettotarpeen pienentämiseksi. Käytännössä suojaaminen tarkoittaa huolellista ikkunoiden ja niihin liittyvien aurinkosuojujen valintaa sekä suunnittelua. Kesätilanteessa olisi hyvä, että ikkuna läpäisisi mahdollisimman vähän lämpöä. Talvitilanteessa taas kaikki säteilystä saatava energia olisi tervetullutta, mutta hyvä ikkuna ei päästä talvitilanteessa auringon säteilyä läpi lämmittämään tilaa niin paljoa (36, s. 1). Ikkunoiden valinnassa on myös syytä kiinnittää huomiota niiden valonläpäisykykyyn. Mitä enemmän luonnonvaloa saadaan hyödynnettyä tilojen valaistuksessa, sitä enemmän saadaan aikaan sähköenergian säästöä valaistuksen osalta (31, s. 16).

Aurinkosuojujärjestelmät

Kuten todettiin, auringon aiheuttamalla lämpökuormalla on merkittävä osuus jäähdytysenergian kulutuksen muodostumisessa. Kirjassa Aurinkosuojaus (Rehva ohjekirja no.12, 2011) on esitelty useita tutkimustuloksia siitä, kuinka aurinkosuojaus on vaikuttanut jäähdytysenergian kulutuksen pienenemiseen. Varsinkin eteläsuuntaisissa ikkunoissa aurinkosuojuksella on todettu saavutettavan merkittäviä säästöjä jäähdytysenergiankulutuksessa. (31, s. 27–24.)

Ikkunoiden yhteyteen asennettava aurinkosuojaus on tyypillisesti kaihdin tai markiisi, joka estää auringon säteilyn suoraan tilaan ja jonka avulla voidaan välttää jäähdytysjärjestelmän käyttö tai ainakin pienentää jäähdytystehoa. Ikkunan yhteyteen asennettava aurinkosuoja voidaan sijoittaa joko ikkunan sisä- tai ulkopuolelle (31, s. 40–41). Ylei-

sesti ottaen aurinkosuoja on tehokkaampi ikkunan ulkopuolella. Tällöin ilma ei pääse lämpenemään ikkunalasien välissä, millä olisi tilaa lämmittävä vaikutus. (31, s. 19–21.)

Aurinkosuojajärjestelmästä paras hyöty saadaan, kun järjestelmä on automatisoitu. Tämä tarkoittaa sitä, että aurinkosuojajärjestelmä reagoi auringon sijaintiin. Tämä mahdollistaa säästön jäähdytys- ja sähköenergian kulutuksessa, kun voidaan huomioida päivänvalon osuus valaistuksessa ja jäähdytysenergian kulutuksessa. Tärkeää aurinkosuojajärjestelmän toimivuuden kannalta on, että järjestelmään liitetyt anturit ovat oikein sijoitettu ja että järjestelmään on valittu oikean tyyppisiä antureita. Aurinkosuojajärjestelmään voi kuulua esimerkiksi aurinko-, tuuli-, tuulensuunta-, ulko- ja sisäilman lämpötila- sekä sadeantureita. Antureiden oikea sijainti ratkaisee, toimiiko järjestelmä oikein. Joskus voi olla tarpeen sijoittaa anturi jokaiselle julkisivulle. Sen lisäksi, että automatisoitu aurinkosuojausjärjestelmä antaa parhaan tuloksen energiansäästö mielessä, automaatio suojaa aurinkosuojausta säältä. Esimerkiksi tuulianturin havaitessa tuulen yltyessä liian kovaksi, aurinkosuojaus menee säältä suojaan. (31, s. 44–50.)

Rakenteellisia aurinkosuojauksia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon aurinkokulmien vaikutus. Ottamalla aurinkokulmat huomioon suunnittelussa, saadaan talvella auringon säteilyä hyödyksi lämmityksessä ja kesällä estettyä tilojen liiallinen lämpeneminen auringon vaikutuksesta. (31, s. 6.)

Aurinkosuojausjärjestelmän valintakriteereinä pitäisi olla ensisijaisesti energiansäästön ja sisäilmaston viihtyvyyden lisääminen. Usein aurinkosuojausjärjestelmän valintaperusteena ovat järjestelmän ominaisuudet, eivät niinkään suoraan energiatehokkuuteen liittyvät seikat. Valintaan vaikuttavia järjestelmän ominaisuuksia ovat ulkonäkö, käytön helppous ja muut tunneperäiset syyt. Tärkeä huomio aurinkosuojausjärjestelmän valinnassa on sillä aikaan saatu säästö energiankulutuksessa. Energiankulutuksessa aikaan saatu taloudellinen säästö olisi tärkeää ottaa huomioon järjestelmää valittaessa. Tällöin saataisiin aikaan energiatehokas ja kannattava järjestelmä. (31, s. 35–42.)

Yöaikaan tehostettu ilmanvaihto ja yöjäähdytys

Ilmanvaihto voidaan pitää yön yli päällä, jolloin viileä yöilma jäähdyttää rakenteita yön aikana. Kun ulkoilman lämpötila alkaa aamulla kohota, viileät rakenteet jäähdyttävät tiloja. Tilojen lämpötilan on todettu olevan 2–3 astetta viileämpi yötuuletuksen jälkeen

aamalla kuin ilman yötuuletusta. Yötuuletusta voidaan tehostaa käyttämällä rakennuksen jäähdytysjärjestelmää ilmanvaihdon lisäksi yöaikaan. (6, s. 83.)

7.1.5 Sähköenergiatarve

Tilojen sähköenergian nettotarpeet koostuvat valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkön tarpeesta, ja ne otetaan energialaskennassa huomioon lämpökuormana (3, s. 19). Kuluttajalaitteiden tarvitsema energiantarve on määritetty rakennuksen standardoidussa käytössä, eikä sen suuruuteen voi vaikuttaa energialaskennassa (9, s. 23).

Valaistuksen tarvitsema sähköenergia otetaan energialaskennassa huomioon lämpökuormana (3, s. 25). Valaistuksen aiheuttamaa lämpökuormaa voidaan laskennassa pienentää, mutta silloin on osoitettava, että vaadittu valaistustaso säilyy. Vaaditut valaistustasot ovat määriteltäviä esimerkiksi standardissa SFS-EN 12464-1. (3, s. 19.)

7.2 Teknisten järjestelmien energiatehokkuus

Katsoessa kuvaa ostoenergian kulutuksen taserajasta, nähdään että rakennuksen ostoenergian kulutus on yhtä suuri kuin teknisten järjestelmien kuluttama energia. Teknisten järjestelmien avulla järjestetään tiloihin halutut olosuhteet sekä valmistetaan tarvittavat hyödykkeet, kuten lämmin käyttövesi. Teknisten järjestelmien energian kulutukseen sisältyvät rakennuksen energian nettotarpeen lisäksi järjestelmissä tapahtuvat häviöt. Häviöitä tapahtuu niin lämmitys-, jäähdytys- kuin ilmanvaihtojärjestelmissä. Tärkeää on myös muistaa järjestelmien apulaitteiden sähköenergiankulutus, joka sisältää pumppauksen sekä järjestelmän säätölaitteiden sähköenergian kulutuksen. (3, s. 6; 10 s. 40.)

Suunniteltaessa mahdollisimman energiatehokasta LVI-järjestelmää energiankulutukseen voidaan vaikuttaa monella alueella. LVI-suunnittelussa tulisi kiinnittää huomioita siihen, että järjestelmissä tapahtuvat häviöt ovat mahdollisimman pienet. Asiat, joilla LVI-suunnittelussa tähän voidaan vaikuttaa, ovat järjestelmä- ja laitevalinnat sekä verkoston lämpötilatason valinta. Sähkö- ja automaatiosuunnittelun yhteistyö LVI-suunnittelun kanssa johtaa parhaimmillaan sähköenergian säästöön, kun tiiviin yhteistyön seurauksena osataan valita oikeat, energiaa säästävät LVI-järjestelmien apulaitteet. (6, s. 80–81.)

Teknisten järjestelmien häviöt voidaan huomioida laskennassa RakMK D5:n mukaan, jos tarkempaa tietoa ei ole saatavilla. RakMK D5:n mukaan häviöt otetaan huomioon järjestelmien hyötysuhteina sekä korjauskertoimilla (10, s. 40–71). Tässä insinööriyössä on esitelty teknisten järjestelmien häviöiden laskenta RakMK D5 2012:n mukaisilla laskentamenetelmillä, jota käytettiin myös tässä työssä tehdyissä energiasimuloinneissa.

7.2.1 Lämmitysjärjestelmä

Energiatehokkaan lämmitysjärjestelmän suunnittelussa tavoitteena on RIL 259-2012 -julkaisun mukaan järjestelmien mahdollisimman pienet häviöt, optimoitu verkostomitoitus sekä tarkka säätö (6, s. 81). Lämmitysjärjestelmän häviöiden minimointi onnistuu matalilla verkostolämpötiloilla sekä hyvällä putkiston lämmöneristyksellä. Optimoitu verkostomitoitus pienentää pumppaukseen tarvittavaa sähköenergian tarvetta. (6, s. 84–85.)

Rakennuksen lämmitysjärjestelmäksi valitaan tapauskohtaisesti kyseessä olevalle rakennukselle edullisin vaihtoehto. Tämä onnistuu tekemällä lämmitysjärjestelmän valinnan perusteeksi ja päätöksen teon tueksi elinkaarikustannuslaskelmat. Näistä laskelmista selviää kunkin lämmitysjärjestelmän kannattavuus. (6, s. 70–71.)

Taulukko 7. Tyypillisimpiä rakennuksien lämmitysjärjestelmiä ja niiden ominaisuuksia (6, s. 70–75; 37; 38; 39).

Järjestelmä	Lämmönlähde	Toimintaperiaate	Hyödyt	Haitat
Kaukolämpö	Tuotantolaitoksen käyttämä primäärienergia	Tuotantolaitoksessa tuotettu kuuma vesi johdetaan verkostoa pitkin kaukolämpöverkostoon liitettuihin rakennuksiin, joissa kuuma vesi luovuttaa lämpöä rakennuksessa hyödynnettäväksi.	-toimintavarma -tehokas -vähäinen tilantarve	-saatavuus
Sähkölämmitys	Sähköenergia	Sähköllä lämmitetään tiloja joko suoraan tai vaihtoehtoisesti sähköllä lämmitetään vettä, jonka avulla lämmitetään tilat.	-saatavuus -hyvä hyötysuhde	-energian hinta
Öljylämmitys	Polttoöljy	Kattilalaitoksessa poltetaan polttoöljyä, jolla lämmitetään rakennuksen lämmitysverkoston vesi.	-hyvä vuosihyötysuhde -polttoaine varaston koko	-huollon tarve -tilan tarve
Pellettilämmitys	Puupelletti	Periaate on sama kuin öljylämmityksessä, mutta polttoaineena on puusta puristettu puupelletti.	-ympäristöystävällinen	-polttoainevaraston koko suuri -vaatii yleensä vara-järjestelmän
Kaasulämmitys	Maakaasu	Maakaasua poltetaan öljykattilan kaltaisella kattilalaitoksella, jossa rakennuksen lämmitysverkoston vesi lämpenee.	-hyvä vuosihyötysuhde -pienet päästöt	-ei kovin yleinen Suomessa

Rakennuksen lämmitysenergia voidaan ostaa kaukolämpönä tai vaihtoehtoisesti tuottaa rakennukseen kuuluvalla laitteistolla, joissa käytetään puupohjaista tai fossiilista polttoainetta. Taulukossa 7 on kuvailtu tyypillisiä rakennuksissa käytettäviä lämmitys-järjestelmiä ja niiden ominaisuuksia.

Lämmitysjärjestelmissä tapahtuvat häviöt

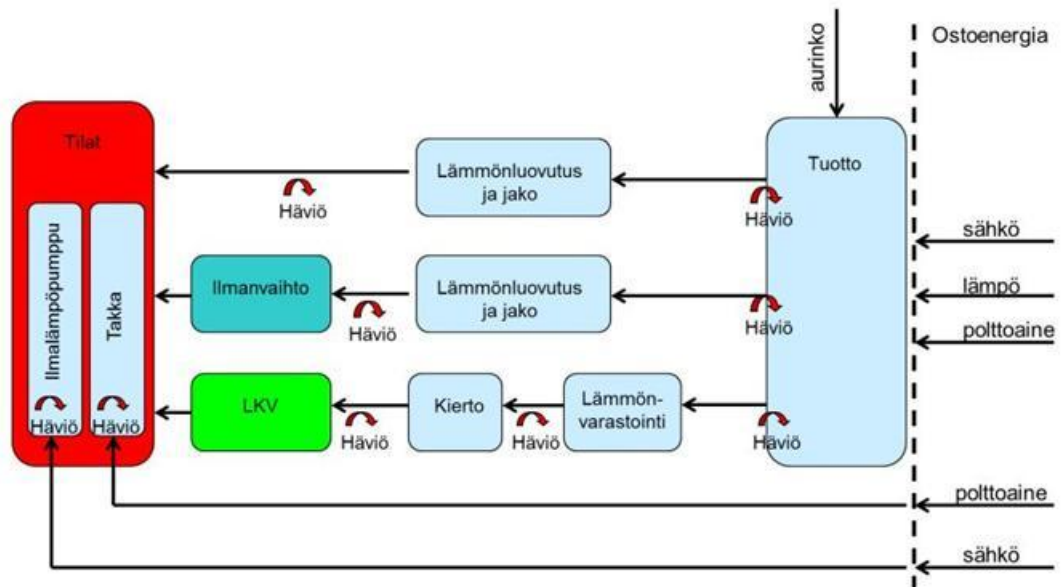
Lämmitysjärjestelmän energian kulutus lasketaan summaamalla rakennuksen energian nettotarve, lämmönluovutuksesta, -jaosta, -varastoinnista sekä -tuotossa syntyneet häviöt (10, s. 40). Rakennuksen lämmitysjärjestelmän energiankulutusta voi käsitellä energiaketjun avulla, jotka voi muodostaa erikseen tilojen lämmitykselle, ilmanvaihdon lämmitykselle sekä lämpimän käyttöveden lämmitykselle (40, s. 13).

Lämmitysjärjestelmien laskentaoppaassa (40, s. 13) on järjestelmien häviötä käsitelty energiaketjun avulla. Energiaketjulla tarkoitetaan yksinkertaistettuna energian matkaa ostoenergiasta rakennuksessa hyödynnettäväksi lämpöenergiaksi. Järjestelmien energiaketjun käsittely lähtee liikkeelle, kuten energialaskenta yleensä, tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeesta. Kun nettotarpeet ovat selvillä, voidaan määrittää järjestelmien eri osissa tapahtuvat häviöt ja lisätä ne nettotarpee-

seen. Lopuksi määritetään järjestelmästä riippuen järjestelmän käyttämän polttoaineen ja sähkön määrä.

Kuten kuvasta 11 on esitetty, energiaketjun alkupäässä on lämmönluovutuksessa tapahtuva häviö. Laskennassa tämä otetaan huomioon esimerkiksi RakMK D5:n annetun lämmönluovutustavasta riippuvana hyötysuhteena. Lämmönluovutuksen hyötysuhteeseen voidaan vaikuttaa valitsemalla lämmönluovutukseltaan tehokkain järjestelmä. Järjestelmiä ja niiden hyötysuhteita on esitettynä RakMK D5:n sivulla 43. Tilojen lämmityksen lämmönjaossa aiheutuva häviö on RakMK D5:n mukaan laskettaessa huomioitu samaan hyötysuhdelukuun. Jos lämmönjaon osalta laskentaa halutaan tarkentaa, voidaan putkiston lämpöhäviö laskea esimerkiksi standardin SFS-EN 15316-2-3 mukaan (3, s. 23–24). Ilmanvaihtojärjestelmän osalta lämmönluovutuksessa ei oleteta olevan häviötä, koska tuloilman lämmityspatteri on ilmavirrassa. Voidaan olettaa, että kaikki lämpö tulee hyödyksi ja lämmönsiirron hyötysuhde on 1,0 (10, s. 42).

Lämmitysjärjestelmä tarvitsee toimiakseen sähköä. Sähköä kuluu lämmönsiirtonesteen pumppaukseen sekä järjestelmän toimivuuden kannalta tärkeään asiaan eli säätöön. Pumppujen ja säätölaitteiden sähkön kulutus voidaan laskea RakMK D5:n mukaan tai vaihtoehtoisesti laskea tarkemmin standardin SFS-EN 15316-2-3:2007:n mukaan (10, s. 43). RakMK D5:n mukaan laskettaessa sähkön kulutus lasketaan lämmöntuotolle ja -jaolle erikseen. Kumpikin sähkön kulutus lasketaan lämmitettyä nettoalaa kohti. (10, s. 43, 48.)



Kuva 11. Lämmitysjärjestelmissä tapahtuvat häviöt. Kuvasta selviää myös rakennuksen lämmitysjärjestelmän peruseriaate. (10, s. 40.)

Lämpimän käyttöveden lämmityksessä aiheutuvat häviöt lasketaan samalla periaatteella kuin tilojen lämmityksenkin. Kuvan 11 mukaisesti häviöitä syntyy lämmöntuotossa, -jaossa sekä -varastoinnissa. Laskenta voidaan suorittaa käyttämällä RakMK D5:n mukaisia arvoja, jos tarkempaa tietoa ei ole. Lämpimän käyttöveden osalta täytyy myös ottaa huomioon lämpimän käyttöveden kiertopiiriin kytketyt lämmityslaitteet sekä kiertopumppaukseen kuluva sähköenergian kulutus. Jos lämmityslaitteista tai pumpusta ei ole tarkempaa tietoa, niiden kuluttama energia voidaan laskea RakMK D5:n mukaan. (10, s. 44–46.)

7.2.2 Jäähdytysjärjestelmä

Energiatehokkaan jäähdytysjärjestelmän periaatteina voidaan pitää seuraavia asioita (6, s. 84):

- Verkoston lämpötilat suunnitellaan mahdollisimman korkeiksi. Tällöin häviöt pienenevät ja järjestelmä toimii paremmalla hyötysuhteella.
- Verkoston painehäviöksi tavoitellaan mahdollisimman pientä arvoa. Näin saadaan pumppauskulut pieneksi.

Näillä kahdella keinolla saadaan optimoitua järjestelmän jäähdytysenergian häviö sekä saadaan järjestelmän sähkön kulutus pysymään kohtuuden rajoissa. (6, s. 84.)

Kuten lämmitysjärjestelmäkin, jäähdytysjärjestelmä valitaan rakennukseen tapauskohtaisesti ja järjestelmän valinnan tueksi olisi hyvä olla elinkaarikustannuslaskelmat (6, s. 70). Jäähdytysenergia voidaan tuottaa vedenjäähdytyskoneikolla, erilaisilla vapajäähdytysratkaisuilla tai kaukojäähdytyksellä (6, s. 75–76). Taulukossa 8 on esitetty jäähdytysenergian tuotantoon käytettävien järjestelmien hyötyjä ja haittoja.

Taulukko 8. Rakennuksen jäähdytysenergian tuotantoon käytettäviä järjestelmiä. (6, s. 70–75; 41.)

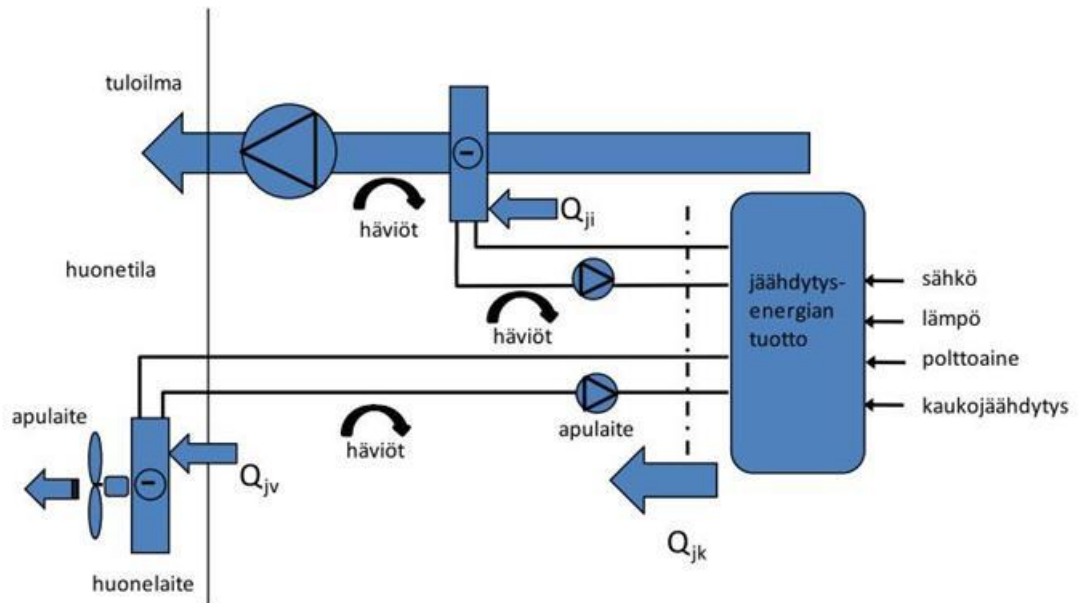
Järjestelmä	Energianlähde	Toimintaperiaate	Hyödyt	Haitat
Vedenjäähdytyskoneikot	Sähköenergia	Vedenjäähdytyskoneikko jäähdyttää vettä kylmäprosessin avulla rakennuksessa hyödynnettäväksi.	-rakennuksen jäähdytysverkoston lämpötilat ovat vapaammin valittavissa	-sähköenergian kulutus -mahdollisesti laitteiston pitämä ääni -tilan tarve
Kaukojäähdytys	Tuotantolaitoksen käyttämä energia	Tuotantolaitoksessa tuotettu jäähdytetty vesi johdetaan verkostoa pitkin kaukojäähdytysverkostoon liitettyihin rakennuksiin, joissa jäähdytetty vesi luovuttaa kylmänsä rakennuksessa hyödynnettäväksi.	-tilan tarve -sähkön tarve pienempi -CO ² -päästöt kohtuulliset	-saatavuus -verkostolämpötilat (voi olla ongelma vanhojen rakennusten osalta)

Jäähdytysenergia tuotetaan tyypillisesti rakennukseen kuuluvalla vedenjäähdytyskoneikolla. Joillakin kaupunkialueilla on myös tarjolla kaukojäähdytystä, jonka etuna on rakennuksen sähköenergian kulutuksen pienentyminen verrattuna vedenjäähdytyskoneikkoihin sekä pienentynyt tilan tarve. (42, s. 9; 6, s. 75–76.)

Jäähdytysjärjestelmässä tapahtuvat häviöt

Jäähdytysjärjestelmässä tapahtuvat häviöt koostuvat samantyyppisistä asioista kuin lämmitysjärjestelmänkin, mutta energialaskennan kannalta tilanne on jonkin verran erilainen. Jäähdytysjärjestelmän, jonka ostoenergian kulutus on sähköenergiaa, energiankulutus lasketaan jakamalla jäähdytysenergian tuotto järjestelmän kylmäkertoimella. Tähän lisätään vielä järjestelmän apulaitteiden sähkön kulutus.

Jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen laskemiseksi RakMK D5:n mukaan tarvitsee tietää, millä järjestelmällä jäähdytysenergia tuotetaan, mitkä ovat verkostolämpötilat sekä millä tavalla jäähdytys toteutetaan tiloissa. (10, s. 58–61.)



Kuva 12. Jäähdytysjärjestelmissä energiaa kuluu jäähdytettävien tilojen tarpeiden lisäksi jäähdytysenergian häviönä sekä apulaitteiden sähkön kulutuksena. Kuvasta selviää myös jäähdytysjärjestelmien peruseriaate. (10, s. 58.)

7.2.3 Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän lämmön talteenottolaitteiston lisäksi on syytä kiinnittää huomiota järjestelmän sähkön kulutukseen. Esimerkiksi toimistorakennuksessa ilmanvaihdon osuus sähköenergian kulutus on yleensä 25–35 % (6, s. 107). Sähköä ilmanvaihtojärjestelmissä kuluu puhallin- ja apulaitesähkön muodossa. Apulaitteiden sähkön kulutukseen sisältyy pumppujen ja automaation sähkön kulutus sekä mahdollisesti pyörivän lämmön talteenottolaitteen sähkön kulutus. (6, s. 108.)

Puhaltimien sähkön kulutusta kuvataan SFP-luvulla (ominaissähköteho $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$). SFP-luvun määrittämiseksi tarvitsee tietää kyseessä olevalla puhaltimella tuotettava ilmamäärä sekä tarvittava paineentuohto. Tavoiteltaessa pienempää SFP-lukua on tärkeää mitoittaa kanavisto siten, että painehäviö olisi mahdollisimman pieni. (6, s. 104–106.)

Ilmanvaihdon tarpeenmukaisuus on hyvä tapa pienentää ilmanvaihdon energiankulutusta. Tyhjiin tilaan on tarpeetonta tuoda tilan käyttöajan mukaista määrää ilmaa. Tarpeenmukaisuudella saadaan aikaan säästöä niin ilmanvaihdon sähkö-, lämmitys- kuin jäähdytysenergian kulutuksessa. (6, s. 108–109.)

Ilmanvaihdon tarpeen mukainen ohjaus voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla. Se voidaan tehdä ohjaamalla ilmavirtoja lämpötilan, CO₂-pitoisuuden tai läsnäolon mukaan. Toimistotiloissa tarpeen mukainen ohjaus voi toimia esimerkiksi seuraavalla periaatteella (6, s. 100, 110):

- Ilmavirtaa ohjataan läsnäolon ja lämpötilan mukaan.
- Kun tila on tyhjä, sinne johdetaan ilmamääräsäätimien avulla minimi-ilmamäärä.
- Ihmisen tuloa tilaan ilmavirtaa kasvaa normaalitasoon.
- Jos ulkoinen kuorma kasvaa yli normaalin rajan, ilmavirtaa kasvatetaan lisää maksimitasolle.
- Huoneesta poistuttaessa tai olosuhteiden tasoittuessa ilmavirta pienenee normaali- tai minimi-ilmavirtoihin. Jos tilassa ei havaita läsnäoloa, ilmanvaihto sammuu, vaikka rakennuksen käyttöajan mukaan ilmanvaihdon tulisi olla päällä.

