

Tommi Jansson

Uuden rakennuksen
energiatehokkuusmääräyksen vaikutus LVI-
suunnitteluun

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
Päivämäärä 27.02.2012

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Tommi Jansson Uuden rakennuksen energiatehokkuusmääräyksen vaikutus LVI-suunnitteluun 52 sivua + 6 liitettä 27.02.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI suunnittelupainotteinen
Ohjaaja(t)	tekniikan tohtori Piia Sormunen lehtori Erkki-Olavi Sainio
<p>Insinöörityön tavoitteena oli selvittää mitkä, asiat muuttuvat LVI-suunnittelun kannalta uuden Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 Rakennuksen energiatehokkuus 2012 -määräyksen voimaantullessa. Työssä esitellään uudet käsitteet ja määräykset, jotka on otettava huomioon uudisrakentamisessa. Työn aikana selvisi, että moni laskennallinen seikka muuttuu ja rakennuksilta vaaditaan yhä energiatehokkaampia LVI-ratkaisuja, joihin voidaan enimmäkseen vaikuttaa paremmilla laitevalinnoilla ja nousevilla rakennuskustannuksilla.</p> <p>Insinöörityössä haluttiin myös selvittää uuden kesäajan huonelämpötilan tarkastelun ongelmakohdaksi muodostuva asuinkerrostalojen huoneistojen ylikuumentuminen. Työhön päätettiin lisätä laskentasimulaatio asuinkerrostalon tyyppiolo huoneen lämpöolosuhteista kolmen kesäkuukauden aikana. Simulaatiossa todettiin, että aurinkosuojaus ja ikkunapintojen suuntaaminen ilmansuuntiin nähden ovat avainasemassa asuinkerrostalon jäähdytystä suunniteltaessa.</p> <p>Uuden rakennuksen energiatehokkuusmääräyksen pääasiat on esitelty tässä insinöörityössä kappalekohtaisesti. Luku 2 esittelee, mitkä asiat vaikuttavat määräyksen takana. Luku 3 esittelee uudet käsitteet. Insinöörityön luvut 4–9 keskittyvät sitten näiden käsitteiden syvällisempään ymmärtämiseen ja vaikutuksiin LVI-suunnitteluun. Insinöörityöhön on myös liitetty määräysten vaatimien laskentojen laskuesimerkkejä ja kaavoja.</p>	
Avainsanat	uudisrakentaminen, energiatehokkuus, SRMK D3, kokonaisenergiankulutus, dynaaminen laskentatyökalu, E-luku

Author(s) Title Number of Pages Date	Tommi Jansson The effect of the changes in regulations for energy management in buildings on HVAC design 52 pages + 6 appendices 27 February 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor(s)	Piia Sormunen, Doctor of Technology Erkki-Olavi Sainio, Principal Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to discover and acknowledge which regulations, guidelines, variables and calculations are to be renewed when the new D3 regulation of the national building code of Finland on energy management in buildings comes into effect, and how these changes effect HVAC design.</p> <p>The Bachelor's thesis first established the major changes and then analyzed the impact of these on the Building Services industry as a whole, and on a company's strategy and business, as well as on an individual designer's job description. Furthermore, a simulation of summer time overheating was made for a living room in a typical apartment building.</p> <p>The changes discovered varied from minor calculation changes to changes in the whole construction industry. The new regulations will improve the quality of construction, due to more synergy among the participants, more thought over planning and more energy efficient machinery. This increases the cost of construction but reduces the operating costs. This Bachelor's thesis also established that HVAC design is going to diversify. The thesis also pointed out that energy consulting will grow and that it will be the HVAC designer who will need to take on a lot of the workload. HVAC design benefits from the new regulations since they emphasize the importance of HVAC design in construction projects.</p>	
Keywords	energy efficiency, HVAC designing, D3

Sisällys

Määritelmiä

1	Johdanto	1
2	Määräykset energiatehokkuudesta	2
2.1	EU-direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta	2
2.2	Suomen tavoitteet energiatehokkuudelle	3
3	Määräyksen sisältö	3
3.1	Määräyksen kattavuus	3
3.2	LVI-suunnitteluasiat	4
3.2.1	Olennaisimmat käsitteet	4
3.2.2	Kokonaisenergiankulutus	4
3.2.3	Kesäajan huonelämpötila	7
3.2.4	Energiankäytön mittaus	10
4	Kokonaisenergiankulutus	10
4.1	Kokonaisenergiankulutuksen pääpiirteet	10
4.2	Käyttötarkoitukseluokat	12
4.3	Energialaskennan lähtötiedot	13
4.4	Energiamuotojen kertoimet	14
4.5	Lämmitystapojen vuosihyötysuhteet	16
4.5.1	Lämmönjakotapojen vuosihyötysuhteet	17
4.5.2	Lämmitysmuotojen vuosihyötysuhteet	18
4.6	Uusiutuvat omavaraisenergiat	20
4.7	E-luku	20
4.8	Vaikutus LVI-suunnitteluun	21
5	Tasauslaskenta	23
5.1	Tasauslaskennan periaate	23
5.2	Vaipan lämpöhäviöt	24
5.3	Vuotoilman lämpöhäviö	26
5.4	Ilmanvaihdon lämpöhäviö	28
5.5	Vaikutukset LVI-suunnitteluun	29

6	Kesäajan huonelämpötila	30
6.1	Laskentamenetelmät	30
6.2	Lähtötiedot	31
6.3	Dynaaminen laskentatyökalu	31
6.4	Kesäajan huonelämpötilan simulointi	32
6.5	Vaikutukset LVI-suunnitteluun	34
7	Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus	35
7.1	Laskennan pääpiirteet	35
7.2	Ominais sähköteho SFP	35
7.3	Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta	38
7.4	Jäätymisenesto	42
7.5	Vaikutukset LVI-suunnitteluun	43
8	Lämmitystehontarpeen laskenta	45
9	Energiaselvitys	46
9.1	Energiaselvityksen sisältö	46
9.2	Vaikutukset LVI-suunnitteluun	47
10	Energiankäytön mittaus	48
10.1	Mitattavat energiat	48
10.2	Vaikutukset LVI-suunnitteluun	48
11	Yhteenveto	49
	Lähteet	51
	Liitteet	
	Liite 1. Rakennusten käyttötarkoituksiluokkien jaottelu	
	Liite 2. Esimerkki E-luvun laskennan kulusta	
	Liite 3. Tasauslaskenta esimerkki	
	Liite 4. Asuinkerrostalon tyyppihuoneen kesäajan lämpötilan simulointi	
	Liite 5. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaesimerkki	
	Liite 6. E-luvun, ET-luvun ja todellisen energiankulutuksen laskennan erot	

Määritelmiä

E-luku on energiamuodon kertoimella painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden.

energiamuotojen kertoimilla tarkoitetaan energialähteen tai energiatuotantomuodon kertoimia, joilla eri energiamuodot kerrotaan energialuvun laskemiseksi.

LTO on lämmöntalteenotto

lämmitetty nettoala (m²) on lämmitettyjen kerrostasoalojen summa kerrostasoja ympäröivien ulkoseinien sisäpintojen mukaan laskettuna.

ominaissähköteho SFP kuvaa rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuutta. Siinä lasketaan kaikkien puhaltimien ottama sähköteho verkosta yhteen ja jaetaan yhteenlasketuilla jäte- tai ulkoilmamäärällä.

uusiutuva omavaraisenergia on kiinteistöön kuuluvalla laitteistolla paikallisista uusiutuvista energianlähteistä tuotettua uusiutuvaa energiaa, lukuun ottamatta uusiutuvia polttoaineita. Näitä ovat esimerkiksi aurinkopaneeleista ja –keräimistä tuotettu energia, paikallinen tuulienergia ja lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia.

SRMK on Suomen rakentamismääräyskokoelma

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena on esitellä asiat, jotka muuttuvat uudistuvan Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 Rakennusten energiatehokkuus 2012 -määräyksen myötä. Työssä käydään läpi, miksi muutokset tulevat ja miten nämä muutokset vaikuttavat erityisesti LVI-suunnitteluun ja sen rooliin rakennusalalla. Kaikki tässä työssä esitellyt asiat koskevat uudisrakentamista. Tämän työn tarkoitus on selkeyttää määräykseen liittyvää terminologiaa ja laskentaa. Se käy myös läpi, mitkä asiat suunnittelijan on osoitettava määräysten mukaisiksi, jotta rakennuslupa uudisrakennukselle voidaan myöntää.

Rakennuslupaa haettaessa moni asia tulee laskea ja dokumentoida. Insinööriyö esittelee näiden tarvittavien laskelmien laskennan kulun sekä teoreettisesti että esimerkein. Osa näistä on täysin uusia, kuten kokonaisenergiankulutuksen laskenta ja kesäajan huonelämpötilan hallinta, ja osa aiemmin suunnitelmissa mukana olleita kuten tasauslaskenta ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta. Kaksi viimeksi mainittua on otettu työhön mukaan, koska niitä koskevat vaatimukset muuttuvat ja sillä on vaikutus LVI-suunnitteluun.

Yksi tärkeimmistä uuden energiamääräyksen lisäyksistä on tehdä kesäajan huonelämpötilan tarkastelu rakennuksen tyyppiselle huonetilalle. Niinpä tämän insinööriyön yhteydessä tehtiin kyseinen olosuhdesimulaatio asuinkerrostalon olohuoneelle. Simulaation lopputuloksena voidaan todeta passiivisten jäähdytyskeinojen olevan ensimmäinen ratkaisu miettiessä keinoja rakennusten tilojen ylikuumenemiselle. Simulointiohjelmana käytettiin Insinööritoimisto Olof Granlund Oy:n ohjelmaa Riuska 4.8.1.

Tämän insinööriyön luettuaan LVI-suunnittelijalla on selkeämpi käsitys tulevaisuuden suunnitelmissa huomioon otettavista asioista ja siitä, mihin suuntaan LVI-ala on menossa. Kehitys on kohti nollaenergiarakentamista, ja määräykset rakennuksen energiatehokkuudelle tulevat parantumaan asteittain. Yksi seuraavista kehitysaskelista on vastaavanlaisten määräyksiä tuleminen korjausrakentamisen puolelle. Insinööriyön esille tuomiin seikkoihin on siis jokaisen alalla toimivan hyvä perehtyä.

2 Määräykset energiatehokkuudesta

2.1 EU-direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta

Euroopan parlamentti ja neuvosto julkaisi toukokuussa 2010 uudistetun direktiivin rakennusten energiatehokkuudesta, 2010/31/EU. Sen tarkoitus on ohjata Euroopan unionin jäsenmaiden rakentamiskäytäntöjä energiatehokkaampaan ja päästöttömämpään suuntaan. Parannukset koskevat niin uudisrakentamista kuin olemassa olevaa rakennuskantaa [1]. Jäsenmailla täytyy olla oma kansallinen säädös rakennusten energiatehokkuudesta käyttöönotettuna kesällä 2012 [2]. Direktiivi ottaa huomioon paikalliset sääolot.

Unionin tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä ja kokonaisenergiankulutusta 20 prosenttia vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi se pyrkii nostamaan uusiutuvien energianlähteiden osuuden loppuenergiankulutuksesta 20 prosenttiin [4]. Rakennuskannan energiatehokkuuden parantaminen on tärkeää, koska rakennukset käyttävät 40 prosenttia kaikesta unionin sisällä käytetystä energiasta [1]. Direktiivien on tarkoitus asteittain uudistaa rakennustapoja kohti matalaenergiarakentamista ja lopulta kohti lähes nollaenergiarakentamista. Vuoden 2018 jälkeen rakennettavien julkisten rakennuksien on oltava lähes nollaenergiarakennuksia. Vuoden 2020 jälkeen sama vaatimus asetetaan koskemaan kaikkia uusia rakennuksia. Direktiivin toimenpiteillä uskotaan saavutettavan 5–6 prosentin vähennys hiilidioksidipäästöissä vuoteen 2020 mennessä [2].

EU:n ottaman linjauksen taustavaikuttimina toimivat YK:n ilmastosopimusta (United Nations Framework Convention on Climate Change = UNFCCC) täydentävä Kioton pöytäkirja, joka velvoittaa sen ratifioineet valtiot pudottamaan kasvihuonepäästönsä 20 prosenttia vuoden 1990 tilanteesta vuoteen 2020 mennessä. Toinen vaikutin on EU:n pyrkimys mahdollisimman energiaomavaraiseen tilaan suhteessa muihin maailman talousmahteihin. Tähän päästään mm. siirtymällä hyödyntämään mahdollisimman paljon uusiutuvia energianlähteitä ja pyrkimällä mahdollisimman pieneen energiankulutukseen. [1]

2.2 Suomen tavoitteet energiatehokkuudelle

Suomi hyväksyi Kioton pöytäkirjan YK:n ilmastopöytäkirjan liitteen vuonna 2002, joka on sen jälkeen muodostanut osan EU:n ilmastopolitiikasta. Suomen ilmasto- ja energia-tavoitteet ovat siis hyvin lähellä EU:n yhteisiä tavoitteita, jotka mainittiin kappaleessa 2.1. Poikkeuksena on Suomen tavoite nostaa uusiutuvan energian osuudeksi 38 prosenttiin kokonaisenergian kulutuksesta vuoteen 2020 mennessä, kun unionin tavoitteena on 20 prosenttia. [4 ja 5]

Suomen on aloitettava panostamaan matalaenergiarakentamiseen, jotta se voi täyttää EU-direktiivin asettamat energiatehokkuus- ja päästöjä vähennysvaatimukset. Suomen oma kansallinen määräys rakennusten energiatehokkuudelle tulee voimaan 1. päivänä heinäkuuta 2012 [3]. Tämä määräys on yksi askel kohti matalaenergiarakentamista. Uudistuvat rakentamismääräykset parantavat asteittain rakennusten energiatehokkuutta kohti pistettä, jolloin rakennukset käyttävät minimaalisesti energiaa. EU-direktiivi vaatii, että vuoden 2018 jälkeen rakennettavien julkisten rakennusten on oltava nolla-energiataloja ja vuoden 2020 jälkeen sama vaatimus astuu voimaan koskien kaikkia uudisrakennuksia [1].

3 Määräyksen sisältö

3.1 Määräyksen kattavuus

Suomen rakentamismääräyskokoelman (SRMK) osa D3 Rakennuksen energiatehokkuus 2012 [3] koskee vain uudisrakennuksia. Uusi D3 ei siis vaikuta olemassa olevien rakennusten saneeraukseen. Määräyksen ulkopuolelle jäävät myös rakennukset, jotka eivät käytä energiaa lämmitykseen tai jäähdytykseen sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseen. Määräyksen vaikutusalueeseen kuuluvat rakennukset jaotellaan yhdeksään käyttötarkoitusta vastaavaan luokkaan, taulukko 1. [3]

Taulukko 1. Rakennukset ja tilat jaoteltuna käyttötarkoitukseluokkiin [3].

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

Uuteen D3:een on sisällytetty kaikki Suomen rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuuteen liittyvät asiat. Aikaisempi osa C3 Rakennusten lämmöneristys yhdistetään kokonaan D3:een. Myös D2:n Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihdon energiatehokkuusvaatimusta käsittelevät luvut siirtyvät D3:een. Määräyksessä vaaditut energiankulutuksen laskennat voidaan suorittaa SRMK:n osan D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2012, mukaisesti. Tietyt lähtötiedot kokonaisenergiakulutusta varten on kuitenkin otettava D5:sta. Näitä ovat esimerkiksi lämmitysratkaisun ja lämpömuodon vuosihyötysuhteet.

3.2 LVI-suunnitteluasiat

3.2.1 Olennaisimmat käsitteet

Nämä käsitteet ja muutokset koskevat vain uudisrakentamista. Tärkeimpänä muutoksena voidaan pitää siirtymistä kokonaisenergiankulutuksen tarkasteluun, joka pitää sisällään myös käsitteet energiamuotojen kertoimet ja E-luku. Muita olennaisia uudistuksia ovat kesäajan huonelämpötilan hallinta ja sen laskenta sekä energian mittaus. Nämä asiat käydään läpi käytännönläheisemmin myöhemmin tässä työssä.

3.2.2 Kokonaisenergiankulutus

Kokonaisenergiankulutuksen tarkasteluun siirtyminen on olennainen muutos, kun halutaan vähentää energiankulutusta ja kasvihuonekaasujen päästöjä kansallisella tasolla. Vain kokonaisuutta tarkastelemalla voidaan tehdä todellisia yhteiskunnallisia säästöjä ja vähennyksiä energian ja päästöjen suhteen. Kokonaisenergiankulutuksen laskennan on

tarkoitus näyttää, kuinka paljon rakennus todella kuormittaa ympäristöä ja kuinka energiatehokas se on suhteessa muihin vastaaviin rakennuksiin.

D3:n voimaantullessa jokaiselle uudelle rakennukselle on laskettava E-luku. Se kuvastaa, kuinka paljon rakennus käyttää energiaa yhtä lämmitettyä nettoneliötä kohti vuodessa. E-luvun on oltava kyseisen rakennusluokan E-luvun maksimiarvoa pienempi, tai muuten rakennus ei läpäise määräyksiä eikä rakennuslupaa hyväksytä. E-luku eroaa aikaisemmin käytössä olleesta ET-luvusta siten, että käytetyt energiamuodot, kuten sähkö, kaukolämpö ja kaukojäähdytys sekä polttoaineet (uusiutuvat ja uusiutumattomat), painotetaan energiamuotojen kertoimella ja näin saadaan rakennuksen kokonaisenergiankulutus laskettua. Toisin sanoen rakennuksen ostoenergia eritellään käytetyn energian mukaan (sähkö, kaukolämpö, öljy jne.) ja kerrotaan kyseisen energiamuodon kertoimella. Nämä tulot lasketaan yhteen ja saadaan rakennuksen todellinen energiankulutus eli kokonaisenergiankulutus yhteiskunnallisesta näkökulmasta.

Energiamuotojen kerroin

Energiamuotojen kertoimilla on tarkoitus kuvata, mitkä ovat kunkin energiamuodon kulutuksen todelliset seuraukset yhteiskunnalle energiankulutuksen ja päästöjen suhteen. Se on verrannolliskerroin, joka kuvastaa, kuinka paljon energiamuodon tuottamiseen, varastointiin ja kuljettamiseen on kulunut muuta energiaa. Toisin sanoen paljonko tietyn energiamuodon käyttäminen kuormittaa ympäristöä, kun otetaan huomioon, mistä lähteestä energia on peräisin. Kaava 1 näyttää energiamuotojen kertoimen tehtävän kokonaisenergiankulutuksen tarkastelussa.

$$(energiankulutus) * (kerroin) = (kulutuksen seuraukset) \quad (1)$$

Energiamuotojen kerroin mahdollistaa eri energiamuotojen kulutuksen laskemisen yhteen. Kun tietyn energiamuodon ostoenergia kerrotaan sen energiamuodon kertoimella, otetaan huomioon sen todellinen primäärienergiankulutus ja päästöt. Tämän painottamisen jälkeen eri energiamuodot on tasapäistetty, ja ne voidaan laskea yhteen. Luvut ovat teoreettisia ja kuvastavat yhteiskunnalle muodostuvaa primäärienergiankulutusta ja kasvihuonekaasujen päästöjä. Painotuksen jälkeinen energiamäärä vastaa kiinteistön kulutuksen seurauksia.

Kertoimet on laskenut Matias Keto Aalto-yliopistosta Energiamuotojen kerroin-raportissaan ympäristöministeriölle [7]. On hyvä ottaa huomioon, että nämä kertoimet ovat maakohtaisia. Euroopassa jokaisella maalla on enemmän tai vähemmän eriävät lukuarvot.

Fossiiliset polttoaineet, kuten hiili, öljy ja maakaasu, toimivat vertailuarvona. Ne ovat primäärienergiaa. Niitä käyttämällä tuotetaan muuan muassa sähköä ja kaukolämpöä. Sähkön korkean kertoimen syynä on sen korkea jalostusaste. Jotta sähköä saadaan käytettäväksi kiinteistöihin, sen eteen on nähty paljon vaivaa tuotannosta pistorasiaan. Sähkön kerroin voisi olla suurempikin, mutta sitä painaa alas yhteistuotanto kaukolämmön kanssa [7]. Kaukolämmön kerroin on alle 1, koska sitä tuotetaan pääasiallisesti sähkön yhteydessä, jolloin lämmöntuotannon hyötysuhde on suurempi ja ympäristönkuormitus pienempi kuin pelkän fossiilisen polttoaineen lämmöntuotannossa. Uusiutuvat polttoaineet, kuten teollisuudesta muodostuva puuhake ja puru sekä pelletit ja halot että muut biopolttoaineet, luokitellaan palaessaan päästöttömiksi, koska ne kuuluvat luontaiseen hiilikiertokulkuun eivätkä näin ole lisänä kasvihuonepäästöissä. Niiden jalostus, varastointi ja kuljetus sen sijaan kuluttavat muita energiamuotoja, joten niidenkin käytöllä on loppuen lopuksi seurauksia. Tästä johtuen niiden kerroin on 0,5. [7] Energiamuotojen kertoimien lukuarvot esitellään myöhemmin luvussa 4.

Energiamuotojen kertoimien ei ole tarkoitus rangaista tai syrjiä tiettyjä lämmitysmuotoja tai LVI-teknisiä ratkaisuja, vaan ohjata suunnittelijoita ja kuluttajia mahdollisimman energiaviisaaseen ja säästeliään lopputulokseen. Sen tarkoitus on tehdä loppu energiantuhlauksesta ja aloittaa energian säästö. Energiamuotojen valistunut ja oikea valinta kutakin käyttökohdetta varten sekä energian harkittu käyttö lopulta ohjaa päästöjä alemmas. Tähän tähtää koko Suomen pitkän aikavälin ilmastopolitiikka ja rakennusten energiatehokkuuden uudistaminen.

Uusiutuva omavaraisenergia

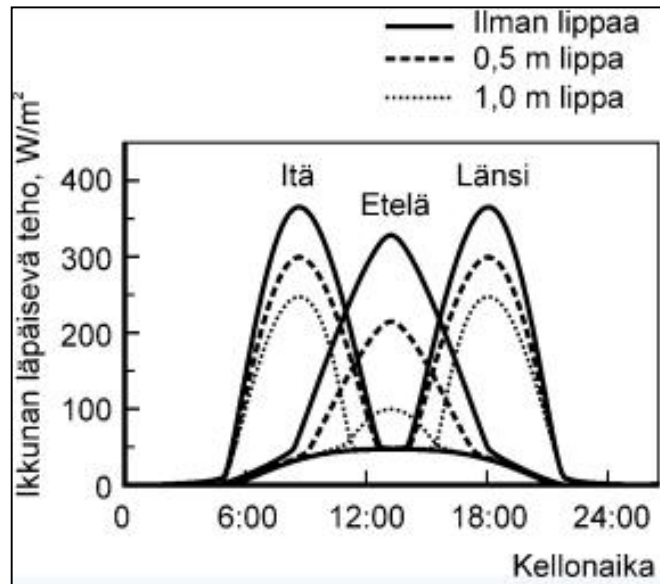
Rakennuksen tuottama energia otetaan huomioon kokonaisenergiankulutustarkastelussa. Jos rakennus esimerkiksi tuottaa aurinkolämpöä, -sähköä tai tuulivoimaa ja osaa valjastaa sen nettoenergian tarpeen hyödynnettäväksi, nämä hyötyenergiat vähenne-

tään rakennuksen ostoenergiasta parantaen rakennuksen E-lukua. Uusi määräys siis kannustaa suunnittelijoita keksimään paikallisia ratkaisuja tuottaa lämmitys- ja sähköenergiaa omaan hyötykäyttöön. Tämä hyöty E-luvun pienenemisessä voidaan jälleen käyttää jonkin muun suunnittelualan määräyksien höllentämisessä. Tulevaisuuden visioissa talot voitaisiin rakentaa energiaomavaraisiksi tai jopa niin, että ne syöttäisivät tuottamansa ylimääräisen sähköenergian valtakunnan verkkoon [6].

