

Hannu Heiskanen

Energialuvun laskenta vuoden 2012
rakentamisen energiatehokkuusvaatimusten
mukaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
1.1.2012

Tekijä(t) Otsikko	Hannu Heiskanen Energialuvun laskenta vuoden 2012 rakentamisen energiatehokkuusvaatimusten mukaan
Sivumäärä Aika	34 sivua + 2 liitettä 1.1.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaaja(t)	LVI-insinööri Erkki Immonen yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööri työ käsittelee vuoden 2012 heinäkuussa voimaan astuvia rakentamismääräyksiä, jotka vaikuttavat talotekniikkaan. Määräyksillä pyritään parantamaan uudisrakennusten energiatehokkuutta 20 prosenttia tällä hetkellä voimassa oleviin määräyksiin nähden, ja laskentakäytäntöihin tulee suuria muutoksia. Työssäni käyn läpi asetetut uudistukset sekä suoritan uudistuvien määräysten mukaisen energialuvun laskennan Hyvinkäälle rakennettavalle henkilöstöravintola- ja näyttelyrakennukselle. Työn tilaajana on Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy.</p> <p>Laskennassa käytetään vuoden 2012 Suomen rakentamismääräyskokoelman osien D3 ja D5 esittämiä toimistorakennuksen standardiarvoja. Laskenta suoritetaan soveltuvilta osin käyttäen Riuska-laskentaohjelmaa ja muilta osin käyttäen rakentamismääräyskokoelman osan D5 esittämiä laskukaavoja.</p> <p>Laskentaesimerkin tulokset esitetään vertaillen oletusarvoilla laskettuja vertailulaskennan energiankulutuksia suunnitteluratkaisun tuloksiin. Aluksi laskennassa selvitetään lämmitysjärjestelmän energiankulutus niin lämpö- kuin sähköenergiankin osalta. Tätä seuraa selvitys ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Lopuksi saadut kulutukset yhteismitallistetaan energialuvuksi eli E-luvuksi ja verrataan saatua arvoa määräysten asettamaan vaatimukseen.</p> <p>Keskeisimpänä muutoksena määräyksiin on tullut siirtyminen osakohtaisista energiavaatimuksista koko rakennusta koskeviin vaatimuksiin. Muutokset eivät ole kuitenkaan kohtuuttoman suuria.</p> <p>Kohteelle laskettu energialuku, 163 kWh/(m² a), täyttää rakentamismääräyskokoelman osan D3 asettaman vaatimuksen. Laskennasta käy hyvin selvillä se, että energiamuotokertoimilla tulee olemaan suuri ohjaava rooli suunnittelussa. Sähköenergian kulutusta vähentämällä voi saavuttaa huomattavan edun E-luvun laskennassa.</p>	
Avainsanat	E-luku, energialuku, rakentamismääräykset

Author(s) Title	Hannu Heiskanen Case calculation according to the energy efficiency regulations of the year 2012
Number of Pages Date	34 pages + 2 appendices 1 January 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor(s)	Erkki Immonen, HVAC Engineer Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>This final year project dealt with the energy efficiency regulations to be effected in the year 2012. The regulations are partly stricter than the previous efficiency standards, and changes have been made in the calculation methods. The goal was, on one hand, to go through the changes in the regulations, and on the other hand, calculate the primary energy rating of an office building to be built in Hyvinkää.</p> <p>The calculations were made by using standard values given for office buildings in the new regulations. The calculations were performed with Riuska application program whenever it was suited.</p> <p>The results of the comparison calculation and the design calculation for the case building were presented in the Bachelor's thesis. The calculations showed the amount of consumed energy and its form in heating, air conditioning and cooling systems, respectively, in a year in the case building. Then the energy consumption was converted into a primary energy rating which was then compared to the energy efficiency standards of the regulations.</p> <p>The energy efficiency regulations of the year 2012 alter the calculation methods and bring up new issues concerning the energy efficiency of new buildings. Although alterations are made, they are not major and can be adopted with existing means with some training. The result of this study shows that it is possible to meet the primary energy ratings set in the standards in the case building.</p>	
Keywords	primary energy rating, building regulations

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Taustaa uusiutuville rakentamismääräyksille	2
3	Muutokset määräyksissä	3
3.1	Lämmöneristys – C4	4
3.2	Rakennusten energiatehokkuus – D3	4
3.2.1	Rakennusten lämmöneristys – C3	5
3.2.2	Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto – D2	5
3.3	Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta – D5	6
4	Laskenta	7
4.1	Riuska	7
4.2	Kohde	8
4.3	Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve	9
4.3.1	Rakennusvaipan johtumis- ja vuotoilman lämpöhäviöt	10
4.3.2	Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve	11
4.3.3	Tuloilman lämmitysenergian tarve	15
4.3.4	Käyttöveden lämmityksen nettotarve	16
4.3.5	Tilojen lämmitysenergian nettotarve	17
4.4	Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus	18
4.5	Lämpökuormat	19
4.5.1	Lämpökuorma henkilöistä	19
4.5.2	Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia	20
4.5.3	Lämpimän käyttöveden kierron aiheuttama lämpökuorma	22
4.5.4	Lämpökuormista hyödynnettävä energia	23
4.6	Lämmitysjärjestelmän energiankulutus	25
4.6.1	Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitys	25
4.6.2	Lämpimän käyttöveden lämmitys	26
4.6.3	Rakennuksen lämmitysenergian kulutus	27
4.7	Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus	28
4.8	Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus	29
4.9	Rakennuksen E-luku	30
5	Yhteenveto	31

Liitteet

Liite 1. Rakennuksen periaatekuva

Liite 2. Yleiskaavio suunnitteluratkaisun ilmanvaihtojärjestelmästä

1 Johdanto

Tehtävänanto insinööritoimistoon tuli Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:ltä, joka on 26 hengen talotekniikan suunnittelutoimisto. Yrityksessä työskentelee sekä LVI-suunnittelijoita että sähkösuunnittelijoita. Yritys on perustettu vuonna 1956 ja tarjoaa osaamistaan erityisesti korjausrakentamisen ja restauroinnin alalta. [1]

Tehtävänä on suorittaa kokonaisenergiälaskenta kohteelle ja selvittää kohteen energialuku eli E-luku. Laskenta suoritetaan uusien rakentamismääräysten luonnosten ohjeiden ja määräysten mukaisesti, joiden on tarkoitus tulla voimaan vuonna 2012. Laskennassa käytetään uusissa määräyksissä toimistorakennukselle annettuja oletusarvoja, joiden avulla saadaan tehtyä niin sanottu vertailulaskenta. Laskenta suoritetaan soveltuvilta osin käyttäen Riuska-laskentaohjelmaa. Riuska täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 asettamat vaatimukset laskentatyökaluille. Muilta osin laskenta noudattaa osan D5 ohjeita.

Kohteena on KONE Oyj:lle rakennettava henkilöstöravintola- ja näyttelyrakennus, joka sijaitsee Hyvinkäällä. Kohde on suunnitteluvaiheessa, joten rakennuksen tiloissa ja mitoissa voi tulla pieniä muutoksia rakentamisvaiheeseen nähden. Laskenta suoritetaan tämän hetkisten tietojen perusteella.

Työn päätavoitteena on käydä uusi laskentamalli läpi alusta loppuun ja selvittää, kuinka uudet käytännöt poikkeavat vanhasta. Samalla saadaan selville rakennettavan rakennuksen E-luku. Suunnitellulle ratkaisulle tehdään vertailulaskenta, jossa käytetään määräyksien mukaisia oletusarvoja ja selvitetään täyttääkö suunnitelma uudet vaatimukset. Energialuvun vaatimukseksi on esitetty toimistorakennuksille $170 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$, eikä sitä saa ylittää.