7.3 Uusiutuvat omavaraisenergiat

Energialaskennassa otetaan huomioon uusiutuvilla omavaraisenergioilla tuotettu energia vähentämällä se kulloisestakin ostoenergiasta (9, s. 13). Uusiutuviin omavaraisenergioihin lukeutuvat RakMK D3:n (3, s. 7) mukaan aurinkopaneeleista ja -keräimistä tuotettu energia, paikallinen tuulienergia sekä lämpöpumpun lämmönlähteestä hyödyntämä energia.

7.3.1 Lämpöpumput

Lämpöpumpuilla tuotetaan rakennuksessa käytettävää lämmitys- ja suurien rakennuksien järjestelmillä myös jäähdytysenergiaa (43). Lämpöpumput käyttävät hyväksi lämmönlähteestä saatua lämpöä, ja kylmäprosessin avulla saattavat sen hyödyksi rakennukseen. Lämpöpumppujen käyttämä ostoenergia on sähköenergiaa. (44, s. 224.)

Lämpöpumpun tehokkuutta kuvataan SPF-luvulla (seasonal performance factor). SPF-luku kertoo vuoden aikana tuotetun lämpöenergian suhteen ostettuun energiaan. RakMK D5:n mukaan SPF-luku lasketaan erikseen tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitykselle. Lämmitys käytössä olevan lämpöpumpun sähköenergiankulutusta laskettaessa, näiden SPF-lukujen avulla lasketut energiankulutukset lasketaan yhteen. (10, s. 50–51.)

Lämpöpumput tuottavat lämpö- tai jäähdytysenergiaa kylmäprosessin avulla. Lyhyesti esiteltynä kylmäprosessi kulkee lämmitystilanteessa seuraavasti. Kompressori puristaa kylmäaineen korkeaan paineeseen ja lämpötila nousee. Kuuma kylmäaine etenee putkistoa pitkin lauhduttimelle, jossa kylmäaine alkaa jäähtyä eli lauhtua. Lauhduttimelta kylmäaine jatkaa kohti paisuntalaitetta, jossa paine ja lämpötila laskee. Paisuntalaitteen jälkeen on höyrystin, jossa kylmäaineen lämpötila laskee edelleen. Höyrystimen jälkeen on taas vuorossa kompressori, jossa paine nousee ja kylmäprosessin kiertäminen lähtee niin sanotusti alusta. (44, s. 224–226; 43, s. 7–11.)

Lämpöpumpun höyrystimessä lämmönlähteessä olevaa lämpöä siirtyy kylmäaineeseen, joka edellä mainitulla tavalla saatetaan korkeaan lämpötilaan. Lauhduttimella korkea lämpöisestä kylmäaineesta siirtyy lämpö taas rakennusta palvelevaan verkostoon. (44, s. 224.)

Maalämpöpumppu

Maalämpöpumput hyödyntävät maahan sitoutunutta lämpöä lämmitysenergian tuotannossa maahan sijoitetun keruuputkiston avulla. Maassa oleva keruuputkisto voi olla asennettuna vaakaputkistoksi tai vaihtoehtoisesti porareikään sijoitettuna pystysuuntaisena putkistona (44, s. 224). Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa joko kokonaan rakennuksen tarvitsemalle teholle tai osa teholle, jolloin huipputehon tarve katetaan lisälämmönlähteellä. Suurissa kiinteistöissä maalämpöpumpun mitoittaminen täysteholle ei ole järkevää, koska laitteiston koko ja hintalappu kasvavat liian suuriksi. Optimoidulla osateholla (usein noin 50–60 %) saadaan tuotettua jopa 90 % lämmitysenergian tarpeesta. (43, s. 44.)

Maalämpöpumppujärjestelmän kokonaiskannattavuutta parantaa maaperän viileyden hyödyntäminen tilojen jäähdytyksessä. Jäähdytysenergiaa tuotetaan hyödyntämällä suoraan maaperän viileyttä (vapaajäähdytys) ja kun vapaata jäähdytystä ei saada riittävästi, siirrytään käyttämään lämpöpumppua käänteisesti. Käytännössä vapaajäähdytys tarkoittaa, että maaperän viileyttä käytetään suoraan hyväksi tilojen jäähdytyksessä. Tällöin maksettavaksi jää ainoastaan pumppaukseen kuluva energia. Lämpöpumpun käyttäminen käänteisesti jäähdytysenergiantuotantoon tarkoittaa yksinkertaistettuna, että lämpöpumppua käytetään käänteisesti verrattuna lämmitystilanteeseen. (6, s. 72–73.) Tämän rinnalle joudutaan käytännössä asentamaan erillinen ilmalauhdutin, koska maapiirin lauhdutusteho yksin on harvoin riittävä.

Kauppilan luentomateriaalin (43, s. 43–46) mukaan suurien rakennuksien maalämpöjärjestelmiä ei kannata mitoittaa huipputehojen mukaan. Tällöin lisälämmitys katetaan esimerkiksi sähköllä. Lisälämmitykseen tarvittava energia on tyypillisesti 10 % rakennuksen vuosittaisesta lämpöenergian tarpeesta (43, s. 70–73). Jäähdytysenergian tuotto maalämpöpumppujärjestelmällä Kauppilan mukaan voisi jakautua seuraavasti:

- 70 % jäähdytysenergian tarpeesta saadaan maasta niin sanottuna vapaajäähdytyksenä. Tällöin sähköenergiaa kuluu ainoastaan pumppaukseen sekä muihin järjestelmän apulaitteisiin.
- 20 % jäähdytysenergian tarpeesta tuotetaan maajäähdytyksenä käyttäen apuna maalämpöpumppua.
- Loput 10 % tarpeesta tuotetaan vedenjäähdytyskoneikolla.

Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu toimii samalla lämpöpumpun toiminta periaatteella kuin maalämpöpumppukin. Maasta hyödynnettävän lämmön sijaan käytetään hyödyksi ilmassa olevaa lämpöä. Siten ilma-vesilämpöpumppu ei vaadi erillistä keruuputkistoa. Ilma-vesilämpöpumppua on helppo kuvata kylmäprosessin avulla. Ulkona on ulkoyksikkö, joka toimii höyrystimenä. Sisällä rakennuksessa on varaaja, jossa olevaan veteen kylmäaine luovuttaa lämpöä ja se toimii kylmäprosessin lauhduttimena. Toinen kytkentävaihtoehto ilma-vesilämpöpumpulle on, että kylmäprosessi tapahtuu kokonaan rakennuksen ulkopuolella. Silloin lämpöpumpulle täytyy tuoda lämmitysputket ja lämpöpumppuyksikössä on lämmönsiirrin, jossa lämpöpumpulla tuotettu lämpö siirretään rakennuksen järjestelmään. (45)

Ilma-vesilämpöpumppua käytetään tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Tyypillistä ilma-vesilämpöpumpuille on, että tarvittavaa lämmitystehoa ei pystytä kattamaan eli aina tarvitaan lisälämmönlähde. (3, s. 24.)

7.3.2 Aurinkojärjestelmät

Aurinkojärjestelmät hyödyntävät auringon säteilystä saatavaa energiaa lämmön ja sähkön tuotannossa. Auringon säteilyn energiaa kerätään keräimien avulla ja hyödynnetään sitten rakennuksessa tilojen lämmittämisessä ja käyttöveden lämmittämisessä. (46, s. 335.) Aurinkosähköjärjestelmällä tuotettua sähköä voidaan käyttää joko suoraan tai välillisesti rakennuksen tarpeisiin (47, s. 7).

Yleensä aurinkojärjestelmillä pystytään kattamaan vain osa tarvittavasta energiasta. Syitä tähän ovat järjestelmien huono tehokkuus sekä täällä Suomessa pohjoisen pallonpuoliskon olosuhteet. Kun energiantarve on suurimmillaan, aurinkojärjestelmien tuotto on pienimmillään. (46, s. 335–338.)

Aurinkokeräimiä ja -paneeleita voidaan asentaa esimerkiksi rakennuksen katolle tai vaikkapa julkisivuun. Tutkimusten mukaan optimaalisin asennuskulma paneeleille, jolloin säteilystä saadaan eniten hyödyksi, Suomen leveyspiirillä on 40–45 astetta. (6, s. 76.)

Aurinkosähkö

Auringosta saatavaa energiaa muutetaan sähköenergiaksi aurinkokennossa. Kennossa oleva puolijohde saa aikaan jännitteen altistuessaan auringon säteilylle. Yleensä tämä puolijohde on yksi tai monikiteistä piitä. (48, s. 4–6.)

Aurinkosähköä voidaan käyttää rakennuksessa suoraan tai vaihtoehtoisesti varastoidaan sähköä akkuvarastoihin kattamaan kulutushuippuja. Kun aurinkosähköä varataan suurta kulutusta varten, saadaan esimerkiksi kesän kuumimpina päivinä hyödynnettyä itse tuotettua sähköä rakennuksen jäähdytysjärjestelmän pyörittämiseen. (6, s. 76.)

Jos aurinkojärjestelmä on suunniteltu ja toteutettu hyvin, Etelä-Suomessa 1 kW:n tehoisella aurinkosähköpaneelin tuotto on 900–1 000 kWh/a. Tämä edellyttää huolellista suunnittelua ja asennusta, paneelin täytyy olla optimikulmassa (42 astetta). (6, s. 76.)

Aurinkolämpö

Aurinkolämpöjärjestelmän peruseräite on se, että auringosta hyödynnettävissä olevaa energiaa otetaan lämpönä talteen. Aurinkolämpöjärjestelmän perusvarusteet ovat aurinkokeräimet, varaaja, säädin, pumppu ja putkisto (6, s. 74). Putkiston avulla neste kiertää keräimistä varaajaan ja takaisin. Keräimissä lämmönsiirtoon käytettävä neste lämpenee ja tullessaan varaajaan, nesteeseen sitoutunut lämpö siirtyy varaajaan. Varaajaan varattua lämpöä voidaan hyödyntää tilojen sekä lämpimän käyttöveden lämmityksessä. (46, s. 342–346.)

Lähtökohtaisesti aurinkolämpöjärjestelmä on hyvä ratkaisu käyttöveden lämmittämiseen. Varaajassa olevaa vettä lämmitetään aurinkolämmöllä sekä lisälämmönlähteellä tarvittaessa. Jos tiloja halutaan lämmittää aurinkolämmöllä, on syytä valita lämmönjakotavaksi mahdollisimman matalalämpöinen järjestelmä. Aurinkolämmön hyödyntämistä tilojen lämmityksessä on kuitenkin syytä miettiä investoinnin järkevyyttä tarkkaan, koska lämmön tarpeen ollessa suurimmillaan auringosta saadaan vähiten hyödynnettävää lämpöä. (46, s. 343–345.)

7.3.3 Tuulisähkö

Tuulisähkön peruseriaate on, että ilmavirtauksen liike-energia muutetaan tuulivoimalan generaattorissa sähköksi (49). Tuuliturbiineja on kahdenlaisia, vaaka- ja pystyakselisiä, joista vaaka-akselinen turbiini on tehokkaampi ja pystyakselinen arkkitehtonisesti parempi ratkaisu (6, s. 77).

RIL 259-2012:n mukaan rakennuksiin asennettavien tuuliturbiinien teho on suuruusluokaltaan kymmeniä kilowatteja. Tuuliturbiinit tulee asentaa selvästi korkeammalle kuin ympäröivät rakennukset ja puusto. Tällöin tuuliolot ovat parhaat mahdolliset ja tuulivoiman käyttö on kannattavampaa. (6, s. 77.)

Tuulivoiman suuri ongelma on haasteet laitoksien rakennuslupien hankinnassa (50). Toinen merkittävä ongelma pienien tuulivoimaloiden osalta on vähäinen energian tuotto. Näiden kahden merkittävän haasteen tai ongelman takia tuulivoima päätettiin rajata pois tämän insinööriyön E-lukutarkasteluista.

8 Energiasimulointi

Insinööriyön tutkimusosuudessa toteutettiin kahdelle toimistorakennukselle energiasimulointeja dynaamisella tuntitason energiasimulointiohjelmalla. Näiden simuloitien avulla määritettiin rakennuksille E-lukuja energiatehokkuudeltaan erilaisten suunnitteluratkaisujen pohjalta. Näin saatiin koottua analysointia varten aineistoa erilaisten energiatehokkuutta parantavien yksittäisten ratkaisujen vaikutuksesta esimerkkikohteiden energiatehokkuuteen ja vertailemaan kahden eri kohteelle suoritettujen laskelmien tuloksia.

Useampien ratkaisujen yhteisvaikutusta tutkittiin tekemällä lisää energiasimulointeja yhdistelemällä yksittäisiä ratkaisuja ja tarkoituksenmukaisesti pyrkimällä E-luvun arvoihin, jotka täyttäsivät energiatodistusasetuksen toimistorakennuksen luokat A–C.

8.1 Energiasimulointimenetelmä

Energiasimuloinnit toteutettiin MagiCAD Comfort & Energy -ohjelmopakettilla (versio 2012.11). MagiCAD Room -ohjelmalla luotiin rakennuksen pohja-, leikkaus- ja julkisivukuvien perusteella rakennuksen geometria IFC -tiedostomuotoon. IFC-tiedosto vietiin tämän jälkeen energialaskentaohjelmaan, jolla rakennukselle luotiin rakennusta vastaavat ominaisuudet D3:n E-luvun laskentasääntöjen mukaisesti.

MagiCAD Comfort & Energy -ohjelmaketin energialaskenta perustuu yhdysvaltalaisen Lawrence Berkeley National Laboratoryn DOE 2.1E -energiälaskentaohjelmaan (51). MagiCAD Comfort & Energy -ohjelmalla on mahdollista tehdä kolmenlaisia simuloiteja (52):

- Energiasimulointeja, joissa DOE 2.1E -laskentamoottori simuloi vuoden ajalta tunnitaiset lämpö- ja jäähdytysenergian tarpeet käyttäen valittua säädataa sekä sähköenergian vuosittaisen tarpeen käyttäen syötettyjä arvoja.
- Olosuhdesimulointeja, joista ilmenevät yksittäisten tilojen sisälämpötilat erilaisilla järjestelmä- ja/tai ratkaisuvaihtoehdoilla (esimerkiksi ilmastointijärjestelmä tai aurinkosuojaukset).
- Lämpöhäviölaskelmia, joista ilmenevät valituilla rakenteilla ja kuormilla mitoitustilanteen (esimerkiksi -26 °C :n ulkolämpötila) lämpöhäviöt.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin tekemään energiasimulointeja käyttämällä RakMK D3:n mukaisia standardikäytön (sisäilmasto, käyttöajat, lämpökuormat ja lämpimän veden kulutus) lähtötietoja niiltä osin, kuin on D3:ssa määrätty, ja rakennuksen suunnitteluvaiheen mukaisia lähtötietoja niiltä osin, kuin ne olivat saatavissa. Sellaisten lähtötietojen osalta, joita ei ollut saatavissa, käytettiin lähtökohtaisesti RakMK D5:n arvoja tai muiden määräyksien arvoja. Näin saatiin aikaiseksi MagiCAD Comfort & Energy ohjelman itse laskemia E-lukuja eri suunnitteluratkaisuille, joiden avulla voitiin määrittää kunkin eri ratkaisun energiatehokkuus.

8.2 Esimerkkikohteiden esittely

8.2.1 Toimistorakennus 1

Ensimmäinen simuloituista kohteista oli pääkaupunkiseudulla sijaitseva 9-kerroksinen toimistotalo (mukaan lukien autohalli, kellari ja IV-konehuone), jonka E-luvun laskennassa käytetyn geometriamallin pinta-ala on $8\,354\text{ m}^2$, josta D3:n käyttötarkoituseraluokka "Toimistorakennus" mukaista pinta-alaa on $6\,531\text{ m}^2$ ja autohallia $1\,822\text{ m}^2$. Autohalli voidaan laskea D3:n mukaan erillisenä rakennusosana (mikäli kyseinen rakennuksen osa on yli 10 % rakennuksen pääkäyttötarkoituseruokasta), jolle ei ole asetettu E-luvun vaatimusta. Tämän takia simuloinneista on jätetty pois kokonaan autohalli.

Lisäksi rakennuksessa on keskiosan kummallakin puolella lasikattoinen korkea "atrium"-tila, joka on otettu simuloinneissa huomioon ainoastaan 1 kerroksen osalta rakennuksen käyttötarkoituseruokan mukaisesti. Huomattavaa on myös se, että rakennuksen etelä- sekä pohjoisseinät ovat kytköksissä vierekkäisiin rakennuksiin eli niiden toisilla puolilla on lämmintä tilaa. Tämä johtaa siihen, että rakennuksella on lattiapinta-alaan nähden suhteessa vähemmän ulkovaipan pinta-alaa kuin rakennuksella, jonka kaikki ulkoseinät ovat ulkovaippaa.

8.2.2 Toimistorakennus 2

Toinen simuloituista kohteista oli myös pääkaupunkiseudulla sijaitseva 10-kerroksinen toimistotalo (mukaan lukien kellari ja IV-konehuone), jonka E-luvun laskennassa käytetyn geometriamallin pinta-ala on $7\,244\text{ m}^2$, josta D3:n käyttötarkoituseruokasta "Toimisto-

rakennus” mukaista pinta-alaa on 7 244 m². Simulointiin on otettu huomioon siis koko rakennus, sillä poikkeavia käyttötarkoituseraluokkia ei ole.

Erikoista tässä rakennuksessa oli sen kahden kerroksen korkuinen yhdyskäytävä seuraavaan rakennukseen itäseinällä. Muuten kaikki ulkovaipan osat ovat suoraan kosketuksissa ulkoilmaan.

8.3 Simuloidut suunnitteluratkaisut

Erlaisia suunnitteluratkaisuja simuloitiin yhteensä 33 ja kaikki suunnitteluratkaisut laskettiin kummallekin esimerkkirakennukselle. Suunnitteluratkaisut jaettiin kahteen ryhmään: ”yksittäiset ratkaisut” ja ”yhdistelmäratkaisut”. Vertailuratkaisu, jota käytettiin vertailukohtana tulosten yhteydessä, rakennettiin kummallekin esimerkkikohteelle siten, että se olisi mahdollisimman yhdenmukainen esimerkkirakennuksilla ja kuvaa tekijöiden käsitystä kohtuullisella tasolla energiatehokkuuden huomioon ottavasta rakennustavasta.

8.3.1 Yksittäiset ratkaisut

Ensimmäiset 30 suunnitteluratkaisua kuuluivat ensimmäiseen ryhmään ”yksittäiset ratkaisut” ja näissä simuloinneissa tutkittiin yhtä lähtöarvoa kerrallaan muuttamalla kunkin yksittäisen ratkaisun vaikutusta rakennuksen laskennalliseen E-lukuun. Nämä suunnitteluratkaisut valittiin lähdeaineiston ja tämän insinööriyön lukua 7 varten tehdyn taustatutkimuksen perusteella niin, että näiden simulointien ratkaisut olisivat mahdollisimman lähellä todellisia energiatehokkuutta parantavia ratkaisuja. Tässä insinööriyössä tutkittiin ainoastaan lähdeaineistoissa esiintyneiden yleisimpien ratkaisujen vaikutusta E-lukuun. Mukaan ei otettu monimutkaisimpia ratkaisuja, koska monimutkaisimpien järjestelmäänalyysien tekeminen olisi ollut kohtuuttoman haastavaa tai mahdotonta käytössä olleella ohjelmistolla. Alla olevassa listassa on lueteltu ensimmäisen ryhmän ”yksittäiset ratkaisut” kuvaukset laskentajärjestyksessä:

1. Vertailuratkaisu
2. Rakennuksen suuntaus
3. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys: ilmavuotoluku $q_{50} = 3$
4. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys: ilmavuotoluku $q_{50} = 2$
5. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys: ilmavuotoluku $q_{50} = 1$

6. Paremmat ikkunat
7. Tavanomaiset ikkunat aurinkosuojauksella
8. Paremmat ikkunat aurinkosuojauksella
9. Tavanomaiset ikkunat rakenteellisella aurinkosuojauksella
10. Ikkuna-alan pienennys n. 20 %
11. Passiivitalon rakenteet sekä ilmatiiveys
12. Yötuuletus
13. Yöjäähdytys
14. Ilmanvaihdon vapaajäähdytys
15. Toimistokone LTO: levylämmönsiirrin
16. Toimistokone LTO: hygroskooppinen pyörivä lämmönsiirrin
17. IV-koneiden SFP-luku $1,7 \text{ kW/m}^3/\text{s}$
18. IV-koneiden SFP-luku $1,5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$
19. Uusiutuvat omavaraisenergiat, maalämpö ja maajäähdytys
20. Uusiutuvat omavaraisenergiat, ilma-vesilämpöpumppu
21. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkosähkö (100 m² kennoja)
22. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkosähkö (300 m² kennoja)
23. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkolämpö 50 % LKV:stä
24. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkolämpö 90 % LKV:stä
25. Valaistustason pudotus, 9 W/m^2
26. Kaukojäähdytys
27. Tarpeenmukainen ilmanvaihto
28. WC-tilojen IV-koneessa ei LTO:ta
29. Tavanomaiset ikkunat ulkopuolisilla säleillä, itä/länsi/etelä
30. Pellettilämmitys

8.3.2 Yhdistelmäratkaisut

Lisäksi laskettiin yhdistelmäratkaisujen E-lukuja tavoitteena päästä energiatehokkuusluokkaan B tai A. Taulukossa 9 esitetään yhdistelmäratkaisut ja niiden numerointi laskentajärjestyksessä.

Taulukko 9. Yhdistelmäratkaisut ja niiden kokoonpanot

Ratkaisu	Energialaskennan toteutus: Toimistorakennus 1	Energialaskennan toteutus: Toimistorakennus 2
31. Luokka B/1	<ul style="list-style-type: none"> - Kaukolämpö ja kaukojäähdytys - Ikkuna-alan pienennys 20 % - Valaistustason pudotus: 9 W/m² - Ilmavuotoluku q₅₀ = 2 - Poistoilman LTO: hygroskooppinen roottori - Tavalliset ikkunat ja sälekaihtimet: uloin väli 70 %:n peittoala - SFP-luku 1,7 	<ul style="list-style-type: none"> - Kaukolämpö ja kaukojäähdytys - Ikkuna-alan pienennys 20 % - Valaistustason pudotus: 9 W/m² - Ilmavuotoluku q₅₀ = 2 - Poistoilman LTO: hygroskooppinen roottori - Tavalliset ikkunat ja sälekaihtimet: uloin väli 70 %:n peittoala - SFP-luku 1,7 - Aurinkolämpö (90 % LKV:n tarpeesta)
32. Luokka B/2	<ul style="list-style-type: none"> - Maalämpö ja maajäähdytys (Täysenergiamitoitus jäähdytystarpeelle: 60 % ilmaista ja 40 % lämpöpumpulla) - Ikkuna-alan pienennys 20 % - Valaistustason pudotus: 9 W/m² 	<ul style="list-style-type: none"> - Maalämpö ja maajäähdytys (Täysenergiamitoitus jäähdytystarpeelle: 60 % ilmaista ja 40 % lämpöpumpulla) - Ikkuna-alan pienennys 20 % - Ilmavuotoluku q₅₀=2 - Valaistustason pudotus: 9 W/m² - Tavalliset ikkunat ja sälekaihtimet: uloin väli 70 %:n peittoala - SFP-luku 1,7
33. Luokka A/1	<ul style="list-style-type: none"> - Ikkuna-alan pienennys 20 % - Valaistustason pudotus: 7 W/m² - Ilmavuotoluku q₅₀=1 - Poistoilman LTO: hygroskooppinen roottori - Paremmat ikkunat + rakenteellinen aurinkosuojaus (itä/etelä/länsi) - Passiivitalon rakenteet - SFP-luku 1,5 - Maalämpö ja maajäähdytys (energiat: L 90/10 ja J 60/40) maalämpöpumpun SPF-luku 4 (L&J) - Aurinkosähkö 600 m² - Kesällä tuloilman lämpötila 17>19 °C - Huippulämmön (10 %) tuotto pellettikattilalla yms. uusiutuva polttoaine 	<ul style="list-style-type: none"> - Ikkuna-alan pienennys 20 % - Valaistustason pudotus: 7 W/m² - Ilmavuotoluku q₅₀=1 - Poistoilman LTO: hygroskooppinen roottori - Paremmat ikkunat + rakenteellinen aurinkosuojaus (itä/etelä/länsi) - Passiivitalon rakenteet - SFP-luku 1,5 - Maalämpö ja maajäähdytys (energiat: L 90/10 ja J 60/40) maalämpöpumpun SPF-luku 4 (L&J) - Aurinkosähkö 700 m² - Kesällä tuloilman lämpötila 17>19 °C - Huippulämmön (10 %) tuotto pellettikattilalla yms. uusiutuva polttoaine

Yhdistelmäratkaisut koottiin yksittäisistä ratkaisuista, joiden vaikutusta oli siis tutkittu aikaisemmissa 30 ratkaisussa. Alkuperäisen projektisuunnitelman mukaan oli tarkoitus saada yksittäisille ratkaisuille olennaisuusjärjestys käyttäen avuksi eri yksittäisille ratkaisuille tehtyjä elinkaarikustannustarkasteluja. Työn edetessä kuitenkin päädyttiin siihen tulokseen, että tällaisten tarkastelujen tekeminen olisi vienyt liikaa aikaa ja lisännyt insinööriyön työtaakkaa kohtuuttomasti. Huomioitavaa on myös, että mikäli yksittäisiä ratkaisuja yhdistellään suuremmiksi kokonaisuuksiksi, ei niiden

elinkaarikustannuksia voidaan vain summata yhteen huomioimatta yhdistelmien yhteisvaikutusta elinkaarikustannuksiin.