3.2.3 Kesäajan huonelämpötila

Uudistuva D3 pyrkii vaikuttamaan tulevaisuuden rakennuksiin myös rakenteellisesti. Siinä todetaan, että rakennuksien haitallinen ylikuumeneminen tulisi ensisijaisesti estää rakenteellisilla ja muilla passiivisilla keinoilla. Passiivinen ratkaisu on luonnollisesti kaikkein energiasäästeliäin. Rajoitukseksi kesäajan huonelämpötilalle on asetettu 150 astetuntia 1. kesäkuuta ja 31. elokuuta välisenä aikana. [3] Tämä luku saatetaan kuitenkin myöhemmin muuttaa suuremmaksi, jos se koetaan yleisesti liian pieneksi [6]. Yksi asetunti on yhden asteen ylitys yhden tunnin ajan määrätyn jäähdytysrajan yläpuolella. Näitä yllämpötilaisia tunteja ei saa kertyä yli 150 ennalta mainittuna kesä kautena. Muuten rakennuslupaa ei myönnetä.

Passiivisia jäähdytyskeinoja ovat esimerkiksi rakennuksen tai ikkuna-alojen oikea suuntaus suhteessa ilmansuuntiin sekä aurinkosuojaus. Aurinkosuojaus voidaan toteuttaa erilaisilla ikkunalasien tyypeillä, jotka heijastavat ylimääräisen auringonsäteilyn pois. Ikkunan varjostaminen suoralta auringonpaisteelta voidaan toteuttaa myös markiiseilla, lipoilla tai sälekaihtimilla. Kuva 1 näyttää, kuinka auringon aiheuttama ylimääräinen lämpöteho voidaan jättää rakennuksen ulkopuolelle käyttämällä varjostimia ikkunoiden yhteydessä.



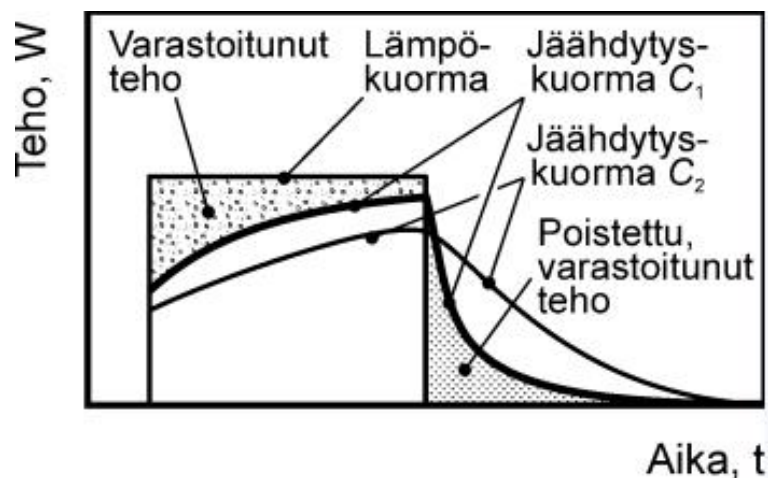
Kuva 1. Ikkunoiden varjostamisella saatu passiivinen jäähditys 1,5 metriä korkealle kirkaalle kolmilasille lasille 15. kesäkuuta Suomessa [6].

Aurinkosuojaus on ollut yleisesti käytössä passiivisena jäähdityskeinona jo pitkään muualla maailmassa. Suomessa sen käyttö on kuitenkin pysynyt vähäisenä. Ikkunan varjostimia näkyy katukuvassa jonkin verran liike- ja toimistorakennuksissa, ja muutamissa asuinkerrostaloissakin on kokeiltu markiiseja, mutta kokonaisvaltaisempi aurinkosuojaus on jäänyt hyödyntämättä. Uusi D3 pyrkii tekemään tähän muutoksen. Erityisesti asuinkerrostaloissa, joissa tavanomaisesti ei ole erillistä jäähdytystä tai se hoidetaan ilmanvaihdolla, auringonsäteilystä johtuvaa lämpökuormaa ei saada poistettua sisätiloista ja astetuntien määrä ylittyy. Yksi ratkaisu tähän asutuskeskuksissa voisi olla kaukokylmän yleistyminen. Lämmityskauden ulkopuolella radiaattoreihin tuotaisiin lämmönsiirtimen kautta kaukokylmää kaukolämmön sijaan. Tätä menetelmää ei voida kuitenkaan soveltaa pienempiin paikkakuntiin, jotka ovat kaukolämpöverkon ulkopuolella. Tulevaisuudessa aurinkosuojaus todennäköisesti yleistyy ja näyttää siltä, että sen suunnittelu lankeaa LVI-suunnittelijalle. LVI-suunnittelijan on siis oltava yhteistyössä pääsuunnittelijan kanssa hyvin varhaisessa suunnitteluvaiheessa, kun valitaan sopivaa ratkaisua rakennuksen julkisivulle.

Passiivinen jäähditys voidaan toteuttaa myös siirtämällä olemassa olevaa alhaisempaa lämpötilaa nesteen ja lämmönsiirtimen avulla jäähdytettäviin tiloihin. Neste käy kiertämässä viileän pohjaveden tai maan kautta, minkä jälkeen se kulkee lämmönsiirtimen läpi, jossa se ottaa itseensä huonetiloista tulevan toisiopiirin, jäähdytinpalkki- tai patte-

riveden, lämmön itseensä ja luovuttaa sen jälleen kylmään maaperään tai veteen näin viilentäen huonelämpötilaa. Tämäntyyppisessä kierrossa ei tarvita kompressoria, minkä vuoksi sitä kutsutaan passiiviseksi. Siihen ei tehdä ulkopuolista työtä. Ainoat sähköä kuluttavat laitteet ovat nestepiirien kiertopumput.

Rakennusvalvonnan mukaan asuinkerrostalojen jäähdytystä ei saa ajatella toteutettavaksi ikkunoita tai parvekkeenovia avaamalla. Jotta määräykset läpäistään, on kohteeseen suunniteltava jokin hallitumpi jäähdytysratkaisu. Kuva 2 näyttää, kuinka päivän aikana rakenteiden itseensä sitoma lämpöenergia vapautuu myöhemmin huoneilmaan ja näin aiheuttaa jäähdytysarpeen vielä auringonlaskun jälkeen. Päivän aikana varastoitunut lämpöteho (pilkullinen alue) siirtyy auringon laskettua poistettavaksi, varastoituneeksi lämpötehoksi (tummennettu alue). Jäähdytyskuorma C_1 kuvaa tilannetta, jossa rakenteisiin sitoutuu vähän lämpöä (esimerkiksi puutalo). Tällöin tilanteessa C_1 rakenteen massa absorboi vähän lämpöä päivän aikana ja näin jäähdyttää huonetilaa vain hieman päivän kuumimpana aikana. Yöllinen rakenteista huokuva lämpöteho on pieni. Jäähdytyskuormassa C_2 rakenteiden massaan sitoutuu enemmän lämpöenergiaa (esimerkiksi kivitalo). Päiväsaikaan rakenteisiin sitoutuva lämpöenergia jäähdyttää tilaa, mutta yöaikaan rakenteiden luovuttaessa lämpönsä huonetilaan ne aiheuttavat kohonneen lämpökuorman. Kesäajan huonelämpötilan tarkastelu on suoritettava niin kutsutulla dynaamisella laskentatyökalulla. Se ottaa huomioon ajan kulumisen ja rakenteiden massaan sitoutuneen lämmönluovutuksen. Käytetyn laskentatyökalun kelpoisuus on osoitettava.



Kuva 2. Rakenteiden massaan sitoutunut lämpöteho ja sen muodostama jäähdytyskuorma [6].

3.2.4 Energiankäytön mittaus

Samalla kun siirrytään yhä vähemmän energiaa kuluttavaan uudisrakentamiseen, halutaan myös tehostaa energian kulutuksen seurantaan. On paljon helpompaa säästää, kun tiedetään missä, mitä, milloin ja miten paljon kulutetaan. Poikkeavuudet ja vikatilanteet voidaan huomata välittömästi ja niihin voidaan puuttua. Näin saadaan järjestelmät toimimaan optimaalisesti ja suunnitelmien mukaisesti.

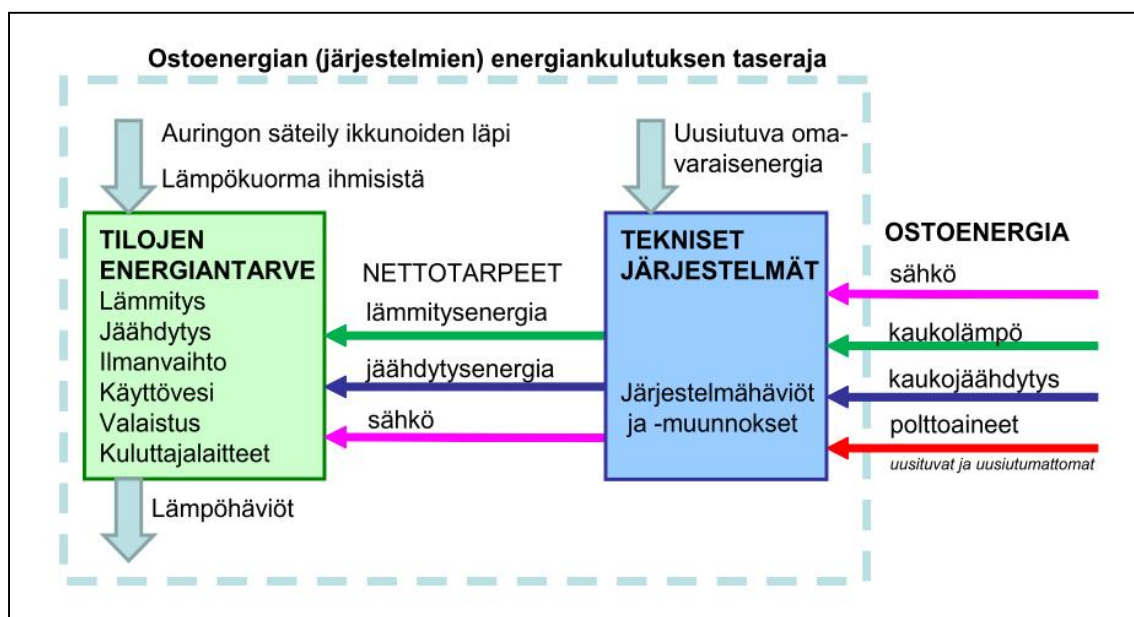
4 Kokonaisenergiankulutus

4.1 Kokonaisenergiankulutuksen pääpiirteet

Tässä kappaleessa käydään läpi asiat, jotka LVI-suunnittelijan on otettava huomioon rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen laskennassa. Siirtyminen rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen tarkasteluun tuo uusia rakennuksen energiatehokkuuteen liittyviä osatekijöitä. Tärkeimpiä näistä ovat käyttötarkoitukseluokat, energialaskennan lähtötiedot, energiamuotojen kertoimet, omavaraisenergia ja E-luku. Huomioitavaa E-luvun laskennassa on, että se on täysin teoreettinen arvo rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta ja ostoenergian määrästä. Se ei kuvasta todellista energiankulutusta, vaan sen tarkoitus on osoittaa rakennuksen määräystenmukaisuus sekä mahdollistaa vertailu rakennusten, teknisten järjestelmien ja energiamuotojen välillä. E-luvun laskennassa saatua ostoenergian määrää ei voida käyttää rakennuksen käyttökustannuksien laskennassa, koska lähtö- ja säätiedot sanelee D3, eivätkä ne siis vastaa toteutuvaa lopputulosta. Kokonaisenergiankulutuksen eri osa-alueet, kuten lämmitysenergian tarve ja sähkönkulutus, voidaan laskea esimerkiksi Suomen rakentamismääräyskoelman osan D5:n mukaan. Jäähdytysenergian tarve täytyy myös selvittää E-lukua varten käyttötarkoitukseluokissa 2–8. Sen laskenta käsitellään luvussa 6.

Kuvassa 3 on eritelty rakennuksen energiankulutuksen laskennassa esiintyviä termejä ja käsitteitä. Katkoviivan sisäpuoliset asiat ovat rakennuksen energiankulutuksen summa. Kaikki alkaa rakennuksen tilojen energiantarpeiden selvittämisestä (vihreä laatikko). Jokaisen osa-alueen (lämmitys, jäähdytys, ilmanvaihto, käyttövesi, valaistus ja kuluttajalaitteet) energiankulutus on pidettävä erillään. Tilojen energiantarpeeseen vaikuttaa myös hallitsemattomat lämpöhäviöt verkostoissa sekä ulkoisten että sisäisten lämpökuormien hyödyntäminen ja torjuminen. Kun eri osa-alueiden energiantarve on

selvitetty, voidaan eri energiamuotojen osa-alueet laskea yhteen nettotarpeiksi: lämmitysenergia (lämmitys, ilmanvaihto ja lämminkäyttövesi), jäähdytysenergia (jäähdytys ja ilmanvaihto) sekä sähköenergia (LVI-laitesähkö, valaistus ja kuluttajalaitteet). Nettotarve on energiamäärä, joka täytyy tyydyttää, jotta kiinteistössä toteutuvat sisäilmastotavoitteet. Nettotarpeen määrää lisäävät teknisten järjestelmien järjestelmähäviöt ja niissä tapahtuvat energiamuutokset (sininen laatikko). Nettotarvetta voidaan vähentää, jos kiinteistö tuottaa uusiutuvaa omavaraisenergiaa, kuten tuuli- tai aurinkosähköä, aurinkolämpöä tai lämpöpumpun ottamaa energiaa lämmönlähteestä [3]. Näiden osatekijöiden selvittämisen ja yhteen laskemisen jälkeen saadaan rakennuksen tarvitsema ostoenergian määrä kullekin energiamuodolle erikseen. Eritellyt ostoenergiamäärät painotetaan omalla energiamuotokertoimellaan. Nyt energiamäärät on tasapäistetty ja ne voidaan laskea yhteen. Lopputulos on rakennuksen kokonaisenergiankulutus. Tämä summa jaetaan rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla ja saadaan rakennusviranomaisten vaatima E-luku rakennukselle. Tätä E-lukua verrataan rakennuksen käyttötarkoitukseluokan ilmoitettuun lukuarvoon. Jos laskettu E-luku on pienempi kuin määräyksissä mainittu, voidaan rakennuslupa myöntää.



Kuva 3. Kokonaisenergiakulutuksen tarkastelun käsitteitä [3].

4.2 Käyttötarkoituserluokat

Rakennuksen energiatehokkuutta määriteltäessä on järkevää lajitella rakennukset niiden käyttötarkoituksen mukaisesti. On selvää, että rakennuksien käyttöasteet ja -tavat poikkeavat huomattavasti toisistaan riippuen siitä, minkälaista toimintaa varten ne on tehty. Jotta rakennuksen energiatehokkuutta voidaan verrata muihin, on vertailu mielekästä tehdä kahden samantyyppisen rakennuksen välillä. Uusi D3 jaottelee rakennustyyppit luvun 3.1 taulukon 1 mukaisesti. Mikäli rakennuksessa on eri käyttötarkoitusta varten olevia alueita, se on jaettava käyttötarkoitusten mukaisiin osiin. Jos jokin osista on alle 10 % rakennuksen lämmitetystä nettoalasta, voidaan se haluttaessa laskea mukaan johonkin isompaan käyttötarkoitusalueeseen pienen merkityksensä vuoksi [3]. Liitteessä 1 on tehty tarkempi rakennusten käyttötarkoituserluokkien jako.

Rakennuksen käyttötarkoituserluokka määrittää rakennuksen E-luvun maksimiarvon. Luokan mukaan valitaan myös energianlaskennassa käytettävät lähtötiedot kuten sisäilmastoarvot, rakennuksen standardikäyttö, sisäiset lämpökuormat, lämpimän käyttöveden kulutus ja rakennuksen ilmanpitävyys. Lähtötiedot käsitellään seuraavassa kappaleessa. Taulukokko 2 esittää kullekin rakennustyyppille asetetut E-luvun ylärajat.

Taulukko 2. E-luvun määräysten mukainen maksimiarvo rakennustyypeittäin [3].

Luokka 1:	Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot	Lämmitetty nettoala $A_{\text{netto}} \text{ m}^2$	E-luku $\text{kWh/m}^2 \text{ vuodessa}$
	Pientalo	< 120 $120 < A_{\text{netto}} < 150$ $150 < A_{\text{netto}} < 600$ $A_{\text{netto}} > 600$	204 $372 - 1,4 \times A_{\text{netto}}$ $173 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$ 130
	Hirsitalo	< 120 $120 < A_{\text{netto}} < 150$ $150 < A_{\text{netto}} < 600$ $A_{\text{netto}} > 600$	229 $397 - 1,4 \times A_{\text{netto}}$ $198 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$ 155
	Rivi- ja ketjutalo		150
Luokka 2:	Asuinkerrostalot		130
Luokka 3:	Toimistorakennukset		170
Luokka 4:	Liikerakennukset		240
Luokka 5:	Majoitusliikerakennukset		240
Luokka 6:	Opetusrakennukset ja päiväkodit		170
Luokka 7:	Liikuntahallit pois lukien uima- ja jäähallit		170
Luokka 8:	Sairaalat		450
Luokka 9:	Muut rakennukset	E-luku on laskettava, mutta sille ei ole rajoitusta	

4.3 Energialaskennan lähtötiedot

Kokonaisenergiankulutusta ei lasketa suunnitteluarvoilla vaan D3:n kappaleessa 3 esitellyillä lähtötiedoilla. Näitä ovat säätiedot, sisäilmaston arvot, rakennuksen standardikäyttö, sisäiset lämpökuormat, lämpimän käyttöveden kulutus ja rakennuksen ilmanpitävyys. Poikkeuksena ovat käyttötarkoitukseluokan 9 rakennukset, joissa käytetään suunnitteluarvoja.

Säätiedot ovat muuttuneet edellisestä D3:n versiosta. Nyt laskenta suoritetaan käyttäen säävyöhyke I:n, eli Helsingin säätietoja aiemman Jyväskylän säätietojen sijaan. Yhteistä säävyöhykettä käytetään, jotta E-lukuja voidaan vertailla. Säätiedot saadaan D3:n liitteestä 2. Rakennuksen todellista kulutusta arvioitaessa käytetään paikkakunnan omia säätietoja. Myös lämmitystehontarve lasketaan edelleen paikkakunnan mitoituslämpötilan mukaan.

Sisäilmaston asetusarvot ja ilmamäärät kokonaisenergiankulutuksen laskentaa varten sanelee D3. Ne on esitelty taulukossa 3. Käyttötarkoitukseluokkien 3–8 ulkoilmavirraksi

on kuitenkin annettava vähintään $0,15 \text{ dm}^3/(\text{s}, \text{m}^2)$ käyttöajan ulkopuolella. Poikkeuksena taulukkoarvoihin on, että jos ilmanvaihto on ohjattu tarpeen mukaan (lämpötila-, hiilidioksidi- tai kosteusmittauksen perusteella), käytetään ilmamäärien suunnitteluarvoja.

Taulukko 3. Sisäilmaston asetusarvot ja ilmamäärät [3].

Käyttötarkoitukseluokka	Ulkoilmavirta $\text{dm}^3/(\text{s m}^2)$	Lämmitysraja $^{\circ}\text{C}$	Jäähdytysraja $^{\circ}\text{C}$
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	0,4	21	27
Asuinkerrostalo	0,5	21	27
Toimistorakennus	2	21	25
Liikerakennus	2	18	25
Majoitusliikerakennus	2	21	25
Opetusrakennus ja päiväkot	3	21	25
Liikuntahalli	2	18	25
Sairaala	4	21	25

Rakennusten standardikäyttö ja sen aiheuttamat sisäiset lämpökuormat saadaan taulukosta 4.

Taulukko 4. Rakennusten standardikäyttö ja sisäiset lämpökuormat [3].

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus W/m^2	Kuluttajalaitteet W/m^2	Ihmiset W/m^2
		h/24h	d/7d				
	-			-	W/m^2	W/m^2	W/m^2
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00–24:00	24	7	0,6	8	3	2
Asuinkerrostalo	00:00–24:00	24	7	0,6	11	4	3
Toimistorakennus	07:00–18:00	11	5	0,65	12	12	5
Liikerakennus	08:00–21:00	13	6	1	19	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00–24:00	24	7	0,3	14	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00–16:00	8	5	0,6	18	8	14

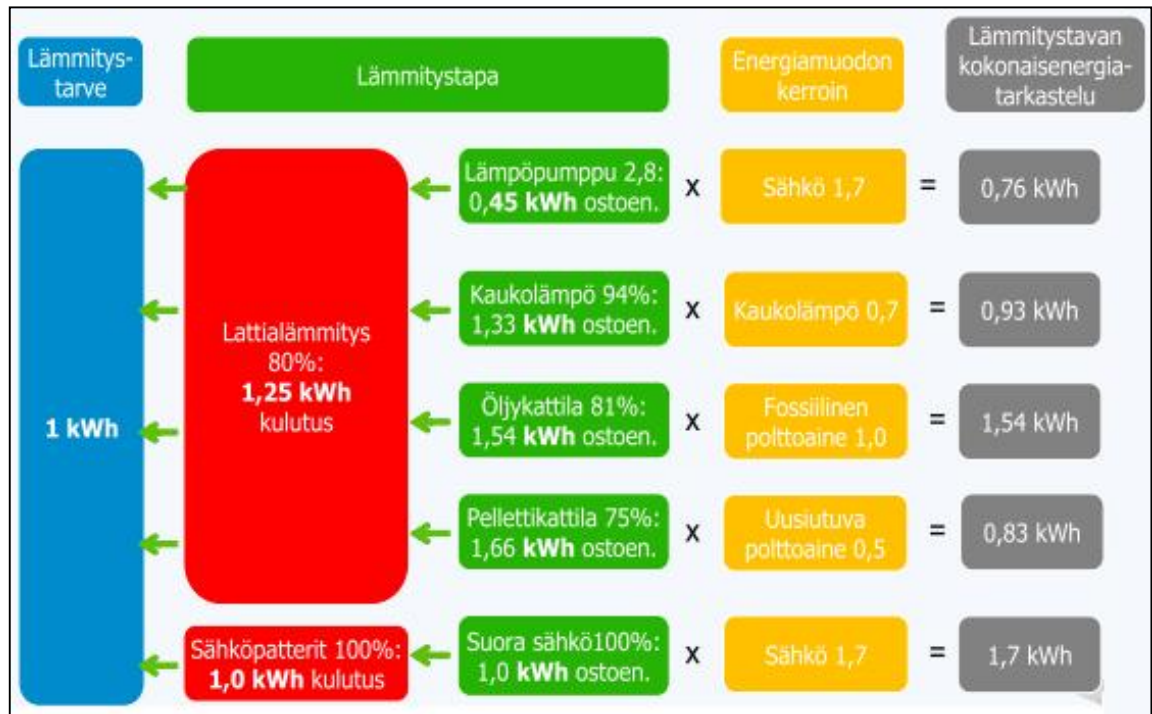
4.4 Energiamuotojen kertoimet

Kokonaisenergiankulutuksen tarkastelussa rakennuksen erimuotoiset ostoenergiat painotetaan kyseisen energiamuodon kertoimella. Taulukko 5 listaa kertoimet kullekin energiamuodolle.