2 Taustaa uusiutuville rakentamismääräyksille

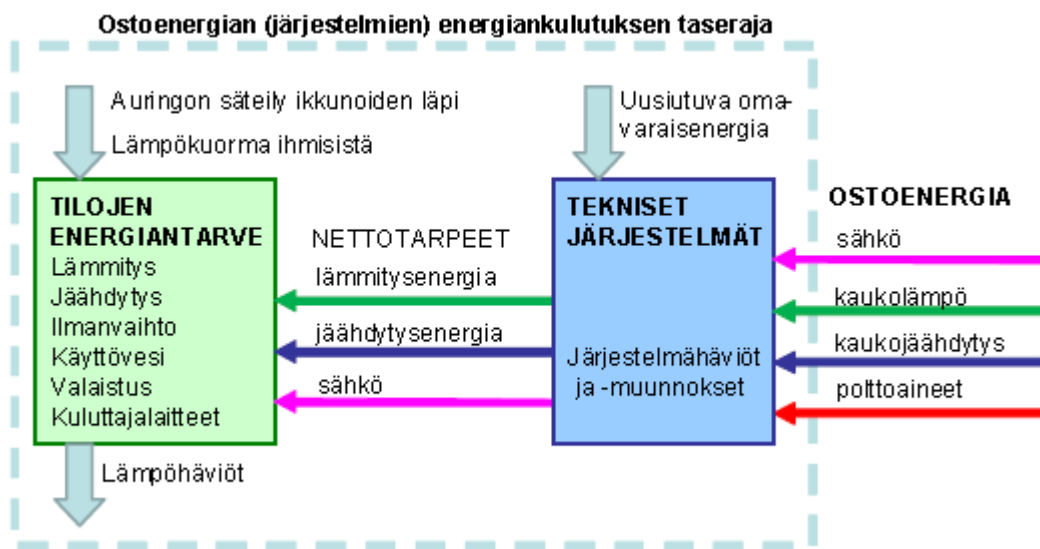
Energiatehokkuuden parantaminen rakentamisessa juontaa juurensa kansainväliseen Kioton sopimukseen, jossa on päätetty tietty päästötaso valtioittain. Jotta Suomi pystyy täyttämään vaaditun tason, on myös rakennusten energiankulutusta vähennettävä. Luonnosvaiheessa olevilla rakentamismääräyksillä pyritään saamaan aikaan 20 prosentin parannus uudisrakennusten energiatehokkuuteen tämän hetken tasoon nähden. [2]

Uudet rakentamismääräykset pyrkivät kohdistamaan uudisrakentamisessa energiatehokkuuden lisäämiseksi tehtävät toimenpiteet siten, että isoimmat päästöt tuottavaa energiaa käytettäisiin vähemmän. Tämä toteutetaan primäärienergiakertoimien avulla. Primäärienergialla tarkoitetaan jalostamatonta luonnosta lähtöisin olevaa energiaa, kuten vesivoimaa tai auringon säteilyä. Primäärienergiasta jalostetaan sekundäärienergiaa, jota ovat muun muassa kaukolämpö ja sähkö. Kertoimet kuvastavat primäärienergian kulutusta ja kyseisen energiamuodon hiilidioksidipäästöjä. [3]

Energiatehokkuuden lisäämisen lisäksi määräyksillä pyritään ottamaan käyttöön ja tuomaan tutuiksi nollaenergiarakentamisen vaatimat avoimet laskentamenetelmät sekä määritelmät. Laskentamenetelmien läpinäkyvyys varmistetaan rakennustyyppien standardikäytön määrittelemien laskennallisten lähtöarvojen sekä asetettujen laskentäsääntöjen avulla. Standardikäytöllä tarkoitetaan rakennuksen vakioitua käyttöä, joka pitää sisällään muun muassa rakennuksen käyttöajat ja sisäiset lämpökuormat. Standardi-arvoja pitää käyttää energialaskennassa sellaisenaan. Laskennan tietyille osille on asetettu tarkat ehdot standardiarvojen muodossa, mutta muiden laskentatyökalujen käyttöä ei ole estetty, kunhan ne täyttävät määräysten asettamat vaatimukset. [2]

3 Muutokset määräyksissä

Uuteen määräyskokoelmaan on tuotu kokonaisvaltainen muutos energiatehokkuusvaatimuksia koskien. Määräyksissä siirrytään kokonaisenergiatarkasteluun (kuva 1) osakohtaisten vaatimusten sijaan. Vaatimukset osoitetaan rakennuksen kokonaisenergiatehokkuuteen, kun aiemmin vaatimukset on osoitettu yksittäiseen energiaa kulluttavaan osaan. Tällä pyritään vähentämään koko rakennuksen energiankulutusta.



Kuva 1. Kokonaisenergiatarkastelu kaaviona [4, s. 6].

Kokonaisenergiavaatimuksissa eri lämmitystavat otetaan huomioon energiamuotojen kertoimilla, joilla lämpö- ja sähköenergiat yhteismitallistetaan yhdeksi energialuvuksi, E-luvuksi. Energiamuotojen kertoimet on esitetty taulukossa 1. E-luvun yksikkö on kWh/(m² a), jolla osoitetaan energiankulutus pinta-alan yksikköä kohden vuodessa.

Taulukko 1. Energiamuotojen kertoimet Suomessa [4, s. 8].

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

3.1 Lämmöneristys – C4

Rakenteiden lämmönläpäisykertoimien laskennassa otetaan tulevaisuudessa huomioon sekä säännölliset että epäsäännölliset kylmäsiilat. Kylmäsiilalla tarkoitetaan rakennuksen vaipan kohtia, jotka vuotavat lämpöä ulospäin selvästi enemmän kuin ympäröivät materiaalit. Kylmäsiiloja esiintyy erityisesti eri rakenteiden liitoskohdissa, kuten seinän ja lattian rajoissa, sekä kulmakohdissa. Hyvin lämpöä johtavat materiaalit muodostavat helposti kylmäsiiloja ja siksi näiden materiaalien ei tulisi läpäistä rakennuksen vaippaa. Lämpövuodon lisäksi kylmäsiilat saattavat aiheuttaa kosteuden ja homesienen muodostumista. [5; 6.]

Myös lämmönjohtavuuden laskemisessa on tapahtunut muutos aiempaan nähden. Normaalista lämmönjohtavuudesta (λ_n) siirrytään EN-standardien mukaisesti määritettyyn lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoon (λ_U). λ_U -arvo vastaa aiemmin käytössä ollutta λ_d -arvoa. Lämmönjohtavuuden uudessa suunnitteluarvossa ei ole huomioitu lämmöneristeen epäideaalisen asennuksen ja lämmöneristeen sisällä tapahtuvan ilma-virtauksen heikentävää vaikutusta eristykseen toisin kuin λ_n -arvossa. Nämä heikentävät vaikutukset otetaan uusissa määräyksissä huomioon U-arvoa laskettaessa erillisillä korjaustermeillä. [7, s. 18.]