Kustannusvaikutuksia kuitenkin arvioitiin karkealla kokemukseen perustuvalla, luonteeltaan kvantitatiivisella menetelmällä. Saimme toimeksiantajamme puolesta projektipäällikkö Hannu Martikaisen (DI) kanssa 24.5.2013 käydyn keskustelun perusteella karkeat arviot vertailuratkaisuun tehtävien yksittäisten suunnitteluratkaisujen vaikutuksesta rakennuksen investointi- ja käyttökustannuksiin. Taulukosta 10 nähdään nämä arviot summajärjestyksessä:

Taulukko 10. Yksittäisten ratkaisujen arvioitu kustannusvaikutus sekä saatujen arvojen summa (53)

Tapaus	Vaikutus investointikustannuksiin	Vaikutus käyttökustannuksiin	Summa
10. Ikkuna-alan pienennys n. 20 %	-1	-2	-3
25. Valaistustason pudotus, 9 W/m ²	-1	-1	-2
3. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys: ilmavuotoluku q ₅₀ = 3	0	-1	-1
4. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys: ilmavuotoluku q ₅₀ = 2	0	-1	-1
12. Yötuuletus	0	-1	-1
13. Yöjäähdytys	0	-1	-1
16. Toimistokone LTO: hygroskooppinen pyörivä lämmönsiirrin	0	-1	-1
26. Kaukojäähdytys	0	-1	-1
14. Ilmanvaihdon vapaajäähdytys	0	-0,5	-0,5
6. Paremmat ikkunat	1,5	-2	-0,5
11. Passiivitalon rakenteet sekä ilmatiiveys	1	-1,2	-0,2
1. D3:n ja D5:n mukainen vertailuratkaisu	0	0	0
2. Rakennuksen suuntaus	0	0	0
5. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys: ilmavuotoluku q ₅₀ = 1	1	-1	0
7. Tavanomaiset ikkunat aurinkosuojauksella	1	-1	0
17. IV-koneiden SFP-luku 1,7 kW/m ³ /s	1	-1	0
8. Paremmat ikkunat aurinkosuojauksella	2	-2	0
18. IV-koneiden SFP-luku 1,5 kW/m ³ /s	2	-2	0
9. Tavanomaiset ikkunat rakenteellisella aurinkosuojauksella	3	-3	0
19. Uusiutuvat omavaraisenergiat, maalämpö ja maajäähdytys	3	-3	0
27. Tarpeenmukainen ilmanvaihto	3	-3	0
29. Tavanomaiset ikkunat ulkopuolisilla säleillä, itä/länsi/etelä	3	-3	0
28. WC-tilojen IV-koneessa ei LTO:ta	-1	1	0
23. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkolämpö 50 % LKV:stä	2	-1	1
15. Toimistokone LTO: levylämmönsiirrin	0	1	1
30. Pellettikattila lämpöenergiatuotannossa	1	0	1
20. Uusiutuvat omavaraisenergiat, Ilma-vesilämpöpumppu	2	-1	1
22. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkosähkö (300 m ² kennoja)	3	-2	1
21. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkosähkö (100 m ² kennoja)	2	-1	1
24. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkolämpö 90 % LKV:stä	3	-1	2

Taulukko on koottu siten, että ensin on arvioitu asteikolla [-3...3] eri ratkaisujen kustannusvaikutuksia. Asteikon arvojen merkitykset on kerrottu taulukossa 11.

Taulukko 11. Kustannusvaikutusten arviointiasteikko

-3	Pienentää kustannuksia paljon
-2	Pienentää kustannuksia kohtuullisesti
-1	Pienentää kustannuksia vähän
0	Ei vaikuta kustannuksiin
1	Nostaa kustannuksia vähän
2	Nostaa kustannuksia kohtuullisesti
3	Nostaa kustannuksia paljon

Taulukossa 10 on laskettu arvioitujen arvojen summa:

[vaikutus investointikustannuksiin + vaikutus käyttökustannuksiin]

Tämä summakaava olettaa siis investointi- ja käyttökustannukset yhtä tärkeiksi, sillä kummallekaan arvolle ei ole määritely minkäänlaista painokerrointa. Summien laskemisen jälkeen ratkaisut järjestettiin Microsoft Excelin lajittele-toiminnolla pienimmästä suurimpaan ja näin saatiin luotua karkea järjestys, jonka mukaan yksittäisiä ratkaisuja voitiin yhdistellä yhdistelmäratkaisuksi. Kuitenkin on tärkeää huomioida, että ne ratkaisut, joiden summa on sama, ovat tällä tarkastelutavalla ”samanarvoiset”.

Yhdistelmäratkaisujen luonnissa otettiin myös huomioon eri ratkaisujen väliset ristiriidat, epäloogisuudet ja päällekkäisyydet. Esimerkiksi olisi ollut epäloogista yhdistää ilmanvuotoluvun q_{50} pienentäminen arvoihin 3 ja 2, koska jälkimmäinen sisältää edellisen. Nämä asiat on siis pyritty ottamaan huomioon yhdistelmäratkaisuja koottaessa seuraavia ohjeita käyttäen:

- Mikäli toinen yksittäinen ratkaisu sisältyy toiseen tai erikseen arvioidulla tavalla haittaisi tai vaikeuttaisi toisen ratkaisun toteuttamista, valitaan vain toinen näistä ratkaisuista.
- Mikäli rakennuksen E-luku aiempien tulosten perusteella huononee jollain yksittäisellä ratkaisulla, ei sitä otettu mukaan yhdistelmäratkaisuihin.
- Lähtökohtaisesti yritettiin valita yksi pääenergiantuotantomuoto ja minimoida energiantuotantomuotojen määrä.
- Tehtyjen ratkaisujen määrä yritettiin minimoida siten, että haluttuihin luokkiin päästään.

Tällä tavalla tehtyjä kustannusarvioita ei voida epätarkkuuden vuoksi suoraan soveltaa tulosten analysoinnin yhteydessä vaan tätä kustannusanalyysiä on käytetty ainoastaan eräänlaisen olennaisuusjärjestyksen selvittämiseksi. Tätä kustannuksiin perustuvaa

olennaisuusjärjestystä on hyödynnetty siis yllä lueteltujen ohjeiden kanssa siten, että saatiin koottua yhdistelmäratkaisut, jotka on esitetty taulukossa 9.

8.3.3 Vertailuratkaisu

Vertailuratkaisu, eli muiden suunnitteluratkaisujen vertailukohta, rakennettiin siten, että RakMK D3:n perusehdot täyttyvät ja puuttuvien lähtötietojen osalta käytettiin RakMK D5:n antamia arvoja tai asiantuntijoilta kysytyjä arvoja. Lisäksi lähtötietojen valinnassa on noudatettu energiatodistusasetuksen (176/2013) antamia ohjeita laskennallisen E-luvun lähtötiedoista. Taulukosta 12 nähdään, millä perusteella E-luvun laskennassa käytetyt lähtötiedot on valittu.

Taulukko 12. Vertailuratkaisun laskennassa käytetyt lähtötiedot

Kokonaisuus	Tarvittava lähtötieto	Vertailuratkaisun laskennassa käytetty lähtötieto
Yleiset laskentasäännöt	Käyttötarkoitukseluokka	D3 (2012) kohta 1.1: Toimistorakennus
	Energiamuotojen kertoimet	Valtioneuvoston asetus 9/2013
Käyttötarkoitukseluokkien mukaiset vakioidut lähtöarvot	Sisäilmasto-olosuhteet (IV:n ilmamäärät ja sisälämpötilat)	D3 (2012) kohta 3.2
	Rakennuksen standardikäyttö ja sisäiset lämpökuormat	D3 (2012) kohta 3.3
	Lämpimän käyttöveden kulutus	D3 (2012) kohta 3.4
Rakenteet	Lämmitetty nettoala	Rakennuksen geometriamallin pinta-ala suoraan
	Rakennusvaipan pinta-ala	Kokonaissisämittojen mukaan
	Rakenteiden, ikkunoiden ja ovien U-arvot	Rakennetyyppiluettelot; ikkunoiden ja ovien osalta Riuskan oletustyyppit: u-arvo 1
	Ikkunoiden g-arvo (kohtisuora)	Käytetty Riuskan oletusikkunaa, g-arvo: 0,5
	Kylmäsiltojen vaikutus	D5 (2012) kohta 3, Riiska-laskenta
Ilmanvuotoluku	Vaipan ilmanvuotoluku q_{50}	D3 (2012) kohta 2.3: q_{50} -luku $4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$
Ilmanvaihto	Ilmanvaihdon LTO:n tuloilman lämpötilahyötysuhde	Riuskan oletusarvot: Toimistokoneessa 80 %, WC-koneessa 60 %. Ilmavirtojen suhde 1/1 molemmissa koneissa
	Ilmanvaihdon palvelualueiden jakoperuste	LTO-perusteinen: Toimistokoneessa pyörivä LTO, WC-koneessa nestekiertoainen LTO
	Yksittäisen Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho SFP (Specific Fan Power)	D5 (2012) kohta 7: max $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
	Ilmanvaihdon tarpeenmukaisuus	Ei tarpeenmukaista ilmanvaihtoa
Lämmin käyttövesi	Lämpimän käyttöveden nettoenergiatarve	D3 (2012) kohta 3.4
	Jakelun hyötysuhde	D5 (2012) kohta 6.3
	Kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho	D5 (2012) kohta 6.3
	Kiertojohdon pituus	D5 (2012) kohta 6.3
	Kierron pumppauksen sähköenergian kulutus	D5 (2012) kohta 6.3.4
	Varaajan häviö	Ei varaajaa
Lämmitysjärjestelmän jakelu ja luovutus	Lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhde	D5 (2012) kohta 6.2
	Lämmönjaon ja -luovutuksen apulaitteiden sähkönkäyttö	D5 (2012) kohta 6.2
Ilmanvaihdon lämmitys	Ilmanvaihtokoneen lämmityspattereiden hyötysuhde	D5 (2012) kohta 6.2
Lämmöntuottojärjestelmä	Lämmöntuottojärjestelmien vuosihyötysuhteet	D5 (2012) kohta 6.4
	Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus	D5 (2012) kohta 6.4
Jäähdytysjärjestelmä	Jäähdytysenergian nettotarve	MC C&E:n tuntitason dynaamiseen laskentaan ja lämpötilan pysyvyyteen perustuva mitoitus
	Jäähdytysenergian tuoton, varastoinnin, jakelun ja luovutuksen hyötysuhteet	D5 (2012) kohta 8
Sähköjärjestelmä	Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus	D3 (2012) kohdat 3.3 ja 4.7, huomioidaan suoraan lämpökuormana
	Tarpeenmukainen valaistus tai standardoituja pienemmät valaistustehot	ei tarpeenmukaista valaistusta

Taulukosta 12 nähdään, että suurin osa vertailuratkaisun lähtötiedoista on etsitty RakMK:n osista D3 ja D5, joten käytettyjen lähtötietojen voidaan olettaa johtavan määräysten mukaiseen E-lukuun. Huomattavaa on kuitenkin, että toimistotilojen ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton hyötysuhteet ovat korkeat. Tämän perusteena on olettamus, että tällaiseen ilmanvaihtokoneeseen laitettaisiin pyörivä regeneratiivinen lämmöntalteenotto.

8.4 Laskennan lähtötiedot

Kirjassa ”RIL 259-2012: Matalaenergiarakentaminen toimitilat” on lueteltu energialaskennassa huomioon otettavia lähtötietoja ja lähtötiedot on pyritty keräämään tältä pohjalta mahdollisimman tarkasti niin, että kaikki RakMK D3:n mukaisen laskennan edellytykset täyttyisivät (6 s. 28). Lähtötietojen määrittämisessä ja dokumentoinnissa on pyritty käyttämään erityistä huolellisuutta. Näin voidaan varmistua siitä, että mahdolliset epäloogisuudet tai tulkintakysymykset ja niiden vaikutus laskentaan voidaan asiantuntijoiden toimesta huomioida tuloksissa. Energialaskennassa huomioitavien lähtötietojen määrä on varsinkin monimutkaisissa kohteissa suuri. Tästä syystä insinööriyön yhteydessä lähtötietojen määrittäminen on tehty tasolla, joka vastaa hanke- ja yleissuunnitteluvaiheen lähtötietojen määrittämistä, eli joitakin lähtötietoja on jouduttu olettamaan tai perustamaan RakMK:n osiin D3 ja D5. Kummankin esimerkkikohteen kaikkien simuloitujen suunnitteluratkaisujen E-lukujen laskennassa käytetyt lähtötiedot ovat taulukoituna liitteessä 2. Lisäksi laskennassa käytettyjen ilmanvaihtokoneiden lähtötiedot ovat taulukoituna liitteestä 3.

Niin ikään yksittäisissä ratkaisuissa on pyritty muuttamaan kerrallaan vain yhtä tai muutamaa lähtötietoa, jotka selkeästi liittyvät samaan ratkaisuun. Lähtöarvoja muutettaessa on myös pyritty ottamaan huomioon, että jotkut muutokset saattavat muuttaa toisia lähtöarvoja energialaskennassa. Esimerkiksi aurinkolämpöjärjestelmän lisäys pienentää lämpimän käyttöveden ostoenergian tarvetta mutta lisää ostettavan pumppaussähköenergian tarvetta.

Suunnitteluratkaisujen lähtötiedot on kerätty eri lähteistä, jotka ovat osittain samoja kuin tämän insinööriyön teoriaosuuden lähteet. Osa lähtötiedoista saattaa olla melko hypoteettisia ja monista järjestelmien mitoituksista riippuvista lähtötiedoista oli vaikea löytää luotettavaa tai tarkkaa lähdettä, koska lähtöarvot ovat pitkälti ratkaisukohtaisia ja

riippuvat esimerkiksi yksittäisten laitteiden hyötysuhteista ja muista teknisistä arvoista. Suunnitteluratkaisujen lähtötietojen valintaperusteista on laadittu taulukko, joka on tämän insinööriyön liitteenä 4. Taulukosta ilmenee jokaisen yksittäisen ratkaisun energialaskennan toteutustapa ja laskennan lähtöarvojen perusteena käytetty lähde.

Yhdistelmäratkaisujen osalta käytettiin pääosin samoja lähtötietoja kuin yksittäistenkin ratkaisujen osalta siten, että yksittäisten ratkaisujen lähtöarvoja lisättiin yksitellen niin, että muodostettiin yhdistelmäratkaisuja. Yhdistelmäratkaisuja tehtäessä muutettiin kuitenkin joitakin yksittäisiä lähtöarvoja, koska niillä havaittiin olevan E-luvun kannalta merkittävä alentava vaikutus ja joidenkin ratkaisujen osalta lähtötietojen arviointiin saatiin käytännön apua toimeksiantajalta. Nämä muutokset yksittäisten ratkaisujen lähtöarvoihin yhdistelmäratkaisuisissa on lueteltu alla:

- Maalämpö- ja jäähdytysjärjestelmän periaatteellisina mitoituservoina käytettiin täysenergiamitoitusta jäähdytysenergian suhteen siten, että maalämpöpumpun lisäksi ei ole muuta jäähdytysenergianlähdettä ja energiantuotanto jakautuu 60 % vapaajäähdytykselle ja 40 % käänteiselle lämpöpumppujäähdytykselle.
- Maalämpö- ja jäähdytysjärjestelmän lämpöpumppujen SPF-arvoina käytettiin arvoa 4, joka perusteltiin siten, että maalämmön osalta käyttämässämme lähteessä todettiin käytännön lämpökertoimien nousevan kun maaperää regeneroidaan eli lämmitetään kesällä.
- Energiatohokkuusluokkaan A pyrittäessä nostettiin ilmanvaihdon säätökäyrää siten, että tiloihin puhallettavan tuloilman lämpötila oli läpi vuoden 19 °C, mikä johti tarvittavan jäähdytysenergian pienenemiseen.
- Energiatohokkuusluokkaan A pyrittäessä aurinkosähköpaneelien määrää nostettiin pinta-alaltaan sellaiseen arvoon, että E-luku saatiin luokkaan A.
- Energiatohokkuusluokkaan A pyrittäessä valaistustason arvoa laskettiin niinkin alas kuin 7 W/m².

9 Tulosten analysointi

Energialaskennan tulosten analysoinnissa on tarkasteltava rakennuksen energiankulutusta kokonaisuutena. Jokin tietty ratkaisu saattaa pienentää yhtä energiankulutuksen osa-aluetta, mutta samanaikaisesti lisätä energiankulutusta muualla (6, s. 28). Tarkastelemalla E-lukujen lisäksi ostoenergian kulutuksia voidaan arvioida, miksi jokin rakenne- tai talotekninen ratkaisu on pienentänyt tai suurentanut rakennuksen laskennallista E-lukua.

Yksi tämän insinööriyön tavoitteista oli selvittää, millaisilla ratkaisuilla tai ratkaisujen yhdistelmillä saadaan rakennuksen energiatehokkuusluokka vuoden 2013 energiatodistuksen (50/2013) mukaisiin energiatehokkuusluokkiin A–C. Tätä selvitettiin muodostamalla laskennallisia yhdistelmäratkaisuja yksittäisistä ratkaisuista. Tässä insinööriyössä tarkasteltujen yksittäisten ratkaisujen laskennassa selvisi, ettei tarkastelluilla yksittäisillä ratkaisuilla saavuteta niin merkittävää parannusta E-lukuun, että päästäisiin luokkaan A tai B.

9.1 Energiasimulointien tulokset

Yksittäisten suunnitteluratkaisujen E-luvut ja ostoenergian kulutukset jaoteltuna kulutuslajeittain on esitelty kuvissa 13–16.

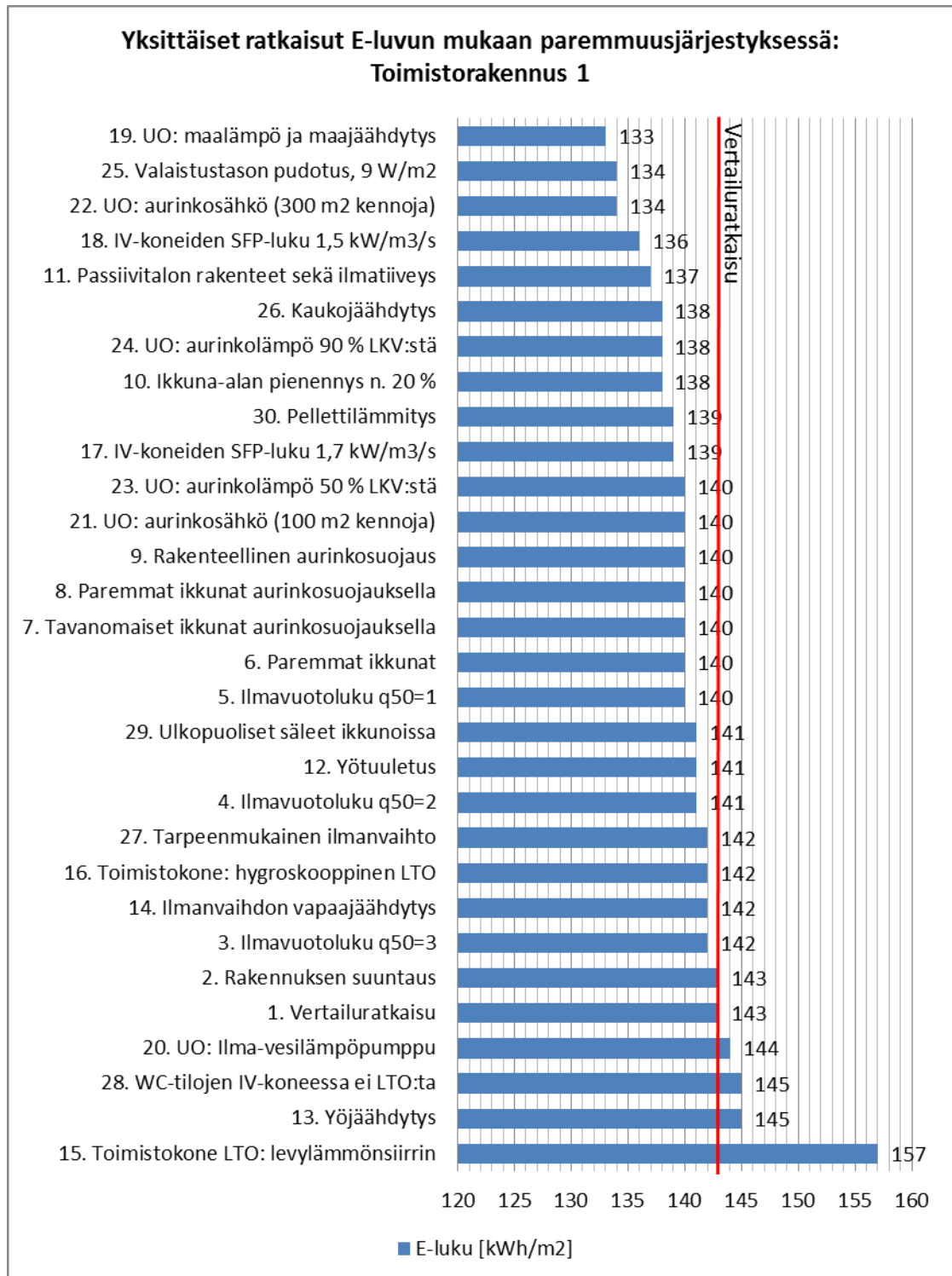
Molemmassa esimerkkikohteissa E-luvut paranivat vertailuratkaisusta parhaisiin E-lukuihin yltäneissä suunnitteluratkaisuissa noin 10 kWh/m^2 . Kuvan 13 perusteella parhaaseen tulokseen päästiin toimistorakennus 1:n simuloinneissa käyttämällä maalämpöpumppujärjestelmää lämpö- ja jäähdytysenergian tuotannossa sekä pudottamalla valaistuksen sähkön kulutusta. Syitä näihin tuloksiin oli maalämmön osalta pienentynyt ostoenergian kulutus, joka oli koko vertailun pienin. Valaistuksen sähkön kulutuksen pienentäminen vaikutti E-lukuun yllättävän paljon, ja tämä vahvistaa ennestään sitä oletusta, että sähköenergian kulutuksen osuus korostuu E-luvussa.

Kuvan 15 perusteella nähdään myös, että toimistorakennuksen 2 simuloinnissa alhaisimpiin tuloksiin päästiin käyttämällä rakenteissa passiivitaso rakenteita ja ilmatiiveyttä. Syy minkä takia toimistorakennuksessa 1 ei päästy näin hyvään tulokseen samalla ratkaisulla, piilee luultavasti siinä, että toimistorakennuksella 1 oli suhteessa tilavuuteen

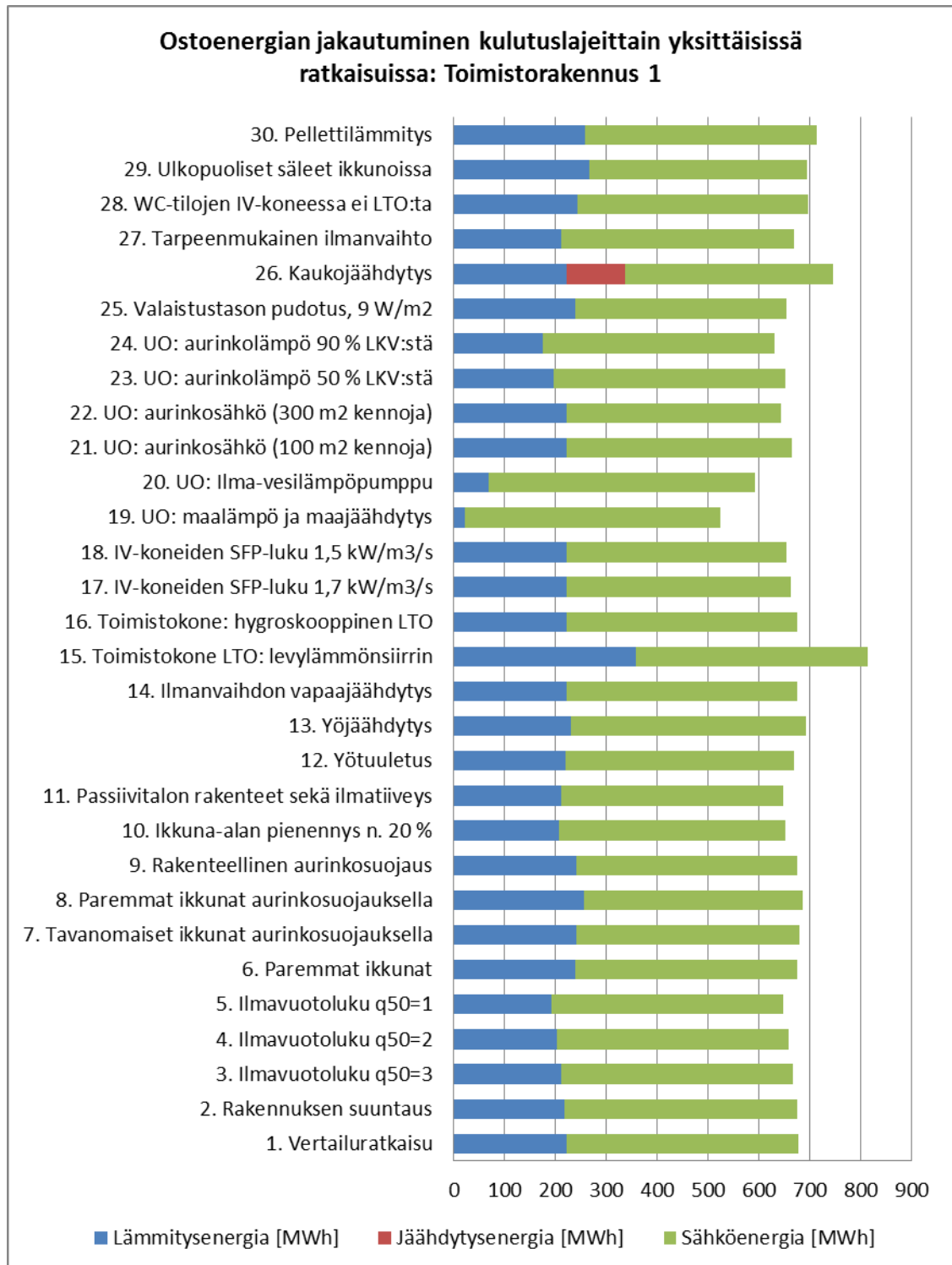
vähemmän ulkovaippaa ja sitä kautta lämpöhäviötä kuin toimistorakennuksella 2. Tämä johtui siitä, että toimistorakennus 1 on kytköksissä toisiin rakennuksiin etelä- ja pohjois-sivuilta.