Taulukko 5. Energiamuotojen kertoimet [3].

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

Kuvassa 4 on havainnollistettu, kuinka energiamuodon kerroin vaikuttaa E-luvun laskentaan. Suunnittelijan on otettava huomioon valintaa tehdessään niin lämmitystapa kuin energiamuoto. Lämmitystapaa ei pidä valita pelkästään energiamuodon kertoimen mukaan, vaan tarkastelussa on huomioitava myös energiamuodonmuutoksessa tapahtuvat häviöt sekä järjestelmän häviöt ja tarjolla olevat energiamuodot, kun tarkastellaan kohteen energiankulutusta. Kuvassa näkyvässä esimerkissä sähkölläkin voidaan päästä erittäin energiapihiin ja vähän saastuttavaan ratkaisuun. Kyseinen kuva ei ota kantaa siihen, mikä vaihtoehto on käyttäjälle edullisin, vaan siinä näkyy ainoastaan, kuinka energia- ja ympäristöystävällisiä ne ovat. Esimerkiksi pellettikattila kuluttaa eniten energiaa, mutta on silti toiseksi ympäristöystävällisin vaihtoehto, koska se on uusiutuva polttoaine. Jotta tiedettäisiin, mikä on käyttökustannuksiltaan halvin vaihtoehto, täytyisi selvittää energian hinta €/kWh jokaiselle energiamuodolle ja selvitettävä todellinen lämmitysenergian ostotarve. Valintaa tehdessä on myös huomioitava kyseisen energiamuodon saatavuus paikkakunnalla ja siihen liittyvät riskit pitkällä aikavälillä.



Kuva 4. Lämmitystavan kokonaisenergiatarkastelu [6].

4.5 Lämmitystapojen vuosihyötysuhteet

Lämmitystavan kokonaisenergiatarkastelussa olennaisia tekijöitä ovat lämmönjakotavan ja lämmitysmuodon vuosihyötysuhteet. Lämmönjako tarkoittaa tässä yhteydessä teknistä ratkaisua, jolla lämpö tuodaan ja jaetaan huonetiloihin lämmöntuottopisteestä esim. lämmönjakohuoneesta. Lämmitysmuodolla tarkoitetaan keinoa, jolla lämpö tuotetaan kiinteistössä eri lämmityspiirejä varten. Nämä vaikuttavat E-lukuun, ET-lukuun ja todellisiin käyttökustannuksiin muuttamalla lämmitysjärjestelmän tarvitsemaa ostenergian määrää.

Vuosihyötysuhteet lämmönjakotavalle ja lämmöntuotolle on määriteltävä kokonaisenergiatarkastelua varten. Kokonaisenergiakulutuksen laskennassa on käytettävä uuden D5:n mukaisia vuosihyötysuhteita. Luvut ovat teoreettisia sovittuja arvoja, joita voidaan käyttää eri järjestelmien välisessä vertailussa. Niiden soveltuvuutta todellisen kulutuksen arviointiin on harkittava tapauskohtaisesti.

4.5.1 Lämmönjakotapojen vuosihyötysuhteet

Lämpö voidaan jakaa huoneistoon kolmella eri päätävällä: vedellä, sähköllä tai ilmalla. Nämä voidaan edelleen pilkkoa pienempiin jakotapoihin kuten patterilämmitys, lattialämmitys, kattolämmitys jne. Taulukossa 6 on listattuna tyypillisimpien lämmönjakotapojen vuosihyötysuhteet.

Taulukko 6. Lämmitysjärjestelmien lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhteet [11].

Lämmitysratkaisu	Vuosihyötysuhde η
Vesiradiaattori 45/35 °C	
jakojohtot eristetty	0,90
jakojohtot eristämätön	0,85
Vesiradiaattori 70/40 °C	
jakojohtot eristetty	0,90
jakojohtot eristämätön	0,80
Vesiradiaattori 70/40 °C jakotukilla	
	0,80
Vesiradiaattori 45/35 °C jakotukilla	
	0,85
Vesikiertoinen lattialämmitys 40/30 °C	
maata vasten rajoittuva rakenne	0,80
ryömintätilaan rajoittuva rakenne	0,80
ulkoilmaan rajoittuva rakenne	0,75
lämpimään tilaan rajoittuva rakenne	0,85
Kattolämmitys (sähköinen)	
ulkoilmaan rajoittuva rakenne	0,85
lämpimään tilaan rajoittuva rakenne	0,90
Ikkunalämmitys (sähköinen)	
	0,80
Ilmanvaihtolämmitys	
huonekohtainen säätö	0,90
Sähköpatterilämmitys	
	0,95
Sähköinen lattialämmitys	
maata vasten rajoittuva rakenne	0,85
ryömintätilaan tai ulkoilmaan rajoittuva rak.	0,80
lämpimään tilaan rajoittuva rakenne	0,85
Muut lämmityslaitteet	
ulkotilaa tai maata vasten rajoittuva lämmitys	0,80
sisätilaan rajoittuva lämmityslaitte	0,80

4.5.2 Lämmitysmuotojen vuosihyötysuhteet

Lämpö voidaan tuottaa kiinteistön tarpeita varten esimerkiksi polttoainetta polttamalla lämpökattiloissa tai tuomalla kaukolämpöä lämmönsiirtimellä rakennuksen käyttöön. Muita vaihtoehtoja ovat lämpöpumput, aurinkokeräimet ja suorasähkölämmitys. Tässä luvussa keskitytään yleisimpiin lämmitysmuotoihin, joita ovat kattilalämmitys, kaukolämmitys ja lämpöpumput. Suoran sähkölämmityksen vuosihyötysuhde on 1. Taulukossa 7 on esitetty eri energiamuotojen kattiloiden sekä kaukolämmönjakokeskuksen vuosihyötysuhteet. Taulukkoarvot sisältävät lämmöntuotantoyksikköön integroidun tyypillisen varaajan lämpöhäviöt.

Taulukko 7. Lämmityskattiloiden ja kaukolämmönjakokeskuksen vuosihyötysuhteet eri energiamuodoille [11].

Lämmitysmuodot	Vuosihyötysuhde η
Erilliset pientalot sekä rivi - ja ketjutilat	
standardi öljy/kaasu	0,81
kondenssi öljy	0,87
kondenssi kaasu	0,92
pellettikattila	0,75
puukattila energiavaraajalla	0,73
sähkökattila	0,88
kaukolämpö	0,94
Muut isommat rakennukset	
standardi öljy/kaasu	0,90
kondenssi öljy	0,95
kondenssi kaasu	1,01
pellettikattila	0,84
puukattila energiavaraajalla	0,82
kaukolämpö	0,97

Lämpöpumpun vuosihyötysuhteet voidaan ilmoittaa lämpöpumpun kausisuorituskerroimen eli SPF-luvun avulla. Se kuvaa, kuinka monta lämpöenergiayksikköä yhtä sähköenergiayksikköä kohden lämpöpumppu tuottaa, kun tarkastellaan lämpöpumpun toimintaa koko vuoden ajalta. Kaava 2 [11].

$$SPF = \frac{(\text{vuodessa saatu lämpöenergia})}{(\text{vuodessa kulutettu sähköenergia})} \quad (2)$$

Esimerkiksi jos lämpöpumpun SPF-luku on 2,7, se tuottaa 2,7 kilowattituntia lämpöenergiaa jokaista 1 kilowattituntia kohden vuoden pituisen tarkastelujakson aikana. Taulukot 8 ja 9 esittävät SPF-luvut ulkoilmalämpöpumpuille ja maalämpöpumpuille. Luvut ovat vuoden keskimääräisiä lämpökertoimia, ja niitä tulee käyttää ainoastaan, kun tarkastellaan koko vuoden energiankulutusta. Luvut ovat SRMK D5:sta, ja niitä tulee käyttää kokonaisenergiakulutuksen tarkastelussa.

Taulukko 8. SPF-luvut ulkoilmalämpöpumpuille [11].

Ulkoilmalämpöpumput	SPF-luku		
	Säävyöhykkeet		
menoveden korkein lämpötila °C	I–II	III	IV
ilma-ilma			
	2,8	2,8	2,7
ilma-vesi (tilojen lämmitys)			
30	2,8	2,8	2,7
40	2,5	2,5	2,4
50	2,3	2,3	2,2
60	2,2	2,1	2
ilma-vesi (käyttöveden lämmitys)			
60	1,8	1,6	1,3

Taulukko 9. SPF-luvut maalämpöpumpulle [11].

Maalämpöpumput	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila °C	
menoveden korkein lämpötila °C	–3	+3
Tilojen lämmitys		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
Käyttöveden lämmitys		
60	2,3	2,3

Lämmitysjärjestelmää ja -muotoa valittaessa on otettava hyötysuhteiden lisäksi huomioon myös seuraavat asiat:

- järjestelmien hankinta- ja käyttökustannukset, käyttöikä sekä takaisinmaksuaika
- kohteen sijainti ja ympäristö
- energiamuotojen hintojen vaihtelut
- energiamuodon saatavuus nyt ja tulevaisuudessa sekä siihen liittyvät riskit.

4.6 Uusiutuvat omavaraisenergiat

Uusiutuviksi omavaraisenergioiksi luetaan aurinkolämpö ja -sähkö, paikallinen tuulienergia ja lämpöpumpulla lämmönlähteestä otettu energia. Näitä kaikkia voidaan käyttää mm. lämpimän käyttöveden tai patteriverkostoveden esilämmitykseen tai lattia- lämmityspiirin veden lämmitykseen. Kerätyn sähkön ja lämmön energia tulisi varastoida vesi- tai johonkin muuhun massaan. Sähköenergian varastointi muulla tapaa ei liene kannattavaa. Kiinteistössä mahdollisesti poltettavia uusiutuvia polttoaineita ei lasketa uusiutuvaksi omavaraisenergiaksi. D5 antaa ohjeet ainoastaan aurinkokeräimellä tapahtuvaan lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Hyödynnettävän energian laskenta kuvataan luvussa 6.5 [11]. Muissa tapauksissa hyödynnettävä omavaraisenergia on todennettava muilla keinoilla.

4.7 E-luku

Kun ostoenergian määrä energiamuodoittain on selvitetty ja painotettu energianmuotokertoimillaan, saadaan rakennuksen kokonaisenergiankulutus summaamalla tasapäistetyt ostoenergiat yhteen. Taulukon 10 esimerkissä nähdään, kuinka tasapäistäminen yksinkertaisimmillaan tapahtuu. Summattu lopputulos jaetaan rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla ja saadaan lopputulokseksi E-luku [$\text{kWh}/(\text{a n-m}^2)$]. Saatua lukua verrataan kyseisen rakennuksen käyttötarkoitukseluokan E-lukuun, joka pitää alittaa. Jos laskettu E-luku alittaa määräyksen lukuarvon, voidaan rakennuslupa myöntää. Muussa tapauksessa on suunnitteluarvoihin tehtävä muutoksia.

Taulukko 10. Esimerkki ostoenergioiden tasapäistämisestä ja summauksesta.

Ostoenergia	Energiamuoto	Ostoenergian määrä kWh/a	kerroin	Kokonaisenergiankulutus kWh/a
Lämmitys	Kaukolämpö	10 000	0,7	7000
Jäähdytys	Kaukojäähdytys	3 000	0,4	1200
Sähkö	Sähkö	10 000	1,7	17000
Yhteensä		23 000	-	25200

Liitteessä 2 on esimerkki kokonaisenergiankulutuksen laskennasta. Liitteen 2 esimerkissä on tehty yksinkertaistus lämmitysenergian ja jäähdytysenergian tarpeen laskennassa: Energiantarpeen ja teknisen järjestelmän välistä on jätetty huomioimatta lämmönsekä jäähdytyksenjakotapa. Liitteen 2 esimerkissä oletetaan jakotavan olevan sama kaikissa teknisissä järjestelmissä, jolloin energiantarvelaatikossa näkyvät häviöt ovat

samat kaikille teknisille järjestelmille ja energiamuodoille. Todellisuudessa energiantarpeen häviöt voivat vaihdella paljonkin lämmönjakotavan vuoksi, kuten tämän työn kuvassa 4 on esitetty. Vertaa lattialämmitystä suoraan sähköpatterilämmitykseen.

4.8 Vaikutus LVI-suunnitteluun

Rakennusten jako käyttötarkoitusten mukaan tulee vaikuttamaan sellaisten kohteiden suunnittelussa, joissa on useampia selkeästi käyttötarkoitukseltaan erottuvia osiota. Tällaisia kohteita voivat olla esimerkiksi kylpylähotelli tai ostoskeskus, joka voi sisältää liiketiloja, toimistotiloja ja elokuvateatterin. Tämänkaltaisiin kohteisiin on syytä harkita toisistaan erillisiä LVI-järjestelmiä eri käyttöasteiden ja -tarkoitusten sekä sisäilmastotavoitteiden vuoksi. Rakennuksen läpipääsy E-luvun laskennassa voi myös olla kiinni tällaisesta osioiden erottelusta, jolloin rakennuksen vaativimmat osat eivät korota vaatimattomamman osan E-lukua. Mikäli rakennuksen osio on pieni suhteessa koko rakennukseen (alle 10% rakennuksen lämmitetystä nettoalasta), voi olla taloudellisempaa sisällyttää kyseinen osio samoihin LVI-järjestelmien alle. Tämänlaisessa tapauksessa erillisen järjestelmän hankintakustannukset voivat olla turhan suuret saatuun hyötyyn nähden. Eri käyttötarkoitusosien yhteen sulauttaminen voi heikentää tai parantaa rakennuksen E-lukua ja mahdollistaa pientä keinottelua E-luvun laskennassa, mutta oletettavasti sen vaikutukset jäävät kuitenkin pieniksi. Jokaisen rakennuksen osan on kuitenkin täytettävä omalle käyttötarkoitusluokalleen asetettu vaatimus.

Rakennuksen energiankulutuksen laskentaan käytetyt lähtötiedot muuttuvat. Myös laskennassa käytetyt lämmönjakotavan ja lämmitysmuodon hyötysuhteet muuttuvat. Näillä muutoksilla ei sen sijaan ole varsinaista vaikutusta itse LVI-suunnitteluun, koska muuttuvien lukuarvojen vaikutus LVI-ratkaisun valintaan on pieni. Vain laskentasäännöt muuttuvat. Suurempi vaikutus LVI-suunnitteluun tulee sen sijaan olemaan E-luvun laskennassa huomioon otettavat uudistuvat omavaraisenergiat. Aiemmassa ET-luvun laskennassa rakennuksen itsensä tuottamaa lämpö-, kylmä- tai sähköenergiaa ei otettu huomioon. Uudistuvien omavaraisenergioiden rakennuksen ostoenergiaa vähentävä vaikutus, ja näin ollen E-lukua pienentävä vaikutus, tulee ohjaamaan LVI-suunnittelua monipuolisempaan suuntaan. LVI-suunnittelijan on entistä enemmän syytä pohtia ja puntaroida mahdollisten uudistuvaa omavaraisenergiaa keräävien järjestelmien lisäämistä tai integroimista perinteisiin LVI-ratkaisuihin. Tulevaisuudessa muun muassa seu-

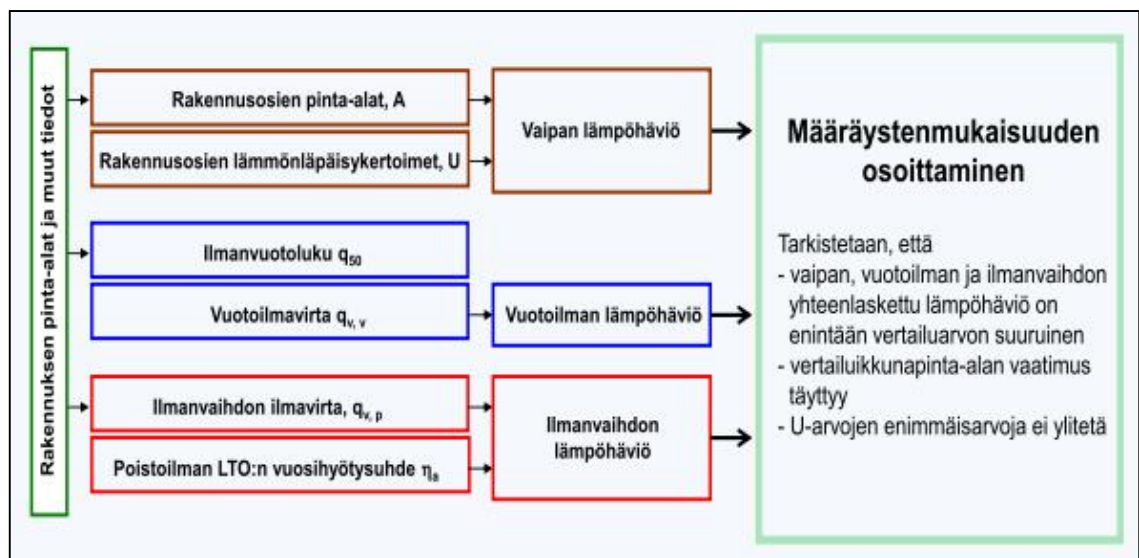
raavanlaiset ratkaisut yleistyvät: aurinkokeräimillä esilämmitetty lämminkäyttövesi, patterivesi tai matalan lämpötilan lämmitysverkoston vesi, kuten lattialämmityksessä. Muita tulevaisuuden suunnitelmissa nähtäviä ratkaisuja ovat passiiviset ja aktiiviset lämmitys- sekä jäähdytyspiirit, joissa lämpö- tai jäähdytysenergia otetaan suuresta maa- tai vesireservistä [14]. Pidemmällä aikavälillä määräyksien tarkoitus on ohjata rakennuskantaa uusiutumaan yhä enemmän omavaraisemmaksi energian suhteen. Kehitys tulee alkamaan julkisen sektorin kohteista ja yksityinen sektori seuraa perässä [1, s. 9, artikla 9].

E-luku ei vastaa todellista kulutusta. Laskenta on toteutettu SRMK D3:n lähtöarvoilla, eikä suunnitteluarvoilla. Myös energiamuotojen kertoimella painotettu ostoenergian määrä ei vastaa kiinteistön todellisuudessa kuluttamaa energiamäärää, ja näin ollen sitä ei voida käyttää käyttökustannuksien arviointiin. E-lukua ei voida siis käyttää argumenttina kustannustehokkaammalle LVI-ratkaisulle. Pienempi E-luku kahden vaihtoehtojen välillä kuvastaa vain teoreettisesti ympäristöystävällisempää ja yhteiskunnallisesti taloudellisempaa vaihtoehtoa. Jos halutaan tarkastella, mikä vaihtoehtoista on käyttäjälle taloudellisempi, on edelleen tehtävä todelliseen ostoenergiaan ja sen polttoaineeseen perustuva elinkaarikustannuslaskelma. E-luvun tehtävä on näyttää, läpäiseekö suunnitteluratkaisu määräykset ja voidaanko rakennuslupa myöntää. Energiamuotojen kertoimet tulevat kuitenkin ohjaamaan tulevaisuuden LVI-suunnittelijoiden ratkaisuja varsinkin suuremmissa rakennuskohteissa, joissa E-luku on asetettu tiukemmaksi. Pientalojen kohdalla suorasähkölämmitys voi edelleen olla kustannuksiltaan ja muilta argumenteiltaan (helppous, investointikustannukset) järkeen käypä ratkaisu. E-luvun raja voidaan alittaa muilla LVI-ratkaisuilla, kuten panostamalla energiatehokkaampaan ilmanvaihtojärjestelmään tai aurinkokeräimiin. Tärkeintä on huomioida, ettei E-luku tai energiamuodon kerroin itsessään saisi vaikuttaa LVI-suunnittelijan ratkaisuun. Loppukäyttäjän kannalta paras LVI-ratkaisu on elinkaaritarkastelussa kustannustehokkaimmaksi osoittautuva vaihtoehto, jollei ympäristöarvoille anneta painoarvoa. Yhteiskunnan kannalta paras LVI-ratkaisu on energiatehokkain ja vähäpäästöisin vaihtoehto, jotta päästään Suomen ja EU:n ilmastotavoitteisiin ja energiaomavaraisuuteen. Tässä pienin E-luku on ratkaisevin tekijä. Näin ollen E-luku tulee ohjaamaan enemmän julkisrakentamista ja suurempia rakennuskohteita kuin pientalorakentamista. Lisäksi energiamuotoa ja LVI-ratkaisua valittaessa on otettava huomioon kohteen sijainti ja energiamuotojen saatavuus nyt ja pitkällä aikavälillä sekä siihen mahdollisesti liittyvät riskit.

5 Tasauslaskenta

5.1 Tasauslaskennan periaate

Tasauslaskenta on määräyksien antamien vertailuarvojen ja rakennuksen suunnittelussa käytettyjen suunnitteluarvojen antamien laskennallisten tuloksien vertailua. Tarkastelu tapahtuu suunnitteluratkaisun ja vertailuratkaisun välillä. Suunnitteluratkaisun laskennalliset arvot tulevat toteutettaviksi aiotuista suunnitelmista tai SRMK D3:n määrittelemistä rakennuksen standardikäytönmukaisista taulukkoarvoista. Suunnitteluratkaisun tarkoitus on kuvata toteutuvaa rakennusta. Vertailuratkaisu on D3:n vähimmäisvaatimuksien tasoinen rakennus, ja sen arvot tulevat D3:sta. Suunnitteluratkaisun laskentatulokset on oltava vähintään yhtä hyvät kuin vertailuratkaisun. Laskutuloksien on tarkoitus osoittaa, että suunnitteluarvoilla päästään määräyksien vaatimaan energiatehokkuuteen. Jos näin ei käy, on suunnitteluarvoja muutettava paremmiksi. Kuvassa 5 on eritelty tasauslaskennassa selvitettävät ja laskettavat asiat sekä laskennan kulku vasemmalta oikealle [6].



Kuva 5. Tasauslaskennassa selvitettävät ja laskettavat asiat sekä laskennan kulku [6].