3.2 Rakennusten energiatehokkuus – D3

Uudessa D3-osassa on annettu kesäajan huonelämpötilalle maksimi-arvot astetunteina, eikä niitä saa ylittää. Tällä muutoksella tavoitellaan sitä, että yksittäinen lyhytaikainen lämpötilahuippu ei ohjaisi jäähdytysjärjestelmien käyttöön. Näin lämpötilojen pieni vaihtelu on sallittua. Jotta rakennuksessa täytetään kokonaisvaltaisesti hyvän sisäilman kriteerit, tulee tehdä erillinen tilakohtainen tarkastelu, johon liittyvät ohjeet ovat osassa D2. Aiemmin huonelämpötilatarkastelu on suoritettu kuukausitasolla, mutta uusissa määräyksissä vaaditaan tuntitason laskentaa. Tämän takia laskenta on käytännössä suoritettava tietokoneitse laskentaohjelmalla, joka täyttää määräysten vaatimukset. [4, s. 9.]

Rakennuksen vaipan ilmanpitävyydessä q_{50} -luku korvaa nykyisen n_{50} -luvun. Luku q_{50} määrittää ilmavuodon vaipan pinta-alaan suhteutettuna, kun n_{50} -luku osoittaa vuodon tilavuuden mukaan. Uutena vaatimuksena esitetään, että rakennuksen ilmanvuotolu-
vun tulee olla vähintään $4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Käytettäessä tätä pienempää arvoa, tulee se osoittaa mittauksin todeksi. Asuinkerrostaloissa ilmanpitävyyden todistamiseksi riittää, kun viidesosa ilmanpitävyydeltään kriittisimmistä asunnoista mitataan. [4, s. 10].

3.2.1 Rakennusten lämmöneristys – C3

Rakentamismääräyskokoelman osa C3 esitetään kumottavaksi. Osan C3 määräykset ja ohjeet rakennusosien ja rakenteiden ilmanpitävyydestä, rakennuksen erityyppisten tilojen välisestä lämmöneristyksestä sekä vaipan lämmöneristyksestä siirretään rakentamismääräyskokoelman osaan D3. Käytännössä koko osion C3 sisältö siirtyy siis osaan D3. [7, s. 17.]

3.2.2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto – D2

Energiatehokkuuteen liittyvät vaatimukset ja ohjeet osiosta D2 on siirretty osaan D3 – Rakennusten energiatehokkuus. Näitä ovat koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luku eli ominaissähköteho sekä poistoilmasta talteen otettavan lämmön määrä. Ominaissähkötehon vaatimukset ovat samalla tiukentuneet (taulukko 2), ja tällä pyritään ohjaamaan sähkön säästämiseen.

Taulukko 2. Ominaissähkötehon vaatimukset [4, s. 15; 8, s. 23].

Järjestelmä	Vuosi 2012	Vuosi 2010
Koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä	2,0 kW/(m ³ /s)	2,5 kW/(m ³ /s)
Koneellinen poistoilmajärjestelmä	1,0 kW/(m ³ /s)	1,0 kW/(m ³ /s)

3.3 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta – D5

Rakennuksen energiankulutuksen laskentaan on tehty suuria muutoksia. Suurin muutos on tehty siinä, että laskennalla pyritään selvittämään rakennuksen energialuku. E-luvuille on esitetty erilaiset vaatimukset riippuen rakennuksen käyttötarkoituksesta.

Energialaskentaan on tehty energialuvun laskennan lisäksi myös muita muutoksia. Lämpöpumppeihin liittyvä laskenta on uusittu siten, että laskentamenetelmässä on mahdollisuus käyttää eri valmistajien antamia toimintapisteiden arvoja vuoden laskennassa. Tämän lisäksi aurinkokennoilla tuotetun sähköenergian laskenta on lisätty tähän osaan. [9, s. 43-49, 61.]

Johtumislämpöhäviöiden laskentajärjestystä on uudistettu niin, että eri rakennusosien johtumisesta johtuvat lämpöhäviöt lasketaan erikseen ennen niiden summaamista yhteen. Johtumislämpöhäviöiden laskennassa otetaan nyt myös huomioon kylmäsillat. Myös maavaraisen alapohjan johtumishäviölaskenta on uudistettu.

Ilmanvaihdon lämmitysenergiantarpeen laskennassa lämmön talteenoton vuosihyötysuhteen laskenta ehdotetaan suoritettavaksi ympäristöministeriön oppaan 122 mukaisesti. Laskentaa varten ympäristöministeriö tarjoaa Internet-sivuillaan Excel-muodossa laskentataulukon, jota voi käyttää laskennan suorittamiseen. Ilmanvaihdon lämmitysenergiantarvetta vähentävänä tekijänä huomioidaan tuloilmapuhaltimien tuloilmaa lämmittävä vaikutus. Vuotoilmanvaihdossa ei enää käytetä ilmanvaihtuvuuden ominaisarvoja, vaan vaipan ilmanpitävyyden ominaisarvoja. [10]

Muut merkittävät muutokset ovat energialaskentaa varten uusitut säätiedot, jotka perustuvat viimeisten 30 vuoden keskimääräiseen säähän Suomessa. Energianlaskenta tulee suorittaa käyttäen uusia säätietoja.

Uusituissa säätiedoissa säävyöhykkeiden III ja IV välistä aluejaon rajaa on siirretty vuoden 2007 määräyksien jakoon nähden. Säävyöhykkeen II ulkoilman keskilämpötilat ja auringon säteilyenergiat pohjautuvat tätä nykyä Helsinki-Vantaan lentoaseman säähavaintoasemaan, kuten vyöhykkeellä I, kun aiemmin ne pohjautuivat Jokioisten havaintoasemaan. Ilmanvaihdon lämmitysenergian laskennassa aiemmin käytettyjä paik-

kakuntakohtaisia näennäiskäyntiaikoja ei enää esitetä. Myöskään kuukausien pituuksia ja ulkoilman lämpötilojen pysyvyyksiä ei ole uusissa määräyksissä tarjolla toisin kuin aiemmin. [9, s. 63.]

Jäähdytystarpeen laskentaosio on poistettu uusista rakentamismääräyskokoelman osista, mutta jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen laskemiseksi on tarjolla yksinkertaistettu menetelmä. Myös kesän sisälämpötilojen laskenta on poistettu.

4 Laskenta

Energiankulutuksen laskenta suoritetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 luonnoksen mukaisessa järjestyksessä. Vertailuratkaisussa on käytetty toimistorakennuksen oletusarvoja.

4.1 Riuska

Laskenta suoritetaan soveltuvilta osin Riuska – olosuhde ja energiasimulointiohjelmistolla. Riuska-ohjelmistoa voi käyttää muun muassa sisäilmaston laatutasojen vertailuissa, ongelmatilojen analysoinnissa sekä järjestelmien vertailussa ja mitoituksessa. Ohjelmaa voi käyttää myös rakennuksen tavoitteenmukaisuuden varmistuksessa ja ylläpidon tavoitekulutuksen selvittämisessä. Työssäni käytän Riuska-ohjelmaa lähinnä taloteknisten järjestelmien energiankulutuksen selvittämiseen sekä tilojen lämpötilojen simulointiin kesä- ja talviolosuhteissa. [11]

Riuska on Insinööritoimisto Granlund Olof Oy:n kehityksen tulos, ja sen ydin perustuu kansainväliseen DOE 2.1E -simulointiohjelmaan. Ohjelma hyödyntää IFC-muotoisia tietomalleja ja laskee näiden avulla rakennuksen eri tilojen lämpötekniset olosuhteet erilaisissa kuormitus- ja sääolosuhteissa. Ohjelmisto ottaa simuloinneissaan huomioon käytetyt materiaalit, rakennuksen sijainnin ja sääolosuhteet sekä lämpökuormat ja käyttöajat. Riuskan avulla voi laskea tuntitasoisesti esimerkiksi vuotuisen energiankulutuksen tai tilakohtaiset lämpötilat ja niiden vaihtelut. [11]

Riuskan laskenta poikkeaa uusien määräyksien vaatimuksista kahdella tapaa. Riuska käyttää säätietoina rakentamismääräyskokoelman osan D5 vuoden 2007 version esittämiä säätietoja testivuodelta 1979. Ohjelma ei myöskään ota simuloinneissaan huomioon kylmäsiltojen vaikutuksia energiankulutukseen.