Huonoimpiin E-lukuihin päädyttiin ratkaisussa, joissa heikennettiin poistoilman lämmön talteenoton vuosihyötysuhdetta sekä käytettiin rakennuksessa yöjäähdytystä. Poistoilman lämmön talteenotolla on suuri merkitys rakennuksen lämpöhäviöön ja tätä kautta ostoenergian kulutukseen, joten suunniteltaessa energiatehokasta rakennusta siitä ei tulisi tinkiä. Yöjäähdytyksen osalta E-luku huononi, koska sähköä kului enemmän joh-tuen pidentyneistä ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien käyntiajoista. Yöjäähdytyksen E-luku olisi mahdollisesti ollut parempi, jos rakennuksen rakenteet olisivat olleet mas-siivisemmat. Tällöin päivällä rakenteiden lämpeneminen olisi ollut hitaampaa, joka pie-nentää päiväaikaisen jäähdytyksen tarvetta.

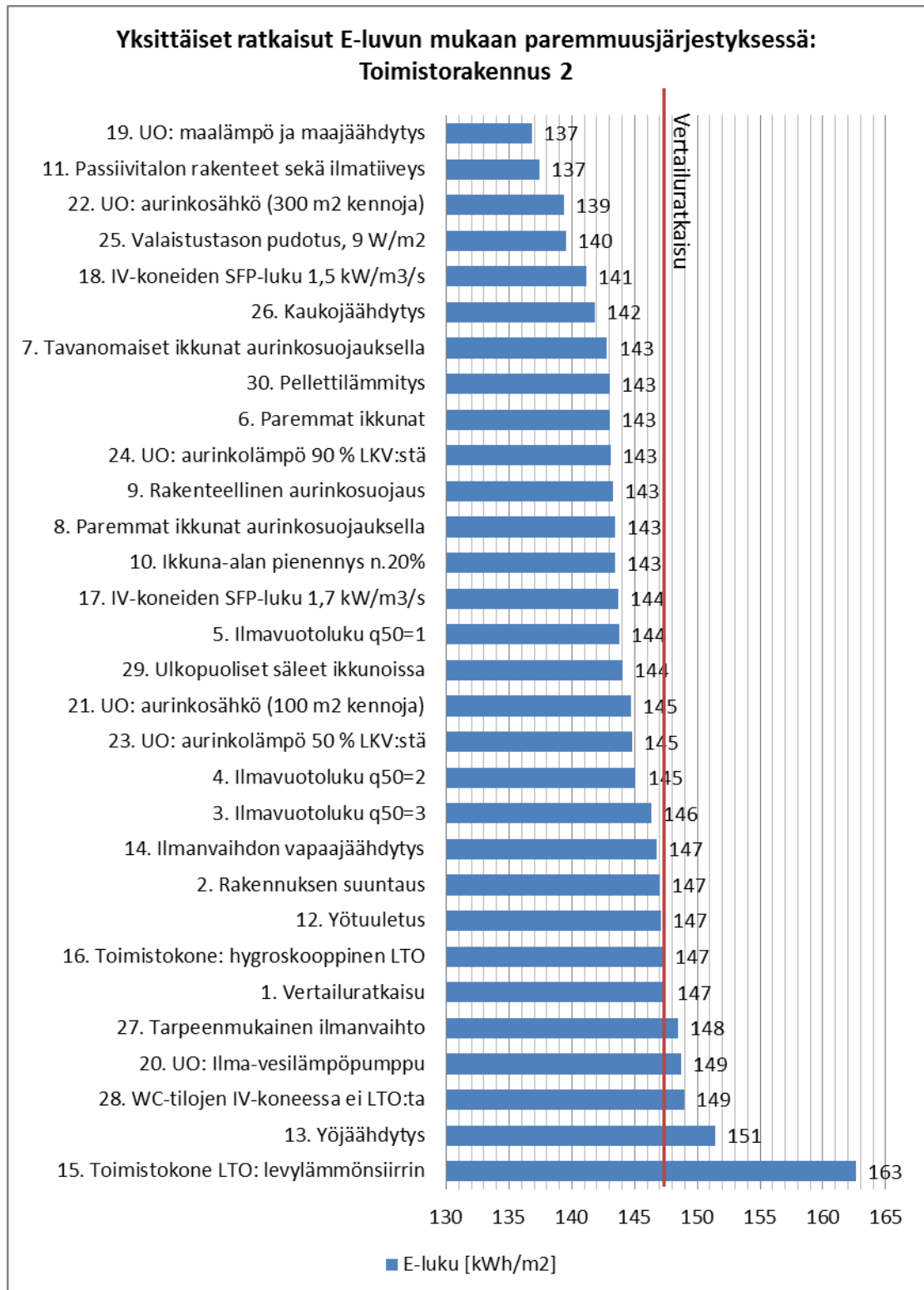
Kuvista 13 ja 15 nähdään, että pääosin erilaiset suunnitteluratkaisut paransivat E-lukua maltillisesti. Tästä voidaan todeta, että yksittäisillä ratkaisulla E-lukua ei pystytä ro-i-masti parantamaan, vaan tarvitaan oikein valittuja suunnitteluratkaisujen yhdistelmiä rakennuksen energiatehokkuusluokan parantamiseksi. Tämä edellyttää eri ratkaisujen välisten syy- ja seuraussuhteiden tuntemista.



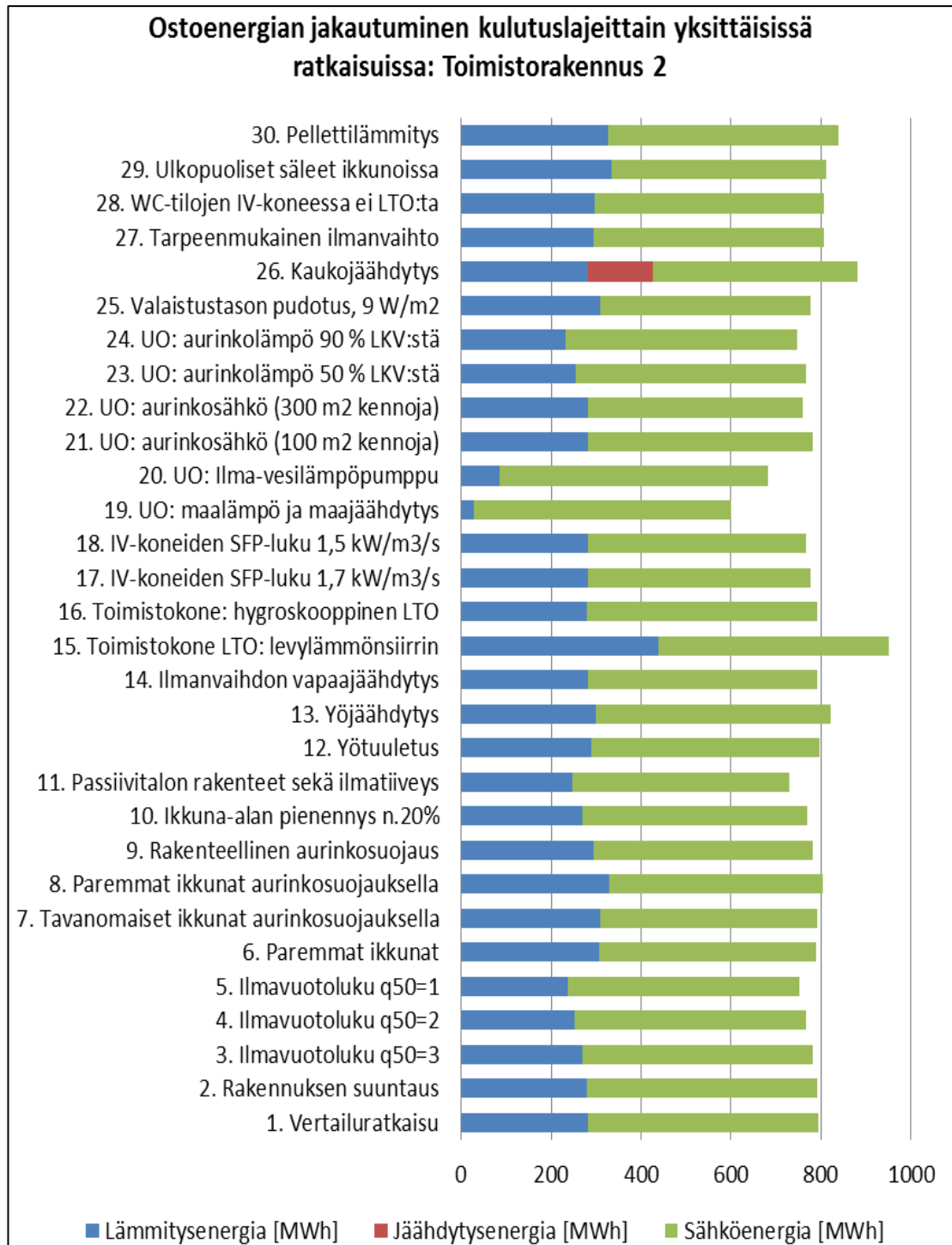
Kuva 13. Toimistorakennus 1, yksittäisten ratkaisujen E-luvut paremmuusjärjestyksessä.



Kuva 14. Toimistorakennus 1, yksittäisten ratkaisujen ostoenergioiden kulutukset. Palkeissa näkyvät lämmitys-, jäähdytys- ja sähköenergioiden osuudet ostoenergian kulutuksesta.



Kuva 15. Toimistorakennus 2, yksittäisten ratkaisujen E-luvut paremmuusjärjestyksessä.



Kuva 16. Toimistorakennus 2, yksittäisten ratkaisujen ostoenergioiden kulutukset. Palkeissa näkyvät lämmitys-, jäähdytys- ja sähköenergioiden osuudet ostoenergian kulutuksesta.

9.2 Yksittäisten ratkaisujen analysointi

9.2.1 Rakennuksen muodon vaikutus

Rakennuksen muodon vaikutus E-lukuun saatiin esille ottamalla työhön kaksi erilaista esimerkkikohdetta. Kuten taulukosta 13 nähdään, E-luvuissa oli eroa 4 kWh/m², vaikka ratkaisujen simuloinneissa on noudatettu samoja lähtötietoja.

Energialaskennan vertailuratkaisujen E-lukujen ero johtuu rakennuksien muodon ja osittain myös aukotuksen vaikutuksesta E-lukuun. Toimistorakennuksessa 1 ulkoseiniä on vähemmän suhteessa tilavuuteen kuin toimistorakennuksessa 2. Tällöin rakennuksen lämpöhäviö on pienempi eli tilojen lämmittämiseen kuluu vähemmän energiaa. Toimistorakennuksessa 1 oli myös vertailuratkaisussa vähemmän ikkunoita etelän suuntaan, mikä vaikuttaa siten, että jäähdytysenergian ja tätä kautta sähkön ostoenergian tarve on pienempi kuin toimistorakennus 2:n vertailuratkaisussa.

Taulukko 13. Vertailuratkaisujen E-luvut.

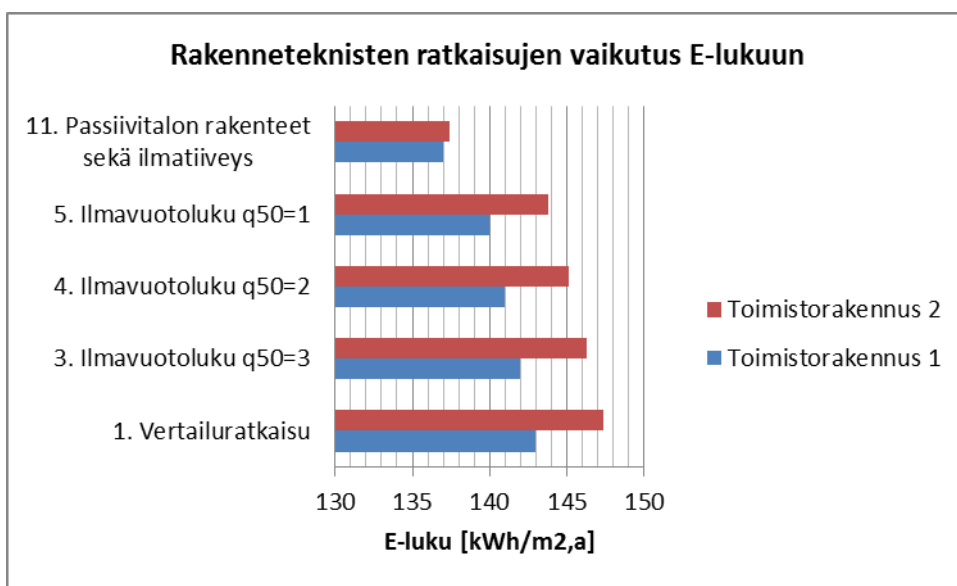
Suunnitteluratkaisu	Toimistorakennus 1	Toimistorakennus 2
Vertailuratkaisun E-luku [kWh/m ²]	143	147

Tarkasteluissa yksittäisten suunnitteluratkaisujen vaikutuksista E-lukuun kuvissa 13 ja 15 nähdään, että erilaiset energiatehokkuutta parantavat ratkaisut kuitenkin pääosin muuttivat ostoenergian kulutusta sekä E-lukua suhteessa toisiinsa saman verran kummassakin esimerkkikohteessa.

9.2.2 Rakenteellisten ratkaisujen vaikutus

Rakenneteknisiä asioita tutkittiin tarkastelemalla rakennuksen ulkovaipan tiiveyden vaikutusta E-lukuun sekä käyttämällä rakenteina niin kutsuttuja passiivitalon rakenteita. Rakennuksen ulkovaipan tiiveyden parantuessa E-luku laski kummassakin toimistorakennuksessa melko lineaarisesti. Näistä ratkaisuista paras E-luku saavutettiin passiivitalon rakenteet sekä ilmatiiveys -ratkaisulla.

Kuvasta 17 nähdään, että parannettaessa rakennuksen ulkovaipan tiiveyttä ostoenergian kulutus lämmitysenergian osalta pieneni. Tämän selittää tiiveyden vaikutuksesta pienentynyt vuotoilmavirta. Vuotoilmavirran pienentyessä myös sen lämmittämiseen kuluva energia pienenee. Toisaalta, kun rakennuksen ulkovaipan tiiveys parani, rakennuksen jäähdyttämiseen tarvittiin enemmän energiaa. Tämä kasvatti sähkönä ostettavaa energiaa, koska näissä ratkaisuissa jäähdytysenergia tuotettiin vedenjäähdytyskoneikoilla, jotka ovat sähkökäyttöisiä. Jäähdytysenergian tarve kasvoi kuitenkin ilmeisen maltillisesti, joten sillä ei ollut rakennuksen E-lukuun kovinkaan suurta vaikutusta.



Kuva 17. Rakenneteknisten ratkaisujen vaikutus E-lukuun

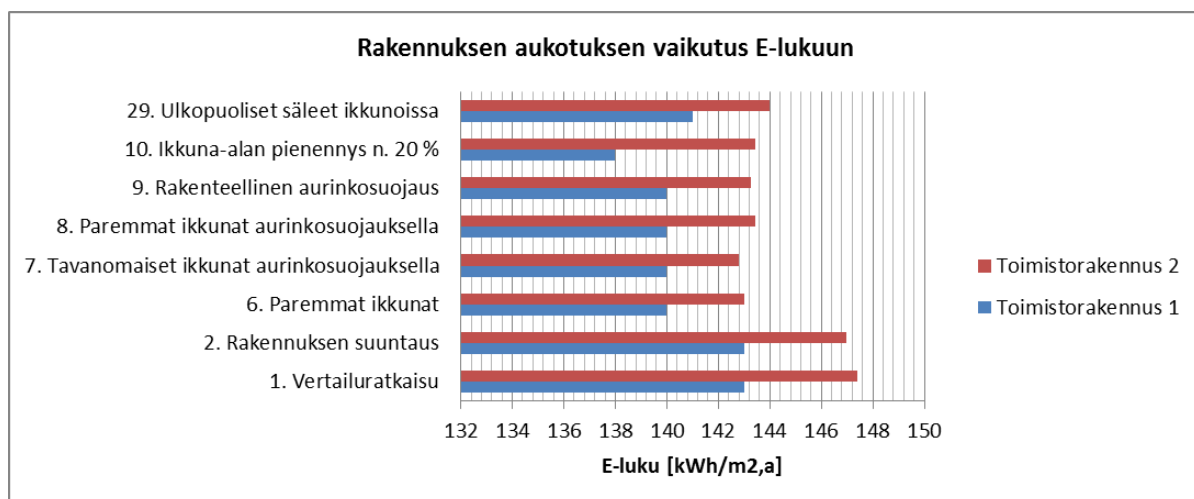
Kuvasta 17 nähdään E-luvun käyttäytyminen tiiveyden parantuessa. Kummankin esimerkkikohteen osalta tiiveyden vaikutus E-lukuun oli samaa luokkaa. Määräysten mukaisella ilmavuotoluvulla ($q_{50}=4 \text{ m}^3/\text{h}, \text{m}^2$) E-luku oli huonoin.

Passiivitalon rakenteilla ja ilmatiiveydellä oli merkittävä vaikutus rakennuksen E-lukuun. E-luvun pienentyminen selittyy rakenteiden paremmalla lämmön eristävyydellä ja pienentyneellä vuotoilmavirralla. Kuitenkin passiivitalon rakenteita harkittaessa on otettava huomioon eristyspaksuuden lisäämisestä mahdollisesti koituvat suuret lisäkustannukset ja kosteudenhallintakysymykset.

9.2.3 Rakennuksen aukotuksen vaikutus

Rakennuksen aukotuksella on tuloksien perusteella kohtuullisen suuri merkitys lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutukseen rakennuksessa. Ikkunat sekä niihin liittyvät aurinkosuojaratkaisut ovat usein myös kalliita (31). Siksi näihin asioihin on syytä kiinnittää erityistä huomiota.

Rakennuksen aukotukseen liittyviä asioita (ikkunat, aurinkosuojaukset sekä rakennuksen suuntaus) tutkittiin suuntaamalla eniten lasipintaa sisältävän julkisivun pohjoiseen, valitsemalla ikkunoiden U- ja g-arvoiksi selvästi parempia arvoja, lisäämällä ikkunoihin aurinkosuojauksia eri kohtiin sekä pienentämällä ikkunoiden pinta-alaa.

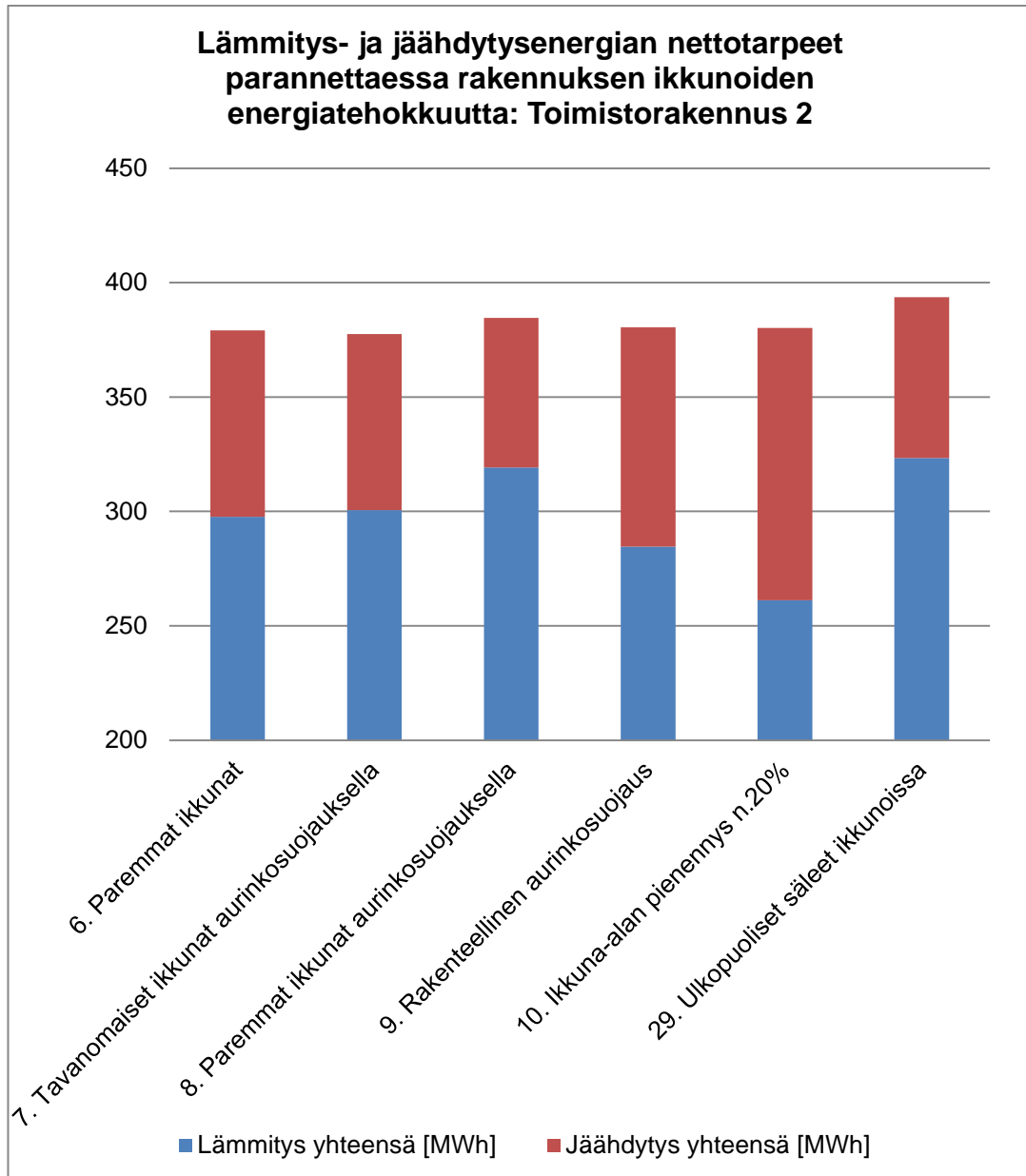


Kuva 18. Aukotuksen vaikutus E-lukuun

Kuten kuvasta 18 nähdään, E-luvut olivat samaa suuruusluokkaa kaikissa ratkaisuisissa, joissa parannettiin ikkunoiden ominaisuuksia sekä lisättiin aurinkosuojauksia vertailuratkaisusta. Vaihtamalla ikkunat paremmiksi tai lisäämällä aurinkosuojauksia E-luvun paraneminen oli samaa luokkaa. Mielenkiintoista on, että saatujen tuloksien perusteella ikkunoiden paremmat ominaisuudet yhdessä aurinkosuojauksen kanssa ei laskenut E-lukua verrattuna ratkaisuun, jossa tutkittiin tavanomaisten ikkunoiden ja aurinkosuojauksen vaikutusta.

Parannettaessa ikkunoiden ominaisuuksia ja valittaessa aurinkosuojauksia kannattaa ottaa huomioon, että vaikka kesäaikaista jäähdytysenergian tarvetta saadaan pienemmäksi, talvella aurinko ei pääse lämmittämään tiloja ikkunalasien läpi samalla tavalla ja näin ollen tilojen lämmitykseen tarvitaan vuositasolla enemmän energiaa. Tätä on ku-

vattu alla olevassa kuvassa 19. Saatujen laskentatuloksien perusteella lämmitysenergian tarve kasvoi suunnitteluratkaisuissa, joissa ikkunoiden ominaisuuksien parannettiin ja aurinkosuojia lisättiin. Ikkunoihin ja niiden aurinkosuojaukseen liittyvä suunnittelu on optimoimista. On selvittävää taso, jolloin päästään parhaaseen tulokseen sekä lämmitys- että jäähdytysenergian tarpeen osalta.



Kuva 19. Lämmitys- ja jäähdytysenergian nettotarpeet parannettaessa ikkunoiden energiatehokkuutta. Tulokset ovat toimistorakennuksen 2 laskentatuloksista.

Kuvasta 19 nähdään, että suuntaamalla julkisivu, jossa on suurin lasipinta, pohjoisen suuntaan saavutettiin pieni parannus E-luvussa. Tämä selittyy jäähdytysenergian tar-

peen vähenemisellä rakennuksen pohjoisreunan tiloissa. Toisaalta taas etelän suuntaisten ikkunoiden väheneminen antaa talviaikaan vähemmän auringon lämpöä hyödyksi rakennuksen eteläreunan tiloissa. Suuntaus täytyy siis optimoida huomioimalla sekä lämmitys- että jäähdytysenergian tarpeet tiloissa. Toimistorakennuksen 1 osalta ikkunoiden suuntaaminen pohjoiseen ei kuitenkaan muuttanut E-lukua ollenkaan. Tämä saattoi johtua siitä, että rakennus oli jo vertailuratkaisussa optimaalisesti suunnattu.

Pientämällä ikkunoiden pinta-alaa saavutettiin kummassakin esimerkkikohteessa selkeästi pienempi E-luku. Tällä tavalla saatiin lämmitys- ja sähköenergian muodossa ostettavat energiat pieneneväksi. Tämä on selitettävissä sillä, että rakennuksen ulkovaipan paremmin lämpöä eristävä osuus eli ulkoseinien osuus kasvoi ja samalla ikkunapinta-alan pienentyessä kesäajan auringon aiheuttaman suoran lämpökuorman vaikutus pieneni. Siten rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeet pienenevät.