Tasauslaskennassa tarkastellaan rakennuksen lämpöhäviöitä, jotka muodostuvat rakennuksen vaipan lämpöhäviöistä, vuotoilman lämpöhäviöistä sekä ilmanvaihdon lämpöhäviöistä. Näiden kolmen osion tietyt osa-alueet saavat ylittää määräyksien rajat, jos tämä ylitys kompensoidaan jossain toisessa osiossa. Lopuksi nämä kolme osiota laske-

taan yhteen ja katsotaan, onko suunnitteluratkaisun tulos lämpötekniisesti vähintään yhtä hyvä tai parempi kuin vertailuratkaisun. Jos tulos ei yllä määräyksen tasolle, täytyy lämpöhäviöitä vähentää esimerkiksi parantamalla rakennuksen vaipan U-arvoja ja ilmatiiveyttä tai vähentämällä ilmanvaihdon lämpöhäviöitä paremmalla lämmöntalteenotto laitteella (LTO). Tasauslaskennassa vertailukohteen fyysiset muodot, mitat ja pinta-alat ovat samat kuin suunnitellun kohteen. Poikkeuksena ovat ikkunapinta-alat, joiden vertailuarvo on D3:n ilmoittama 15 % rakennuksen osittain tai kokonaan maanpäällisten kerrosten kerrosalojen summasta. Ikkunoiden pinta-alan osamäärä ei saa kuitenkaan ylittää 50 %:a rakennuksen julkisivupinta-alasta. Alat lasketaan rakennuksen kehän ulkomittojen mukaan. Suunnitteluarvona käytetään suunnitelmien mukaista ikkunapinta-alaa. Tässä työssä kohdistetaan huomio erityisesti tasauslaskennan laskukaavojen muuttujiin, sillä ainoastaan kaavojen muuttujilla LVI-suunnittelija voi vaikuttaa lopputulokseen. Liitteessä 3 on esitetty laskentaesimerkki tasauslaskennasta.

Lämpöhäviöitä voidaan tasata mm. seuraavilla keinoilla:

- Muuttamalla eri rakennusosien lämmönläpäisykertoimia (U-arvo) sallituissa rajoissa.
- Parantamalla ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta.
- Parantamalla rakennuksen ilmanpitävyyttä.
- Muuttamalla ikkunoiden pinta-alaa.

5.2 Vaipan lämpöhäviöt

Vaipan lämpöhäviöiden laskennassa käytetyt U-arvot eivät muutu uudistuvan energiatehokkuusmääräyksen myötä. Taulukkoon 11 on kerätty erilaisissa lämpöoloissa olevien rakenneosien lämmönläpäisykertoimet (U-arvo) [3]. Rakenneosan U-arvon vertailuarvon saa ylittää, jos sen lisäämän lämpöhäviön kompensoi jossain toisessa rakenneosassa. U-arvojen enimmäisarvoa ei kuitenkaan saa ylittää. Esimerkiksi ikkunoiksi valitaan malli, joka on U-arvoltaan $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, mutta ulkoseinistä tehdään paremmin lämpöeristäviä kuin määräyksissä vaaditaan $U=0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tarvittaessa eri rakenteiden U-arvot voidaan laskea SRMK:n osan C4 Lämmöneristys ohjeiden mukaan. Rakenteiden U-arvojen laskennassa on huomioitava myös kylmäsiltojen heikentävä vaikutus lämmöneristävydessä. Kylmäsiltoja otetaan huomioon rakennuksen lämmitystehon laskennassa [11].

Taulukko 11. Eri rakenneosien U-arvojen vertailuarvot ja enimmäisarvot [3].

RAKENNUSOSAT	U-arvot, W/(m ² *K)	
	Vertailuarvo	Enimmäisarvo
Lämpimät tilat		
Ulkoseinä	0,17	0,60
Hirsiseinä	0,40	0,60
Yläpohja	0,09	0,60
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,09	0,60
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	0,17	0,60
Alapohja (maanvastainen)	0,16	0,60
Muu maanvastainen rakennusosa	0,16	0,60
Ikkunat	1,0	1,8
Ulko-ovet ja tuuletusluukut	1,0	1,8
Kattoikkunat	1,0	1,8
Kattovalokuvut	1,0	2,0
Puolilämpimät tilat ja määräaikaikaiset rakennukset		
Ulkoseinä	0,26	0,60
Hirsiseinä	0,60	0,60
Yläpohja	0,14	0,60
Alapohja ulkoilmaan rajoittuva)	0,14	0,60
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	0,26	0,60
Alapohja (maanvastainen)	0,24	0,60
Muu maanvastainen rakennusosa	0,24	0,60
Ikkunat	1,4	2,8
Ulko-ovet ja tuuletusluukut	1,4	2,8
Kattoikkunat	1,4	2,8
Kattovalokuvut	1,4	2,8
Lämpimän ja puolilämpimän tilan väliset rakenteet		
Seinä ja välipohja		0,60
Ikkunat ja ovet		(1,80)
Jäähdytettävän kylmän tilan ja muiden tilojen väliset		
Seinä ja välipohja		0,27
Ovet		1,40

5.3 Vuotoilman lämpöhäviö

Ilmanvuotoluku q_{50} muuttuu uuden määräyksen yhteydessä. Aiemmin symboli oli n_{50} . Vuotoilman laskukaava muuttuu ja uusi laskentatapa esitellään tässä kappaleessa. Uusi vuotoilmavirta lasketaan vaipan alaan suhteutettuna. Aiemmin käytettiin rakennuksen ilmatilavuutta [12, s. 11]. Ilmanvuotoluku pitää ilmoittaa tasaaslaskentaa varten. Luku kuvastaa, kuinka monta kuutioita ilmaa vuotaa rakennuksen vaipan neliön läpi tunnissa paine-eron ollessa 50 pascalia sisä- ja ulkoilman välillä [3]. Jos rakennuksen ilmanvuotolukua ei haluta selvittää tarkemmin, on tasaaslaskennassa käytettävä D3:n antama lukuarvo $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ suunnitteluarvona. Vertailuarvo on $2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Jotta tasaaslaskennassa voi käyttää pienempää ilmanvuotolukua lämpöhäviöiden vähentämiseksi, on ilmanvuotoluku mitattava standardin SFS-EN 13829 mukaan tai hyväksyttävä käytettävä luku jollain muulla tavalla [6].

Suomessa käytetään standardin SFS-EN 13829 B-menetelmää ilmanvuotoluvun mittaamiseksi. Sen mukainen ilmatiiveystesti tehdään pääpiirteittään niin, että rakennuksen vaipan aukot, kuten ulko- ja jäteilmalaitteet sekä savupiiput, tukitaan ja ulko-ovet sekä ikkunat pidetään kiinni. Rakennukseen muodostetaan 50 pascalin alipaine ylimääräisellä puhaltimella, joka asennetaan oviaukkoon, tai rakennuksen omalla ilmanvaihtojärjestelmällä. Vuotoilmavirta mitataan ja jaetaan rakennuksen vaipan sisäpuolisella pinta-alalla. Tulokseksi saadaan mitattu ilmanvuotoluku. [6] Asuinkerrostaloissa ilmanpitävyys osoitetaan mittaamalla vähintään 20 % huoneistoista. Jos mittaus tehdään rakennuksen omilla ilmanvaihtokoneilla, saa mittauksesta rajata pois enintään 25 % rakennuksen lämmitetystä nettopinta-alasta. [3]

Vuotoilmavirta $q_{v,vuotoilma}$ (m^3/s) lasketaan kaavalla 3 [3].

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaiippa} \quad (3)$$

Kerroin 3600 muuttaa ilmavirran yksikön m^3/h muotoon m^3/s . Kerroin x on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja korkeammille rakennuksille 15. $A_{vaiippa}$ on rakennuksen vaipan sisäpinta-ala. [3] Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö $H_{vuotoilma}$ voidaan nyt laskea kaavalla 4 [3].

$$H_{vuotoilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,vuotoilma} \quad (4)$$

ρ_i on ilman tiheys (kg/m³)

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg K)

Jos kohteen ilmanvuotoluvun määrittelyssä päädytään standardin mukaiseen mittausmenetelmään, on ilmanpitävyyden selvityksessä mainittava vähintään taulukon 12 lisätaamat tiedot [6].

Taulukko 12. Ilmanpitävyyden selvityksessä mainittavat tiedot [6].

Rakennuksen tunniste ja laajuustiedot	Tiedot mittauksessa käytetyistä laitteista ja koejärjestelyistä
rakennuksen tai sen mitatun osan ilmatilavuus	kalibrointitiedot
mittaajan nimi ja mittauspäivämäärä	alipaineen tuottamistapa (apupuhallin vai oma ilmanvaihtojärjestelmä)
Säätiedot	mittauspisteiden sijainti
ulkolämpötila	mittauksen ajaksi suljetut aukot
tuulen nopeus	mahdolliset poikkeamat standardista
tuulen suunta	Mittauksetulokset
ilmanpaine	mittauspaine-erot
Tiiviysmittausten kattavuus	mitatut vuotoilmavirrat eri paine-eroilla
koko rakennus / osa rakennuksesta	sisälämpötila
	ulkolämpötila
	ilmanpaine
	Mittauksetuloksista määritetty vuotoilmavirta 50 Pa:n alipaineella
	Vaipan ilmanvuotoluku

Muulla tavalla tehty rakennuksen ilmanvuotoluvun selvitys voidaan tehdä esimerkiksi niin kutsutulla talotyyppikohtaisella ilmanvuotoluvun määrittämisellä. Tässä tavassa rakennuttaja tai muu taho on kerännyt riittävästi materiaalia rakentaa tietyllä tapaa tietyn tyyppisiä rakennuksia. Materiaali koostuu mittausaineistosta ja tilastollisen laskennan tuloksista. Perusteluina talotyyppikohtaiseen ilmanvuotolukuun voidaan esittää

laajaa materiaalia ja vakiintuneita rakennustapoja. Selvityksessä on mainittava myös, kuinka ilmoitetun ilmanpitävyyden toteutuminen varmistetaan suunnittelussa, rakennusosien tuotannossa ja työmaatoiminnoissa.

5.4 Ilmanvaihdon lämpöhäviö

Ilmanvaihdon lämpöhäviön laskentakaava muuttuu hieman. Uusi laskentatapa tehdään kaavalla 5. Tarvittaessa ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan kullekin ilmanvaihtokoneelle erikseen. [3]

$$H_{iv} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,poisto} * t_d * t_v(1 - \eta_a) \quad (5)$$

H_{iv}	on ilmanvaihdon lämpöhäviö, W/K
ρ_i	on ilmantiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v,poisto}$	on standardikäytön mukainen laskennallinen poistoilmavirta, m ³ /s
t_d	on ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h / 24 h
t_v	on ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk / 7 vrk
η_a	on ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Voidaan havaita, että kaavasta on poistunut aiemmin käytössä ollut kerroin r , joka painotti lämpöhäviön sen mukaan, kävikö ilmanvaihto ympärivuorokautisesti, päivisin vai yöllä [12, s. 12]. Nyt painotusta ei tehdä, joten arvon oletetaan olevan 1, jolloin järjestelmän oletetaan olevan ympärivuorokautisessa käytössä. Tasauslaskennan ja LVI-suunnittelun kannalta on järkevää selvittää kaavan muuttujat. Ilman tiheys ja ominaislämpökapasiteetti ovat vakioita. Poistoilmavirran lukuarvo on sama vertailu- ja suunnitteluratkaisulle, ja se lasketaan D3:n luvun 3.2 mukaisesti [3, s. 15]. Poikkeuksen muodostaa käyttötarkoitukseluokan 9 rakennukset, joissa käytetään suunnitteluarvoja. Ilmanvaihtojärjestelmän käyntiaikasuhdet saadaan niin ikään D3:sta, luku 3.3 [3, s. 15]. Lämpöhäviötä ei siis lasketa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon mukaan. Poistoilmavirta ja ilmanvaihtojärjestelmän käyntiaikasuhdet halutaan pitää tiettyinä taulukkoarvoina, jottei tasauslaskennasta läpi pääseminen johtaisi näiden arvojen pienentämiseen ja siten sisäilmaston laadun heikkenemiseen [6].

Huomataan siis, että kaavan ainut todellinen muuttuja, johon voidaan vaikuttaa, on lämmöntalteenoton (LTO) poistoilman vuosihyötysuhde. LVI-suunnittelijan ainoat keinot pienentää ilmanvaihdon lämpöhäviötä tasauslaskennassa ovat siis parantaa LTO:n poistoilman vuosihyötysuhdetta tai muulla keinolla vähentää ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa lämpömäärää. Yksi keino lämpömäärän vähentämiseen on esilämmittää tuloilmaa ennen sen saapumista LTO:lle ja jälkilämmityspatterille. Esilämmitys voidaan toteuttaa esimerkiksi nestekiertoisella maalämmityspiirin esilämmityspatterilla. [3, s. 15]

Suunnitteluratkaisun LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde on selvitettävä tasauslaskenta varten ja sen on oltava vähintään 45 %. Vuoden 2010 D3:ssa tämä arvo oli 30 %. LTO:n vuosihyötysuhde voidaan laskea ympäristöministeriön monisteen 122, Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa, mukaisesti [3, s. 16; 13]. Toinen keino on pyytää laitteen valmistajalta varmennettu vuosihyötysuhde [3, s. 16]. Kaikki erilliset poistoilmavirrat lasketaan yhteen kokonaispoistoilmavirraksi vuosihyötysuhdetta laskettaessa, ellei erillispoiston lämmöntalteenottoa osoiteta tarpeettomaksi. Lämpöä ei tarvitse ottaa talteen mm. likaisista poistoilmavirroista [13, s. 11]. Tarkempi LTO:n vuosihyötysuhteen laskenta on esitetty tämän työn luvussa 7.2.

5.5 Vaikutukset LVI-suunnitteluun

Monet tasauslaskennassa tarvittavien kaavojen muuttujista tai niiden arvoista tulevat D3:n sanelemista taulukkoarvoista, joten tasauslaskentaan vaikuttavien todellisten muuttujien määrä on hyvinkin pieni. Näistä muuttujista monet kuuluvat jonkin toisen tahon kuin LVI-suunnittelijan tehtäviin, esimerkiksi rakennuksen vaipan alat ja rakennusmateriaalien U-arvojen valinta. LVI-suunnittelija voi kuitenkin toimia asiantuntijana tai konsulttina, kun vertaillaan eri julkisivumateriaalien U-arvoja ja kun tehdään lämmitystehon ja energiankulutuksen vertailulaskentoja. LVI-suunnittelun kannalta tasauslaskennan muuttujat ovat edelleen samat. Nämä ovat ilmanvaihdon poistoilmavirta ja LTO:n hyötysuhde sekä vuotoilmavirta. Monesti rakennuksen poistoilmavirta ja käyttöaika määräytyy tietyn taulukkoarvon, standardin tai sisäilmastotavoitteen mukaan, jolloin sitä ei voi muuttaa.

Vuotoilmavirtaan voidaan vaikuttaa ilmanvuotoluvulla. Sen suunnitteluarvona tullaan käyttämään enimmäkseen D3:n sanelemaa lukuarvoa, jolloin vertailuarvon ylitys kom-

pensoidaan paremmilla rakenneosien U-arvoilla tai LTO:n hyötysuhteella. Joissakin kohteissa voidaan katsoa tarpeelliseksi antaa ilmanvuotoluvulle pienempi arvo tasauslaskentaa varten. Tämä arvo on myöhemmin todennettava, kun rakennus on valmistunut. Se voidaan tehdä esimerkiksi painekokeella mittaamalla rakennuksen vuotoilmavirta. Toinen keino osoittaa rakennuksen tiiveys on käyttää vakiintuneita rakenteellisia menetelmiä, jotka aiemmin on mitattu ja todennettu.

On mahdollista, että LVI-suunnittelijan rooli ilmanvuotoluvun määrittämisen konsulttina voimistuu rakennusten energiatehokkuuden tiukentuessa, kun rakennuttajat etsivät keinoja päästä tasauslaskennoissaan vertailuarvojen tasalle. LVI-suunnittelijan pääsääntöiset vaikuttimet tasauslaskentaan ovat siis tehostaa ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa tai ehdottamalla parempia vaipan U-arvoja, joka tarkoittaa eristyksen lisäämistä rakenteisiin ja lämpöteknisesti parempia ikkunoita.

6 Kesäajan huonelämpötila

6.1 Laskentamenetelmät

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 määrää kesäajan huonelämpötilan laskettavaksi dynaamisella laskentatyökalulla. Poikkeuksena ovat käyttötarkoituksiluokkien 1 ja 9 rakennukset, joille laskentaa ei tarvitse tehdä [3, s. 10]. D5 ei sisällä ohjeita jäähdytysenergian laskentaan. Tarkastelu on tehtävä kiinteistön tilaan, jossa on suurimmat lämpökuormat. Näitä ovat tyypillisesti rakennuksen itä-, etelä- ja länsipuolen julkisivujen tilat. Asuinkerrostaloissa lämpötilalaskennat on tehtävä lämpökuormiltaan suurimmalle makuuhuoneelle ja olohuoneelle. Muissa kuin asuinrakennuksissa lämpötilalaskennat tehdään tyypilliselle rakennuksen käyttötarkoituksen mukaiselle tilalle, joka voi olla toimistohuone, neuvotteluhuone tai potilashuone. Jos huoneen astetuntien yläraja ylittyy kesäajan huonelämpötilan tarkastelussa, on tilaan suunniteltava jäähdytys rakennusluvan myöntämistä varten. Mikäli päädytään aktiiviseen jäähdytysjärjestelmään, on sen tarvitsema jäähdytysenergia laskettava tuntitasolla (dynaaminen laskentatyökalu). Tässä työssä tehtiin kesäajan lämpötilan simulointi asuinrakennuksen olohuoneelle insinööritoimisto Olof Granlundin Riuska 4.8.1 -energiasimulointiohjelmalla. Simulointi tehtiin samalle huoneelle kolmeen eri ilmansuuntaan ja kahdella eri aurin-

kosuojausratkaisulla. Simuloinnin lopputulokset ja johtopäätökset esitetään luvussa 6.3. Laskennasta saadut tulosteet ovat tämän työn liitteenä 4.

6.2 Lähtötiedot

Kesäajan huonelämpötilan laskentaa varten tarvittavat lähtötiedot sanelee SRMK D3. Asetuntien laskennassa käytetty huoneen lämpötilan jäähdytysraja on esitetty taulukossa 13. Samaa lukuarvoa on käytettävä myös jäähdytysenergian laskennassa E-lukua varten. Sää tiedot löytyvät D3:n liitteestä 2. Koko Suomen rakennuskohteet lasketaan säävyöhykkeen I sää tiedoilla. Jäähdytystehon laskennassa käytetään paikkakunnan omaa mitoituslämpötilaa. [3]

Taulukko 13. Huonelämpötilojen maksimiarvot jäähdytysenergianlaskentaa varten [3].

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

6.3 Dynaaminen laskentatyökalu

Dynaaminen laskentatyökalu on oltava validoitu. Toisin sanoen sen on suoritettava laskenta, jonkin standardin mukaisesti esimerkiksi SFS-EN:n, CIBSE:n tai ASHRAE:n mukaan. Markkinoilla olevia laskentatyökaluja ovat muun muassa Riuska (Insinööritöimistö Olof Granlund) ja IDA Ice (Equa Simulation). Ohjelma tarvitsee simuloitavasta rakennuksesta tai tyyppihuoneesta BIM-tietomallin (Building Information Modelling). Malli sisältää tilan geometria- ja rakennetiedot, jotka tarvitaan olosuhdesimulointia varten. Tietomallin rakennuksesta tai simuloitavasta huonetilasta voi luoda arkkitehtitöimistö tai LVI-suunnittelutöimistö CAD-ohjelmalla, kuten MagiCADin Magiroom. CAD-ohjelma tulostaa tietomallin IFC-tiedostona (Industry Foundation Classes), joka vietään simuloitiohjelmaan, kuten Riuska tai IDA Ice. [18]

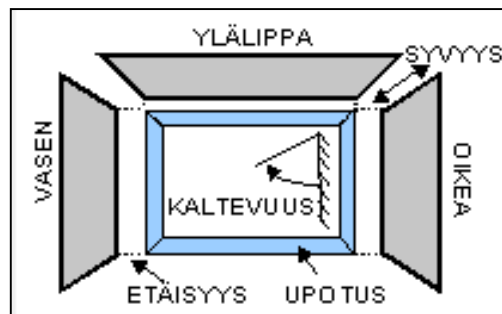
Dynaaminen laskentatyökalu laskee lämmitys- tai jäähdytysenergiantarpeen tuntitasolla. Se tarkoittaa, että esimerkiksi jäähdytystehontarve lasketaan tilakohtaisesti jokaiselle vuoden tunnille erikseen ottaen huomioon tilaan kohdistuvat lämpökuormat (ihmiset, valaistus, laitteet ja auringon säteily) sekä rakenteisiin varastoitunut lämpö. Lähtötiedoiksi tarvitaan tarkastelujakson jokaiselta tunnilta sisä- ja ulkolämpötila, auringonsäteilyn voimakkuus ja auringon korkeusasema, ulkoilman entalpia sekä kosteus ja tilaan kohdistuvat lämpökuormat. Tehot lasketaan tunneittain yhteen ja saadaan vuotuinen jäähdytykseen tarvittava energiamäärä. Edellisen tunnin lämpötila vaikuttaa siis seuraavan tunnin laskentaan. Ohjelma ottaa huomioon rakenteiden massan ja lämpökapasiteetin, joiden avulla voidaan määrittää rakenteisiin sitoutunut lämpö, joka siirtyy huoneeseen huoneen viilentyessä. Myös rakenteiden mahdollinen viilentyminen (ilmanvaihdon yötuoletus) otetaan huomioon päiväajan jäähdytystehontarpeessa. Lähtötiedoiksi tarvitaan siis tuntikohtaiset säätiedot. Kesäajan huonelämpötilan tarkastelussa säätietoina käytetään Helsingin (säävyöhyke I) säätietoja (Vantaa TRY2012). [18; 15, luku 4.3] Todellisen jäähdytysenergiantarpeen laskennassa käytetään paikkakunnan omia säätietoja [3].

6.4 Kesäajan huonelämpötilan simulointi

Tässä työssä selvitettiin, kuinka realistinen on uuden SRMK D3:n vaatima 150 astetunnin raja. Näitä +27 °C huonelämpötilan ylittäviä astetunteja ei saa kertyä yli 150 kolmen kesäkuukauden aikana (1. kesäkuuta – 31. elokuuta). [3] Simulointiin valittiin käyttötarkoitukseluokan 2 tyyppihuone, koska asuinkerrostaloille vaatimuksen täyttyminen tulee olemaan kaikkein haasteellisinta. Asuinkerrostalojen jäähdytys voidaan käytännössä toteuttaa tuloilmaa jäähdyttämällä ja aurinkosuojauksella. Muita passiivisiä keinoja ovat rakennuksen sijoitus ilmansuuntien ja maaston suhteen, sekä rakenteiden massoittelu. Todennäköisesti asuinkerrostaloihin ei ryhdytä suunnittelemaan jäähdytysjärjestelmiä kustannus- ja viihtyvyyssyistä. Ilmalämpöpumppu voisi olla yksinkertainen ratkaisu asuinkerrostalojen huoneistokohtaiselle jäähdytykselle.