Ohjelmaa varten luotiin IFC-muotoinen 3D-tilamalli MagiCAD Room -ohjelmalla. Tämä tilamalli siirretään Riuska-ohjelmaan, joka käyttää tätä geometrista mallia perustana suoritettaville laskelmille ja simuloinneille.

4.2 Kohde

Rakennuksen lämmitys tapahtuu pääasiassa kattoon asennettavilla säteilypaneeli-lämmittimillä ja vesiradiaattoreilla. Lämmitysverkosto on matalalämpötilaverkosto, jonka mitoituslämpötilat ovat 50/35 °C. Ilmanvaihdon lämmitysverkoston meno- ja paluuveden lämpötilat ovat 70/40 °C.

Ilmanvaihtojärjestelmä koostuu neljästä ilmanvaihtokoneesta, joista kahta ohjataan huonekohtaisesti sekä lämpötila- että hiilidioksidi- eli CO₂-antureilla, ja kahta vain lämpötila-antureilla. Osa laskennassa käytettävistä lähtöarvoista on esitetty taulukossa 3. Periaatekuva rakennuksesta ja yleiskaavio suunnitteluratkaisun ilmanvaihtojärjestelmästä ovat liitteenä (liitteet 1 ja 2).

Taulukko 3. Laskennan lähtötiedot

	Suunnitteluratkaisu	Vertailuratkaisu
Ilmanvuotoluku (q_{50}), $m^3/(h m^2)$	2,0	2,0
Ikkuna pinta-ala, % kerrosalasta	20	15
Rakennuksen käyttöajat		
<i>h/24 h</i>	11	11
<i>d/7 d</i>	5	5
Rakennuksen käyttöaste	0,65	0,65
Sisäiset lämpökuormat		
<i>valaistus, W/m²</i>	12	12
<i>laitteet, W/m²</i>	12	12
<i>ihmiset, W/m²</i>	5	5
U-arvot		
<i>ulkoseinä, W/(m² K)</i>	0,15	0,17
<i>yläpohja, W/(m² K)</i>	0,10	0,09
<i>alapohja, W/(m² K)</i>	0,14	0,16
<i>ikkuna, W/(m² K)</i>	1,0	1,0
<i>ovi, W/(m² K)</i>	1,0	1,0
Rakennuksen pinta-ala, m ²	2907	2907
Rakennusvaipan pinta-ala, m ²	4506	4506
Rakennuksen ilmatilavuus, m ³	11 692	11 692
Ilmavirrat		2 dm ³ /(s m ²)
<i>kone 1 (CO₂- ja lämpötila-anturi), m³/s</i>	3,248	
<i>kone 2 (lämpötila-anturi), m³/s</i>	1,787	
<i>kone 3 (CO₂- ja lämpötila-anturi), m³/s</i>	1,965	
<i>kone 4 (lämpötila-anturi), m³/s</i>	0,139	
Poistoilman LTO:n vuosihyötysuhde		0,45
<i>kone 1 (pyörivä LTO)</i>	0,71	
<i>kone 2 (nestekiert. LTO)</i>	0,48	
<i>kone 3 (pyörivä LTO)</i>	0,71	
<i>kone 4 (LTO-kuutio)</i>	0,56	

4.3 Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve

Jotta lämmitysenergian nettotarve voidaan laskea, tarvitaan taulukossa 3 listatut tiedot ennen laskennan aloittamista. Laskenta aloitetaan laskemalla rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt ja lopuksi saadaan selville tilojen lämmitysenergian nettotarve.

4.3.1 Rakennusvaipan johtumis- ja vuotoilman lämpöhäviöt

Johtumislämpöhäviöiden laskenta suoritetaan Riuskalla. Ulkolämpötilat, joita Riiska simuloineissaan käyttää, ovat testivuodelta 1979. Verrattuna vanhoihin määräyksiin uutena asiana laskentaan on otettu mukaan eri rakennusosien liitosten eli kylmäsiltojen aikaan saamat lämpöhäviöt, joita Riiska ei ota huomioon simuloineissaan. [9, s. 15.]

Vuotoilman lämpöhäviön laskentatapa on muuttunut vuoden 2007 rakentamismääräyskokoelman osaan D5 nähden. Laskentatapauksessa Riuskan laskemat tehot, jotka vastaavat vuoden 2007 määräyksiä, jätetään huomiotta ja vuotoilman lämpöhäviö lasketaan käsin. Uusien rakentamismääräysten mukainen vuotoilman lämpöhäviön tarvitsema energia selvitetään alla olevien kaavojen 1 ja 2 avulla [9, s. 17]. Esitetään esimerkkinä laskenta tammikuun osalta. Kuvassa 2 on esitetty kuukausittainen vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia.

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v, \text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (1)$$

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = q_{50} / (3600 \times X) A \quad (2)$$

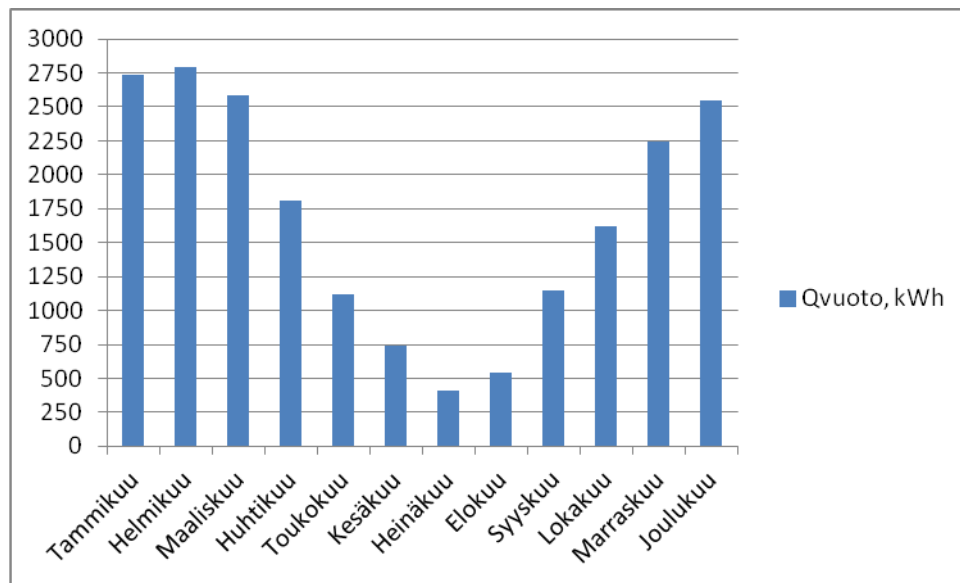
$Q_{\text{vuotoilma}}$	on vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia, kWh
ρ_i	on ilman tiheys, kg/m ³
c_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti, Ws/(kgK)
$q_{v, \text{vuotoilma}}$	on vuotoilmavirta, m ³ /s
Δt	on ajanjakson pituus, h
T_s	on sisäilman lämpötila, °C
T_u	on ulkoilman kuukausittainen keskilämpötila, °C
q_{50}	on rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)
X	on kerrosluvun mukaan määräytyvä kerroin
A	on rakennusvaipan pinta-ala, m ² .