9.2.4 Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus

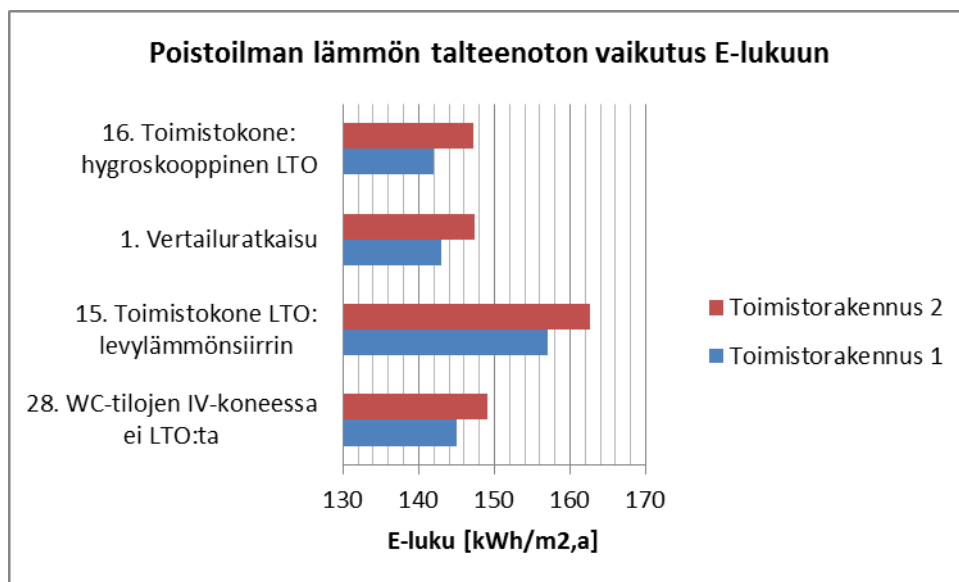
Poistoilman lämmön talteenotto

Kuten kuvasta 20 nähdään, poistoilman lämmön talteenotolla on merkittävä vaikutus rakennuksen lämmitysenergian tarpeeseen ja tätä kautta E-lukuun. Verrattaessa vertailuratkaisua suunnitteluratkaisuihin, joissa talteenottoratkaisu on huonompi, havaittiin lämmön talteenoton tärkeys. Kun esimerkkikohteisiin laitettiin huonommilla hyötysuhteilla toimivat levylämmönsiirtimet kaikkiin ilmanvaihtokoneisiin, rakennuksien E-luvut romahtivat koko vertailun huonoimmiksi.

Vertailuratkaisun lämmön talteenottolaitteistona oli pyörivä lämmön talteenottolaitteisto. Tällä saatiin ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve ilmanvaihdon osalta melko alhaiseksi. Kun tästä pyrittiin vielä parempaan ja valittiin laitteistoksi pyörivä hygroskooppinen talteenottolaitteisto, E-luku ei pienentynyt kovin merkittävästi. Hygroskooppisella lämmön talteenottolaitteistolla jäteilman lämpötila saadaan laskettua huomattavasti alemmas kuin tavallisella pyörivällä lämmön talteenottolaitteella. Suurta hyötyä tästä jäteilman lämpötilan alhaisemmasta arvosta ei ollut, koska pakkaspäivien lukumäärä on kovin vähäinen ja näin ollen myöskin sillä saavutettava etu on vähäinen.

Tässä insinööriyössä olleissa esimerkkikohteissa vertailuratkaisujen likaisten tilojen poistoilman lämmön talteenotto hoidettiin levylämmönsiirtimellä. Kun tämä talteenotto

ohitettiin, E-luku huonontui, vaikka kyseessä oli suhteellisen pienet ilmavirrat. Tästä voidaan päätellä, että kaikki rakennuksen poistoilmavirrat olisi hyvä saada lämmön talteenoton kautta.

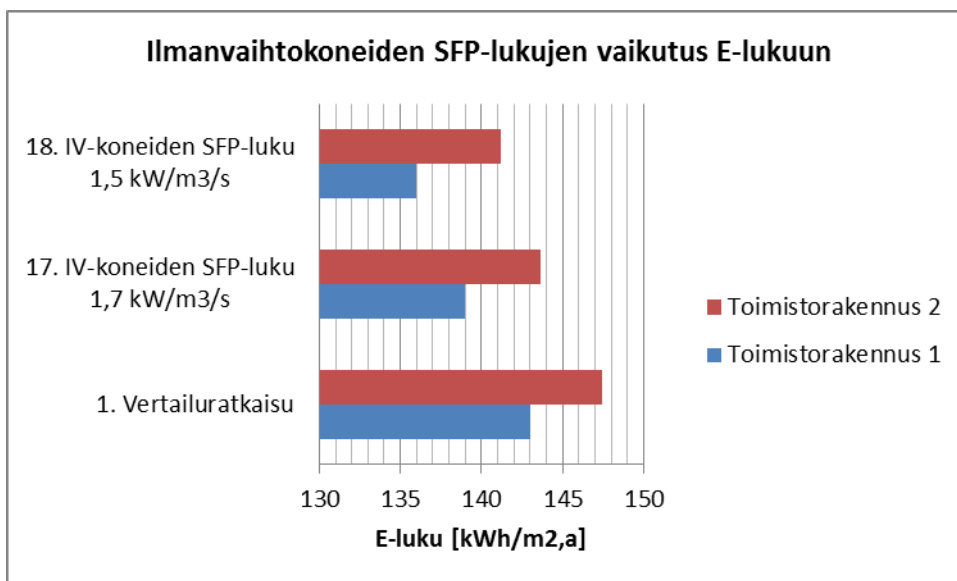


Kuva 20. Poistoilman lämmön talteenottoratkaisujen E-luvut.

Kuvassa 20 on esitetty esimerkkikohteissa tutkittujen lämmön talteenottolaitteistojen vaikutusta E-lukuun. Parhaimpiin tuloksiin päästiin pyörivillä lämmön talteenottolaitteilla. Yhteenvedona lämmön talteenottolaitteista voisi sanoa, että rakennuksen kaikki ilmavirrat olisi hyvä johtaa lämmön talteenoton kautta. Lisäksi on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että lämmön talteenoton vuosihyötysuhde pysyy mahdollisimman korkeana käyttämällä mahdollisimman tehokasta lämmönsiirtotekniikkaa.

Puhallinsähkön kulutus

Puhallinsähkön kulutusta tutkittiin parantamalla ilmanvaihtokoneiden SFP-lukuja. Vertailuratkaisun SFP-luvusta 2,0 kW/m³/s lukua parannettiin arvoihin 1,7 kW/m³/s ja 1,5 kW/m³/s. SFP-luvun pudottamisen vaikutus näkyy E-luvuissa melko lineaarisesti kuvassa 21. SFP-luvun parantamisen funktiona on puhallinsähkön kulutuksen pienentäminen. Kuten aiemmin on todettu, sähköenergian osuus korostuu E-luvussa energiamuodon kertoimen takia ja vaikutus E-lukuun onkin melko suuri.



Kuva 21. Puhallinsähkön kulutuksen vähentämisen vaikutus E-lukuun.

Ilmanvaihtojärjestelmän käyttö

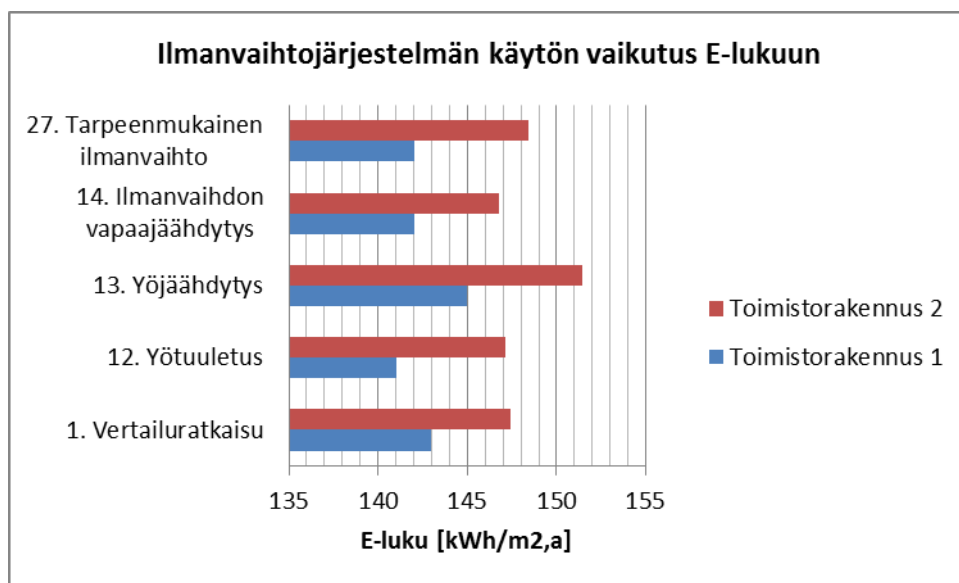
Ilmanvaihtojärjestelmän erilaisia käyttötapoja tutkittiin lisäämällä vertailuratkaisun mukaisiin ratkaisuihin yötuuletus, yöjäähdytys, ilmanvaihdon vapaajäähdytys sekä huomioimalla energialaskennassa tarpeenmukainen ilmanvaihto.

Kuvasta 22 nähdään, että yötuuletuksella ei saatu aikaan merkittävää pudotusta E-luvussa. Syinä tähän ovat melko tavanomaiset rakenteet, joiden lämmönvarauskyky ei ole suurin mahdollinen. Parempaan tulokseen olisi mahdollisesti päästy lisäämällä rakennuksen sisäpuolisten rakenteiden massiivisuutta, jolloin rakenteisiin olisi varautunut enemmän lämpöä. Toinen huomio on, että ilmanvaihtokoneiden käyntiajat ovat yötuuletuksensa takia paljon pidemmät. Tämä lisäsi puhallinsähkön kulutusta ja sillä on negatiivinen vaikutus E-lukuun.

Yöjäähdytyksen osalta nousevat esille samanlaiset asiat kuin yötuuletuksensa osalta, eli rakenteiden massiivisuus ja puhallinsähkön kulutus. Yöjäähdytyksessä rakenteiden viilentämiseen käytetään myös jäähdytysjärjestelmää hyväksi, joka entisestään kasvat-
taa energian kulutusta. Kuvasta 22 nähdään, että näihin esimerkkikohteisiin tehtyjen simulointien perusteella E-luku huononi käytettäessä yöjäähdytystä.

Ilmanvaihdon vapaajäähdytys ei vaikuttanut E-lukuun juurikaan. Syynä tähän voisi olla se, että rakennuksiin ei simuloitu erikseen paljon tasaista jäähdytysenergiaa tarvitsevia tiloja, esimerkiksi ATK-saleja, joissa lämpökuormat voivat olla suuria.

Tarpeenmukainen ilmanvaihto huomioidaan energialaskennassa suorittamalla laskenta rakennuksen todellisilla ilmamäärillä. Kuvasta 22 nähdään, että näissä laskelmissa E-luku ei juurikaan pienentynyt. Syynä tähän on se, ettei simuloinneissa käytettyyn ohjelmaan saa asetettua oikeanlaisia aikatauluja, jotka ottaisivat ilmanvaihdon osalta huomioon tilojen todellisen käytön.

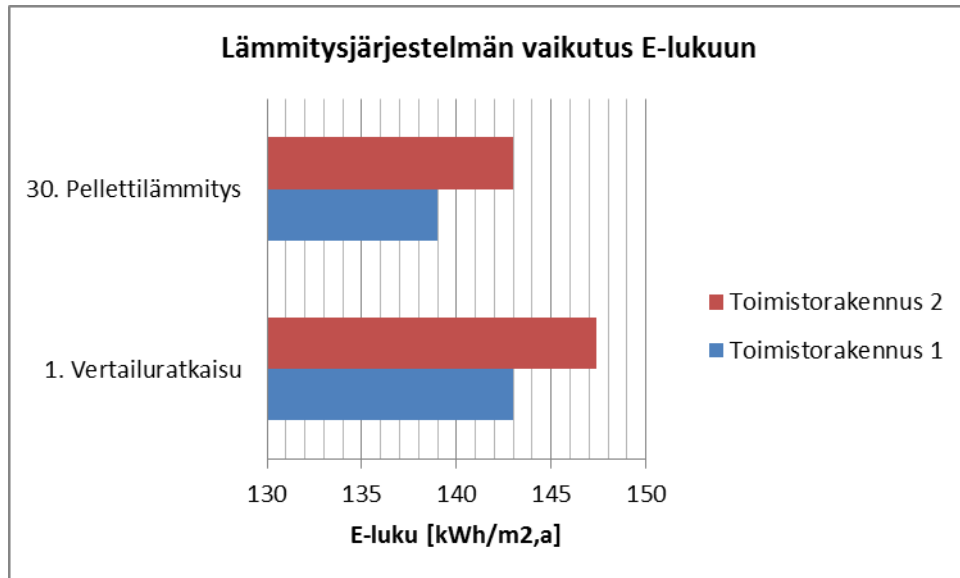


Kuva 22. Ilmanvaihtojärjestelmän käyttötavan vaikutus E-lukuun.

9.2.5 Lämmitysjärjestelmän vaikutus

Vertailuratkaisussa lämmitysenergia rakennukseen tuotettiin kaukolämmöllä. Kaukolämmön energiamuodon kerroin E-luvun laskennassa on 0,7. Käytettäessä rakennuksessa tarvittavan lämmitysenergian tuottoon uusiutuvia polttoaineita, esimerkiksi haketta tai pellettejä, energiamuodon kerroin on 0,5. Pellettikattila lämpöenergian tuottajana pääkaupunkiseudulla sijaitsevassa toimistorakennuksessa on lähinnä teoreettinen tarkastelu, mutta tämän laskennan tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon parempi energiamuodon kerroin vaikutti E-lukuun.

Kuten kuvasta 23 nähdään, kummassakin esimerkkikohteessa E-luvut laskivat oletustasi. Vaikutus ei kuitenkaan ollut kovin merkittävä, E-luku laski keskimäärin 4 kWh/m².

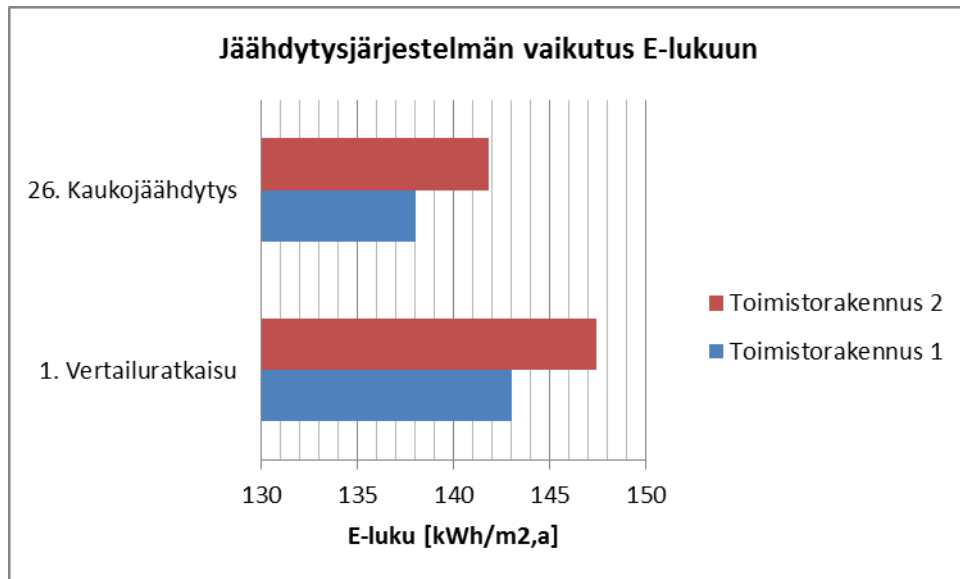


Kuva 23. Kaukolämmön ja pellettilämmityksen erot E-luvuissa.

9.2.6 Jäähdytysjärjestelmän vaikutus

Jäähdytysjärjestelminä olivat vertailuratkaisussa vedenjäähdytyslaitteisto, jolle haettiin vertailukohtaksi kaukojäähdytys. Kaukojäähdytyksen suurin etu energialaskennan kannalta on hyvä energiamuodon kerroin.

Vertailuratkaisun mukaisessa ratkaisussa jäähdytysenergia tuotettiin rakennukseen kuuluvalla vedenjäähdytyslaitteistolla. Tällainen laitteisto tarvitsee toimiakseen sähköä. Kuvasta 24 nähdään, että vaikka vedenjäähdytyskoneikon hyötysuhde laskelmissa oli 2,5, sen aiheuttama sähkönkulutus jäi niin suureksi, että kaukojäähdytyksellä päästiin parempaan E-lukuun. Kaukojäähdytysratkaisussa E-luku oli keskimäärin 5 kWh/m² parempi.



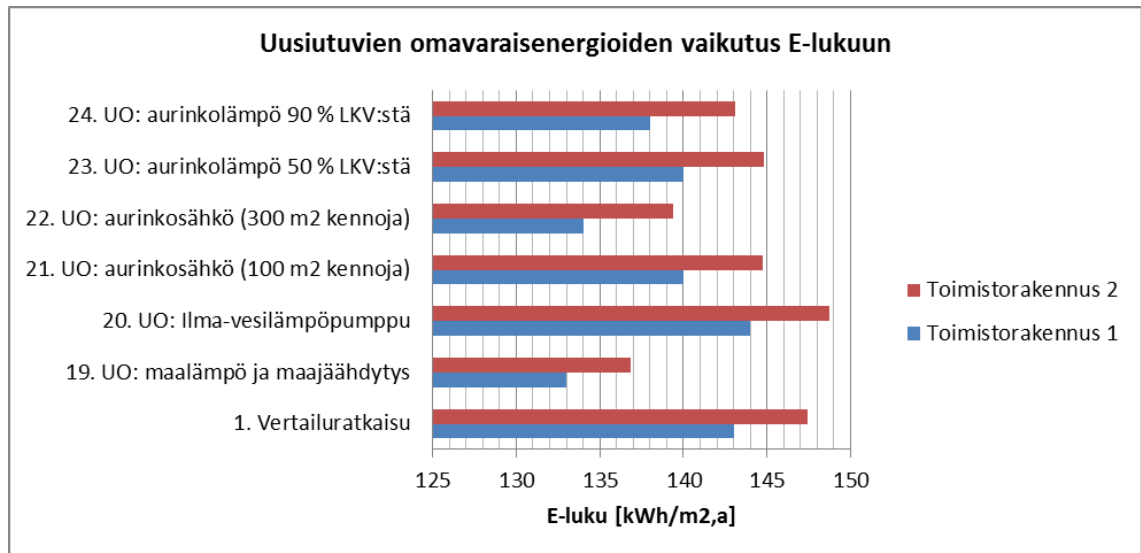
Kuva 24. Jäähdytysjärjestelmien energiatehokkuutta tutkittiin vertaamalla kiinteistössä sähköllä tuotettua jäähdytysenergia kaukojäähdytysjärjestelmään.

9.2.7 Uusiutuvien omavaraisenergioiden vaikutus

Uusiutuvilla omavaraisenergioilla pyritään pienentämään rakennuksen ostoenergiankulutusta. Energialaskennassa uusiutuvilla omavaraisenergioilla tuotettu energia vähennetään suoraan kulloinkin kyseessä olevasta ostoenergian kulutuksesta.

Laskennan tulokset olivat odotusten mukaiset. Kuten kuvasta 25 nähdään, maalämpöpumppuratkaisu paransi näistä E-lukua eniten molemmissa esimerkkikohteissa. Pudotusta oli keskimäärin 10 kWh/m² vertailuratkaisuun nähden. Syynä näin hyvään E-lukuun pääsemisessä oli maalämpöjärjestelmän tehokkuus lämmön tuotannossa sekä maaperän viileyden hyödyntäminen rakennuksen jäähdytyksessä. Hyödynnettäessä maaperän viileyttä eli niin kutsuttua vapaajäähdytystä, jäähdytysenergiaa saadaan suurella hyötysuhteella. Näiden asioiden yhteisvaikutuksena maalämpöratkaisusta kehkeytyi kummankin esimerkkikohteen osalta eniten E-lukua pienentävä yksittäinen ratkaisu.

Huonoin järjestelmä näiden laskelmien mukaan oli ilma-vesilämpöpumppu, joka huononsi E-lukua. Ilma-vesilämpöpumpun mitoitus tehtiin siten, että sillä katettiin 50 % tarvittavasta lämmitystehosta. Todettiin, että tällä mitoituksella saavutetaan 70 %:n osuus tarvittavasta lämmitysenergiasta. Ilma-vesilämpöpumpun lämpökerroin oli huonompi kuin maalämmöllä. Tästä syystä sähköä kului suhteellisen paljon, mikä oli syynä E-luvun huononemiseen.



Kuva 25. Uusiutuvien omavaraisenergioiden laskennalliset E-luvut.

Aurinkosähköjärjestelmällä E-lukua saatiin laskemaan melko paljon suhteessa siihen, minkälaisen määrän sähköenergiaa järjestelmällä pystyy tuottamaan, sillä sähkön energiamuodon kerroin 1,7 vaikuttaa selvästi E-luvun laskennassa. Tässä työssä tutkittiin kahden erikokoisen aurinkosähköjärjestelmän vaikutusta ja odotetusti parempaan E-lukuun päästiin suuremmalla järjestelmällä. Näissä laskelmissa aurinkojärjestelmien tuotto suhteessa sähköenergian tarpeeseen oli seuraavat:

Taulukko 14. Aurinkosähköjärjestelmien tuoton osuudet koko rakennuksen sähkön kulutuksesta.

Aurinkosähköjärjestelmä		
Järjestelmä	Tuotto suhteessa sähköenergian kulutukseen,	
	Toimistorakennus 1	Toimistorakennus 2
100 m ² aurinkosähkökennoja	3 %	2,5 %
300 m ² aurinkosähkökennoja	8 %	7,5 %

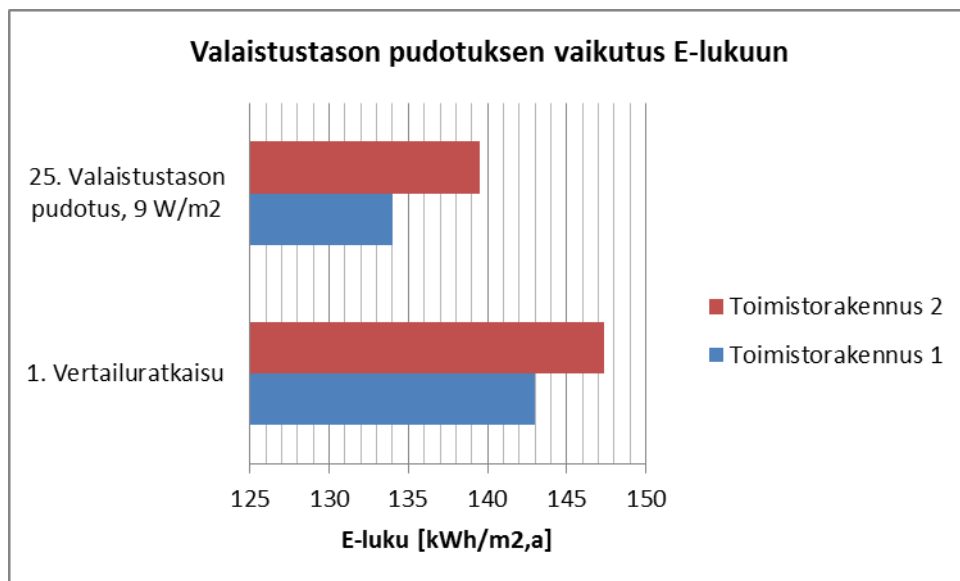
Taulukosta 14 nähdään, että koska toimistorakennuksessa 1 aurinkosähköjärjestelmät tuottivat suhteessa enemmän sähköä kuin toimistorakennuksessa 2, päästiin toimistorakennus 1:n osalta hieman parempiin E-lukuihin.

Aurinkolämpöjärjestelmällä ajateltiin tuotettavan lämpöenergiaa käyttöveden lämmityksen kattamiseen. Järjestelmät mitoitettiin siten, että toisessa vaihtoehdossa tuotettiin lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarpeesta 50 % ja toisessa vaihtoehdossa 90 % lämpimän käyttöveden tarpeesta. Näillä ratkaisuilla saatiin E-luku pieneneään keskimäärin 3,5 kWh/m².

9.2.8 Valaistussähkön kulutuksen vaikutus

Valaistuksen sähkön kulutuksen pienentämisen vaikutuksella E-lukuun oli odottamattoman suuri vaikutus. E-lukujen valossa tämä vaihtoehto nousi parhaimpien ratkaisujen joukkoon. Syynä näin suureen parantumiseen E-luvun osalta vaikuttaa sähköenergian energiamuodonkerroin.

Kuvasta 26 nähdään, että kun valaistustehoa pudotettiin RakMk D3:n standardikäytön arvosta 12 W/m^2 arvoon 9 W/m^2 , saatiin E-lukuun selvä muutos. On kuitenkin otettava huomioon, että mikäli halutaan käyttää alemmaa tehotasoa valaistuksessa, on siitä toimitettava erilliselvitys energiaselvityksen yhteydessä. On siis huolehdittava, että tiloissa säilyy määräysten mukainen valaistustaso. Varsinkin jos käytetään lisäksi aurinkosuojauksia tai muita varjostavia ratkaisuja, tulee tämä asia ottaa entistä tarkemmin huomioon.



Kuva 26. Valaistusjärjestelmän sähkön kulutuksen vähentymisen vaikutus E-lukuun.

9.3 Energiatohokkuusluokat ja yhdistelmäratkaisut

Oletusten ja yksittäisten suunnitteluratkaisujen tulosten mukaisesti energiatodistusasetuksen (176/2013) mukaisten energiatohokkuusluokkien A ja B saavuttamiseen vaadittiin useiden suunnitteluratkaisujen yhdistelmiä. Suunnitteluratkaisujen valinnan perus-

teena käytettiin karkeaa arviota kustannusvaikutuksista sekä suunnitteluratkaisujen yhteensopivuutta.

Taulukosta 15 nähdään, että energiatehokkuusluokkaan B päästiin kahdella ratkaisulla, joita lähdettiin rakentamaan lämmitys- ja jäähdytysenergian tuotantomuodon valinnan pohjalta.

Vaihtoehdossa B/1 lämmitys- jäähdytysenergian tuotanto toteutettiin kaukolämmöllä ja kaukojäähdytyksellä. Taulukossa on lueteltuna, millä ratkaisulla edettiin kohti parempaa E-lukua. Lämmitys- ja jäähdytysenergian nettotarvetta pyrittiin pienentämään vähentämällä ikkunoiden pinta-alaa, parantamalla rakennuksen ulkovaipan tiiveyttä, valitsemalla poistoilman lämmön talteenottojärjestelmäksi tämän tutkimuksen tehokkain vaihtoehto sekä lisäämällä ikkunoiden ulompaan väliin sälekaihtimet. Sähkön kulutuksen pienentäminen on tärkeää kokonaisenergian kulutuksen pienentämiseksi, joten sen osuuden pienentämiseksi kiinnitettiin huomiota puhallin- ja valaistussähkön kulutukseen. Näiden asioiden yhteisvaikutuksena rakennuksen laskennallinen kokonaisenergian kulutus laski molemmissa esimerkkikohteissa alle 120 kWh/m², mikä tarkoittaa energiatehokkuusluokkaa asteikolla luokkaa B.