Simuloinnin lähtötietoina käytettiin D3:n edellyttämiä arvoja. Jäähdytysrajaksi asetettiin +27 °C ja ulkoilmavirraksi $0,5 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$. Säätietoina käytettiin Helsinki 2012 säävyöhyke I:n tietoja (Vantaa TRY2012). Asuinkerrostalon olohuonetta simuloitiin $20,3 \text{ m}^2$:n kokoinen huone yhdellä ulkoseinällä, jossa oli kaksi ikkunaa, yhteispinta-alaltaan $5,9$

m². Ikkunoiksi valittiin kolmikerroslasit, joiden väliin oli laitettu argon-kaasua. Huoneen ikkunat suunnattiin länteen, etelään ja itään. Näin voitiin selvittää mistä, ilmansuunnasta tulee suurin auringonsäteilyn aiheuttama lämpökuorma. Simulointi tehtiin kullekin ilmansuunnalle kahdella aurinkosuojausratkaisulla. Toisessa (sim. 2) aurinkosuojuuksessa toimivat ainoastaan ikkunan kahden ulomman lasin väliin sijoitetut sälekaihtimet, jotka torjuivat 80 % auringon säteilystä. Toisessa aurinkosuojausratkaisussa (sim. 1) käytettiin samoja sälekaihtimia ja lisättiin ikkunan päälle varjostava lipa. Lipan syvyys seinästä oli 600 mm, ja se asetettiin 100 mm:n etäisyydelle ikkunan päälle. Lipan reunat ulottuivat leveyssuunnassa yli ikkunan sivureunojen. Tarkemmat tiedot huoneen vaipasta on esitetty liitteessä 4. Kuva 6 havainnollistaa lipan asemaa ikkunaan nähden ja, kuinka syvyys ja etäisyys ikkunasta määritetään.



Kuva 6. Ikkunan aurinkosuojauslipa ja sen dimensiot, syvyys ja etäisyys ikkunasta.

Liitteen 4 taulukoista nähdään, että suurin päivän aikana tilaan kohdistuva lämpökuorma on ikkunoista huonetilaan tuleva auringon säteilyteho ja että muut tilaan kohdistuvat lämpökuormat ovat siihen verrattuna pieniä. Tilan sisäisten lämpökuormien käyttöastekäyrää voi muokata, kunhan käyttöasteen keskiarvo pysyy D3:n sanelemassa lukuarvossa. Näin voitaisiin esimerkiksi valaistuksen, laitteiden ja ihmisten tuottamaa lämpökuormaa painottaa aamu- ja iltapäivään. Tällä olisi kuitenkin hyvin pieni merkitys tilan lämpöolosuhteisiin, sillä auringon aiheuttama lämpökuorma aiheuttaa suurimman ongelman. Marginaalista hyötyä sisäisten lämpökuormien käyttöastekäyrän painottamisessa aamu- ja iltapäivään voisi olla etelään päin sijoittuvan asuinkerrostalon tyyppi-huoneen huonelämpötilan simuloinnissa. [17]

Simuloinnin kiinnostavin lopputulos oli huoneen lämpötilan +27 °C ylittävät astetunnit. Taulukko 14 listaa saadut astetunnit kullekin ilmansuunnalle ja simuloinnille. Taulukon 14 arvoista voidaan selkeästi huomata, että uuden D3:n asettama 150 astetunnin raja

on hyvin vaativa. Ilman hyvin voimakasta aurinkosuojausta astetunnit nousevat reilusti yli sallitun rajan. Myös ikkunoiden suuntauksella on selkeä vaikutus tilan lämpenemisen kanssa. Auringon aiheuttama ylimääräinen lämpökuorma on pahimmillaan länteen päin suuntautuvilla ikkunoilla. Lopputuloksen perusteella voisi olettaa, että tulevaisuudessa asuinkerrostalojen julkisivuun tulee auringonsuojausta varten olevia lippoja tai muita ulokkeita varjostamaan ikkunoita. Lisäksi asuinkerrostalon huoneiden sijoittelun voisi olettaa menevän niin, että kesäajan huonelämpötilan tarkasteluun joutuvat huoneet (olo- ja makuuhuoneet) ovat kohti pohjoista, etelää tai itää.

Taulukko 14. Kesäajan huonelämpötilan laskennan astetunnit asuinkerrostalon tyyppioloahuoneelle.

Olohuone	Astetunnit °Ch	
	Sim. 1	Sim. 2
Ilmansuunta		
länsi	1994	4308
etelä	148	1540
itä	276	1184

6.5 Vaikutukset LVI-suunnitteluun

Käyttötarkoituksiluokille 2–8 tehtävä huonelämpötilan dynaaminen laskenta tuottaa lisävaatimuksia LVI-suunnittelijalle ja lisätöitä energiakonsulteille. Monilla pienemmillä LVI-suunnittelutoimistoilla ei ole resursseja tehdä BIM-rakennemallia dynaamista laskentaa varten, jolloin sekä malli että simulointi on teetettävä yrityksillä, joilla on kyseistä erikoisosaamista. Näin ollen energiakonsulttien ja sekä BIM- että IFC-tietokonemallinnuksen osaavien LVI-suunnittelijoiden merkitys tulee kasvamaan.

Eryteisesti käyttötarkoitukseluokan 2 (asuinkerrostalojen), kohdalla kesäajan huonelämpötilan tarkastelu tulee hankaloittamaan rakennusluvan saantia. Asuntoihin ei perinteisesti ole haluttu suunnitella jäähdytystä, ja ilmanvaihdolla tapahtuva makuu- ja olohuoneiden jäähdytys saattaa johtaa liian suuriin ilmamääriin. Yksi keino lämpöolojen parantamiseksi voisi olla tuloilman kuivatus jäähdytyksen lisäksi. Veden poistuessa ilmastan entalpia eli lämpömäärä pienenee.

D3:n luvussa 2.2.1 todetaan, että tilojen yllälämpenemistä voidaan estää yöaikaisella tehostetulla ilmanvaihdolla. Tämä onkin yksi todennäköinen keino jäähdyttää rakennus-

ta muissa kuin käyttötarkoituksiluokan 1 ja 2 rakennuksissa sekä käyttötarkoitukseluokan 5 ja 8 tiloissa, joissa oleskellaan yöaikaan. Näissä tiloissa, kuten asuintalon makuuhuone, sairaalan potilashuone tai hotellihuone, kovin suuri yöllinen tehostettu ilmanvaihto ei tule kyseeseen, koska näiden tilojen äänitekniset vaatimukset ovat kovemmat yöaikaan ja tehostettu ilmanvaihto tarkoittaisi suurempia desibelimääriä. Jotta vaaditut desibeli-rajat makuuhuoneiden yöajalle eivät ylittyisi, tulisi valita laadukkaammat ilmanvaihdon päätelaitteet ja suuremmat kanavakoot. Tuloilmavirran kasvattaminen ja mahdollinen tuloilman lämpötilan alentaminen yöaikaan lisää myös vedon tuntua makuuhuoneissa, vaikkei huoneen lämpötila laskisikaan. Tämä voi aiheuttaa epämukavuutta asumisviihtyvyydessä. Kesäajan huonelämpötilan tarkastelu täytyy kuitenkin laskea kiinteillä SRMK D3:n taulukko 3:n määrittämällä ilmamäärillä, joten laskelmaa varten tehostettu yötuuletus ei ole vaihtoehto. [17]

7 Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus

7.1 Laskennan pääpiirteet

Uudistuvat määräykset parantavat myös ilmanvaihdon energiatehokkuutta. Rakennuksen ilmanvaihdon energiatehokkuus on toteutettava siten, että se ei heikennä sisäilmaston terveellisuutta tai viihtyvyyttä. [3] Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuutta tarkasteltaessa LVI-suunnittelijalle tärkeimmät käsitteet ovat ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde. Näiden käsitteiden määräysten mukaiset arvot muuttuvat uuden D3:n myötä. LVI-suunnittelijan kannalta on siis syytä tietää, kuinka näiden arvojen laskenta tapahtuu.

7.2 Ominaissähköteho SFP

Usein rakennuksen ilmanvaihdosta vastaa enemmän kuin yksi ilmanvaihtokone. Näin tehdään, jotta ilmanvaihto voidaan optimoida kullekin alueelle ja sen tarkoitukselle sopivaksi. Ominaissähköteho, eli SFP-luku (Specific Fan Power), lasketaan aina koko ilmanvaihtojärjestelmälle sekä jokaiselle ilmanvaihtokoneelle. Uusi D3:n antaa koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän SFP-luvun ylärajaksi arvon $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja erilliselle poistoilmajärjestelmälle $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus voi olla heikompi, jos rakennuksen sisäilmastotavoitteet edellyttävät poikkeavaa ilmas-

tointia. [3] Määräyksien arvo koskee koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmää, joten yksittäisten ilmanvaihtokoneiden SFP-luku voi ylittää vaatimukset.

Ominais sähkötehot lasketaan seuraavien kaavojen mukaisesti. Laskennassa käytetyn ilmanvaihtojärjestelmän sähkötehon P (kW) arvoon tulee sisällyttää kaikki kyseisen ilmanvaihtojärjestelmän sähköä käyttävien laitteiden sähkötehot. Näitä ovat muun muassa mahdollinen taajuusmuuttaja sekä lämmöntalteenottojärjestelmän pumppu tai pyöritysmoottori. Laskettu ilmanvaihtokoneen ottama sähköteho kuvastaa tilannetta, jossa puhallin toimii mitoitusasteessa. Ilmanvaihtokoneen ilmavirransiirto q_v valitaan tulo- tai poistoilmavirrasta suurempi. Ilmanvaihtokoneen ottama sähköteho lasketaan mitoitusvirtaamalla sekä puhtaan suodattimen ja kuivien lämmönsiirtimien painehäviöllä [10].

Ilmanvaihtokoneen (tulo- ja poistoilma) ominais sähköteho lasketaan kaavalla 6.

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto}}{q_{max}} \quad (6)$$

SFP on ilmanvaihtokoneen ominais sähköteho (kW/m³/s)

P_{tulo} on tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho (kW)

P_{poisto} on poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho (kW)

q_{max} on koneen tulo- tai poistoilmavirta (m³/s)

[10]

Erillisen tulo- tai poistoilmakoneen ominais sähköteho lasketaan kaavalla 7.

$$SFP = \frac{P}{q} \quad (7)$$

P on puhaltimen ottama sähköteho (kW)

q on koneen ilmavirta (m³/s)

[10]

Rakennuksen kaikkien puhaltimien yhteenlaskettu ominais sähköteho lasketaan kaavalla 8.

$$SFP = \frac{\Sigma P}{q_{kok}} \quad (8)$$

ΣP on rakennuksen kaikkien puhaltimien yhteensä ottama sähköteho (kW)
 q_{kok} on rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän mitoitusjäteilmavirta tai -ulkoilmavirta (m³/s). Kaavaan valitaan suurin arvo.
 [10]

Puhaltimen ottama sähköteho (kW) lasketaan kaavalla 9.

$$P = \frac{q_v * \Delta p}{\eta_{kok}} \quad (9)$$

q_v on puhaltimen tai koneen ilmavirta (m³/s)
 Δp on puhaltimen tuottama paineenkorotus tai painehäviö (kPa)
 η_{kok} on puhaltimen kokonaishyötysuhde
 [10]

Puhaltimen kokonaishyötysuhde η_{kok} lasketaan kaavalla 10.

$$\eta_{kok} = \eta_p * \eta_v * \eta_m * \eta_s \quad (10)$$

η_p on puhaltimen hyötysuhde mitoitusasteessa
 η_v on voimansiirron välityksen hyötysuhde
 η_m on puhaltimen sähkömoottorin hyötysuhde
 η_s on säätölaitteiden hyötysuhteet
 [10]

7.3 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta

Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen suunnitteluarvoa on parannettava uuden SRMK D3:n voimaantullessa 30 %:sta 45 %:iin [3]. Tämä edellyttää, että LVI-suunnittelija osaa tarvittaessa laskea LTO:n vuosihyötysuhteen. Tässä kappaleessa esitellään ympäristöministeriön monisteessa 122 esitetyn LTO:n vuosihyötysuhteen laskennan kulku.

Ensimmäiseksi on määriteltävä lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluva kokonaispoistoilmavirta. Se koostuu LTO:n kautta menevistä poistoilmavirroista sekä erillispoistoilmavirroista, jotka kuuluvat lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin. Lämmöntalteenottovaatimuksen ulkopuolelle jäävät erillispoistot tiloista, joiden poistoilmavirtojen LTO katsotaan epätarkoituksenmukaiseksi. Näitä ovat likaisten tilojen poistoilmavirrat, kuten jätehuoneen tai keittiön poistoilma. [13] Liitteen 5 laskentaesimerkissä havainnollistetaan, mitkä poistoilmavirrat huomioidaan LTO:n vuosihyötysuhteen laskennassa.

Seuraavaksi selvitetään lämmöntalteenottolaitteen lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilahyötysuhde. Se kuvastaa poistoilmasta tuloilmaan siirtyvää prosentuaalista lämpömäärää, kun tulo- ja poistoilmavirtojen massavirrat ovat yhtä suuret. Tuloilman lämpötilahyötysuhteen ilmoittaa laitteen valmistaja, joka on sen mitannut standardin EN 308 mukaan tai jonkin muun hyväksytyt tavan mukaisesti. Kanavistossa tapahtuva ilman lämpeneminen tai jäähtyminen voidaan jättää huomioimatta, jos muutokset ilman lämpöiloihin ovat vähäisiä. [13]

Tuloilman lämpötilahyötysuhde lasketaan kaavalla 11.

$$\eta_t = \frac{(t_{tLTO} - t_u)}{(t_s - t_u)} \quad (11)$$

Poistoilman lämpötilahyötysuhde lasketaan kaavalla 12.

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)} \quad (12)$$

η_t	on tuloilman lämpötilahyötysuhde
η_s	on poistoilman lämpötilahyötysuhde
t_{LTO}	on tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen (°C)
t_u	on ulkoilman lämpötila (°C)
t_s	on sisäilman lämpötila (°C)
t_j	on jäteilman lämpötila (°C)

[13]

Oletetaan poistoilmasta otettu lämpöteho samaksi kuin tuloilmaan siirtyvä lämpöteho sekä ilmavirtojen ominaislämpökapasiteetit ja tiheydet yhtä suuriksi. Saadaan lämpötilahyötysuhteiden välinen yhteys kaavan 13 muotoon. [13, s. 15]

$$\eta_p = \eta_t R_{LTO} \quad (13)$$

R_{LTO} eli lämmöntalteenoton läpi kulkeva tulo- ja poistoilmavirran suhde lasketaan kaavalla 14 [13].

$$R_{LTO} = \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}} \quad (14)$$

q_{tLTO}	on lämmöntalteenoton läpi virtaava tuloilmavirta (m ³ /s)
q_{pLTO}	on lämmöntalteenoton läpi virtaava poistoilmavirta (m ³ /s)

Mikäli lämmöntalteenottolaitteen valmistaja antaa tuloilman lämpötilahyötysuhteen arvon epäsuhteisilla ilmavirroilla laskettuna, se voidaan muuttaa yhtä suuria ilmavirtoja vastaavaksi lämpötilahyötysuhteeksi kaavalla 13 poistoilmalle ja kaavalla 15 tuloilmalle. [13]

$$\eta_{t(R_{LTO}=1)} = \frac{(1+R_{LTO})}{2} \eta_t \quad (15)$$

$\eta_{t(R_{LTO}=1)}$ on tuloilman lämpötilahyötysuhdesuhde, joka on muunnettu vastaamaan yhtä suuria ilmavirtoja.

[13]

LVI-suunnittelijan tulee laskea rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde energialaskentana. Vuosihyötysuhde on rakennuksen ilmanvaihdosta vuodessa talteen otettu lämpöenergian määrä Q_{LTO} jaettuna kaikkien lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen mukana vuodessa rakennuksesta poiskulkeutuvalla energialla Q_{iv} . Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lasketaan siis kaavan 16 mukaan. [13]

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}} \quad (16)$$

Q_{LTO} on rakennuksen poistoilmavirroista talteen otettu lämpöenergia vuodessa, kWh

Q_{iv} on lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien rakennuksen poistoilmavirtojen mukana rakennuksesta poistuva lämpöenergia vuodessa, kWh [13]

Rakennuksen ilmanvaihdosta vuodessa talteen otettu lämpöenergian määrä Q_{LTO} voidaan laskea kaavalla 17 tai 18 riippuen siitä, mitä ilmavirtaa ja lämpötilaa halutaan käyttää. Laskennassa oletetaan, että sisälämpötila on sama kaikissa rakennuksen tiloissa. [13]

$$Q_{LTO} = c_p * \rho \sum_i q_{tLTO,i} * S_{T,i} \quad (17)$$

$$Q_{LTO} = c_p * \rho \sum_i q_{p,i} * S_{J,i} \quad (18)$$

c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kgK

ρ on ilman tiheys, kg/m³

q_{tLTO} on lämmöntalteenoton läpi menevä tuloilmavirta m³/s

$q_{p,i}$ on lämmöntalteenoton vaatimusten piiriin kuuluva (i) poistoilmavirta m³/s

S_T on LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan t_{tLTO} ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

S_J on sisäilman lämpötilan t_s ja jäteilman lämpötilan t_j välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

[13]

Lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen mukana vuodessa rakennuksesta poiskulkeutuva energia Q_{iv} voidaan laskea kaavalla 19. [13]

$$Q_{iv} = c_p * \rho * q_p * S_S \quad (19)$$

q_p on lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen summa, m^3/s

S_S on sisäilman lämpötilan t_s ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd
[13]

Lämmöntarveluvut voidaan laskea kaavoilla 20, 21, 22. [13]

$$S_T = \sum(t_{tLTO} - t_u)\Delta\tau \quad (20)$$

$$S_J = \sum(t_s - t_j)\Delta\tau \quad (21)$$

$$S_S = \sum(t_s - t_u)\Delta\tau \quad (22)$$

t_{tLTO} on tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen, °C

t_u on ulkoilman lämpötila, °C

t_s on sisäilman (= poistoilman) lämpötila, °C

t_j on jäteilman lämpötila, °C

$\Delta\tau$ on aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero ($t_{tLTO} - t_u$), ($t_s - t_j$) tai ($t_s - t_u$) esiintyy, d
[13]

Laskennassa ilmavirtojen ominaislämpökapasiteetit c_p ja tiheydet ρ oletetaan yhtä suuriksi kaikille ilmavirroille. Kaavoista 16, 17 tai 18 sekä 19 johtamalla saadaan kaava 23 LTO:n vuosihyötysuhteelle. [13]

$$\eta_a = \frac{\sum_i R_{T,i} * S_{T,i}}{S_S} = \frac{\sum_i R_{P,i} * S_{J,i}}{S_S} \quad (23)$$

- $R_{T,i}$ on ilmanvaihtokoneen (i) tuloilmavirran ja kaikkien lämmöntalteenotto-vaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen suhde
- $R_{p,i}$ on ilmanvaihtokoneen (i) poistoilmavirran ja kaikkien lämmöntalteenotto-vaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen suhde
- [13]

7.4 Jäätymisenesto

Suomen ilmastossa on estettävä lämmöntalteenottolaitteen jäätyminen. LTO-laite varustetaan jäätymissuojauksella ja/tai automaattisella sulatuslaitteella. Jäätymisen estoon ja sulatukseen käytettävä energiantarve otetaan huomioon, kun määritellään lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta. [10, s. 81] Vuosihyötysuhdetta laskiessa jäätymisenestön ohjeellisena rajoituslämpötilana voidaan käyttää toimistotiloille jäteilmän lämpötilaa 0 °C ja asuintilojen jäteilmälle +5 °C [13, s. 23]. Todellisen jäätymisenestön jäteilmän rajoituslämpötilan määrittäminen on ongelmallisempaa. Rajoitettu jäteilmän lämpötila heikentää poistoilman lämpötilahyötysuhdetta, mikä heikentää tuloilman lämpötilahyötysuhdetta ja lopulta LTO:n vuosihyötysuhdetta. (Kaavat 12, 13,14 ja 16.) [13, s. 25]

Esimerkiksi jos –20 °C:n ulkolämpötilassa poistoilman lämpötilahyötysuhde η_p on 62,5 %, tällöin jäteilmän lämpötila johdetaan kaavalla 12.

$$t_j = t_s - \eta_p(t_s - t_u) = 20^\circ\text{C} - 0,625 * [20^\circ\text{C} - (-20^\circ\text{C})] = -5^\circ\text{C}$$

Tämä nostetaan LTO-laitteen jäätymisenestoksi lämpötilaan +5 °C. Saadaan poistoilman lämpötilanhyötysuhteeksi η_{pESTO} uusi arvo, kaavan 12 mukaan.

$$\eta_{pESTO} = \frac{(20 - 5)}{[20 - (-20)]} * 100\% = 37,5 \%$$

Lasketaan tuloilman lämpötilahyötysuhde tulo- ja poistoilmavirran suhdeluvun ollessa 0,9 ($R_{LTO} = 0,9$). (Kaava 13.)

$$\eta_{tESTO} = \frac{\eta_p}{0,9} = \frac{37,5}{0,9} = 42 \%$$

Ennen jäätyminenestoa tuloilman lämpötilahyötysuhde oli

$$\eta_t = \frac{\eta_p}{0,9} = \frac{60}{0,9} = 67 \%$$

Verrataan LTO:n vuosihyötysuhteita ennen ja jälkeen jäätymineneston kaavan 15 mukaan.

$$\eta_a = 0,6 * \eta_t = 0,6 * 67 \% = 40 \%$$

$$\eta_{aESTO} = 0,6 * \eta_{tESTO} = 0,6 * 42 \% = 25 \%$$

Jäätyminenestolla saattaa siis olla hyvinkin suuret heikentävät vaikutukset LTO:n vuosihyötysuhteen laskentaan.

7.5 Vaikutukset LVI-suunnitteluun

Ominais sähköteho SFP

Ilmanvaihtokoneiden ominais sähkötehojen muuttuessa energiatehokkaammiksi LVI-suunnittelijan ainoa keino saavuttaa määräysten mukaisuus on keskittyä puhaltimen ottamaan sähkötehon P pienentämiseen. Sähkötehon kaavan muuttujat ovat ilmavirta q_v , painehäviö Δp ja puhaltimen kokonaishyötysuhde η_{kok} . Suunniteltuun ilmavirtaan ei tulisi koskea tavoiteltaessa parempaa ilmanvaihdon energiatehokkuutta, koska se vaikuttaa suoraan tilankäyttäjien viihtyvyyteen. Se voidaan siis ajatella vakioksi. Puhaltimen kokonaishyötysuhteeseen voidaan vaikuttaa valitsemalla puhaltimeksi parhaalla hyötysuhteella mitoitusasteessa toimiva puhallin, puhaltimen sähkömoottoriksi hyötysuhteeltaan parempi moottori sekä poistamalla puhaltimen ja moottorin välinen kiilahihnavälitys siirtymällä taajuusmuuttajakäyttöön, jolloin moottori kytketään akselilla puhaltimeen. Tämä tarkoittaa hankintahintojen kasvua ja käyttökustannuksien laskua, mihin määräyksillä pyritäänkin. Hyvä hyötysuhde puhaltimelle tulisikin sisällyttää vaatimukseksi suunnitelmiin.