- rakennusvaipan ilmanvuotoluku, 2 m³/(h m²) [4, s. 11]
- ilman tiheys 1,2 kg/m³ [9, s. 19]
- ilman ominaislämpökapasiteetti 1000 Ws/(kgK) [9, s. 19]
- sisäilman lämpötila 21 °C
- ulkoilman kuukausittainen keskilämpötila, °C [9, s. 64]

- ajanjakson pituus, 730 h/kk
- rakennuksen ilmatilavuus 11692 m³ (taulukko 3)
- rakennusvaipan pinta-ala 4506 m² (taulukko 3)
- kerroin, kolmi- ja nelikerroksisille rakennuksille 20 [9, s. 18].

$$q_v, \text{vuotoilma} = 2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2) / (3600 \times 20) \times 4506 \text{ m}^2 = 0,1252 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{vuotoilma, tammikuu}} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1000 \text{ Ws}/(\text{kgK}) \times 0,1252 \text{ m}^3/\text{s} \times (21 \text{ }^\circ\text{C} - (-3,97 \text{ }^\circ\text{C})) \times 730 \text{ h}/1000 = 2\,738,6 \text{ kWh}$$



Kuva 2. Vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia

Vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia vuodessa on 20 303,2 kWh (kuva 2). Riuskan energiasimuloinnin tuloksena rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt vaipan läpi ovat suunnitteluratkaisussa 155 146,5 kWh/a ja vertailuratkaisussa 163 392,4 kWh/a. Riuskan laskemat arvot eivät pidä sisällään tuloilman lämmitysenergian tarvetta, eivätkä myöskään ota huomioon lämmitysjärjestelmän tai lämmöntuoton hyötysuhteita.

4.3.2 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve

Rakentamismääräyskokoelman osa D5 tarjoaa ilmanvaihdon lämmitysenergian laskentaan yksinkertaistetun laskentamenetelmän, jolla ei ole mahdollista laskea energian

nettotarvetta, jos järjestelmä pitää sisällään jäähdytystä, kostutusta tai on ilmamääräsäätöinen. Koska laskentakohteen ilmapuhallusprosessi pitää sisällään jäähdytystä ja on ilmamääräsäätöinen, IV:n lämmitysenergian nettotarvetta ei ole mahdollista selvittää tässä tapauksessa kaavoilla 3–6. [9, s. 19; 12, s. 7, 14.]

Suunnitteluratkaisussa käytetään laskelmien pohjana Riuskalla simuloituja lämmityksen arvoja. Vertailuratkaisua varten lasketaan ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve olettaen, että järjestelmä ei pidä sisällään jäähdytystä, kostutusta tai ilmamääräsäätöä. Vertailulaskennassa käytetään määräysten esittämää ilmavirtaa. [4, s. 18.]

$$Q_{iv} = \rho_i c_{pi} t_d t_v q_{v, tulo} (T_{sp} - T_{lto}) \Delta t / 1000 \quad (3)$$

$$T_{lto} = T_u + \eta_{t, a} (T_s - T_u) \quad (4)$$

$$\eta_p = \eta_a / 0,6 \quad (5)$$

$$T_j = (\eta_p \times (T_s - T_u) - T_s) \times (-1) \quad (6)$$

Q_{iv}	on ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
ρ_i	on ilman tiheys, kg/m ³
c_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti, Ws/(kgK)
t_d	on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24 h
t_v	on ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk / 7 vrk
$q_{v, tulo}$	on tuloilmavirta, m ³ /s
T_{sp}	on sisänpuhalluslämpötila, °C
T_{lto}	on lämmön talteenotto laitteen jälkeinen lämpötila, °C
Δt	on ajanjakson pituus, h
η_a	on poistoilman lto:n vuosihyötysuhde
T_s	on sisäilman lämpötila, °C
η_p	on poistoilman lämpötilahyötysuhde
T_j	on jäteilman lämpötila, °C.

Lasketaan vertailulaskentaa varten ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve kuukausitasolla käyttäen kaavoja 3–6. Esitetään esimerkkinä laskutoimitukset tammikuun osalta. Kuvassa 3 on esitetty jäteilman ja lämmön talteenotto laitteen jälkeinen lämpötila kuukausittain vertailuratkaisussa. Kuvassa 4 on ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve vertailutapauksessa kuukausittain esitettynä.

- ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde 11/24 h [4, s. 19]
- ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde 5/7 vrk [4, s. 19]
- tuloilmavirta (vertailu) $2 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$ [4, s. 18]
- sisäänpuhalluslämpötila 18 °C [9, s. 19]
- poistoilman lto:n vuosihyötysuhde 0,45 [4, s. 15]
- ilman tiheys $1,2 \text{ kg/m}^3$ [9, s. 19]
- ilman ominaislämpökapasiteetti $1000 \text{ Ws}/(\text{kgK})$ [9, s. 19]
- ajanjakson pituus 730 h/kk
- sisäilman lämpötila 21 °C
- ulkoilman kuukausittainen keskilämpötila °C [9, s. 64].

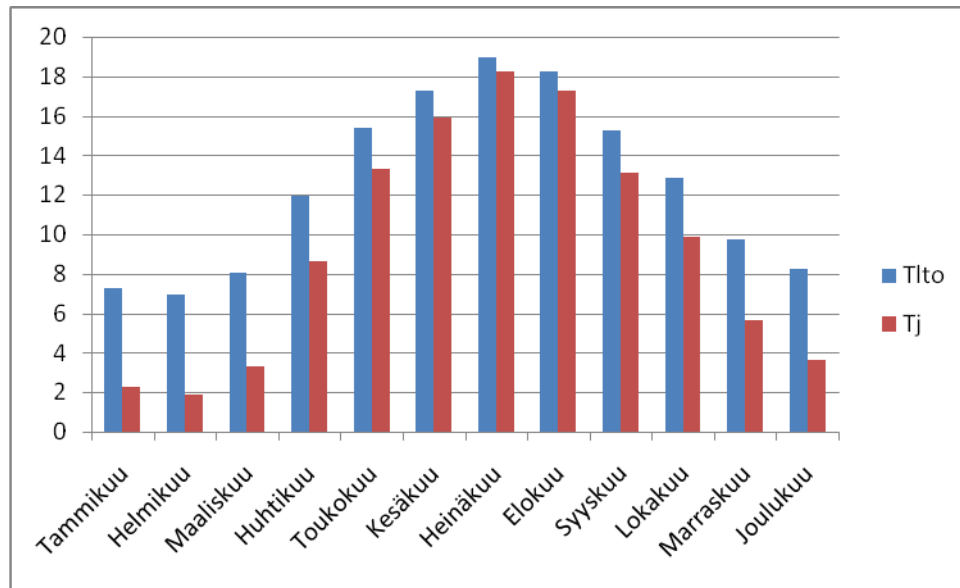
$$\eta_{p, \text{ vertailu}} = 0,45 / 0,6 = 0,75$$

$$q_{v, \text{ vertailu}} = 2 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2) \times 2907 \text{ m}^2 / 1000 = 5,814 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T_{lto, \text{ vertailu, tammikuu}} = -3,97 \text{ °C} + 0,45 (21 \text{ °C} - (-3,97 \text{ °C})) = 7,27 \text{ °C}$$