Vaihtoehdossa B/2 lähdettiin liikkeelle ajatuksesta, että kaukolämpöä ja kaukojäähdytystä ei ole saatavilla. Tällöin tarvittava lämpö- ja jäähdytysenergia on tuotettava muulla keinolla ja päädyimme suunnitteluratkaisuun, jossa rakennuksen lämpö- ja jäähdytysenergia tuotetaan maalämpöpumppujärjestelmällä. Energiatehokkuusluokan B saavuttaminen tältä pohjalta onnistui toimistorakennus 1:n osalta vähentämällä ikkunoiden pinta-alaa sekä vähentämällä valaistuksen sähkön kulutusta. Toimistorakennus 2:n osalta jouduttiin tekemään enemmän paremman energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Toimistorakennuksessa 2 suuremman energiantarpeen takia jouduttiin energiantarpeita vähentämään käyttämällä rakennuksen ulkovaipan parempaa tiiveyttä, ikkunoissa sälekaihtimia sekä parantamalla ilmanvaihdon SFP-lukua.

Taulukko 15. Energiatohokkuusluokkiin A ja B vaaditut suunnitteluratkaisut ja saavutetut E-luvut.

Yhdistelmä ratkaisu	Energialaskennan toteutus Talo 1	Energialaskennan toteutus Talo 2	Talo 1 E-luku, kWh/m ²	Talo 2 E-luku, kWh/m ²
31. Luokka B/1	<ul style="list-style-type: none"> - Kaukolämpö ja kaukojäähdytys - Ikkuna-alan pienennys 20 % - Valaistustason pudotus: 9 W/m² - Ilmavuotoluku q₅₀=2 - Poistoilman LTO: hygroskooppinen roottori - Tavalliset ikkunat ja sälekaihtimet: uloin väli 70 % peittoala - SFP-luku 1,7 	<ul style="list-style-type: none"> - Kaukolämpö ja kaukojäähdytys - Ikkuna-alan pienennys 20 % - Valaistustason pudotus: 7 W/m² - Ilmavuotoluku q₅₀=2 - Poistoilman LTO: hygroskooppinen roottori - Tavalliset ikkunat ja sälekaihtimet: uloin väli 70 % peittoala - SFP-luku 1,7 	120	120
32. Luokka B/2	<ul style="list-style-type: none"> - Maalämpö ja maajäähdytys (Täysenergiamitoitus jäähdytystarpeelle: 60 % ilmaista ja 40 % lämpöpumpulla) - Ikkuna-alan pienennys 20 % - Valaistustason pudotus: 9 W/m² 	<ul style="list-style-type: none"> - Maalämpö ja maajäähdytys (Täysenergiamitoitus jäähdytystarpeelle: 60 % ilmaista ja 40 % lämpöpumpulla) - Ikkuna-alan pienennys 20 % - Ilmavuotoluku q₅₀=2 - Valaistustason pudotus: 9 W/m² - Tavalliset ikkunat ja sälekaihtimet: uloin väli 70 % peittoala - SFP-luku 1,7 	120	118
33. Luokka A/1	<ul style="list-style-type: none"> - Ikkuna-alan pienennys 20 % - Valaistustason pudotus: 7 W/m² - Ilmavuotoluku q₅₀=1 - Poistoilman LTO: hygroskooppinen roottori - Paremmat ikkunat + rakenteellinen aurinkosuojaus (ESW) - Passiivitalon rakenteet - SFP-luku 1,5 - Maalämpö ja maajäähdytys (energiat: L 90/10 ja J 60/40) maalämpöpumpun SPF-luku 4 (L&J) - Aurinkosähkö 600 m² - Kesällä tuloilman lämpötila 17>19 °C - Huippulämmön (10 %) tuotto pellettikattilalla yms. uusiutuva polttoaine 	<ul style="list-style-type: none"> - Ikkuna-alan pienennys 20 % - Valaistustason pudotus: 7 W/m² - Ilmavuotoluku q₅₀=1 - Poistoilman LTO: hygroskooppinen roottori - Paremmat ikkunat + rakenteellinen aurinkosuojaus - Passiivitalon rakenteet - SFP-luku 1,5 - Maalämpö ja maajäähdytys (energiat: L 90/10 ja J 60/40) maalämpöpumpun SPF-luku 4 (L&J) - Aurinkosähkö 700 m² - Kesällä tuloilman lämpötila 17>19 °C - Huippulämmön (10 %) tuotto pellettikattilalla yms. uusiutuva polttoaine 	80	80

Kuten taulukosta 15 nähdään, energiatohokkuusluokan A eteen jouduttiin käytännössä valitsemaan lähes kaikki tässä työssä tutkitut suunnitteluratkaisut ja osaa ratkaisuista täytyi parantaa entisestään. Tästä hyvänä esimerkkinä on aurinkosähkön käyttäminen sähköenergian tuotannossa, jonka kokoluokka paneelien määränä katsottuna lähentelee järjettömyyttä. A-luokkaan pääsemiseksi vaaditut ratkaisut on esitelty taulukossa 15 esimerkkikohteittain. Tuloksista nähdään, että vaikka suunnitteluratkaisuja on pitkä lista, energiatohokkuusluokkaan A päästiin rimaa hipoen.

10 Yhteenveto

10.1 Tutkimuskysymyksen vastaukset

Ensimmäinen tutkimuskysymys kuului seuraavasti:

Millä suunnitteluratkaisuilla uudessa toimistorakennuksessa päästään energiatehokkuusluokkiin A–C ja mikä on näiden suunnitteluratkaisujen tärkeysjärjestys?

Voimassa olevan rakentamismääräyskokoelman osan D3 vaatimuksen mukaisesti uuden toimistorakennuksen E-luku saa olla enintään 170 kWh/m² ja tämä on rakennusluvan saamisen ehtona. Tämä rakennusluvan edellytyksenä oleva E-lukuraja tarkoittaa energiatodistuksen energiatehokkuusluokkaa C. Tässä insinööriyössä olleiden esimerkkikohteiden E-luvut täyttivät tämän vaatimuksen kaikilla tutkituilla suunnitteluratkaisuilla, joten C-luokan saavuttamiseksi vaaditaan tämän hetkisen rakentamisen perustaso, kuitenkin niin että ilmanvaihdon lämmön talteenotto on järjestetty perustasoa paremmin.

Kun perustasosta halutaan lähteä parantamaan rakennuksen energiatehokkuutta, siihen ei riitä perustasoon lisätty yksittäinen, energiatehokkuutta parantava suunnitteluratkaisu, vaan tarvitaan usean ratkaisun yhdistelmä. Erityisesti A-luokkaan pyrittäessä joudutaan ottamaan lähes kaikki keinot käyttöön. Energiatehokkuutta parantavien ratkaisujen tärkeysjärjestystä voidaan arvioida esimerkiksi kustannuksien ja järjestelmien yhteensopivuuden avulla. Tässä insinööriyössä esitetyissä suunnitteluratkaisuissa, joilla saavutettiin A- ja B-energiatehokkuusluokka, ratkaisut järjestettiin kustannusvaikutuksien mukaan. Tästä lähtökohdasta ratkaisuja lähdettiin yhdistämään ottaen huomioon ratkaisujen yhteensopivuus.

Suunnitteluratkaisujen suuntaa antavana tärkeysjärjestyksenä energiatehokkuutta parannettaessa voidaan pitää seuraavaa:

- Energian nettotarpeiden minimointi ensisijaisesti passiivisin keinoin. Tämä tarkoittaa, että eri suunnittelualojen yhteistyön kautta saadaan optimoitua rakennuksen lämmitys-, jäähdytys- sekä sähköenergian nettotarpeet.
- Rakennuksessa tarvittava energia tuotetaan ja jaetaan mahdollisimman tehokkaasti. Tämä tarkoittaa huomion kiinnittämistä seuraaviin asioihin:

- Valitaan rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiksi hyötysuhteitaan mahdollisimman tehokkaat järjestelmät.
 - Lämmönjaon häviöt minimoidaan huolellisella putkiston lämmöneristyksellä sekä mahdollisuuksien mukaan valitsemalla mahdollisimman alhaiset verkostolämpötilat. Vastaavasti jäähdytysenergian jaon häviöt minimoidaan eristyksillä ja mahdollisimman korkeilla verkoston lämpötiloilla.
 - Kiinnitetään huomiota eri LVI-tekniesten verkostojen verkoston mitoittamiseen. Parhaimmillaan näin saavutetaan energian säästöä pumppauksen ja verkoston säädön osalta.
- Rakennuksen energian tuotannon tueksi lisätään mahdollisuuksien mukaan mahdollisimman paljon uusiutuvia omavaraisenergian lähteitä.

Rakennuksen energiatehokkuuden tutkiminen vaatii aina tuekseen dynaamisella laskentaohjelmalla tehdyn energiasimuloinnin, ja jokaista rakennusta on tarkasteltava erikseen. Tällä tavalla voidaan räätälöidä jokaisen rakennuksen tarvitsemat ratkaisut mahdollisimman optimaalisesti.

Näiden suunnitteluratkaisujen tärkeysjärjestyksen laatimisen perusteena ovat tämän työn tiimoilta selvinneet suunnitteluratkaisujen vaikutukset E-lukuun sekä kustannuksiin.

Toinen tutkimuskysymys oli:

Millä tavalla energiatehokkuusluokkiin pyrkiminen tulee ottaa huomioon rakennushankkeen eri vaiheissa?

Pyrittäessä perustasoa parempiin energiatehokkuusluokkiin, esimerkiksi luokkiin A tai B, tulee tavoite asettaa jo hankkeen alkumetreillä. Näin pystytään kaikista tehokkaimmin vaikuttamaan passiivisin keinoin rakennuksen energiankulutukseen. Tämä edellyttää myös sitä, että tilaaja- ja rakennuttajaosapuolet ovat tietoisia asiasta ja ottavat asian huomioon. Jos tämä edellytys on kunnossa, voidaan energiatehokkuuteen pyrkiminen saada parhaimmillaan vastavuoroiseksi prosessiksi, joka tuo hyötyä kaikille.

Mitä pidemmälle rakennushanke etenee ilman energiatehokkuustavoitteita, sitä vaikeampaa on parempien energiatehokkuustavoitteiden asettaminen hankkeessa. Parhaimmillaan energiatehokkuustavoitteiden laiminlyönti saattaa johtaa esimerkiksi sellaiseen tilanteeseen, että paremman energiatehokkuusluokan saamista varten joudutaan

tekemään yllättäviä ja suuria investointeja kun kaikki passiiviset keinot on jätetty käyttämättä.

Yhtenä apukeinona energiatehokkuuden saavutteluun rakennushankkeessa voidaan esimerkiksi ottaa uudet rakentamisen tehtäväluettelot, joissa on lueteltu myös eritasoiset ja hankkeen eri vaiheissa toteutettavat energialaskennat.

Kun rakennuksessa tavoitellaan energiatehokkuutta, tämä tulisi ottaa huomioon nykyaikaisessa rakennushankkeessa, kuten kaikki muutkin suunnitteluaspektit. Samalla kun rakennuksesta tehdään rakennus-, palo-, ääni-, ja kosteusteknisesti toimiva kokonaisuus, tulisi siitä tehdä myös energiateknisesti toimiva. Energiatekniseltä kannalta käytännön toteuttamiseen on dynaaminen laskenta tällä hetkellä paras mahdollinen vaihtoehto. Myös eri suunnittelualojen yhteistyö korostuu entisestään ja vaatii järkevää yhteensovittamista.

10.2 Muut johtopäätökset

Sähköenergian osuus korostuu rakennuksen kokonaisenergian kulutuksessa

Selvitettäessä keinoja, joilla rakennuksen energiatehokkuusluokkaa saadaan paremmaksi, huomattiin sähköenergian kulutuksen pienentämisellä olevan merkittävä vaikutus rakennuksen kokonaisenergian kulutukseen. Rakennuksessa kulutettu sähköenergia korostuu rakennuksen laskennallisessa kokonaisenergian kulutuksessa eli E-luvussa, koska sähkön energiamuodon kerroin on 1,7. Sähkön energiamuodon kerroin on energiamääräyksissä asetetuista kertoimista suurin.

Järkeviä ratkaisuja sähköenergian kulutuksen pienentämiseksi ei lähtökohtaisesti ole niin paljon tarjolla kuin esimerkiksi lämmitys- ja jäähdytysenergian pienentämiseksi. Sähkön kulutusta voidaan E-luvun laskennassa pienentää lähinnä ilmanvaihdon puhallinsähkön kulutuksesta, valaistussähkön kulutuksesta sekä järjestelmien apulaitteiden sähkön kulutuksesta.

Ilmanvaihdon puhallinsähkön pienentäminen on hyvä keino pienentää sähkön kulutusta tiettyyn rajaan saakka. Kun raja ylitetään, alkaa ratkaisun kustannusvaikutus olla tuntuva. Lisäkustannuksia aiheutuu kasvaneesta tilantarpeesta ja ilmanvaihtokoneista.

Valaistuksen sähkön kulutuksen vähentämisen mahdollisuudet tämän insinööriyön tuloksien perusteella tulee tutkia tarkkaan. Käytettäessä hieman pienempää valaistuskormaa energialaskennassa, esimerkkikohteiden E-luvut laskivat roimasti. Valaistuksen sähkön kulutuksen pienentäminen kohtuuden rajoissa on hyvä keino parantaa energiatehokkuutta, koska sen kustannusvaikutukset suhteessa saavutettavaan hyötyyn ovat melko pienet. Valaistuksen riittävä voimakkuus on kuitenkin taattava esimerkiksi päivänvaloa hyödyntämällä.

Apulaitteiden sähkön kulutukseen usein ei kiinnitetä suurta huomiota energialaskennassa, vaan apulaitteiden kuluttama sähköenergia lasketaan RakMK D5:n antamilla ohjearvoilla. Mahdollista olisi käyttää pienempiä arvoja, jos niiden toteutuminen voidaan osoittaa. Tämä tietysti aiheuttaa melko paljon lisätyötä ja tämän työn tuloksien perusteella ei osata sanoa, onko tuon työmäärän tuomalla edulla minkäänlaista vaikutusta rakennuksen E-lukuun.

Kannattaako energiatehokkuusluokkaan A pyrkiminen tämän hetken määräyksien asettamassa tilanteessa?

Koska Suomessa rakentamismääräykset ja lait ovat päivittymässä kohti vuoden 2020 nollaenergiatasoa, kannattaisi tilaajan tarkastella, onko kannattavaa pyrkiä hinnalla millä hyvänsä energiatehokkuusluokkaan A juuri nyt. Tulevaisuudessa määräykset tulevat sisältämään mahdollisesti myös syöttötariffit ja siten myös E-lukua laskiessa rakennuksen ulkopuolelle syötettävä energia vähentäisi laskennassa ostoenergiaa vuositasolla.

Ideana on, että nyt rakennettaisiin talo, joka olisi energiatehokkuusluokassa B, mutta jossa olisi mahdollisuus lisätä omavaraisen energian tuotantoa tulevaisuudessa ja tällä tavalla pienentää E-lukua tämänhetkisiin laskentasääntöihin verrattuna. Tällaisessa ratkaisussa voisi olla mahdollista päästä siis energiatehokkuusluokkaan A, kun energian syöttö tulisi mukaan E-luvun laskentaan. Lisäksi uusiutuvan omavaraisenergian tuotannon on oletettu tulevan halvemmaksi, kun tekniikka kehittyy ja yleistyy.

Toisaalta ei ole varmaa, tuleeko energian syöttö mahdolliseksi ja jos tulee, niin milloin. Lisäksi on mahdollista, että energiatehokkuusluokkien rajat muuttuvat tiukemmiksi, mikäli E-luvun laskentamenetelmässä otetaan huomioon myös energian syöttö.

10.3 Mahdolliset jatkotutkimuksen aiheet

Tämän insinööriyön tiimoilta tutkimusta voisi jatkaa selvittämällä tarkemmin eri suunnitteluratkaisujen elinkaarikustannuksia. Tällaisen tutkimuksen lopputuloksena voisi olla kuvaaja tai lista, jossa on suunnitteluratkaisut järjestettynä kustannuksien mukaan. Yhdistämällä kustannuslistan tässä työssä esitellyn yksittäisten ratkaisujen E-luvutlistan kanssa saataisiin tietoa, joka helpottaisi rakennuksien tilaajien kanssa käytävää keskustelua rakennuksen energiatehokkuudelle asetettavista tavoitteista. Kustannusvaikutuksia voitaisiin mahdollisesti arvioida myös tässäkin insinööriyössä nopeasti hyödynnetyllä kyselytutkimuksella, joka suunnattaisiin kustannuksiin perehtyneille asiantuntijoille.

Tehdessä tämän insinööriyön energiasimulointeja heräsi ajatus, että voisiko energialaskelmia tehdä muilla ohjelmilla. Simulointeja tehdessä todettiin käytetyssä ohjelmassa olevan joitain puutteita. 17.5.2013 julkaistussa rakentamismääräyskokoelman osassa D5 ohjataan, että kokonaisenergian kulutusta laskettaessa vähintään lämmitys- ja jäähdytysenergian nettotarpeet on laskettava dynaamiseen laskentaan pystyvällä energialaskentaohjelmalla. Tämän jatkotutkimuksen aiheena voisi olla selvittää, onko mahdollista tehdä E-luku-laskelmia D5:n neuvomalla tavalla. Samalla voisi selvittää, mitkä kaikki laskentaohjelmat ovat RakMK D3 2012:n mukaan kelpoisia E-luvun laskennassa.

Jatkotutkimusta voitaisiin toteuttaa myös laskentaperusteiden osalta. Varsinkin uusiutuvien energioiden tuotantojärjestelmien laskentaperusteiden metsästäminen oli yksi insinööriyön haasteellisimmista tehtävistä. Tähän liittyen voitaisiin tutkia eri järjestelmille asetettujen lähtötietojen luotettavuutta ja todenmukaisuutta verrattaessa jo toteutuneisiin järjestelmiin.

Lähteet

1. Valtioneuvoston periaatepäätös energiatehokkuustoimenpiteistä. 2010. Verkkodokumentti. Valtioneuvosto. <<http://valtioneuvosto.fi/toiminta/periaatepaatokset/periaatepaatos/fi.jsp?oid=287171>>. Luettu 30.5.2013.
2. Laki rakennuksen energiatodistuksesta. 50/18.1.2013.
3. Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
4. The EU climate and energy package. 2012. Verkkodokumentti. Euroopan komissio. <http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm> Luettu 30.5.2013.
5. Direktiivi 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta. 2010. Verkkodokumentti. Euroopan parlamentti ja euroopan unionin neuvosto. <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32010L0031:EN:NOT>>. Luettu 30.5.2013.
6. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2012. RIL 259-2012 Matalaenergiarakentaminen toimitilat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
7. Kurnitski, Jarek. 2012. Nollaenergiarakentamisesta kehityksen veturi. Verkkodokumentti. <http://www.sitra.fi/sites/default/files/u489/jarekkurnitski_2012-6-7.pdf>. Luettu 30.5.2013.
8. Maankäyttö- ja rakennuslaki. 132/5.2.1999.
9. Kurnitski, Jarek. 2012. Energiämääräykset 2012. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

10. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
11. Rakennuksen energiatehokkuuden osoittaminen rakennuslupaa haettaessa. 2012. Verkkodokumentti. Rakennusvalvonta Helsinki-Espoo-Vantaa-Kauniainen, Yhtenäiset käytännöt. <http://www.pksrava.fi/asp2/tulkintoja_print.aspx?s=32>. Luettu 30.5.2013.
12. Asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 4/27.2.2013.
13. Säteri, Helena. 2012. Rakennusten energiavaatimusten RoadMap - moottoritie kohti 2020. Verkkodokumentti. <http://www.sitra.fi/haku?search=helena+s%C3%A4teri&type=slideshare_item> Luettu 31.5.2013.
14. Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010. Verkkodokumentti. ERA17-toimintaohjelma. <<http://era17.fi/tausta/>>. Luettu 31.5.2013.
15. Rakennustietosäätiö. 1989. LVI-kortti LVI 03-10125: Talonrakennushankkeen kulku. Helsinki: Rakennustieto Oy.
16. Rakennustietosäätiö. 2012. LVI-kortti LVI 03-10497: Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 10. Energia-analyysit. Helsinki: Rakennustieto Oy.
17. Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE 12, työversio. 2012. Verkkodokumentti. Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry. <<http://www.rakli.fi/attachements/2012-05-30T13-12-1966.pdf>>. Luettu 31.5.2013.
18. Hanketietokortti suunnittelutehtävän laajuuden määrittämiseksi, Lausuntoversio. 2011. Verkkodokumentti. Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry. <<http://www.rakli.fi/attachements/2011-10-17T13-31-0366.pdf>>. Luettu 31.5.2013.

19. Kurnitski, Jarek. 2011. EU:n päästö- ja energiaohjauksen tiekartta nollaenergiarakentamiseen. Verkkodokumentti.
<http://www.sitra.fi/haku?search=jarek+kurnitski&type=slideshare_item>. Luettu 31.5.2013.
20. Rakennusten energiatehokkuus. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
21. Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat. 2002. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa A2. Helsinki: ympäristöministeriö.
22. Bröckl, Marika;Pesola, Aki ja Vanhanen, Juha. 2011. Primäärienergia ja kaukolämmön kilpailukyky (Loppuraportti). Verkkodokumentti.
<<http://energia.fi/julkaisut/primaarienergia-ja-kaukolammon-kilpailukyky-gaia-consulting-oy-loppuraportti>>. Luettu 31.5.2013.
23. Keto, Matias. 2010. Energiamuodon kerroin. Verkkodokumentti.
<<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=123453&lan=fi%E2%80%8E>>. Luettu 31.5.2013.
24. Asetus rakennuksen energiatodistuksesta 176/27.2.2013.
25. Energiatodistusopas. 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö.
26. Sormunen, Pii. 2012. Luentomateriaalit. Metropolia ammattikorkeakoulu.
27. Laki rakennuksen energiatodistuksesta 22.1.2013: Usein kysytyjä kysymyksiä & vastauksia. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.
<<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=142229&lan=fi>>. Luettu 3.6.2013.
28. Johansson, Leena. 2013. Uusi energiatodistus epäilyttää välittäjiä. Verkkodokumentti. <<http://www.ess.fi/?article=408920>>. Luettu 3.6.2013.
29. Tällainen on uusi energiatodistus: laskee sähkölämmitteisen talon energiankulutuksen 240 % todellista suuremmaksi. 2013. Verkkodokumentti.

Talouselämä.

<<http://www.talouselama.fi/uutiset/tallinen+on+uusi+energiatodistus+laskee+sahkolammitteisen+talon+energiankulutuksen+240++todellista+suuremmaksi/a2168108>>. Luettu 3.6.2013.

30. Uusi energiatodistus myös pientaloille. 2013. Verkkodokumentti. Sähköviesti, Kuopion energian verkkolehti. <<http://www.sahkoviesti.fi/energiatehokkuus/uusi-energiatodistus-myo-s-pientaloille.html>>. Luettu 3.6.2013.
31. Beck, W. (toim.);ym. 2011. Aurinkosuojaus, Rehva ohjekirja no. 12. Forssa: Suomen LVI-liitto ry.
32. Rakennustietosäätiö. 2010. LVI-kortti: LVI 02-40078: Energiatehokkuus rakentamisessa. Helsinki: Rakennustieto Oy.
33. Rakennustietosäätiö. 2010. LVI-kortti: LVI 38-10454. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. Helsinki: Rakennustieto Oy.
34. Ilmankäsittelykone eQ. Maksimaalista energiatehokkuutta Semco-roottorin avulla. Verkkodokumentti. Fläktwoods Oy. <www.flaktwoods.fi/54aeac3f-720e-42c6-b6f4-f6b0b3acad10>. Luettu 1.6.2013.
35. Rakennustietosäätiö Oy. 2012. LVI-kortti: LVI 38-10515: Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta. Helsinki: Rakennustieto Oy.
36. Dolmans, Dick. Synergia auringonsuojauksen ja LVI-tekniikan kesken. Verkkodokumentti. <www.aurinkosuojaus.fi/uploads/artikkelit/Artikkeli4.pdf> Luettu 1.6.2013.
37. Sähkölämmitys. Verkkodokumentti. Energiateollisuus. <<http://www.energia.fi/koti-ja-lammitys/sahkolammitys>>. Luettu 1.6.2013.
38. Pientalon lämmitysjärjestelmät. Verkkodokumentti. Motiva. <http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu 1.6.2013.

39. Pelletin tuotanto. Verkkodokumentti. Bioenergia ry.
<<http://www.pellettienergia.fi/Pelletin%20tuotanto>>. Luettu 1.6.2013.
40. Lämmitysjärjestelmien laskentaopas 2012. 2011. Verkkodokumentti.
Ympäristöministeriö.
<<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=135656&lan=FI>>. Luettu 1.6.2013.
41. Tutustu kaukojäähdytykseen. 2010. Verkkodokumentti. Helsingin energia.
<http://www.helen.fi/kaukojaahdytys/kj_tietoa.html>. Luettu 1.6.2013.
42. Raportti J1/2004, Kaukojäähdytys. 2004. Verkkodokumentti. Energiategollisuus ry. <<http://www.energia.fi/julkaisut/raportti-j12004-kaukojaahdytys-pdf>>. Luettu 1.6.2013.
43. Kauppila, Kari. 2013. Suuret lämpöpumput ja maalämpöjärjestelmä.
Luentomateriaalit. Aalto yliopisto.
44. Hakala, Pertti ja Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Tampere: Opetushallitus.
45. Ilma-vesilämpöpumppu. 2013. Verkkodokumentti. Motiva.
<www.motiva.fi/rakentaminen/...valinta/eri.../ilma-vesilampopumppu>. Luettu 2.6.2013.
46. Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto ry.
47. Aurinko-opas 2012. 2011. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.
<<http://www.ymparisto.fi/download.asp?continted=135654&lan=FI>>. Luettu 1.6.2013.
48. Juntunen, Mikko. 2013. 31 vuotta aurinkosähköjärjestelmiä Suomessa.
Esitelmä. Naps-systems Oy.