Toinen seikka, mihin LVI-suunnittelija voi vaikuttaa, on ilmanvaihtojärjestelmän kokonaispainehäviö Δp . Tulevaisuuden ilmanvaihtoverkostot tullaan suunnittelemaan vir-

tausteknisesti paremmiksi. Tämä tarkoittaa käytännössä väljempää runkokanavia ja suurempia ilmanvaihtokoneita. Ilmanvaihtokoneen aiheuttama painehäviö koko ilman virtausreitillä on huomattava. Tähän voidaan vaikuttaa valitsemalla kone, jolla on riittävän väljä otsapinta-ala. Suurempi otsapinta-ala tarkoittaa pienempää ilmannopeutta koneen sisällä, ja näin muodostuu pienempi painehäviö. Otsapintanopeus tulisikin sisällyttää suunnitelmiin, jotta urakoitsija ei voisi valita liian pientä ja halpaa ilmanvaihtokonetta, mikä sitten vaikuttaa sähköenergian kulutukseen. Myös kanavan reitityksen kokonaisvaltaiseen parantamiseen tulee pyrkiä; hankalat kytkentälähdöt ilmanvaihtokoneelta ja erikoisemmat kanavan muodon muutososat verkostossa tulisi minimoida. Ongelmaksi suuremmille kanavakoille muodostuu jo nyt ahtaaksi koetut rakennusten asennustilat, kuten alakattotila ja kuilut.

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Siirtyminen lämmöntalteenoton 45 %:n vuosihyötysuhteeseen tulee olemaan iso haaste LVI-alalle. Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhdetta laskettaessa tasauskäytännön varten on käytettävä SRMK D3:n sanelemia taulukkoarvoja ilmamäärille ja koneen käyntiajoille. LVI-suunnittelijan ainoa keino parantaa LTO:n vuosihyötysuhdetta on valita laitteet, joilla on mahdollisimman korkea tuloilman lämpötilahyötysuhde η_t . Suunnittelijan tulisi keskittyä erityisesti rakennuksen suuriin ja korkean käyttöasteen ilmanvaihtokoneisiin sekä niiden LTO:n vuosihyötysuhteen optimointiin. Korkea LTO:n vuosihyötysuhde laitteella tarkoittaa käytännössä suurempia hankintakustannuksia.

Eryteisesti kohteissa, joissa tulo- ja poistoilman sekoitus ilmanvaihtojärjestelmässä on estettävä, tulee määräyksien toteuttaminen olemaan haasteellista. Esimerkkinä tällaisista ovat sairaalat ja puhdistilat laboratorioissa, joissa poistoilman mikrobien leviäminen tuloilmaan on estettävä. Näihin kohteisiin voidaan suunnitella ainoastaan neste-kiertoisia LTO-laitteita. Tämän tyyppisten laitteiden lämpötilahyötysuhde onkin LTO-laitteiden heikoimmasta päästä, joten määräykseen ylittäminen tulee edellyttämään valmistajien parhaimpia laitteita. Tällä hetkellä markkinoiden parhaimpien nestekiertoisten LTO-laitteiden lämpötilahyötysuhde voi olla 70 %, kuten Fläktwoods sin nestekiertoisen lämmönsiirrin Ecoterm-Box [16]. Näiden nestekiertoisten LTO-laitteiden käyttöaste on esimerkiksi sairaaloissa läpi vuorokauden, ja niiden palvelualueet sisältävät suurimman osan rakennuksen tiloista, jolloin niiden painotettu poistoilmavirta dominoi rakennuksen

koko ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhdetta. Toisin sanoen nestekiertoisten LTO-laitteiden huonoa lämpötilahyötysuhdetta on vaikea kompensoida muiden pienempien ja vähemmällä käytöllä olevien ilmanvaihtokoneiden paremmalla lämpötilahyötysuhteella. Määräyksien voimaantultua LVI-suunnittelijan on siis valittava LTO-laite markkinoiden parhaimmasta päästä, jotta suunnitelmat hyväksytään rakennusvalvonassa. Liitteessä 5 on esimerkki LTO:n vuosihyötysuhteen laskennasta likiarvomenetelmällä, joka niin ikään lasketaan Ympäristöministeriön oppaan 122 mukaan [13].

8 Lämmitystehontarpeen laskenta

SRMK D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen ohjeen 2012 mukainen lämmitystehontarpeen laskenta uudistuu hieman uuden määräyksen myötä. Uusi D5 ohjeistaa laskemaan kylmäsiltojen aiheuttamat johtumislämpöhäviöt rakenteiden läpi [11]. Aiemmassa D5:ssä kylmäsiltojen vaikutus tuli ottaa huomioon rakenteen lopullista U-arvoa selvitettäessä. Vuotoilmavirran aiheuttama lämmitystehontarpeen laskenta muuttuu vuotoilmavirran laskentakaavan myötä. Uuden määräyksen mukainen vuotoilmavirta lasketaan tässä työssä esitetyllä kaavalla 3. Lämmitystehontarpeen laskennassa käytetyt kaavat ovat D5:n luvussa 9. Muutoksilla ei ole muuta vaikutusta LVI-suunnitteluun kuin mahdollisten laskentaohjelmien laskentatavan päivittäminen.

9 Energiaselvitys

9.1 Energiaselvityksen sisältö

Energiaselvityksen tarkoitus on määräystenmukaisuuden osoittaminen. Rakennusta suunniteltaessa sen määräystenmukaisuus on osoitettava dokumenteilla ja laskelmissa. Energiaselvitys on tehtävä, jotta rakennuslupa myönnettäisiin. Myöhemmin, rakennuksen valmistuessa, se täytyy myös päivittää ennen rakennuksen käyttöönottoa. Päävastuu energiaselvityksen laatimisesta ja antamisesta on pääsuunnittelijalla, mutta käytännössä sen useimmiten laatii LVI-suunnittelija [9]. Energiaselvityksessä on esitettävä vähintään seuraavat dokumentaatiot, jotta rakennus voidaan todeta määräysten mukaiseksi [3; 6]:

- rakennuksen kokonaisenergian kulutus, E-luku
- energialaskennan lähtötiedot ja tulokset
- kesäaikaisen huonelämpötilan tarkastelu dynaamisella laskentamenetelmällä ja tarvittaessa saatu jäähdytysteho
- rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus (tasauslaskenta)
- rakennuksen lämmitysteho mitoitusilanteessa
- rakennuksen energiatodistus.

Huomioitavaa on, että energiaselvitys ei kumoa energiatodistusta, vaan energiatodistus sisällytetään osaksi energiaselvitystä. Tämä tarkoittaa, että vanha ET-luku on myös laskettava. Laki rakennuksen energiatodistuksesta toteaa seuraavaa:

Haettaessa maankäyttö- ja rakennuslaissa tarkoitettua rakennuslupaa uudisrakentamista varten on hakemukseen liitettävässä energiaselvityksessä oltava pääsuunnittelijan antama rakennuksen energiatodistus. Ennen rakennuksen käyttöönottoa pääsuunnittelijan on varmennettava energiaselvitykseen sisältyvä energiatodistus. [8]

E-luku eroaa ET-luvusta seuraavanlaisesti:

- E-luvun laskennalliset pinta-alat ovat lämmitettyä nettopinta-alaa. ET-luvun alat ovat lämmitettyä bruttopinta-alaa.
- E-luvun energiankulutus lasketaan Helsingin säätiedoilla (säävyöhyke I). ET-luvun energiankulutus Jyväskylän säätiedoilla (säävyöhyke III).
- E-luvun ostoenergiantarve painotetaan energianmuotokertoimella ja saadaan kokonaisenergiankulutus. ET-luku on vain ostoenergiantarpeen luku.
- E-luvulla ei ole sisäistä paremmuusasteikkoa kuten ET-luvun A-G. E-luku on joko hyväksytty tai hylätty.

Liitteessä 6 on listattu E-luvun, ET-luvun ja todellisen energiankulutuksen eroavaisuuksia.

9.2 Vaikutukset LVI-suunnitteluun

Uuteen energiaselvitykseen tulee siis sisällyttää uusina asioina E-luvun laskenta ja kesäaikaisen huonelämpötilan tarkastelu. E-luvun laskennan LVI-suunnittelija oppii nopeasti, koska sen laskenta muistuttaa ET-luvun laskentaa. Kesäajan huonelämpötilan tarkastelu sen sijaan ei onnistu insinööritoimistoilta, joilla ei ole käytössä dynaamista laskentatyökalua ja osaamista energiasimulointien tekemisestä. Energiasimuloinnin oppiminen tulee tuottamaan paljon haasteita pienemmille insinööritoimistoille ja voi olla, että ne ulkoistavat nämä palvelut kokonaan projektin muille osapuolille tai kolmannelle osapuolelle. Insinööri- ja konsulttitoimistoissa, joissa on resurssit tekemään tarvittavat laskelmat, on syytä varautua energiakonsultoinnin kysynnän kasvuun. Kesäajan huonelämpötilan laskenta tulee kasvattamaan CAD- ja energiasimulointiohjelmien sekä BIM-mallinnusympäristön osaamisen merkitystä LVI-suunnittelijan työtehtävissä.

10 Energiankäytön mittaus

10.1 Mitattavat energiat

Uusi D3:n määrää, että kaikki kiinteistön energiaa kuluttavat järjestelmät tulee varustaa mittalaitteella tai ainakin varautua mittalaitteen myöhempään asennukseen niin että jokaisen eri energiamuodon käyttö voidaan selvittää pienellä vaivalla. Mitattavia kohteita ovat mm. koko rakennuksen sähkönkulutuksen mittaus, lämmitysjärjestelmän ostoenergian mittaus, lämpimän käyttöveden kulutuksen mittaus, ilmanvaihtojärjestelmän koneiden puhaltimien sähkönkulutuksen mittaus ominaissähkötehon selvittämistä varten sekä jäähdytysjärjestelmän sähkönkulutusmittaus. Lisäksi valaistus olisi hyvä varustaa omalla sähkönkulutusmittauksellaan. [3]

10.2 Vaikutukset LVI-suunnitteluun

E-luvun ja kesäajan lämpötilan seurannan toteuttaminen edellyttää järjestelmäkohtaista ja hyvin suunniteltua mittausta. Jotta voidaan painottaa tai tasapäistää energiankulutus, on kunkin energiamuodon kulutus mitattava erikseen ja kerrottava sen energiamuotokertoimella. Ilman tarkkaa ja eriteltyä energianmittausta kiinteistöissä ei voida seurata määräyksien täyttymistä suunnittelun ja rakentamisen jälkeen. Rakennuksen elinkaaren aikana hyvin toteutettu energiankäytön mittaaminen tuo suurta käytännön hyötyä kiinteistön ylläpidolle. Se nopeuttaa ja helpottaa kuntoarvioita ja muutostöitä. Myös vertailutietoa saadaan nopeammin, kun etsitään mahdollisia LVI-järjestelmien parannuskeinoja.

11 Yhteenveto

Tässä työssä käsitellyt muutokset rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavat ainoastaan uudisrakentamispuolen LVI-suunnitteluun. Näiden määräyksien tarkastelusta voi kuitenkin oppia yleiset rakennuksen energiatehokkuutta koskevat käsitteet ja vaaditut asiat tulevia korjausrakentamista koskevia energiatehokkuusmääräyksiä varten. Uudisrakentamisessa nähtävät muutokset tulevat siirtymään myös koskemaan saneerauskohteita, joten tässä työssä käsiteltyjen määräyksien ymmärtäminen tulee olemaan hyödyksi myös saneerauskohteiden suunnittelijoille.

E-luku on teoreettinen, yhteiskuntaan kohdistuvaa energiankulutusta kuvaava luku. Se lasketaan rakennuslupaa varten. E-luku ei kuvasta suoranaisesti pieniä tai suuria käyttökustannuksia loppukäyttäjälle. Näin ollen LVI-järjestelmän valinnassa tärkeimpinä vaikuttamina tulevat edelleen olemaan elinkaarikustannuslaskelma, kohteen sijainti, tarjolla olevat energiamuodot ja niiden saanti, lämmitysmuoto ja jakotapa. Erityisesti pientalorakentajat tulevat edelleen vertailemaan vuosittaista ostoenergian määrää ja hintaa eri LVI-järjestelmien välillä. E-luku tulee ohjaamaan rakentamista ensisijaisesti käyttötarkoituksiluokkien 2–8 rakennuksissa, joilla on suurempi vaikutus yhteiskunnalliseen energiankulutukseen. Suora sähkölämmitys vähenee ja lämpöpumput yleistyvät sähkön korkean energiamuotokertoimen sekä kasvavan sähkön hinnan vuoksi. Uusiutuvien omavaraisenergioiden huomiointi E-luvun laskennassa tulee näkymään paikallisten energiamuotojen hyödyntämisenä ja monipuolisempina LVI-ratkaisuinä. Lämpöä tullaan ottamaan maa- ja vesivarjoista lämpöpumpuilla sekä auringon säteilyenergiaa aurinkokeräimillä. Asutuskeskuksissa kaukolämpö tulee säilymään yleisenä lämmönlähteenä. Sähkön käyttöä ryhdytään entistä enemmän säätämään ja kontrolloimaan. Todennäköisimmin rakennuksen suunnittelussa ensisijaisena vaikuttamina säilyy loppukäyttäjän näkökulmasta elinkaarikustannukset ja rakennuttajan näkökulmasta rakennuskustannukset. Alhaisen E-luvun tavoittelu jäänee toissijaiseksi ainakin yksityisellä sektorilla, kunhan määräykset läpäistään. Energiatehokkuusmääräyksien uudistuessa E-lukuja tullaan vielä tiukentamaan nykyisistä [6].

Energiakonsultoinnin merkitys tulee kasvamaan LVI-suunnittelussa. Kesäajan huone- lämpötilan tarkasteluun eivät kykene kaikki alalla toimivat uudisrakennuskohteita suunnittelevat insinööritoimistot. Kolmannen osapuolen konsultointi tulee kasvamaan ja olemaan valttikortti niillä LVI-suunnittelutoimistoilla, joilla on resurssit BIM-

tietomallinnukseen sekä energiasimulointiin. LVI-suunnittelijan rooli konsulttina kasvaa myös aurinkosuojauksen yleistyessä rakennusten suunnittelussa, koska energia- ja jäähdytyslaskennat kulkevat rinnan auringon aiheuttaman lämpökuorman kanssa.

Riuskalla tehty olosuhdesimulointi asuinkerrostalon tyyppihuoneelle vahvisti tässä työssä ja SRMK D3:ssa esitettyjen passiivisten keinojen tärkeyden huonelämpötilan kontrolloimiseksi. Ensimmäisenä passiivisena jäähdytyskeinona tulee harkita rakennuksen sijoittelua maastoon ja ilmansuuntiin nähden, niin että yllämpenemisen jäähdyttämisen suhteen kriittisimmät tilat, kuten käyttötarkoituksiluokan 2 tyyppihuonetilat, tulisi sijoittaa rakennuksen pohjois- etelä- tai itäpuolelle. Seuraava keino on huomattava panostus aurinkosuojauksen suunnitteluun. Sälekaihtimien, lippojen tai muiden varjostimien asettelu ikkunoiden ympärille niin, että varjostimen sijainti huomioi auringon päivittäisen kiertoradan. Kolmantena keinona on mietittävä, kuinka rakennusta saadaan jäähdytettyä mahdollisimman paljon yöaikaan, jolloin ulkoilma on viileämpää. Asuinrakennuksissa lievä ilmavirran tehostaminen voi olla mahdollista tinkimättä kuitenkaan viihtyvyydestä. Muiden käyttötarkoituksiluokkien rakennuksissa yöllinen tehostettu ilmanvaihto on energiatehokas tapa viilentää tilat.

Uusi rakennusten energiatehokkuusmääräys kannustaa koko rakennusalaan kehittymään sekä eri osapuolten toimimaan enemmän yhteistyössä. Rakentamisen kuluja on tarkasteltava rakennuksen koko elinkaaren ajalta. Määräyksien on tarkoitus tehdä loppu halvalla rakentamisesta, josta maksaa yhteiskunta ja rakennuksen käyttäjä koko rakennuksen elinkaaren ajan. Määräykset siirtävät rakennuksen käyttökustannukset rakennusajan kustannuksiin. Tästä on hyötyä rakennuksen loppukäyttäjälle pienentyneillä käyttökustannuksilla. Valtiotasolla yhteiskunta hyötyy vähentyneellä energiankulutuksella ja energiaomavaraisuuden lisääntymisellä. Globaalilla tasolla energiatehokkaampi rakentaminen vähentää päästöjä.

Edellä mainitut seikat on mahdollista toteuttaa panostamalla laadukkaampaan rakennuksen kokonaisvaltaiseen suunnitteluun, energiatehokkaampiin LVI-järjestelmiin ja parempiin laitevalintoihin. Tämä tulee lisäämään LVI-suunnittelijan merkitystä sekä perinteisessä suunnittelussa että uusissa konsultointitehtävissä. Näen tulevaisuuden energiatehokkaamman rakentamisen ainoastaan positiivisena vaikuttimena LVI-suunnittelun kannalta.

Lähteet

- 1 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU. Euroopan unionin virallinen lehti.
- 2 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. 8.7.2011. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=120444>>. Luettu 26.10.2011.
- 3 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Ympäristöministeriö.
- 4 Kalliomäki, Pekka. 28.3.2011. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=126233&lan=fi>> Luettu 26.10.2011.
- 5 Ympäristöministeriö. 9.6.2011. Suomen ilmastopolitiikka. Verkkodokumentti. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=568&lan=fi>>. Luettu 27.10.2011.
- 6 Vuolle, Mika. 6.10.2011. Suomen LVI-liiton koulutustilaisuus. Taitotalon kongressikeskus. Helsinki. Energiamääräykset suunnittelijan näkökulmasta (D3).
- 7 Keto, Matias. 17.12.2011. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu. Energiamuotojen kerroin. Verkkodokumentti. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=123453&lan=fi>> Luettu 27.10.2011.
- 8 Laki rakennuksen energiatodistuksesta. 6 §. (487/2007). 13.4.2007. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070487#a487-2007>>. Luettu 31.10.2011.
- 9 Energiatodistusopas 2007. 2.7.2009. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=105735&lan=fi>>. Luettu 31.10.2011.
- 10 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Talotekniikka-Julkaisut Oy. Suomen LVI-liitto.
- 11 Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Luonnos 27.10.2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Ympäristöministeriö.
- 12 Rakennusten energiatehokkuus. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Ympäristöministeriö.
- 13 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. 2003. Ympäristöministeriön moniste 122. Ympäristöministeriö.

- 14 Energiansästöä eurooppalaisittain. Terveys ja talous -lehti. 6/2011. s.28-30.
- 15 Mairinoja, Pekka. 2006. Rakennusten energiatehokkuuden laskenta suunnitteluprosessissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- 16 Nestekiertoinen lämmönsiirrin Ecoterm-Box. Tuoteluettelo. Fläktwoods. Verkkodokumentti. <<http://www.flaktwoods.fi/a4a72c2e-a120-44f8-a8e3-d293b76e90fc>>. Luettu 17.2.2012.
- 17 Loisa, Lassi. 2012. Energiakonsultti, Insinööritoimisto Olof Granlund Oy, Helsinki. Haastattelu 20.02.2012.
- 18 Stammeier, Hanna. 2012. Energiakonsultti, Insinööritoimisto Olof Granlund Oy, Helsinki. Haastattelu ja sähköpostiviestintä 17.02.2012

Rakennusten käyttötarkoituksiluokkien jaottelu

1 Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutilat

Yhden asunnon talot

Kahden asunnon talot

Muut erilliset pientalot

Rivi- ja ketjutilat

Majoituselinkeinon harjoittamiseen tarkoitettujen loma-asunnot, joissa on suunniteltu kokovuotiseen käyttöön tarkoitettu lämmitysjärjestelmä

2 Asuinkerrostalot

Luhitalot

Muut asuinkerrostalot

3 Toimistorakennukset

Toimistorakennukset

Terveyskeskukset

Muut terveydenhuoltorakennukset

4 Liikerakennukset

Myymälähallit

Liike- ja tavaratalot, kauppakeskukset

Muut myymälärakennukset

Teatterit, ooppera-, konsertti- ja kongressitalot

Elokuvateatterit

Kirjastot ja arkistot

Museot ja taidegalleriat

Näyttelyhallit

5 Majoitusliikerakennukset

Hotellit yms.

Asuntolat yms.

Vanhainkodit

Lasten- ja koulukodit

Kehitysvammaisten hoitolaitokset

6 Opetusrakennukset ja päiväkodit

Lasten päiväkodit

Yleissivistävien oppilaitosten rakennukset

Tutkimuslaitosrakennukset

7 Liikuntahallit pois lukien uima- ja jäähallit

Tennis-, squash- ja sulkapallohallit

Monitoimihallit ja muut urheiluhallit

8 Sairaalat

Keskussairaalat

Muut sairaalat

9 Muut rakennukset

Muita rakennuksia ovat esimerkiksi:

Varastorakennukset

Uimahallit

Jäähallit

Liikenteen rakennukset

Rakennuksiin liittyvät ja erilliset moottoriajoneuvosuojat

Esimerkki E-luvun laskennan kulusta

E-lukuun vaikuttavat ja selvittävät asiat. Kuvan laskennassa oletetaan lämmön- ja jäähdytyksenjakotapa samaksi kaikille järjestelmille, jolloin häviöt ovat samat.



Tasauslaskenta esimerkki, lähtötiedot, laskenta ja lopputulokset.