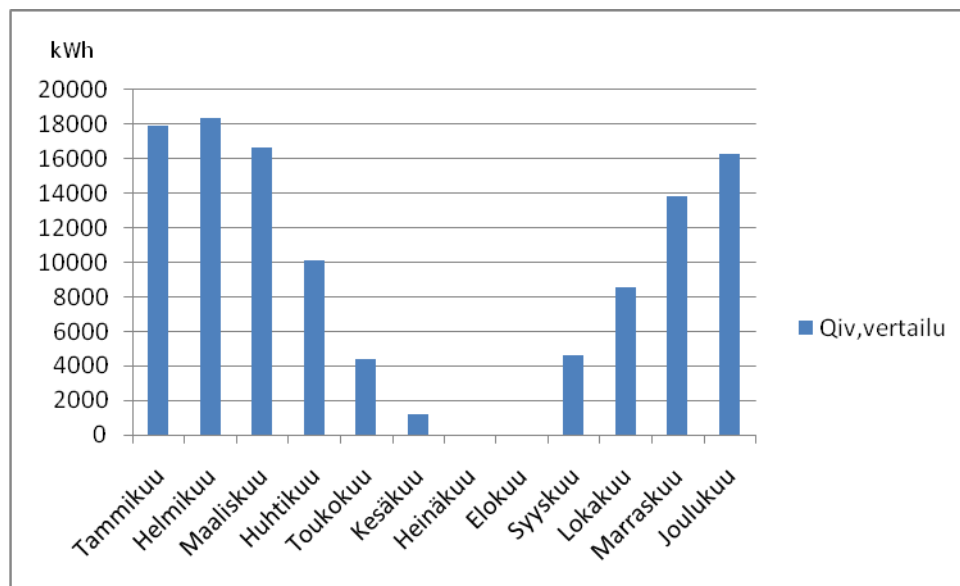
$$T_{j, \text{ vertailu, tammikuu}} = (0,75 \times (21 \text{ °C} - (-3,97 \text{ °C})) - 21 \text{ °C}) \times (-1) = 2,27 \text{ °C}$$

$$Q_{iv, \text{ vertailu, tammikuu}} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1000 \text{ Ws}/(\text{kgK}) \times (5/7 \text{ vrk}) \times (11/24 \text{ h}) \times 5,814 \text{ m}^3/\text{s} \times (18 \text{ °C} - 7,27 \text{ °C}) \times 730 \text{ h} / 1000 = 17 896,7 \text{ kWh}$$



Kuva 3. Ilmanvaihdon lämpötilat kuukausittain vertailulaskennassa, °C

Jäteilman lämpötilan tarkastelusta (kuva 3) voidaan huomata, ettei jäteilman minimilämpötilana käytetty 0 °C alitu yhtenäkkään kuukautena. Heinä- ja elokuussa on lämmön talteenottoa säädettävä siten, ettei sisäänpuhalluslämpötila ylitä 18 °C:ta.



Kuva 4. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve vertailuratkaisussa

Vertailuratkaisun ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeeksi saatiin 111 857,3 kWh vuodessa (kuva 4). Riuskan simuloima arvo suunnitteluratkaisussa on 64,9 MWh/a. Riuskan simulointi perustuu taulukossa 3 esitettyihin ilmavirtoihin ja lämmöntalteen-

ottolaitteiden hyötysuhteisiin. Suunnittelu- ja vertailuratkaisujen ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeiden suuri ero selittyy LTO-laitteiden hyötysuhteilla. Suunnitteluratkaisussa on myös tarpeenmukainen ilmanvaihto, jota ohjataan sekä hiilidioksidi- että lämpötila-antureilla.

4.3.3 Tuloilman lämmitysenergian tarve

Ilmanvaihdolle lasketaan tuloilman lämpenemisen tarvitsema energiamäärä kaavalla 6. Näin selvitetään, kuinka paljon tilassa kuluu energiaa lämmitettäessä sisäänpuhallettava ilma, jonka lämpötila on +18 °C, sisälämpötilaan +21 °C. [9, s. 20.]

Vertailuratkaisussa käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan laskettua ilmavirtaa 5,814 m³/s. Suunnitteluratkaisussa käytetään Riuskan energiasimuloinneissa käyttämiä ilmavirtoja (taulukko 3), jotka ovat yhteensä hieman suuremmat kuin vertailuratkaisussa.

$$Q_{iv, tuloilma} = \rho_i c_{pi} t_d t_v q_{v, tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000 \quad (7)$$

$$Q_{iv, tuloilma, 2} = q_{iv, tulo 2} / q_{iv, tulo 1} \times Q_{iv, tuloilma, 1} \quad (8)$$

ρ_i	on ilman tiheys, kg/m ³
c_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti, Ws/(kgK)
t_d	on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte, h/24 h
t_v	on ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhte, vrk / 7 vrk
$q_{v, tulo}$	on tuloilmavirta, m ³ /s
T_s	on sisäilman lämpötila, °C
T_{sp}	on sisäänpuhalluslämpötila, °C
Δt	on ajanjakson pituus, h.

- ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde 11/24 h [4, s. 19]
- ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde 5/7 vrk [4, s. 19]
- tuloilmavirta m^3/s [4, s. 18]
- sisäänpuhalluslämpötila 18 °C [9, s. 19]
- ilman tiheys 1,2 kg/m³ [9, s. 20]
- ilman ominaislämpökapasiteetti 1000 Ws/(kgK) [9, s. 20]
- ajanjakson pituus 8760 h
- sisäilman lämpötila 21 °C.

Lasketaan vertailulaskentaan lämmitysenergia tuloilmalle kaavalla 7.

$$Q_{iv, \text{tuloilma, vertailu}} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1000 \text{ Ws/(kgK)} \times 5/7 \text{ vrk} \times 11/24 \text{ h} \times 5,814 \text{ m}^3/\text{s} \times (21 \text{ °C} - 18 \text{ °C}) \times 8760 \text{ h/a} / 1000 \text{ W/kW} = 60\,025,4 \text{ kWh/a}$$

Lasketaan suunnitteluratkaisun lämmitysenergia tuloilmalle kaavalla 8.

$$q_{iv, \text{suunnitelma}} = 3,248 \text{ m}^3/\text{s} + 1,787 \text{ m}^3/\text{s} + 1,965 \text{ m}^3/\text{s} + 0,139 \text{ m}^3/\text{s} = 7,139 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{iv, \text{tuloilma, 2}} = 7,139 \text{ m}^3/\text{s} / 5,814 \text{ m}^3/\text{s} \times 60\,025,4 \text{ kWh/a} = 73\,705,1 \text{ kWh/a}$$

4.3.4 Käyttöveden lämmityksen nettotarve

Nettotarve käyttöveden lämmitykselle lasketaan joko kaavoilla 9 ja 10, jotka eivät ota huomioon lämmityslaitteiden, lämmönvaraajan ja putkiston aiheuttamia lämpöhäviöitä, tai käyttäen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisia ominaiskuluksia. [4, s. 21; 9, s. 21].

$$Q_{lkv, \text{netto}} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (9)$$

$$V_{lkv} = V_{lkv, \text{omin}} A_{\text{netto}} \Delta t / 365 / 1000 \quad (10)$$

$Q_{lkv, \text{netto}}$ on käyttöveden lämmityksen nettotarve, kWh

ρ_v on veden tiheys, kg/m³

c_{pv}	on veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK
V_{lkv}	on lämpimän käyttöveden kulutus m^3
$(T_{lkv} - T_{kv})$	on lämpimän ja kylmän käyttöveden lämpötilojen erotus, °C
$V_{lkv, omin}$	on lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, $dm^3/(m^2 a)$
A_{netto}	on rakennuksen lämmitetty nettoala, m^2
Δt	on ajanjakson pituus, vrk.