49. Sähköhuolto. Uusiutuvat energialähteet. Verkkodokumentti. Ekoenergo Oy.
<<http://www.energianet.fi/index.php?page=sahkohoolto&osa=2>>. Luettu
1.6.2013.
50. Wallén, Miia. 2012. Tuulivoiman edistäminen. Esitelmä. Energiateollisuus ry.
<http://www.motiva.fi/files/5910/14.6.2012_toimittajatilaisuus_esitykset.pdf>.
Luettu 30.5.2013
51. Riuska -ohjelmistoesittelysivu. Verkkodokumentti. Granlund Oy.
<<http://www.granlund.fi/ohjelmistot/riuska/> >Luettu 3.6.2013.
52. MagiCAD Comfort&Energy software help: RIUSKA. Help-asiakirja.
53. Martikainen, Hannu. 2013. Projektipäällikö, Projectus Team Oy.
Asiantuntijahaastattelu 24.5.2013.

Energiatodistuksen E-luvun laskennan lähtötiedot			
Energiatodistusetus (2013) liitteen 1 mukaan			
Kokonaisuus	Tarvittava tieto	Lähtötieto ja/tai lisätieto	
		Uudisrakennus	Olemassa oleva rakennus
Yleiset laskentasäännöt	Käyttötarkoituksiluokka	D3 (2012)	
	Energiamuotojen kertoimet	Valtioneuvoston asetus 9/2013	
Käyttötarkoituksiluokkien mukaiset vakioidut lähtöarvot	Sisäilmasto-olosuhteet (IV:n ilmamäärät ja sisälämpötilat)	D3 (2012)	
	Rakennuksen standardikäyttö ja sisäiset lämpökuumat	D3 (2012)	
	Lämpimän käyttöveden kulutus	D3 (2012)	
Rakenteet	Lämmitetty nettoala	Suunnitelmat tai energiaselvitys	Ajantasaiset asiakirjat tai 90% bruttoalasta
	Rakennusvaipan pinta-ala	Kokonaissisämittojen mukaan	
	Rakenteiden U-arvot	Suunnitelmat	Ajantasaiset asiakirjat tai liitteen 1 taulukko 1
	Ikkunoiden g-arvo (kohtisuora)	Tuotetiedot tai 0,6 tai D5 (2012) mukaan (jolloin $F_{2,paiv}$ =0,5)	
	Kylmäsiltojen vaikutus	Asiakirjat tai D5 (2012) kohta 3	Ajantasaiset asiakirjat, D5 (2012) kohta 3 tai +10% ulkovaipan johtumislämpöhäviöön
Sisäpuolinen tehollinen kapasiteetti	D5 (2012) taulukko 5.6 mukaan ellei tarkempaa tietoa		
Ilmanvaihto	Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde	Suunnitelmat	Ajantasaiset asiakirjat, tarkastus, YM moniste 122 tai liitteen 1 taulukko 2
	Ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho SFP (Specific Fan Power)	Suunnitelmat	Ajantasaiset asiakirjat tai liitteen 1 taulukko 3
	Ilmanvaihdon tarpeenmukaisuus	Voidaan huomioida D3 (2012) mukaan (Suunnitteluilmavirrat standardoituilla käyttäjäjoilla)	
Ilmanvuotoluku	Vaipan ilmanvuotoluku q_{50}	Energiaselvityksen suunnitteluarvo	Mittaus, suunnitelmat, ajantasaiset asiakirjat tai liitteen 1 taulukko 4
Lämmin käyttövesi	Lämpimän käyttöveden nettoenergiatarve	D3 (2012)	
	Jakelun hyötysuhde	Erillisselvitys tai liitteen taulukko 5 (huom: jos eristystasoa ei selvitetty käytetään eristämättömän putken arvoa)	
	Kiertojohtojen lämpöhäviön ominaisteho	Erillisselvitys tai liitteen taulukko 6	
	Kiertojohtojen pituus	Asiakirjat tai liitteen 1 taulukko 7	
	Kierroksen pumppauksen sähköenergian kulutus	Esim. D5 (2012) kohta 6.3.4	
Varaajan häviö	Tarkastus tai liitteen 1 taulukko 8		
Lämmitysjärjestelmän jakelu ja luovutus	Lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhde	Tarkastus tai liitteen 1 taulukko 9 (huom: keuhkottava 0,9:llä mikäli laitekohtaiset säätölaitteet pääosin käsikäyttöisiä)	
	Lämmönjaon ja -luovutuksen apulaitteiden sähkönkäyttö	Tarkastus tai liitteen 1 taulukko 9	
Ilmanvaihdon lämmitys	Ilmanvaihtokoneen lämmityspattereiden hyötysuhde	1	
Lämmöntuottojärjestelmä	Lämmöntuottojärjestelmien vuosihyötysuhteet	Tarkastus tai liitteen 1 taulukot 10 ja 11	
	Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus	Tarkastus tai liitteen 1 taulukot 10 ja 11	
	Lämpöpumpun SPF (Seasonal Performance Factor)	Tarkastus, tuotetiedot tai liitteen 1 taulukot 12,13 ja 14	
Jäähdytysjärjestelmä	Jäähdytysenergian nettotarve	Dynaaminen laskenta	Dynaaminen tai kuukausitason laskenta liitteen 1 kohta 3
	Jäähdytysenergian tuoton, varastoinnin, jakelun ja luovutuksen hyötysuhteet	Esim. D5 (2012)	
Sähköjärjestelmä	Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus	D3 (2012) kohdat 3.3 ja 4.7, huomioidaan suoraan lämpökuormana	
	Tarpeenmukainen valaistus tai standardoituja pienemmät valaistustehot	Voidaan huomioida D3 (2012) mukaan (kohta 3.3.3 ja 3.3.4)	
Eriyistäpaukset	Varaavan tulisijan lämmitysenergian tuotto	Enintään 2000 kWh/tulisija. Kokonaishyötysuhde ostoon energiaa laskettaessa 0,6 tai jos CE-merkinässä palamishyötysuhde: liitteen 1 kohdan 2.3.1 kaavan mukaan	
	Pien-, rivi- tai keuhkotalon ilmalämpöpumpun tuottama lämmitysenergia	Enintään liitteen 1 taulukon 15 mukaiset arvot (huoneistokohtaisia)	
	Ei-sähkölämmitteiden asuinrakennusten märkätilojen sähköinen lattialämmitys	Ilman erillisselvitystä 50% lämmitysenergian nettotarpeesta märkätilojen lattialämmitykselle ja 50% muulle lämmitysjärjestelmälle	

Laskennan lähtötiedot, toimistorakennus 1

Suunnitteluratkaisu	Ratkaisu 1	Ratkaisu 2	Ratkaisu 3	Ratkaisu 4	Ratkaisu 5	Ratkaisu 6	Ratkaisu 7	Ratkaisu 8	Ratkaisu 9
Suunnitteluratkaisun kuvaus	Vertailuratkaisu	Rakennuksen suuntaus	Rakennuksen tiiveys, q50=3m3/s,m2	Rakennuksen tiiveys, q50=2m3/s,m2	Rakennuksen tiiveys, q50=1m3/s,m2	Paremmat ikkunat (parempi U-arvo ja g-arvo, puitteet ja upotus)	Tavanomaiset ikkunat aurinkosuojauksella, säleät ikkunan välissä	Paremmat ikkunat aurinkosuojauksella, säleät ikkunan välissä	Tavanomaiset ikkunat aurinkosuojauksella, rakenteellinen aurinkosuojaus
Mitoituspäivä	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.
Rakennuksen suuntaus (Arkkitehtipohjan kiertokulma myötäpäivään)	1 aste	270 astetta	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste
Rakenteiden U-arvot, [W/m2K]	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Ulkoseinä	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Alapohja	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Yläpohja	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Ovet	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ikkunat, U-arvo	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,45	1,0	0,45	1,0
Ikkunat, g-arvo (auringon lämpösäteilyn kokonaisläpäisy)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,315	0,5	0,315	0,5
Puitteen tyyppi ja leveys, mm	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	Alumiini, 50	ei puitetta	Alumiini, 50	ei puitetta
Ikkunan upotus, mm	0	0	0	0	0	100 (leikkauskuvasta)	0	100 (leikkauskuvasta)	0
Aurinkosuojausratkaisut							Sälekkaihtimet, ulompi väli,	Sälekkaihtimet, ulompi väli,	Lipat 500mm ikkunoiden ylä/oikea/vasen reuna,
Seinien raot täytetty (Riуска)	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	peittoala 70 %	peittoala 70 %	kuulma 90°
Ilmavuotoluku q50 [m3/h/m2]	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kylmäsiiltojen arvot	4,0	4,0	3,0	2,0	1,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Maanvastaisten rakenteiden johtumisenergia maahan, [W/m²] (Riuskan lämpöhäviölaskentaan)	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa
	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Yksittäisen IV-koneen SFP-luvun tavoitearvo [kW/m3/s]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
IV-koneiden jaottelu	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen
IV-koneiden määrä	2	2	2	2	2	2	2	2	2
LTO vuosihyötysuhde minimiarvo, %	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Vapaajäähdytys	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Yötuuletus/yöjäähdytys	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Tilojen lämmityksen lämmönjako/luovutustapa	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen
Lämmönjaon/luovutuksen häviöt	D5	D6	D7	D7	D7	D7	D7	D7	D5
Tilojen lisäjäähdytyksen jakelu/luovutustapa	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki
Jäähdytyksen jakelun ja luovutuksen häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Lämpimän käyttöveden kiertojohdon häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Lämpimän käyttöveden varaaja	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole
Apulaitteiden sähkönkulutus, lämmitys	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, LVK	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, IV	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, jäähdytys	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Sähköenergian tuotantotapa/tavat	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko
Sähköenergian tuotannon hyötysuhteet	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sähkön ostoenergioiden osuudet tuotantomuodottain, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lämpöenergian tuotantotapa/tavat	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö
Lämpöenergian tuotannon hyötysuhteet	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Lämmön ostoenergioiden osuudet tuotantomuodottain, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Jäähdytysenergian tuotantotapa/tavat	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)
Jäähdytysenergian tuotannon hyötysuhteet	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Jäähdytyksen ostoenergioiden osuudet tuotantomuodottain, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Muu lähtötieto		HUOM! Suurin ikkunapinta-ala suunnattu pohjoiseen							

Laskennan lähtötiedot, toimistorakennus 1

Suunnitteluratkaisu	Ratkaisu 10	Ratkaisu 11	Ratkaisu 12	Ratkaisu 13	Ratkaisu 14	Ratkaisu 15	Ratkaisu 16	Ratkaisu 17	Ratkaisu 18
Suunnitteluratkaisun kuvaus	Ikkuna-alan pienennys n.20%	Passiivitalon rakenteet sekä ilmatiheys	Yötuuletus	Yöjäähdytys	Ilmanvaihdon vapaajäähdytys	Toimistokone LTO: levylämmönsiirrin tuloilman lämpötilahyötysuhde 60 %	Toimistokone LTO: Hygroskooppinen pyörivä tuloilman lämpötilahyötysuhde 80 %	IV-koneiden SFP-luku 1,7 kW/m3/s	IV-koneiden SFP-luku 1,5 kW/m3/s
Mitoituspäivä	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.
Rakennuksen suuntaus (Arkkitehtipohjan kiertokulma myötöpäivään)	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste
Rakenteiden U-arvot, [W/m2K]	Rakennettyypilleutelo	Passiivitalo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo
Ulkoseinä	0,1	0,1	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo
Alapohja	0,08	0,08	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo
Yläpohja	0,09	0,09	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo	Rakennettyypilleutelo
Ovet	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ikkunat, U-arvo	1,0	0,45	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ikkunat, g-arvo (auringon lämpösäteilyn kokonaisläpäisy)	0,5	0,315	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Puitteen tyyppi ja leveys, mm	ei puitetta	Alumiini, 50	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta
Ikkunan upotus, mm	0	100 (leikkauskuvasta)	0	0	0	0	0	0	0
Aurinkosuojausratkaisut									
Seinien raot täytetty (Riуска)	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään
Ilmavuotoluku q50 [m3/h/m2]	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kylmäsiiltojen arvot	4,0	3,7	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Maanvastaisten rakenteiden johtumisenergia maahan, [W/m²] (Riuskan lämpöohviolaskentaan)	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa
	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Yksittäisen IV-koneen SFP-luvun tavoitearvo [kW/m3/s]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,7	1,5
IV-koneiden jaottelu	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen
IV-koneiden määrä	2	2	2	2	2	2	2	2	2
LTO vuosihyötysuhde minimiarvo, %	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Vapaajäähdytys	ei	ei	ei	ei	IV:n Vapaajäähdytys kun Tu<10 C	ei	ei	ei	ei
Yötuuletus/yöjäähdytys	ei	ei	Yötuuletus, dt 2C, 19C ja 50%, toimistokone	Yöjäähdytys, 19 C ja 50 %	ei	ei	ei	ei	ei
Tilojen lämmityksen lämmönjako/luovutustapa	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen
Lämmönjaon/luovutuksen häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Tilojen lisäjäähdytyksen jakelu/luovutustapa	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki
Jäähdytyksen jakelun ja luovutuksen häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Lämpimän käyttöveden kiertojohdon häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Lämpimän käyttöveden varaaja	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole
Apulaitteiden sähkönkulutus, lämmitys	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, LVK	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, IV	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, jäähdytys	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Sähköenergian tuotantotapa/tavat	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko
Sähköenergian tuotannon hyötysuhteet	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sähkön ostoenenergioiden osuudet tuotantomuodottain, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lämpöenergian tuotantotapa/tavat									
Lämpöenergian tuotannon hyötysuhteet	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö
Lämmön ostoenenergioiden osuudet tuotantomuodottain, %	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Jäähdytysenergian tuotantotapa/tavat	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Jäähdytysenergian tuotannon hyötysuhteet	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)
Jäähdytyksen ostoenenergioiden osuudet tuotantomuodottain, %	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Muu lähtötieto	ikkuna-ala pienennetty 20%, ovet poistettu					Toimistokoneen LTO muutettu (ks. IV-koneiden tiedot välilehti)	Toimistokoneen LTO muutettu (ks. IV-koneiden tiedot välilehti)		

Laskennan lähtötiedot, toimistorakennus 1

Suunnitteluratkaisu	Ratkaisu 19	Ratkaisu 20	Ratkaisu 21	Ratkaisu 22	Ratkaisu 23	Ratkaisu 24	Ratkaisu 25	Ratkaisu 26	Ratkaisu 27
Suunnitteluratkaisun kuvaus	Uusiutuvat omavaraisenergiat, maalämpö ja maajäähditys	Uusiutuvat omavaraisenergiat, ilma-vesilämpöpumppu	Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkosähkö 100 m2	Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkosähkö 300 m2	Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkolämpö 50 % LKV:stä	Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkolämpö 90 % LKV:stä	Valaistustason pudotus, 9 W/m2	Kaukojäähdytys	Tarpeenmukainen ilmanvaihto (D2:n mukaiset ilmavirrat)
Mitoituspäivä	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.
Rakennuksen suuntaus (Arkkitehtipohjan kiertokulma myötöpäivään)	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste	1 aste
Rakenteiden U-arvot, [W/m2K]	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Ulkoseinä	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Alapohja	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Yläpohja	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Ovet	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ikkunat, U-arvo	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ikkunat, g-arvo (auringon lämpösäteilyn kokonaisläpäisy)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Puitteen tyyppi ja leveys, mm	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta
Ikkunan upotus, mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aurinkosuojusratkaisut									
Seinien raot täytetty (Riuska)	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään
Ilmavuotoluku q50 [m3/h/m2]	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kylmäsiiltojen arvot	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Maanvastaisten rakenteiden johtumisenergia maahan, [W/m²] (Riuskan lämpöohviolaskentaan)	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa	D5, ei materiaali tietoa
Yksittäisen IV-koneen SFP-luvun tavoitearvo [kW/m3/s]	5	5	5	5	5	5	5	5	5
IV-koneiden jaottelu	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
IV-koneiden määrä	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen
LTO vuosihyötysuhde minimiarvo, %	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Vapaajäähdytys	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Yötuuletus/yöjäähdytys	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Tilojen lämmityksen lämmönjako/luovutustapa	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Lämmönjaon/luovutuksen häviöt	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen
Tilojen lisjäähdytyksen jakelu/luovutustapa	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Jäähdytyksen jakelun ja luovutuksen häviöt	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki
Lämpimän käyttöveden kiertojohdon häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Lämpimän käyttöveden varaaja	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, lämmitys	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole
Apulaitteiden sähkönkulutus, LVK	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, IV	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, jäähdytys	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Sähköenergian tuotantotapa/tavat	Sähköverkko	Sähköverkko	aurinkosähkö / Sähköverkko	aurinkosähkö / Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko
Sähköenergian tuotannon hyötysuhteet	1	1	1 / 1	1 / 1	1	1	1	1	1
Sähkön ostoenenergioiden osuudet tuotantomuodottain, %	100	100	3 / 97	8 / 92	100	100	100	100	100
Lämpöenergian tuotantotapa/tavat	Maalämpö / kaukolämpö	Ilma-vesilämpöpumppu / Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	aurinkolämpö / Kaukolämpö	aurinkolämpö / Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö
Lämpöenergian tuotannon hyötysuhteet	2,5 / 0,97	2,2 / 0,97	0,97	0,97	1 / 0,97	1 / 0,97	0,97	0,97	0,97
Lämmön ostoenenergioiden osuudet tuotantomuodottain, %	90 / 10	69 / 31	100	100	12 / 88	22 / 78	100	100	100
Jäähdytysenergian tuotantotapa/tavat	hditys / Maajäähditys / VJK	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	Kaukojäähdytys	VJK (Sähkö)
Jäähdytysenergian tuotannon hyötysuhteet	30 / 3 / 2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	2,5
Jäähdytyksen ostoenenergioiden osuudet tuotantomuodottain, %	70 / 20 / 10	100	100	100	100	100	100	100	100
Muu lähtötieto					HUOM! Aurinkolämpöjärjestelmä pumpausenergiankulutus laskettu erikseen D5:n mukaan	HUOM! Aurinkolämpöjärjestelmä n pumpausenergiankulutus laskettu erikseen D5:n mukaan	Valaistusteho muutettu arvoon 9 W/m2		Ilmavirrat muutettu D2:n mukaisiksi tilatyypeittäin

Laskennan lähtötiedot, toimistorakennus 1

Suunnitteluratkaisu	Ratkaisu 28	Ratkaisu 29	Ratkaisu 30	Ratkaisu 31	Ratkaisu 32	Ratkaisu 33
Suunnitteluratkaisun kuvaus	WC-tilojen IV-koneessa ei LTO:ta	Tavanomaiset ikkunat aurinkosuojauksella, ulkopuoliset säleät, Itä/Länsi/Etelä	Pellettikattila lämpöenergiatuotannossa	Luokka B/1	Luokka B/2	Luokka A/1
Mitoituspäivä	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.
Rakennuksen suuntaus (Arkkitehtipohjan kiertokulma myötäpäivään)	1 aste	1 aste	2 aste	3 aste	4 aste	5 aste
Rakenteiden U-arvot, [W/m ² K]	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Ulkoseinä	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Alapohja	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Yläpohja	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Ovet	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ikkunat, U-arvo	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,45
Ikkunat, g-arvo (auringon lämpösäteilyn kokonaisläpäisy)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,315
Puitteen tyyppi ja leveys, mm	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	ei puitetta	Alumiini, 50
Ikkunan upotus, mm	0	0	0	0	0	100 (leikkauksuvasta)
Aurinkosuojausratkaisut	Ei mitään	Ulkopuoliset säleät, peittoala 91%, Itä/Länsi/Etelä	Ei mitään	Sälekaihtimet, ulompi väli, peittoala 70 %	Ei mitään	Lipat 500mm ikkunoiden ylä/oikea/vasen reuna, kulma 90°
Seinien raot täytetty (Riуска)	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Ilmavuotoluku q50 [m ³ /h/m ²]	4,0	4,0	4,0	2,0	4,0	1,0
Kylmäsiiltojen arvot	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa
Maanvastaisten rakenteiden johtumisenergia maahan, [W/m ²] (Riuskan lämpöhäviölaskentaan)	5	5	5	5	5	5
Yksittäisen IV-koneen SFP-luvun tavoitearvo [kW/m ³ /s]	2,0	2,0	2,0	1,7	2,0	2,0
IV-koneiden jaottelu	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen
IV-koneiden määrä	2	2	2	2	2	2
LTO vuosihyötysuhde minimiarvo, %	45, WC-kone 0	45	45	45	45	45
Vapaajäähdytys	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Yötuuletus/yöjäähdytys	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Tilojen lämmityksen lämmönjako/luovutustapa	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen
Lämmönjaon/luovutuksen häviöt	D5	D5	D6	D7	D8	D9
Tilojen lisäjäähdytyksen jakelu/luovutustapa	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki
Jäähdytyksen jakelun ja luovutuksen häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Lämpimän käyttöveden kiertojohdon häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Lämpimän käyttöveden varaaja	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole
Apulaitteiden sähkönkulutus, lämmitys	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, LVK	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, IV	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, jäähdytys	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Sähköenergian tuotantotapa/tavat	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko
Sähköenergian tuotannon hyötysuhteet	1	1	1	1	1	1
Sähkön ostoenergioiden osuudet tuotantomuodottain, %	100	100	100	100	100	100
Lämpöenergian tuotantotapa/tavat	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Pellettikattila	Kaukolämpö	Maalämpö / kaukolämpö	Maalämpö / pelletti
Lämpöenergian tuotannon hyötysuhteet	0,97	0,97	0,84	0,97	2,5 / 0,97	2,5 / 0,84
Lämmön ostoenergioiden osuudet tuotantomuodottain, %	100	100	100	100	90 / 10	90 / 10
Jäähdytysenergian tuotantotapa/tavat	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	Kaukojäähdytys	Maajäähdytys / Maajäähdytys	Maajäähdytys / Maajäähdytys
Jäähdytysenergian tuotannon hyötysuhteet	2,5	2,5	2,5	1	30 / 3	31 / 4
Jäähdytyksen ostoenergioiden osuudet tuotantomuodottain, %	100	100	100	100	60 / 40	60 / 40
Muu lähtötieto				ikkuna-ala pienennetty 20% , ovet poistettu	ikkuna-ala pienennetty 20% , ovet poistettu	ikkuna-ala pienennetty 20% , ovet poistettu

Laskennan lähtötiedot, toimistorakennus 2

Suunnitteluratkaisu	Ratkaisu 19	Ratkaisu 20	Ratkaisu 21	Ratkaisu 22	Ratkaisu 23	Ratkaisu 24	Ratkaisu 25	Ratkaisu 26	Ratkaisu 27
Suunnitteluratkaisun kuvaus	Uusiutuvat omavaraisenergiat, maalämpö ja maajäähditys	Uusiutuvat omavaraisenergiat, Ilma-vesilämpöpumppu	Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkosähkö 100 m2	Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkosähkö 300 m2	Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkolämpö 50 % LKV:stä	Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkolämpö 90 % LKV:stä	Valaistustason pudotus, 9 W/m2	Kaukojäähdytys	Tarpeenmukainen ilmanvaihto (D2:n mukaiset ilmvirrat)
Mitoituspäivä	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.
Isoimman lasipinta-alan suuntaus, ilman suunta	352 astetta	352 astetta	352 astetta	353 astetta	352 astetta	352 astetta	352 astetta	352 astetta	352 astetta
Rakenteiden U-arvot, [W/m2K]	Rakennetyypiluettelo	Rakennetyypiluettelo	Rakennetyypiluettelo	Rakennetyypiluettelo	Rakennetyypiluettelo	Rakennetyypiluettelo	Rakennetyypiluettelo	Rakennetyypiluettelo	Rakennetyypiluettelo
Seinä	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Alapohja	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Yläpohja	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Ovet	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ikkunat, U-arvo	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ikkunat, g-arvo (auriongon lämpösäteilyn kokonaisläpäisy)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Aurinkosuojausratkaisut	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään
Seinien raot täytetty (RIUSKA)	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Ilmavuotoluku q50 [m3/h/m2]	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Kylmäsiiltojen arvot	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa
Maanvastaisten rakenteiden johtumisenergia maahan, [W/m ²]	5	5	5	5	5	5	5	5	5
RIUSKAN lämpöhäviölaskentaan	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Yksittäisen IV-koneen SFP-luvun tavoitearvo [kW/m3/s]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
IV-koneiden jaottelu	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen
IV-koneiden määrä	2	2	2	2	2	2	2	2	2
LTO vuosihyötysuhde minimiarvo, %	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Vapaajäähditys	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Ytuleetus/yöjäähdytys	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Tilojen lämmityksen lämmönjako/luovutustapa	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen
Lämmönjaon/luovutuksen häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Tilojen lisjäähdytyksen jakelu/luovutustapa	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki
Jäähdytyksen jakelun ja luovutuksen häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Lämpimän käyttöveden kiertojohdon häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Lämpimän käyttöveden varaaja	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole
Apulaitteiden sähkönkulutus, lämmitys	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, LVK	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, IV	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, jäähdytys	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Sähköenergian tuotantotapa/tavat	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko 97,5%, aurinkosähkö 2,5 %	Sähköverkko 92,5%, aurinkosähkö 7,5 %	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko
Sähköenergian tuotannon hyötysuhteet	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UO sähköenergian osuus sähköenergiankulutuksesta, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lämpöenergian tuotantotapa/tavat	Maalämpö 90 %, kaukolämpö 10%	lämpöpumppu 70 %, Kaukolämpö 30 %	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Aurinkolämpö 9,85 %, Kaukolämpö 90,15 %	Aurinkolämpö 17,4 %, Kaukolämpö 82,6 %	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Kaukolämpö
Lämpöenergian tuotannon hyötysuhteet	maalämpö 2,5, kauko 0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
UO lämpöenergian osuus lämpöenergiankulutuksesta, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jäähdytysenergian tuotantotapa/tavat	Maajäähditys (vapaa) 70 %, lämpöpumppu 20 %, VJK 10 %	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	Kaukojäähdytys	VJK (Sähkö)
Jäähdytysenergian tuotannon hyötysuhteet	Vapaa 30, Lämpöpumppu 3, VJK 2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	2,5
UO jäähdytysenergian osuus jäähdytysenergiankulutuksesta, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muu lähtötieto							Valaistuskerto 9 W/m2		