Rakennuskohde	Pientalo
Rakennuslupatunnus	vain testikäyttöön, perustuu 28.9.2010 päivättyyn D3 luonnokseen
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ikkunapinta-ala 15 % kerrostasosalasta.
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	522 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	163 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	147 m ²
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerros määrä	1 kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivun pinta-ala on 146 m²
 Ikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 17 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 100 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT							
<i>Lämpimät tilat</i>							
Ulkoseinä	113	113	0,17	0,60	0,17	19,2	19,2
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	147	147	0,09	0,60	0,09	13,2	13,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)	147		0,16	0,60	0,16	23,5	23,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	24,5	24,5	1,00	1,80	1,00	24,5	24,5
Ulko-ovet	8,2		1,00	-	1,00	8,2	8,2
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	440	440				88,7	88,7
<i>Puoliämpimät tilat tai tilapäiset rakennukset tai alle 100 m² loma-asunnot</i>							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet			1,40	-		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v, v} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v, v}]		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0070	0,0070	8,4	8,4	
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-	
ILMANVAIHTO							
	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v, p}]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _{la}]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{lv} = 1200 · q _{v, p} · (1-η _{la})]		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat	0,059		45	45	38,8	38,8	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Puoliämpimät tilat			45		-	-	
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{lv}]		
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä			136		136		
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä			-		-		

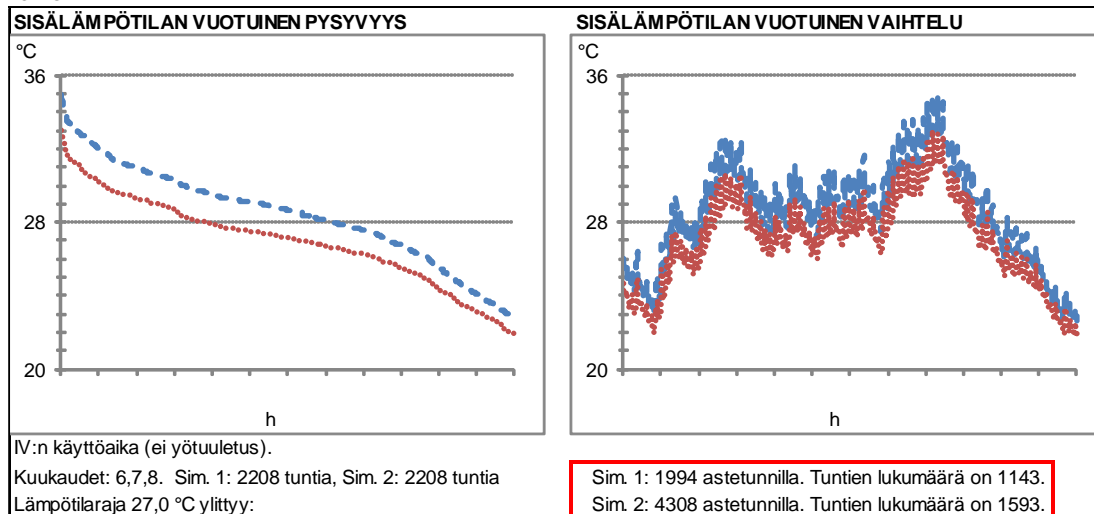
Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, D3-2012 (LUONNOS 28.9.2010)

Rakennuskohde	Pientalo
Rakennuslupatunnus	vain testikäyttöön, perustuu 28.9.2010 päivättyyn D3 luonnokseen

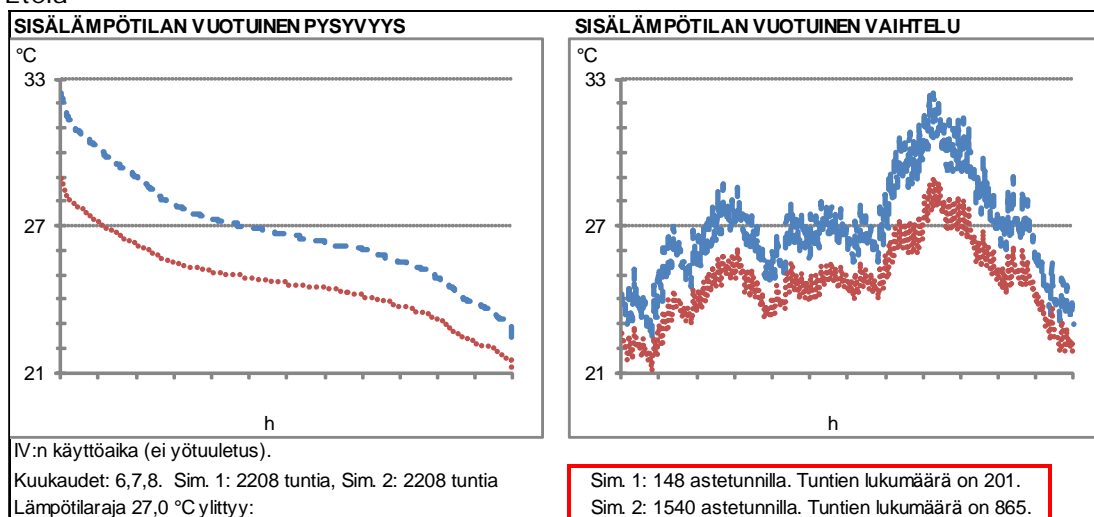
Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista (osa D3)			
Pinta-alat			
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuisissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- puoliämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rakennusosien U-arvot			
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rakennusvaipan ilmanpitävyys			
Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>		Enimmäisarvo 4 Suunnitteluarvo 2,00
- puoliämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>		4
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>		Vertailuarvo 136 W/K Suunnitteluarvo 136 W/K
- puoliämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>		
Tarkistuslistan yhteenveto			
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Lisäselvitykset			
Rakennuksen vuotoilma			
Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvoa. Suunnitteluarvon valinnasta on esitettävä selvitys. Alle 100 m ² loma-asunnon rakennusvaipan ilmanvuotoluvulle q_{50} ei ole vaatimusta eikä selvitystä tarvita. Näille rakennuksille voidaan tasauslaskennassa käyttää rakennusvaipan ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona rakennusvaipan ilmanvuotoluvun vertailuarvoa.			
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde			
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys. Alle 100 m ² loma-asunnon ilmanvaihdon LTO:lle ei ole vaatimuksia eikä selvitystä tarvita. Näille rakennuksille voidaan tasauslaskennassa käyttää LTO:n vuosihyötysuhteen suunnitteluarvona LTO:n vuosihyötysuhteen vertailuarvoa.			

Asuinkerrostalon tyypihuoneen kesäajan lämpötilan simulointi

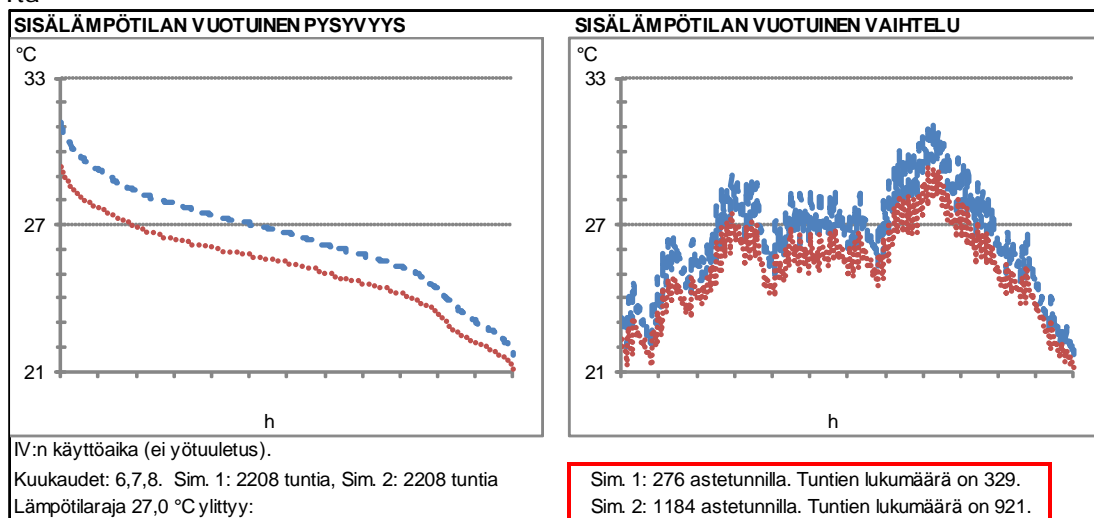
Länsi



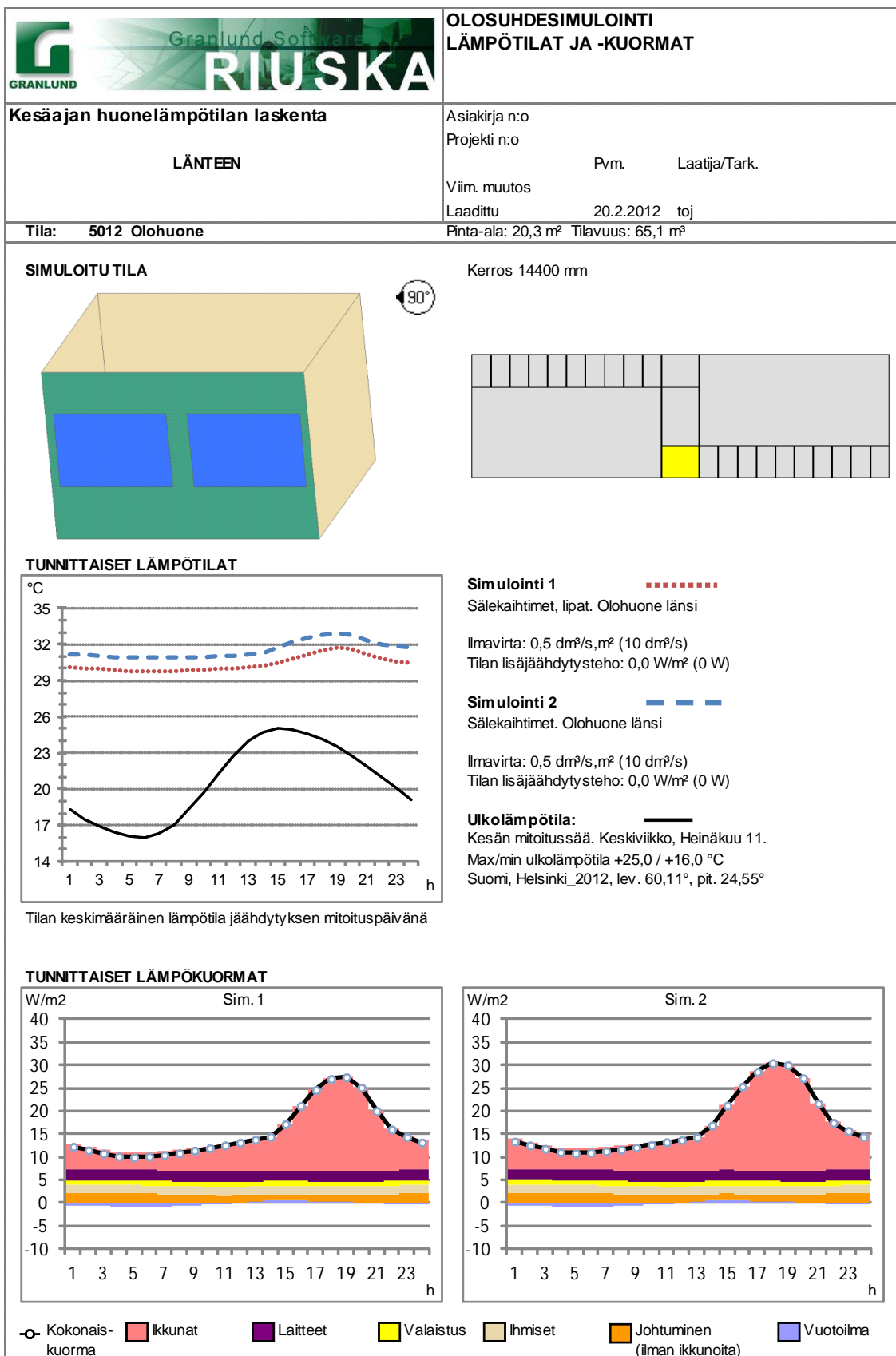
Etelä



Itä



Länsi



Länsi.

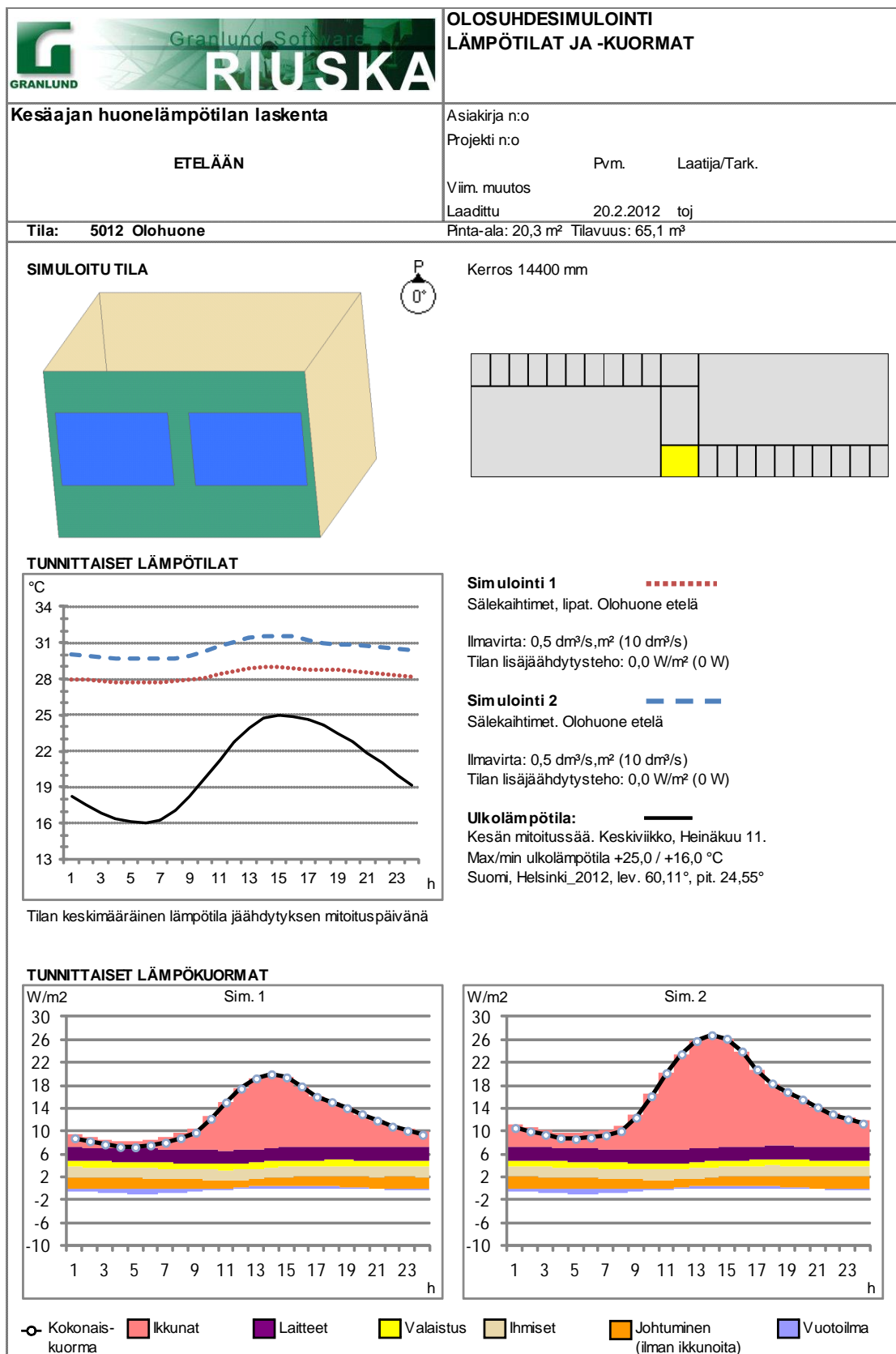
Tila: 5012 Olohuone			
LÄHTÖTIEDOT		Simulointi 1	Simulointi 2
SISÄILMAN LAATUTASO			
Tilan lämpötila, max. / asetusarvo	[°C]	27,0 / 23,0	27,0 / 23,0
Tilan lämpötila, min. / asetusarvo	[°C]	21,0 / 21,0	21,0 / 21,0
ILMANVAIHTO			
Järjestelmä		CAV	CAV
Ilmavirta	[dm ³ /s,m ²]	0,5	0,5
Lämpötila-asetus talvi/kesä	[°C]	19 / 17	19 / 17
Jäähdytyspatteri (on/ei)		on	on
Aikataulu		00-24	00-24
Yötuuletus (T) / Yöjäähdytys (J)			
Lämpötilakerrostuma	[°C/m]	0,00	0,00
Vuotoilmakerroin	[1/h]	0,150	0,150
SISÄISET KUORMAT			
Ihmiset	lukumäärä, max	0,81	0,81
	vaatetus	Normaali työasu	Normaali työasu
	työn tehotaso	[Met]	1,2
	kuorma (25 °C:ssa)	[W/hlö]	75,0
	aikataulu		00-24
Valaistus	kuorma, max	[W/m ²]	11,0
	aikataulu		-
Laitteet	kuorma, max	[W/m ²]	4,0
	aikataulu		00-24
RAKENTEET			
Ulkoseinä	rakenne / U-arvo	[W/m ² ,°C]	US 01/0,17
Yläpohja	rakenne / U-arvo	[W/m ² ,°C]	YP 01/0,09
Alapohja	rakenne / U-arvo	[W/m ² ,°C]	-
Rakenteiden tehollinen massa	[kg/lattia-m ²]	462	462
IKKUNAT ULKOSEINISSÄ JA KATOISSA			
Auringonsäteilyn kokonaisläpäisy	[%]	50,0	50,0
U-arvo (lasiosa)	[W/m ² ,°C]	1,00	1,00
Lasiosan ala ja suuntaus	[m ²]	5,9 (LÄN)	5,9 (LÄN)
Rakenne		2xclear+low -e, (Argon+Argon) 6+	2xclear+low -e, (Argon+Argon) 6+6+
Suojaus		Ylälipa; Sälekaihtimet	Sälekaihtimet
HUONEYKSIKÖT			
Jäähdytysteho (ei sis. ilmanvaihtoa)	[W/m ²]	0,0	0,0
SISÄISTEN KUORMIEN AIKATAULUT			
Henkilöiden Ikm.			
Valaistus			
Laitteet			

Länsi. Huoneen lämpökuormat, W/m².

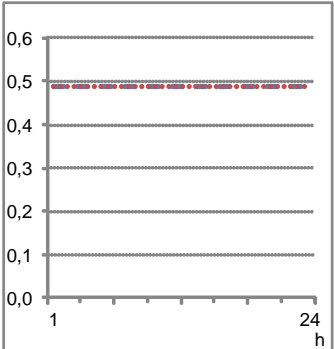
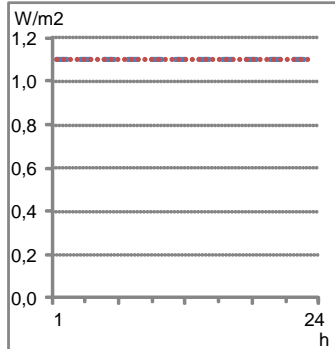
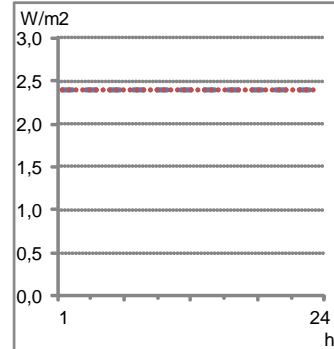
Data:											
Simulointi 1											
h	T_out	T_in	T_rad	T_ope	Infiltr.	Cond.	Occup.	Light.	Equip.	Win.	Total
1	18,3	30,1			-0,59	2,11	1,77	1,08	2,36	5,51	12,2
2	17,5	30,0			-0,69	2,11	1,77	1,08	2,36	4,82	11,5
3	16,9	30,0			-0,79	2,11	1,77	1,08	2,36	4,23	10,8
4	16,4	29,9			-0,89	2,07	1,77	1,08	2,36	3,74	10,1
5	16,1	29,8			-0,93	2,02	1,77	1,08	2,36	3,64	9,9
6	16,0	29,8			-0,93	1,97	1,77	1,08	2,36	3,88	10,1
7	16,3	29,8			-0,89	1,92	1,77	1,08	2,36	4,18	10,4
8	17,1	29,8			-0,79	1,82	1,77	1,08	2,36	4,57	10,8
9	18,3	29,9			-0,59	1,77	1,77	1,08	2,36	5,02	11,4
10	19,7	29,9			-0,34	1,67	1,77	1,08	2,36	5,41	11,9
11	21,3	30,0			-0,10	1,62	1,77	1,08	2,36	5,80	12,5
12	22,8	30,0			0,10	1,57	1,77	1,08	2,36	6,25	13,1
13	23,9	30,1			0,30	1,52	1,77	1,08	2,36	6,74	13,8
14	24,7	30,2			0,44	1,48	1,77	1,08	2,36	7,28	14,4
15	25,0	30,4			0,49	1,43	1,77	1,08	2,36	10,03	17,2
16	24,9	30,8			0,44	1,43	1,77	1,08	2,36	14,02	21,1
17	24,6	31,2			0,39	1,43	1,77	1,08	2,36	17,56	24,6
18	24,1	31,5			0,34	1,48	1,77	1,08	2,36	19,97	27,0
19	23,5	31,7			0,25	1,57	1,77	1,08	2,36	20,36	27,4
20	22,8	31,6			0,10	1,67	1,77	1,08	2,36	18,15	25,1
21	21,9	31,2			0,00	1,77	1,77	1,08	2,36	13,03	20,0
22	21,0	30,8			-0,15	1,92	1,77	1,08	2,36	9,05	16,0
23	20,0	30,6			-0,30	2,02	1,77	1,08	2,36	7,43	14,4
24	19,1	30,5			-0,44	2,07	1,77	1,08	2,36	6,34	13,2

Simulointi 2											
h	T_out	T_in	T_rad	T_ope	Infiltr.	Cond.	Occup.	Light.	Equip.	Win.	Total
1	18,3	31,2			-0,59	2,16	1,77	1,08	2,36	6,59	13,4
2	17,5	31,1			-0,69	2,16	1,77	1,08	2,36	5,85	12,5
3	16,9	31,0			-0,79	2,16	1,77	1,08	2,36	5,21	11,8
4	16,4	30,9			-0,89	2,11	1,77	1,08	2,36	4,62	11,1
5	16,1	30,9			-0,93	2,07	1,77	1,08	2,36	4,48	10,8
6	16,0	30,9			-0,93	2,02	1,77	1,08	2,36	4,67	11,0
7	16,3	30,9			-0,89	1,97	1,77	1,08	2,36	4,97	11,3
8	17,1	30,9			-0,79	1,87	1,77	1,08	2,36	5,31	11,6
9	18,3	30,9			-0,59	1,82	1,77	1,08	2,36	5,66	12,1
10	19,7	30,9			-0,34	1,72	1,77	1,08	2,36	6,05	12,6
11	21,3	31,0			-0,10	1,67	1,77	1,08	2,36	6,44	13,2
12	22,8	31,0			0,10	1,57	1,77	1,08	2,36	6,84	13,7
13	23,9	31,1			0,30	1,52	1,77	1,08	2,36	7,28	14,3
14	24,7	31,3			0,44	1,48	1,77	1,08	2,36	9,74	16,9
15	25,0	31,7			0,49	1,48	1,77	1,08	2,36	14,02	21,2
16	24,9	32,2			0,44	1,43	1,77	1,08	2,36	18,24	25,3
17	24,6	32,6			0,39	1,48	1,77	1,08	2,36	21,49	28,6
18	24,1	32,8			0,34	1,52	1,77	1,08	2,36	23,36	30,4
19	23,5	32,9			0,25	1,57	1,77	1,08	2,36	23,01	30,0
20	22,8	32,8			0,10	1,72	1,77	1,08	2,36	20,11	27,1
21	21,9	32,3			0,00	1,82	1,77	1,08	2,36	14,61	21,6
22	21,0	32,0			-0,15	1,97	1,77	1,08	2,36	10,43	17,5
23	20,0	31,8			-0,30	2,07	1,77	1,08	2,36	8,70	15,7
24	19,1	31,7			-0,44	2,11	1,77	1,08	2,36	7,52	14,4