Laskennassa käytän toimistorakennukselle osoitettua ominaiskulutusta $103 \text{ dm}^3/(m^2 a)$ vastaavaa lämmitysenergian nettotarvetta $6 \text{ kWh}/(m^2 a)$ sekä suunnittelu- että vertailuratkaisussa.

$$Q_{lkv, netto} = 6 \text{ kWh}/(m^2 a) \times 2907 \text{ m}^2 = 17\,442 \text{ kWh/a}$$

4.3.5 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Rakennuksen tilojen tarvitsema lämmitysenergia pitää sisällään johtumisen ja vuotoilman lämpöhäviöt sekä tilojen tuloilman ja korvausilman lämpenemisen. Tilojen lämmitysenergian nettotarve saadaan selville vähentämällä lämmitysenergian tarpeesta lämpökuormat, jotka on mahdollista käyttää hyödyksi lämmitystarpeen esiintyessä (kaava 11). Hyödynnettävät lämpökuormat lasketaan luvussa 4.5 Lämpökuormat. [9, s. 15.]

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad (11)$$

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{tuloilma}} + Q_{\text{korvausilma}} \quad (12)$$

$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$	on rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh
Q_{tila}	on rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
$Q_{\text{sis.lämpö}}$	on lämpökuormat, jotka hyödynnetään lämmityksessä, kWh
Q_{joht}	on johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{\text{vuotoilma}}$	on vuotoilman lämpöhäviöt, kWh

$Q_{tuloilma}$ on tuloilman lämpeneminen tilassa, kWh
 $Q_{korvausilma}$ on korvausilman lämpeneminen tilassa, kWh.

Lasketaan rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve kaavalla 12 ja tämän jälkeen tilojen lämmitysenergian nettotarve kaavalla 13.

$$Q_{tila, suunnitelma} = 155\,146,5 \text{ kWh} + 20\,303,2 \text{ kWh} + 73\,705,1 \text{ kWh} = 249\,154,8 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{lämmitys, tilat, netto, suunnitelma} = 249\,154,8 \text{ kWh} - 128\,778,8 \text{ kWh} = 120\,376,0 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{tila, vertailu} = 163\,392,4 \text{ kWh} + 20\,303,2 \text{ kWh} + 60\,025,4 \text{ kWh} = 243\,721,0 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{lämmitys, tilat, netto, vertailu} = 243\,721,0 \text{ kWh} - 120\,397,1 \text{ kWh} = 123\,323,9 \text{ kWh/a}$$

4.4 Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus

Vertailu- ja suunnittelulaskennassa käytetään taulukossa 3 esitettyjä standardikäytön valaistuksen ja laitteiden tehoja sekä käyttöaikoja. Laitteiden ja valaistuksen aiheuttaman lämpökuorman oletetaan laskelmissa olevan sama kuin niiden sähkönkulutus ja ne lasketaan kaavoilla 13–15. [4, s. 19.]

$$Q = kP(\tau_d/24)(\tau_w/7)(8760/1000) \quad (13)$$

$$Q_{laitteet} = QA \quad (14)$$

$$Q_{valaistus} = QA \quad (15)$$

Q on kuluttajalaitteiden / valaistuksen vuotuinen energiankäyttö, kWh/(m² a)

k on käyttöaste

P on lämpökuorma, W/m²

τ_d on rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa, h

τ_w on rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa, d

A on rakennuksen pinta-ala, m².

Lasketaan laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus (kaava 13–15).

- käyttöaste 0,65 (taulukko 3)
- valaistuksen ja laitteiden lämpökuorma 12 W/m² (taulukko 3)
- rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa 11 h (taulukko 3)
- rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa 5 d (taulukko 3)
- rakennuksen pinta-ala 2907 m² (taulukko 3).

$$Q = 0,65 \times 12 \text{ W/m}^2 \times (11 \text{ h} / 24) \times (5 \text{ d} / 7) \times (8760 / 1000) = 22,369 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)}$$

$$Q_{\text{laitteet}} = 22,369 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)} \times 2907 \text{ m}^2 = 65\,027,5 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{valaistus}} = 22,369 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)} \times 2907 \text{ m}^2 = 65\,027,5 \text{ kWh}$$

4.5 Lämpökuormat

Rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutuksen laskennassa otetaan huomioon sekä sisältä että ulkoa tulevat lämpökuormat. Laskennassa on huomioitava sisäsyntyisistä kuormista ihmisten, valaistuksen, sähkölaitteiden sekä lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin aiheuttamat lämpökuormat. Myös ulkopuolelta tuleva auringonsäteily ikkunoiden kautta lasketaan. Valaistuksen ja sähkölaitteiden aiheuttamana lämpökuormana voidaan käyttää niiden sähköenergian kulutusta.

4.5.1 Lämpökuorma henkilöistä

Henkilöiden aiheuttama lämpökuorma lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D3 asettamien standardikäytön arvojen perusteella kaavoilla 13 ja 16. Standardikäytön arvot on esitetty taulukossa 3. [4, s. 19.]

$$Q_{\text{henk}} = QA \tag{16}$$

Q on henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh/(m² a)

k on käyttöaste

P on lämpökuorma, W/m²

T_d on rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa, h

T_w on rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa, d

A on rakennuksen pinta-ala, m^2 .

Lasketaan henkilöiden luovuttama lämpöenergia. Saatua arvoa käytetään sekä suunnittelu- että vertailuratkaisuissa.

- käyttöaste 0,65 (taulukko 3)
- valaistuksen ja laitteiden lämpökuorma 5 W/m^2 (taulukko 3)
- rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa 11 h (taulukko 3)
- rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa 5 d (taulukko 3)
- rakennuksen pinta-ala 2907 m^2 (taulukko 3).

$$Q = 0,65 \times 5 \text{ W/m}^2 \times (11/24) \times (5/7) \times (8760 \text{ h/a} / 1000 \text{ W/kW}) = 9,321 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

$$Q_{\text{henk}} = 9,321 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \times 2907 \text{ m}^2 = 27\,094,8 \text{ kWh}$$

4.5.2 Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia

Lämmityksessä hyödynnettävänä auringon säteilyenergiana lasketaan ikkunoista sisään tuleva energia (kaava 17). Säteilyenergian määrä lasketaan ilmansuunnittain käyttäen rakentamismääräyskokoelman osan D5 antamia säätietoja. Suunnitteluratkaisussa käytetään oikeita ikkuna-aloja oikeissa ilmansuunnissaan. Vertailuratkaisussa ikkunoiden pinta-ala on rakentamismääräyskokoelman osan D3 esittämä määrä eli 15 prosenttia kerrosalasta. Vertailutapauksen ikkunat sijoitetaan ilmansuunnittain samassa suhteessa kuin suunnitteluratkaisussa. [9, s. 28-31.] Ikkunoiden koot ja sijainnit ilmansuunnittain on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Ikkunoiden pinta-alat ilmansuunnittain

	Koillinen	Kaakko	Lounas	Luode
Suunnittelu	107,7 m^2	10,3 m^2	93,9 m^2	378,7 m^2
Vertailu	79,5 m^2	7,6 m^2	69,3 m^2	279,6 m^2

$$Q_{\text{aur}} = \sum G_{\text{säteily, vaakapinta}} F_{\text{suunta}} F_{\text{läpäisy}} A_{\text{ikk}} g = \sum G_{\text{säteily, pystypinta}} F_{\text{läpäisy}} A_{\text{ikk}} g \quad (17)$$

$$g = 0,9 g_{\text{kohtisuora}} \quad (18)$$

Q_{aur}	on ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh/kk
$G_{säteily, vaakapinta}$	on vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia, kWh/(m ² a)
F_{suunta}	on muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi
$F_{läpäisy}$	on säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin
A_{ikk}	on ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), m ²
g	on valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin
$G_{säteily, pystypinta}$	on pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia, kWh/(m ² kk)
$g_{kohtisuora}$	on ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin.