Laskennan lähtötiedot, toimistorakennus 2

Suunnitteluratkaisu	Ratkaisu 28	Ratkaisu 29	Ratkaisu 30	Ratkaisu 31	Ratkaisu 32	Ratkaisu 33
Suunnitteluratkaisun kuvaus	WC-tilojen IV-koneessa ei LTO:ta	Tavanomaiset ikkunat aurinkosuojauksella, ulkopuoliset säleät, Itä/Länsi/Etelä	Pellettikattila lämpöenergiatuotannossa	Luokka B/1	Luokka B/2	Luokka A/1
Mitoituspäivä	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.	Heinäkuun 11.
Isoimman lasipinta-alan suuntaus, ilman suunta	352 astetta	352 astetta	352 astetta	352 astetta	352 astetta	352 astetta
Rakenteiden U-arvot, [W/m ² K]	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo	Rakennetyypilluettelo
Seinä	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,10
Alapohja	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,10
Yläpohja	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Ovet	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,80
Ikkunat, U-arvo	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,80
Ikkunat, g-arvo (auriongon lämpösäteilyn kokonaisläpäisy)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Aurinkosuojausratkaisut	Ei mitään	Ulkopuoliset säleät, peittoaste 90 % (ilmansuuntiin itä, länsi, etelä)	Ei mitään	Säleät ulommassa välissä, peittoaste 70 %	Säleät ulommassa välissä, peittoaste 70 %	Rakenteellinen aurinkosuojaus
Seinien raot täytetty (RIUSKA)	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Ilmavuotoluku q50 [m ³ /h/m ²]	4,0	4,0	4,0	2,0	2,0	1,0
Kylmätilojen arvot	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa	D5, ei materiaalitietoa
Maanvastaisten rakenteiden johtumisenergia maahan, [W/m ²]	5	5	5	5	5	5
Riuskan lämpöhäviölaskentaan	5	5	5	5	5	5
Yksittäisen IV-koneen SFP-luvun tavoitearvo [kW/m ³ /s]	2,0	2,0	2,0	1,7	1,7	1,5
IV-koneiden jaottelu	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen	LTO-perusteinen
IV-koneiden määrä	2	2	2	2	2	2
LTO vuosihyötysuhde minimiarvo, %	45	45	45	45	45	45
Vapaajäähdytys	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Yötuuletus/yöjäähdytys	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Tilojen lämmityksen lämmönjako/luovutustapa	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen	Vesikiertoinen
Lämmönjaon/luovutuksen häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Tilojen lisjäähdytyksen jakelu/luovutustapa	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki	Jäähdytyspalkki
Jäähdytyksen jakelun ja luovutuksen häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Lämpimän käyttöveden kiertojohdon häviöt	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Lämpimän käyttöveden varaaja	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole
Apulaitteiden sähkönkulutus, lämmitys	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, LVK	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, IV	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Apulaitteiden sähkönkulutus, jäähdytys	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Sähköenergian tuotantotapa/tavat	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko	Sähköverkko ja aurinkosähkökennoja 7 m ²
Sähköenergian tuotannon hyötysuhteet	1	1	1	1	1	1
UO sähköenergian osuus sähköenergiankulutuksesta, %	0	0	0	0	0	22 %
Lämpöenergian tuotantotapa/tavat	Kaukolämpö	Kaukolämpö	Pelletti	Kaukolämpö	Kaukolämpö 100 %	Maalämpö 90 %, Pellettilämmitys 10 %
Lämpöenergian tuotannon hyötysuhteet	0,97	0,97	0,84	0,97	0,97	0,84
UO lämpöenergian osuus lämpöenergiankulutuksesta, %	0	0	0	0	90	90
Jäähdytysenergian tuotantotapa/tavat	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	VJK (Sähkö)	Kaukojäähdytys	Maajäähdytys (vapaa) 60 %, lämpöpumppu 40 %	Maajäähdytys (vapaa) 60 %, lämpöpumppu 40 %
Jäähdytysenergian tuotannon hyötysuhteet	2,5	2,5	2,5	1	Vapaajäähdytys 30 ja lämpöpumppu 4	Vapaajäähdytys 30 ja lämpöpumppu 4
UO jäähdytysenergian osuus jäähdytysenergiankulutuksesta, %	0	0	0	0	0	0
Muu lähtötieto				Valaistuskuorma 7 W/m ²	Maalämmön SPF-luku=4 Valaistuskuorma 9 W/m ²	Maalämmön SPF-luku=4 Valaistuskuorma 7 W/m ²

IV-koneiden tarkemmat tiedot
Toimistorakennus 1

Copy-paste MC C&E:stä	SFP-luku (itse laskettu) kW/m ³ /s	IV-palvelualue	IV-konetyyppi	Palvelualueen ala	Min. ilmavirta	Max. Ilmavirta	Tuloilmapuhallin kokonaispainehäviö	Poistoilmapuhallin kokonaispainehäviö	Tuloilmapuhallin kokonaishyötysuhde	Poistoilmapuhallin kokonaishyötysuhde
Suunnitteluratkaisu		Nimi	Tyyppi	m ²	m ³ /s	m ³ /s	Pa	Pa	%	%
Ratkaisut 1-14 ja 19-26 ja 29-30	2,000	Ilmanvaihto, palvelualue 1, Toimisto	Jäähdytyspalkki	6307,6	12,615	12,615	650	600	65	60
	2,000	Ilmanvaihto, palvelualue 3, WC-tilat	Vakioilmavirtainen	224,2	0,448	0,448	650	600	65	60
Ratkaisu 15	2,000	Ilmanvaihto, palvelualue 1, Toimisto	Jäähdytyspalkki	6307,6	12,615	12,615	650	600	65	60
	2,000	Ilmanvaihto, palvelualue 3, WC-tilat	Vakioilmavirtainen	224,2	0,448	0,448	650	600	65	60
Ratkaisu 16	2,000	Ilmanvaihto, palvelualue 1, Toimisto	Jäähdytyspalkki	6307,6	12,615	12,615	650	600	65	60
	2,000	Ilmanvaihto, palvelualue 3, WC-tilat	Vakioilmavirtainen	224,2	0,448	0,448	650	600	65	60
Ratkaisu 17	1,700	Ilmanvaihto, palvelualue 1, Toimisto	Jäähdytyspalkki	6307,6	12,615	12,615	560	503	65	60
	1,701	Ilmanvaihto, palvelualue 3, WC-tilat	Vakioilmavirtainen	224,2	0,448	0,448	560	503	65	60
Ratkaisu 18	1,499	Ilmanvaihto, palvelualue 1, Toimisto	Jäähdytyspalkki	6307,6	12,615	12,615	500	438	65	60
	1,500	Ilmanvaihto, palvelualue 3, WC-tilat	Vakioilmavirtainen	224,2	0,448	0,448	500	438	65	60
Ratkaisu 27	2,000	Ilmanvaihto, palvelualue 1, Toimisto	Jäähdytyspalkki	6307,6	9,535	9,535	650	600	65	60
	2,000	Ilmanvaihto, palvelualue 3, WC-tilat	Vakioilmavirtainen	224,2	0,448	0,448	650	600	65	60
Ratkaisu 28	2,000	Ilmanvaihto, palvelualue 1, Toimisto	Jäähdytyspalkki	6307,6	12,615	12,615	650	600	65	60
	2,000	Ilmanvaihto, palvelualue 3, WC-tilat	Vakioilmavirtainen	224,2	0,448	0,448	650	600	65	60
Ratkaisu 31	1,700	Ilmanvaihto, palvelualue 1, Toimisto	Jäähdytyspalkki	6307,6	12,615	12,615	560	503	65	60
	1,701	Ilmanvaihto, palvelualue 3, WC-tilat	Vakioilmavirtainen	224,2	0,448	0,448	560	503	65	60
Ratkaisu 32	2,000	Ilmanvaihto, palvelualue 1, Toimisto	Jäähdytyspalkki	6307,6	12,615	12,615	650	600	65	60
	2,000	Ilmanvaihto, palvelualue 3, WC-tilat	Vakioilmavirtainen	224,2	0,448	0,448	650	600	65	60
Ratkaisu 33	1,499	Ilmanvaihto, palvelualue 1, Toimisto	Jäähdytyspalkki	6307,6	12,615	12,615	500	438	65	60
	1,500	Ilmanvaihto, palvelualue 3, WC-tilat	Vakioilmavirtainen	224,2	0,448	0,448	500	438	65	60

IV-koneiden tarkemmat tiedot
Toimistorakennus 1

Copy-paste MC C&E:stä	Tuloilmapuhallin maksimit eho	Poistoilm apuhallin maksimit eho	Tuloilmapuhallin dT	Poistoilm apuhallin dT	Tuloilman lämpötilan asetusarvo kun t _u =10	Tuloilman lämpötilan asetusarvo kun t _u =20	LTO tuloilmahyötysuhde	LTO jäteilman alin sallittu lämpötila	LTO tulo- ja poistoilm avirran suhde: tulo/poisto	Lämmitys spatteri	Jäähdytyspatteri	Aikataulu
Suunnitteluratkaisu	kW	kW	°C	°C	°C	°C	LTO %	°C		kW	kW	IV-järjestelmän käyttöaika
Ratkaisut 1-14 ja 19-26 ja 29-30	12,615	12,615	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
	0,448	0,448	1	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
Ratkaisu 15	12,615	12,615	0,5	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
	0,448	0,448	1	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
Ratkaisu 16	12,615	12,615	0,5	0	19	17	80	-16	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
	0,448	0,448	1	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
Ratkaisu 17	10,868	10,576	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
	0,386	0,376	1	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
Ratkaisu 18	9,704	9,209	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
	0,345	0,327	1	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
Ratkaisu 27	9,535	9,535	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
	0,448	0,448	1	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
Ratkaisu 28	12,615	12,615	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
	0,448	0,448	1	0	19	17	0	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
Ratkaisu 31	10,868	10,576	0,5	0	19	17	80	-16	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
	0,386	0,376	1	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
Ratkaisu 32	12,615	12,615	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
	0,448	0,448	1	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
Ratkaisu 33	9,704	9,209	0,5	0	19	19	80	-16	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella
	0,345	0,327	1	0	19	19	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + 0,15 l/s käyttöajan ulkopuolella

IV-koneiden tarkemmat tiedot
Toimistorakennus 2

Copy-paste MC C&E:stä	SFP-luku (itse laskettu) kW/ m3/s	IV-palvelualue	IV-konetyyppi	Palvelualueen ala	Min. ilmavirta	Max. Ilmavirta	Tuloilmahuallin kokonaispainehäviö	Poistoilmahuallin kokonaispainehäviö	Tuloilmahuallin kokonaishyötysuhde	Poistoilmahuallin kokonaishyötysuhde
Suunnitteluratkaisu		Nimi	Tyyppi	m ²	m ³ /s	m ³ /s	Pa	Pa	%	%
Ratkaisut 1- 14 ja 19-26 ja 29-30	2,0	Ilmanvaihto, Toimisto-kone	Jäähdytyspalkki	7094	14,188	14,188	650	600	65	60
	2,0	Ilmanvaihto, WC-kone	Vakioilmavirtainen	149,9	0,3	0,3	650	600	65	60
Ratkaisu 15	2,0	Ilmanvaihto, Toimisto-kone	Jäähdytyspalkki	7094	14,188	14,188	650	600	65	60
	2,0	Ilmanvaihto, WC-kone	Vakioilmavirtainen	149,9	0,3	0,3	650	600	65	60
Ratkaisu 16	2,0	Ilmanvaihto, Toimisto-kone	Jäähdytyspalkki	7094	14,188	14,188	650	600	65	60
	2,0	Ilmanvaihto, WC-kone	Vakioilmavirtainen	149,9	0,3	0,3	650	600	65	60
Ratkaisu 18	1,7	Ilmanvaihto, Toimisto-kone	Jäähdytyspalkki	7094	14,188	14,188	560	503	65	60
	1,7	Ilmanvaihto, WC-kone	Vakioilmavirtainen	149,9	0,3	0,3	560	503	65	60
Ratkaisu 19	1,5	Ilmanvaihto, Toimisto-kone	Jäähdytyspalkki	7094	14,188	14,188	500	438	65	60
	1,5	Ilmanvaihto, WC-kone	Vakioilmavirtainen	149,9	0,3	0,3	500	438	65	60
Ratkaisu 27	2,0	Ilmanvaihto, Toimisto-kone	Jäähdytyspalkki	7094	11,787	11,787	650	600	65	60
	2,0	Ilmanvaihto, WC-kone	Vakioilmavirtainen	149,9	0,3	0,3	650	600	65	60
Ratkaisu 28	2,0	Ilmanvaihto, Toimisto-kone	Jäähdytyspalkki	7094	14,188	14,188	650	600	65	60
	2,0	Ilmanvaihto, WC-kone	Vakioilmavirtainen	149,9	0,3	0,3	650	600	65	60
Ratkaisu 31	1,7	Ilmanvaihto, Toimisto-kone	Jäähdytyspalkki	7094	14,188	14,188	560	503	65	60
	1,7	Ilmanvaihto, WC-kone	Vakioilmavirtainen	149,9	0,3	0,3	560	503	65	60
Ratkaisu 32	1,7	Ilmanvaihto, Toimisto-kone	Jäähdytyspalkki	7094	14,188	14,188	560	503	65	60
	1,7	Ilmanvaihto, WC-kone	Vakioilmavirtainen	149,9	0,3	0,3	560	503	65	60
Ratkaisu 33	1,5	Ilmanvaihto, Toimisto-kone	Jäähdytyspalkki	7094	14,188	14,188	500	438	65	60
	1,5	Ilmanvaihto, WC-kone	Vakioilmavirtainen	149,9	0,3	0,3	500	438	65	60

IV-koneiden tarkemmat tiedot
Toimistorakennus 2

Copy-paste MC C&E:stä	Tuloilmapuhallin maksimit eho	Poistoilm apuhallin maksimit eho	Tuloilmapuhallin dT	Poistoilm apuhallin dT	Tuloilman lämpötilan asetusarvo kun t _v =10	Tuloilman lämpötilan asetusarvo kun t _v =20	LTO tuloilmahyötysuhde	LTO jäteilman alin sallittu lämpötila	LTO tulo- ja poistoilm avirran suhde: tulo/poisto	Lämmitys spatteri	Jäähdytyspatteri	Aikataulu
Suunnitteluratkaisu	kW	kW	°C	°C	°C	°C	LTO %	°C		kW	kW	IV-järjestelmän käyttöaika
Ratkaisu 1- 14 ja 19-26 ja 29-30	14,188	14,188	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
	0,3	0,3	0,5	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
Ratkaisu 15	14,188	14,188	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
	0,3	0,3	0,5	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
Ratkaisu 16	14,188	14,188	0,5	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
	0,3	0,3	0,5	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
Ratkaisu 18	12,224	11,894	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
	0,258	0,251	0,5	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
Ratkaisu 19	10,914	10,357	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
	0,231	0,219	0,5	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
Ratkaisu 27	11,787	11,787	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
	0,3	0,3	0,5	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
Ratkaisu 28	14,188	14,188	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
	0,3	0,3	0,5	0	19	17	0	5	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
Ratkaisu 31	12,224	11,894	0,5	0	19	17	80	-16	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
	0,258	0,251	0,5	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
Ratkaisu 32	12,224	11,894	0,5	0	19	17	80	-8	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
	0,258	0,251	0,5	0	19	17	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
Ratkaisu 33	10,914	10,357	0,5	0	19	19	80	-16	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h
	0,231	0,219	0,5	0	19	19	60	-2	1	10000	10000	IV:(D3) Toimistorakennus + käyttäjän ulkopuolinen ilmavirta 1h

Simuloitujen suunnitteluratkaisujen laskentaperusteet

Yleistä kaikista laskentaratkaistuista

Kaikkien simuloitujen ratkaisujen yhteydessä tehty lähtöarvojen muuttamisen jälkeen:

- olosuhdesimulointi (kaikille tiloille)
- IV-palvelualue-laskenta
- jäähdytysjärjestelmän häviöenergioiden käsinlaskenta
- mahdollisten muiden häviöenergioiden lisääminen

Mikäli lähde ei ole merkitty, on ratkaisu tehty käyttäen oletettuja arvoja

Suunnitteluratkaisu	Energialaskennan toteutus	Lähde tai lähteet
1. Vertailuratkaisu	Ks. Vertailuratkaisua tarkemmin kuvaava taulukko (kappale 8.3.3)	RakMK D3 ja D5; rakennuskohtaiset rakennetyyppiluettelot
2. Rakennuksen suuntaus	Laskettiin rakennuksen ikkunapinta-alat julkisivuittain ja asetettiin suurin ikkunapinta-ala pohjoiseen.	RIL-259, Piia Sormusen luentomateriaalit
3. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys: ilmapuotoluku $q_{50}=3$	Rakennuksen vaipan ilmapuotoluku vaihdettu arvoon 3.	
4. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys: ilmapuotoluku $q_{50}=2$	Rakennuksen vaipan ilmapuotoluku vaihdettu arvoon 2.	
5. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys: ilmapuotoluku $q_{50}=1$	Rakennuksen vaipan ilmapuotoluku vaihdettu arvoon 1.	
6. Paremmat ikkunat	Valittiin selektiivilasi mahdollisimman pienellä U-arvolla ja g-arvolla. Lähteenä Rehva aurinkosuojausopas: tukholmalaisen ikkunan energiatehokkuusvertailu: selektiivilasi laski eniten energiankulutuksia (s.29). Riuskasta valitti ikkuna: Fenestra Polaris MS2E Super (with frame U=0,8), saman ikkunan puite ja 100 mm upotus.	Rehva aurinkosuojausopas, Fenestran verkkosivut
7. Tavanomaiset ikkunat aurinkosuojauksella	Valittiin perustapauksen ikkunat (3-lasiset) ja niihin 70 % peittävät sälekaihtimet ulompaan väliin. Oletus: mitä ulompana säleet, sen vähemmän kokonaislämmönläpäisyä (Rehva kirja s.21).	Rehva aurinkosuojausopas
8. Paremmat ikkunat aurinkosuojauksella	Yhdistettiin tapaukset 6 ja 7	Rehva aurinkosuojausopas
9. Tavanomaiset ikkunat rakenteellisella aurinkosuojauksella	Valittiin perustapauksen ikkunat (3-lasiset) ja niihin Ylä/oikea/vasen lippa 500 mm ja 90 asteen kulmassa	
10. Ikkuna-alan pienennys n. 20 %	Laskettu maanpäällisten kerrosten pinta-ala, sen jälkeen laskettu ikkunoiden osuus maanpäällisistä seinistä, jonka jälkeen laskettu 20 % pienempi ikkunapinta-ala ja laskettu uusi ikkunoiden osuus ulkoseinistä. Sen jälkeen tehty maanpäällisiin kerroksiin uudet ikkunat tuolla prosentilla ja laskettu olosuhteet + simulointi. Huono puoli: ovet häviää kun luot uudet ikkunat eli ovien tuomaa lämpöhäviötä ei pystytä ottamaan huomioon.	Sini Virkajärvi
11. Passiivitalon rakenteet sekä ilmatiiveys	Rakenteet ja ilmatiiveys määritetty Jarek Kurnitskin kirjan (Rakentamismääräykset 2012) mukaan passiivitalolle ja ikkunat kuten kohdassa 6.	Rakentamismääräykset 2012 (J. Kurnitski)
12. Yötuuletus	Lisätty Riuskaan aikataulu yötuuletukselle klo 20-06, Yötuuletus Riuskan oletusarvoilla (Kesä, heinä, elo) ja minimi dT 2 C, katkaisu 18 C ja ilmavirran suhde yö/päivä 50 %. Yötuuletus ainoastaan toimistokoneelle.	
13. Yöjäähdytys	Lisätty Riuskaan aikataulu yöjäähdytykselle klo 20-06, Yöjäähdytys Riuskan oletusarvoilla (Kesä, heinä, elo) ja minimi katkaisu 19 C ja ilmavirran suhde yö/päivä 50 %. Yöjäähdytys ainoastaan toimistokoneelle.	
14. Ilmanvaihdon vapaajäähdytys	Toimistokoneelle lisätty vapaajäähdytys kun $T_u < 10C$ eli ilmanvaihdon käyttämä jäähdytysenergia saadaan ulkoilmasta tällöin "ilmaiseksi".	Timo Toivanen: VAPAAJÄÄHDYTYKSEN TOIMINNAN TUTKIMINEN s. 5 Opinnäytetyö, Mikkelin AMK
15. Toimistokone LTO: levylämmönsiirrin	Muutettu toimistokoneen LTO levylämmönsiirtimeksi arvoilla: tuloilman lämpötilahyötysuhde 60 % ja jäteilman alin sallittu lämpötila -2 C.	
16. Toimistokone LTO: hygroskooppinen pyörivä lämmönsiirrin	Muutettu toimistokoneen LTO pyöriväksi lämmönsiirtimeksi arvoilla: tuloilman lämpötilahyötysuhde 80 % ja jäteilman alin sallittu lämpötila -16 C.	
17. IV-koneiden SFP-luku 1,7 kW/m ³ /s	Muutettu kanavapaine sellaiseen arvoon laskentaohjelmassa, jotta saadaan haluttu SFP-luku molemmille IV-koneille.	
18. IV-koneiden SFP-luku 1,5 kW/m ³ /s	Muutettu kanavapaine sellaiseen arvoon laskentaohjelmassa, jotta saadaan haluttu SFP-luku molemmille IV-koneille.	
19. Uusiutuvat omavaraisenergiat, maalämpö ja maajäähdytys	Energialaskennassa maalämmön/jäähdytyksen osuutena käytetty 90% lämmitysenergiasta ja 90% jäähdytysenergiasta (josta 70% vapaajäähdytyksellä ja 20% lämpöpumpuilla). Maalämpöpumpun SPF-lukuna käytetty arvoa 2,5 ja jäähdytystilanteessa vuotuisena kylmäkertoimena arvoa 3. Jäähdytyksessä vapaajäähdytyksen vuotuisena kylmäkertoimena käytetty arvoa 30 ja VJK:lla arvoa 2,5.	Kauppila - koulutusmateriaalit RET Pro: s.73: Esimerkkitoimistorakennus RakMK D5
20. Uusiutuvat omavaraisenergiat, ilma-vesilämpöpumppu	Laskettu YM laskentaoppaalla yksinkertaisella menetelmällä käyttämällä apuna taulukkoa 2 lämpöpumpun kattama osuus lämmitysenergiasta. Oletettu, että laitteisto voidaan mitoittaa 50% osatehomitoituksella. Vuosihyötysuhteena o käytetty arvoa 2,2.	YM lämpöpumppujen laskentaopas, RakMK D5

21. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkosähkö (100 m ² kennoja)	Aurinkosähkön tuottama vuotuinen energiamäärä arvioitiin laitepinta-alaa kohden Fortumin verkkosivujen avulla ja tällä periaatteella laskettu tietyin pinta-alan tuottama energiamäärä.	Fortum:n verkkosivut
22. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkosähkö (300 m ² kennoja)	Aurinkosähkön tuottama vuotuinen energiamäärä arvioitiin laitepinta-alaa kohden Fortumin verkkosivujen avulla ja tällä periaatteella laskettu tietyin pinta-alan tuottama energiamäärä.	Fortum:n verkkosivut
23. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkolämpö 50 % LKV:stä	Laskettiin YM oppaan avulla yksityiskohtaisella menetelmällä aurinkolämpöjärjestelmän tuottama osuus käyttöveden lämmitykseen kuluva lämmitysenergiasta.	YM Aurinko-opas 2012
24. Uusiutuvat omavaraisenergiat, aurinkolämpö 90 % LKV:stä	Laskettiin YM oppaan avulla yksityiskohtaisella menetelmällä aurinkolämpöjärjestelmän tuottama osuus käyttöveden lämmitykseen kuluva lämmitysenergiasta.	YM Aurinko-opas 2012
25. Valaistustason pudotus, 9 W/m ²	Vaihdettiin koko kohteen valaistuksen tehtäsoiksi eli lämpökuormaksi arvo 9 W/m ² , joka oletettiin ohjaaja Sini Virkajärven haastattelun perusteella. Tuo arvo on sellainen, johon tällä hetkellä saatettaisiin pyrkiä D3:n anatomista standardiarvoista poiketen.	Sini Virkajärvi
26. Kaukojäähdytys	Vaihdettiin kaiken jäähdytysenergian tuotantomuodoksi kaukojäähdytys, hyötysuhteella 1.	RakMK D5
27. Tarpeenmukainen ilmanvaihto	Käytetään D2:n mukaisia arvoja ja niihin tiloihin, joita ei löydytty D2:sta on arvioitu arvo tai käytetty referenssikohteen arvoa. Aluksi muutettu kaikki arvot ja sen jälkeen mitoitus + olosuhteet. Sitten laskettu pelkät olosuhteet niille tiloille joissa ilmajäähdytys ei anna sopivaa tehoa ja lisäjäähdytys menee liian korkeaksi.	RakMK D2
28. WC-tilojen IV-koneessa ei LTO:ta	Vaihdettiin laskentaohjelmaan WC-koneen LTO:n hyötysuhteeksi 0 %.	Sini Virkajärvi
29. Tavanomaiset ikkunat ulkopuolisilla säleillä, itä/länsi/etelä	Valittiin perustapauksen ikkunat (3-lasiset) ja niihin 91% peittävät sälekaihtimet ikkunan ulkopuolelle itä/etelä/länsi - julkisivuille. Oletus: mitä ulompana säleet, sen vähemmän kokonaislämmönläpäisyä (Rehva kirja s.21).	Rehva aurinkosuojausopas
30. Pellettikattila lämpöenergiatuotannossa	Vaihdettiin lämpöenergian tuotantomuodoksi pellettikattila siten, että 100% lämmitysenergiasta tuotettaisiin pellettikattilalla. Vuosihyötysuhde 0,84 (D5). Lisäksi lisätty LKV varaaja 3000 litraa + 100 mm eristeellä josta laskettu D5:n mukaiset energiahäviöt. Apulaitteiden sähkönkulutus laskettu arvolla 0,13 kWh/m ² /a.	RakMK D3 ja D5