Etelä



Etelä

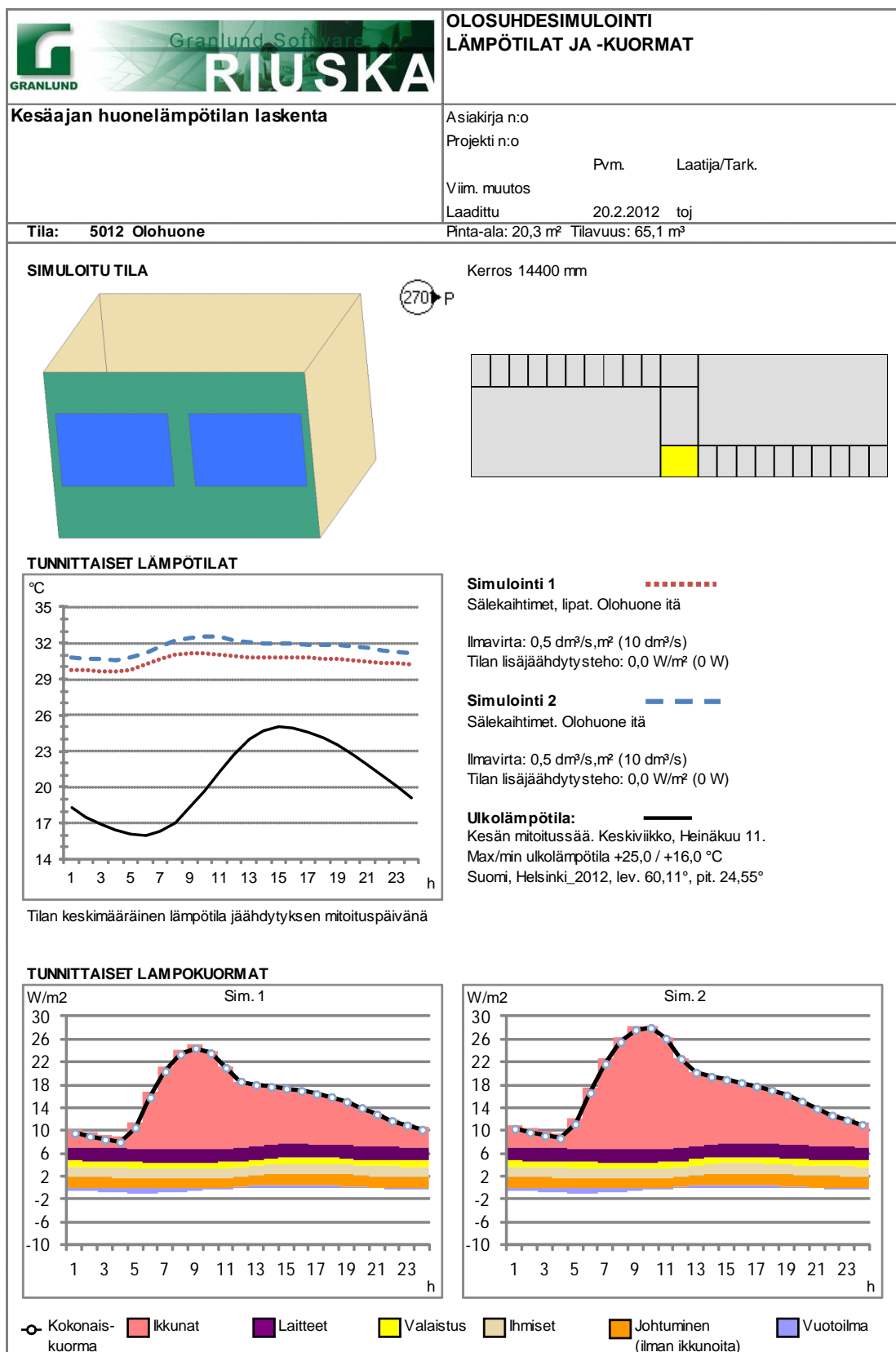
Tila: 5012 Olohuone			
LÄHTÖTIEDOT		Simulointi 1	Simulointi 2
SISÄILMAN LAATUTASO			
Tilan lämpötila, max. / asetusarvo	[°C]	27,0 / 23,0	27,0 / 23,0
Tilan lämpötila, min. / asetusarvo	[°C]	21,0 / 21,0	21,0 / 21,0
ILMANVAIHTO			
Järjestelmä		CAV	CAV
Ilmavirta	[dm ³ /s,m ²]	0,5	0,5
Lämpötila-asetus talvi/kesä	[°C]	19 / 17	19 / 17
Jäähdytyspatteri (on/ei)		on	on
Aikataulu		00-24	00-24
Yötuuletus (T) / Yöjäähdytys (J)			
Lämpötilakerrostuma	[°C/m]	0,00	0,00
Vuotoilmakerroin	[1/h]	0,150	0,150
SISÄISET KUORMAT			
Ihmiset	lukumäärä, max	0,81	0,81
	vaatetus	Normaali työasu	Normaali työasu
	työn tehotaso	[Met] 1,2	1,2
	kuorma (25 °C:ssa)	[W/hlö] 75,0	75,0
	aikataulu	00-24	00-24
Valaistus	kuorma, max	[W/m ²] 11,0	11,0
	aikataulu	-	-
Laitteet	kuorma, max	[W/m ²] 4,0	4,0
	aikataulu	00-24	00-24
RAKENTEET			
Ulkoseinä	rakenne / U-arvo	[W/m ² ,°C] US 01/0,17	US 01/0,17
Yläpohja	rakenne / U-arvo	[W/m ² ,°C] YP 01/0,09	YP 01/0,09
Alapohja	rakenne / U-arvo	[W/m ² ,°C] -	-
Rakenteiden tehollinen massa	[kg/lattia-m ²]	462	462
IKKUNAT ULKOSEINISSÄ JA KATOISSA			
Auringonsäteilyn kokonaisläpäisy	[%]	50,0	50,0
U-arvo (lasiosa)	[W/m ² ,°C]	1,00	1,00
Lasiosan ala ja suuntaus	[m ²]	5,9 (ETE)	5,9 (ETE)
Rakenne		2xclear+low -e, (Argon+Argon) 6+2xclear+low -e, (Argon+Argon) 6+6+	6+2xclear+low -e, (Argon+Argon) 6+6+
Suojaus		Ylälippa; Sälekaihtimet	Sälekaihtimet
HUONEYKSIKÖT			
Jäähdytysteho (ei sis. ilmanvaihtoa)	[W/m ²]	0,0	0,0
SISÄISTEN KUORMIEN AIKATAULUT			
Henkilöiden lkm.		Valaistus	Laitteet
			

Etelä. Huoneen lämpökuormat, W/m².

Data:											
Simulointi 1											
h	T_out	T_in	T_rad	T_ope	Infiltr.	Cond.	Occup.	Light.	Equip.	Win.	Total
1	18,3	27,9			-0,59	1,97	1,77	1,08	2,36	2,21	8,8
2	17,5	27,9			-0,69	1,92	1,77	1,08	2,36	1,82	8,3
3	16,9	27,8			-0,79	1,87	1,77	1,08	2,36	1,43	7,7
4	16,4	27,7			-0,89	1,82	1,77	1,08	2,36	1,13	7,3
5	16,1	27,7			-0,93	1,77	1,77	1,08	2,36	1,18	7,2
6	16,0	27,7			-0,93	1,72	1,77	1,08	2,36	1,57	7,6
7	16,3	27,7			-0,89	1,62	1,77	1,08	2,36	2,07	8,0
8	17,1	27,8			-0,79	1,57	1,77	1,08	2,36	2,80	8,8
9	18,3	27,9			-0,59	1,52	1,77	1,08	2,36	3,64	9,8
10	19,7	28,1			-0,34	1,48	1,77	1,08	2,36	5,85	12,2
11	21,3	28,4			-0,10	1,43	1,77	1,08	2,36	8,51	15,0
12	22,8	28,6			0,10	1,38	1,77	1,08	2,36	10,77	17,5
13	23,9	28,9			0,30	1,38	1,77	1,08	2,36	12,34	19,2
14	24,7	29,0			0,44	1,43	1,77	1,08	2,36	12,88	20,0
15	25,0	29,0			0,49	1,48	1,77	1,08	2,36	12,24	19,4
16	24,9	28,9			0,44	1,57	1,77	1,08	2,36	10,62	17,9
17	24,6	28,8			0,39	1,67	1,77	1,08	2,36	8,75	16,0
18	24,1	28,7			0,34	1,77	1,77	1,08	2,36	7,77	15,1
19	23,5	28,7			0,25	1,87	1,77	1,08	2,36	6,74	14,1
20	22,8	28,6			0,10	1,92	1,77	1,08	2,36	5,75	13,0
21	21,9	28,5			0,00	1,97	1,77	1,08	2,36	4,67	11,9
22	21,0	28,4			-0,15	2,02	1,77	1,08	2,36	3,74	10,8
23	20,0	28,3			-0,30	2,02	1,77	1,08	2,36	3,15	10,1
24	19,1	28,2			-0,44	1,97	1,77	1,08	2,36	2,66	9,4

Simulointi 2											
h	T_out	T_in	T_rad	T_ope	Infiltr.	Cond.	Occup.	Light.	Equip.	Win.	Total
1	18,3	30,0			-0,59	2,02	1,77	1,08	2,36	3,93	10,6
2	17,5	29,9			-0,69	2,02	1,77	1,08	2,36	3,44	10,0
3	16,9	29,8			-0,79	1,97	1,77	1,08	2,36	3,00	9,4
4	16,4	29,7			-0,89	1,87	1,77	1,08	2,36	2,61	8,8
5	16,1	29,7			-0,93	1,82	1,77	1,08	2,36	2,56	8,7
6	16,0	29,7			-0,93	1,77	1,77	1,08	2,36	2,85	8,9
7	16,3	29,7			-0,89	1,67	1,77	1,08	2,36	3,29	9,3
8	17,1	29,7			-0,79	1,62	1,77	1,08	2,36	3,98	10,0
9	18,3	29,9			-0,59	1,57	1,77	1,08	2,36	6,20	12,4
10	19,7	30,3			-0,34	1,48	1,77	1,08	2,36	9,79	16,1
11	21,3	30,7			-0,10	1,48	1,77	1,08	2,36	13,57	20,2
12	22,8	31,1			0,10	1,43	1,77	1,08	2,36	16,72	23,5
13	23,9	31,4			0,30	1,43	1,77	1,08	2,36	18,83	25,8
14	24,7	31,5			0,44	1,48	1,77	1,08	2,36	19,67	26,8
15	25,0	31,6			0,49	1,52	1,77	1,08	2,36	18,93	26,2
16	24,9	31,5			0,44	1,62	1,77	1,08	2,36	16,67	23,9
17	24,6	31,2			0,39	1,72	1,77	1,08	2,36	13,47	20,8
18	24,1	31,0			0,34	1,87	1,77	1,08	2,36	10,92	18,3
19	23,5	30,9			0,25	1,92	1,77	1,08	2,36	9,49	16,9
20	22,8	30,8			0,10	2,02	1,77	1,08	2,36	8,21	15,5
21	21,9	30,7			0,00	2,07	1,77	1,08	2,36	6,93	14,2
22	21,0	30,6			-0,15	2,07	1,77	1,08	2,36	5,85	13,0
23	20,0	30,5			-0,30	2,07	1,77	1,08	2,36	5,11	12,1
24	19,1	30,4			-0,44	2,07	1,77	1,08	2,36	4,52	11,4

Itä



Itä

Tila: 5012 Olohuone			
LÄHTÖTIEDOT		Simulointi 1	Simulointi 2
SISÄILMAN LAATUTASO			
Tilan lämpötila, max. / asetusarvo	[°C]	27,0 / 23,0	27,0 / 23,0
Tilan lämpötila, min. / asetusarvo	[°C]	21,0 / 21,0	21,0 / 21,0
ILMANVAIHTO			
Järjestelmä		CAV	CAV
Ilmavirta	[dm³/s,m²]	0,5	0,5
Lämpötila-asetus talvi/kesä	[°C]	19 / 17	19 / 17
Jäähdytyspatteri (on/ei)		on	on
Aikataulu		00-24	00-24
Yötuuletus (T) / Yöjäähdytys (J)			
Lämpötilakerrostuma	[°C/m]	0,00	0,00
Vuotoilmakerroin	[1/h]	0,150	0,150
SISÄISET KUORMAT			
Ihmiset	lukumäärä, max	0,81	0,81
	vaatetus	Normaali työasu	Normaali työasu
	työn tehotas	[Met]	1,2
	kuorma (25 °C:ssa)	[W/hlö]	75,0
	aikataulu		00-24
Valaistus	kuorma, max	[W/m²]	11,0
	aikataulu		-
Laitteet	kuorma, max	[W/m²]	4,0
	aikataulu		00-24
RAKENTEET			
Ulkoseinä	rakenne / U-arvo	[W/m²,°C]	US 01/0,17
Yläpohja	rakenne / U-arvo	[W/m²,°C]	YP 01/0,09
Alapohja	rakenne / U-arvo	[W/m²,°C]	-
Rakenteiden tehollinen massa	[kg/lattia-m²]		462
IKKUNAT ULKOSEINISSÄ JA KATOISSA			
Auringonsäteilyn kokonaisläpäisy	[%]	50,0	50,0
U-arvo (lasiosa)	[W/m², °C]	1,00	1,00
Lasiosan ala ja suuntaus	[m²]	5,9 (ITÄ)	5,9 (ITÄ)
Rakenne		2xclear+low -e, (Argon+Argon) 6+2xclear+low -e, (Argon+Argon) 6+6+	6+2xclear+low -e, (Argon+Argon) 6+6+
Suojaus		Ylälippa; Sälekaihtimet	Sälekaihtimet
HUONEYKSIKÖT			
Jäähdytysteho (ei sis. ilmanvaihtoa)	[W/m²]	0,0	0,0
SISÄISTEN KUORMIEN AIKATAULUT			
Henkilöiden lkm.		Valaistus	Laitteet

Itä. Huoneen lämpökuormat, W/m².

Data:											
Simulointi 1											
h	T_out	T_in	T_rad	T_ope	Infiltr.	Cond.	Occup.	Light.	Equip.	Win.	Total
1	18,3	29,8			-0,59	1,87	1,77	1,08	2,36	3,10	9,6
2	17,5	29,7			-0,69	1,82	1,77	1,08	2,36	2,66	9,0
3	16,9	29,6			-0,79	1,77	1,77	1,08	2,36	2,26	8,5
4	16,4	29,6			-0,89	1,72	1,77	1,08	2,36	1,97	8,0
5	16,1	29,8			-0,93	1,62	1,77	1,08	2,36	4,62	10,5
6	16,0	30,2			-0,93	1,57	1,77	1,08	2,36	9,98	15,8
7	16,3	30,7			-0,89	1,52	1,77	1,08	2,36	14,51	20,4
8	17,1	31,0			-0,79	1,52	1,77	1,08	2,36	17,41	23,4
9	18,3	31,2			-0,59	1,52	1,77	1,08	2,36	18,29	24,4
10	19,7	31,2			-0,34	1,52	1,77	1,08	2,36	17,16	23,6
11	21,3	31,0			-0,10	1,62	1,77	1,08	2,36	14,26	21,0
12	22,8	30,9			0,10	1,67	1,77	1,08	2,36	11,61	18,6
13	23,9	30,8			0,30	1,77	1,77	1,08	2,36	10,72	18,0
14	24,7	30,8			0,44	1,87	1,77	1,08	2,36	10,13	17,7
15	25,0	30,8			0,49	1,92	1,77	1,08	2,36	9,74	17,4
16	24,9	30,8			0,44	1,97	1,77	1,08	2,36	9,34	17,0
17	24,6	30,8			0,39	1,97	1,77	1,08	2,36	8,85	16,4
18	24,1	30,7			0,34	2,02	1,77	1,08	2,36	8,31	15,9
19	23,5	30,7			0,25	2,02	1,77	1,08	2,36	7,57	15,0
20	22,8	30,6			0,10	1,97	1,77	1,08	2,36	6,69	14,0
21	21,9	30,5			0,00	1,97	1,77	1,08	2,36	5,66	12,8
22	21,0	30,3			-0,15	1,97	1,77	1,08	2,36	4,67	11,7
23	20,0	30,3			-0,30	1,92	1,77	1,08	2,36	4,08	10,9
24	19,1	30,2			-0,44	1,87	1,77	1,08	2,36	3,54	10,2

Simulointi 2											
h	T_out	T_in	T_rad	T_ope	Infiltr.	Cond.	Occup.	Light.	Equip.	Win.	Total
1	18,3	30,8			-0,59	1,87	1,77	1,08	2,36	3,84	10,3
2	17,5	30,7			-0,69	1,82	1,77	1,08	2,36	3,34	9,7
3	16,9	30,7			-0,79	1,77	1,77	1,08	2,36	2,90	9,1
4	16,4	30,6			-0,89	1,72	1,77	1,08	2,36	2,61	8,7
5	16,1	30,8			-0,93	1,67	1,77	1,08	2,36	5,21	11,2
6	16,0	31,2			-0,93	1,62	1,77	1,08	2,36	10,72	16,6
7	16,3	31,7			-0,89	1,57	1,77	1,08	2,36	15,79	21,7
8	17,1	32,2			-0,79	1,52	1,77	1,08	2,36	19,57	25,5
9	18,3	32,4			-0,59	1,52	1,77	1,08	2,36	21,49	27,6
10	19,7	32,6			-0,34	1,57	1,77	1,08	2,36	21,54	28,0
11	21,3	32,5			-0,10	1,62	1,77	1,08	2,36	19,38	26,1
12	22,8	32,2			0,10	1,72	1,77	1,08	2,36	15,54	22,6
13	23,9	32,1			0,30	1,82	1,77	1,08	2,36	12,84	20,2
14	24,7	32,0			0,44	1,92	1,77	1,08	2,36	11,85	19,4
15	25,0	32,0			0,49	1,97	1,77	1,08	2,36	11,21	18,9
16	24,9	32,0			0,44	2,02	1,77	1,08	2,36	10,67	18,3
17	24,6	31,9			0,39	2,07	1,77	1,08	2,36	10,08	17,8
18	24,1	31,9			0,34	2,07	1,77	1,08	2,36	9,44	17,1
19	23,5	31,8			0,25	2,07	1,77	1,08	2,36	8,66	16,2
20	22,8	31,7			0,10	2,07	1,77	1,08	2,36	7,72	15,1
21	21,9	31,6			0,00	2,02	1,77	1,08	2,36	6,59	13,8
22	21,0	31,4			-0,15	2,02	1,77	1,08	2,36	5,56	12,6
23	20,0	31,3			-0,30	1,97	1,77	1,08	2,36	4,92	11,8
24	19,1	31,2			-0,44	1,92	1,77	1,08	2,36	4,33	11,0

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaesimerkki

Lasketaan sairaalarakennuksen kaikkien ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde tasauslaskentaa varten. Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmästä LTO-vaatimuksen piiriin kuuluu kolme LTO:lla varustettua ilmanvaihtokonetta (LTO1, LTO2 ja LTO3) ja yksi erillispoisto (ep1). Lisäksi rakennuksessa toimii yksi erillispoisto, joka ei kuulu LTO-vaatimuksen piiriin (ep2). Lämpötilahyötysuhteet η_t on ilmoitettu yhtä suurilla tulo- ja poistoilmavirroilla ($R_{LTO}=1$). Poistoilmavirta q_p on käyttäjoilla painottamaton suunnitteluarvo. Lähtötiedot ovat kuvitteellisia. Taulukon painotetut poistoilmavirrat on laskettu kaavalla 18 alla olevan laskuesimerkin mukaisesti.

$$q_{pLTO1} = \frac{5d}{7d} * \frac{10h}{24h} * 1,0 \frac{m^3}{s} = 0,3 \frac{m^3}{s}$$

Tila	Ilmanvaihdon käyntiaika	Poisto- ilmavirta q , m^3/s	LTO:N lämpötilahyöty- suhde, η_t	Käyttäjoilla painotettu poistoilmavirta, q_p , m^3/s
Sairaala hallinto	ma-pe 7-17	1,0	85 % (LTO1)	0,3
vastaanotto	ma-pe 7-19	0,5	80 % (LTO2)	0,2
potilasosasto	ma-su 0-24	4,5	70 % (LTO3)	4,5
erillispoistot	ma-su 0-24	0,2	0 % (ep1)	0,1
jätehuone	ma-su 0-24	0,1	ei vaad. (ep2)	0,1

Lämmöntalteenottolaitteiden vuosihyötysuhteet lasketaan kaavalla 16.

$$\eta_{aLTO1} = 0,6 * 90 \% = 54 \%$$

$$\eta_{aLTO2} = 0,6 * 85 \% = 51 \%$$

$$\eta_{aLTO3} = 0,6 * 75 \% = 45 \%$$

Rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lasketaan kaavalla 17.

$$\eta_a = \frac{\left(0,3 \frac{m^3}{s} * 54\% + 0,2 \frac{m^3}{s} * 51\% + 4,5 \frac{m^3}{s} * 45\% + 0,1 \frac{m^3}{s} * 0\%\right)}{\left(0,3 \frac{m^3}{s} + 0,2 \frac{m^3}{s} + 4,5 \frac{m^3}{s} + 0,1 \frac{m^3}{s}\right)} = 45 \%$$

Rakennuksen poistoilman lämmöntalteenotto läpäisee uuden D3 2012 määräyksen vaatimuksen ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuudelle.

Tasauslaskentaa varten saadut tiedot ovat:

LTO:n vuosihyötysuhde $\eta_a = 45 \%$ ja poistoilmavirta $q_p = 5,1 m^3/s$.

E-luvun, ET-luvun ja todellisen energiankulutuksen laskennan erot

Taulukossa on esitetty E-luvun, ET-luvun ja todellisen energiankulutuksen liittyvät käsitteelliset eroavaisuudet ja laskennassa huomioitavat lähtötiedot.

	E-luku	ET-luku	Tavoitekulutus
Mihin perustuu	Rakentamismääräys D3 / 2012	Energiatodistuslaki ja -asetus	Energiaeturannan tavoite
Milloin lasketaan	Rakennuslupaa haettaessa	Rakennuslupaa haettaessa	Suunnitteluvaiheessa ennuste, käyttövaiheessa päivitys
Mitä osoitetaan	Määräystenmukaisuuden täytyminen	Energiatodistusluokka A-E	Ylläpidolle tavoite
Kuka vastuussa	Päsuunnittelija	Päsuunnittelija	Tapauskohteisesti
Mitä sisältää	Energiamuotokertoimilla painotettu rakennustyyppin standardin mukainen ostoenegian ominaiskulutus	Energiankulutus ilman käyttäjän laitesähköä	Energian kokonaiskulutus
Mitkä energiankäytön osa-alueet			
- lämmitysenergia	X	X	X
- jäähdytysenergia	X	X	X
- kiinteistösähkö	Osittain, ei hissit ja ulkopuoliset sähkökulutukset mm. ulkovaistaus	X	X
- käyttäjäsähkö	X		X
Energiamuotojen kertoimet	Kyllä	Ei	Ei
Ilmoitettava yksikkö	kWh/netto-m ² ,a	kWh/bm ² ,a	MWh/a, kWh/bm ² ,a
Mikä pinta-ala jakajana	lämmitetty nettoala	lämmitetty bruttoala	yleensä bruttoala tai lämmitetty bruttoala
Millä lähtötiedoilla			
- sisäinen kuorma	Standardoitu D3	todelliset, huomioidaan vain lämmönlähteenä	todelliset
- käyttöajat	Standardoitu D3	todelliset	todelliset
- ilmavirrat	Standardoitu D3	todelliset	todelliset
- tarpeenmukainen ilmanvaihto	kyllä	kyllä	kyllä
- tarpeenmukainen valaistus	kyllä	kyllä	kyllä
- säätiedot	Helsinki-Vantaa 2012 (D3)	Jyväskylä (referenssivuosi 1979)	Paikkakunnan säätiedot (mahdollinen normitus)
Laskentayökalun vaatimukset	Dynaaminen laskenta jos jäähdytystä	Ei erityisvaatimuksia	Yleensä dynaaminen