Lasketaan ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin kaavalla 18.

- ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin 0,50 [13, s. 43].

$$g = 0,9 \times 0,50 = 0,45$$

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia lasketaan ilmansuunnittain kuukausitasoisesti kaavalla 17 käyttäen määräyskokoelman osan D5 mukaisia säätietoja. Oletuksena on, ettei verhoja tai varjostuksia ole lainkaan. Kuvassa 5 on esitetty ikkunoista sisään tulevan auringon säteilyenergian määrä kuukausittain.

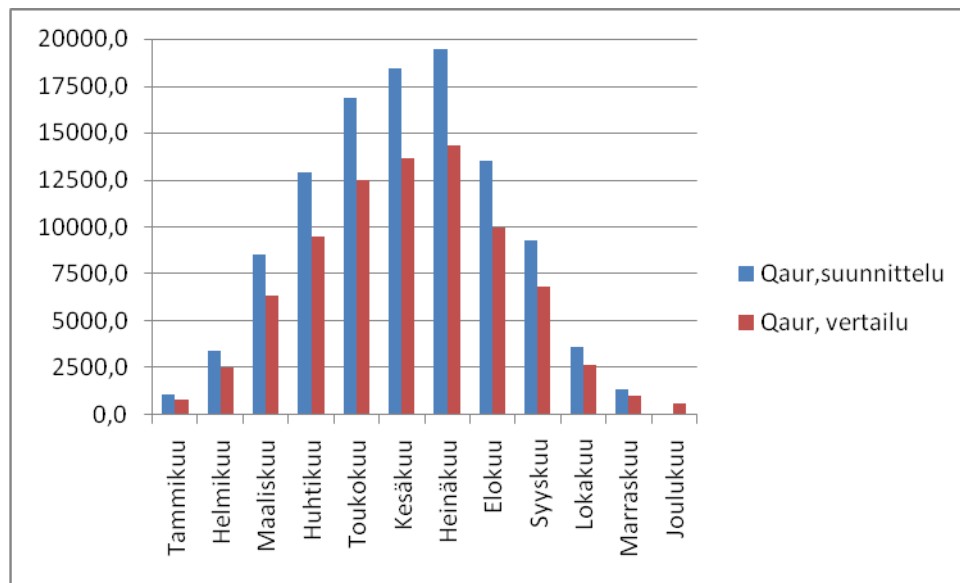
- vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia kWh/(m² kk) [9, s. 64]
- vaakataason kuukausittainen muuntokerroin koillinen [9, s. 64]
- vaakataason kuukausittainen muuntokerroin kaakko [9, s. 64]
- vaakataason kuukausittainen muuntokerroin lounas [9, s. 64]

- vaakatason kuukausittainen muuntokerroin luode [9, s. 64]
- säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin 0,75 [9, s. 29]
- valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin 0,45 (laskettu kaavalla 18).

$$Q_{aur, suunnitelma, koillinen, 1} = 6,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2) \times 0,757 \times 0,75 \times 107,7 \text{ m}^2 \times 0,45 = 170,6 \text{ kWh}$$

$$Q_{aur, suunnitelma, yhteensä} = 109\,328,3 \text{ kWh/a (kuva 5)}$$

$$Q_{aur, vertailu, yhteensä} = 80\,718,9 \text{ kWh/a (kuva 5)}$$



Kuva 5. Auringon säteilyenergia ikkunoista, kWh/kk

4.5.3 Lämpimän käyttöveden kierron aiheuttama lämpökuorma

Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon ja varastointiin lasketusta lämpöhäviöstä hyödynnettävänä määränä oletetaan olevan 50 prosenttia. Laskentatapauksessa varastointia ei ole, joten sitä ei tarvitse ottaa huomioon. Kiertojohtoon ei myöskään ole kytketty lämmityslaitteita. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviö lasketaan näin ollen kaavalla 19. [9, s. 32, 39.]

$$Q_{lkv, kierto} = (W_{lkv, kierto} / 1000) L_{lkv} t_{lkv} 365 \quad (19)$$

$Q_{lkv, kierto}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö, kWh
$W_{lkv, kierto}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho, W/m
L_{lkv}	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus, m
t_{lkv}	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk.

- lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho 6 W/m [9, s. 40]
- lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus 0,020 m/m² [9, s. 40]
- on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika 24/24 h.

$$Q_{lkv, kierto} = (6 \text{ W/m} / 1000) \times (0,020 \text{ m/m}^2 \times 2907 \text{ m}^2) \times 24/24 \text{ h} \times 365 = 127,3 \text{ kWh}$$

4.5.4 Lämpökuormista hyödynnettävä energia

Energiamäärä, joka saadaan hyödynnettyä lämpökuormista, riippuu siitä, onko lämmitystarvetta samalla hetkellä kuin kuormia. Tämän lisäksi lämmitysjärjestelmien täytyy olla varustettu tarvittavilla säätölaitteilla, jotka vähentävät lämmitystä lämpökuormia vastaavalla määrällä. Hyödynnettävän energian määrä lasketaan kuukausitasoisesti kaavoilla 20–26 käyttäen kuukausittaisia ulkoilman keskilämpötiloja. [9, s. 32-34.]

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} + 0,5 \times Q_{lkv, kierto} + Q_{lkv, varastointi} \quad (20)$$

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}} \quad (21)$$

$$\eta_{\text{lämpö}} = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1}) \quad (22)$$

$$a = 1 + (\tau / 15) \quad (23)$$

$$\gamma = Q_{\text{lämpökuorma}} / Q_{\text{tila}} \quad (24)$$

$$\tau = C_{\text{rak}} / H \quad (25)$$

$$H = Q_{\text{tila}} / ((T_s - T_u) \Delta t) 1000 \quad (26)$$

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ on rakennuksen lämpökuorma, kWh

Q_{henk} on henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh

$Q_{säh}$	on valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh
Q_{aur}	on ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh
$Q_{lkv, kierto}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö, kWh
$Q_{lkv, varastointi}$	on lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö, kWh
$Q_{sis.lämpö}$	on rakennuksen lämpökuormien energia, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh
$\eta_{lämpö}$	on lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämistä
γ	on lämpökuorman suhde lämpöhäviöön
a	on aikavakiosta riippuvainen numeerinen parametri
τ	on rakennuksen aikavakio, h
C_{rak}	on rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K
H	on rakennuksen ominaislämpöhäviö, W/K
Δt	on ajanjakson pituus, h
T_s	on sisäilman lämpötila, °C
T_u	on ulkoilman lämpötila, °C.

- rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti 110 Wh/K [9, s. 34]
- ajanjakson pituus 730 h
- sisäilman lämpötila 21 °C
- ulkoilman kuukausittaiset keskilämpötilat °C [9, s. 64].

$$Q_{\text{lämpökuorma, suunnitelma}} = 27\,094,8 \text{ kWh} + 65\,027,5 \text{ kWh} + 65\,027,5 \text{ kWh} + 109\,328,3 \text{ kWh} + 0,5 \times 127,3 \text{ kWh} = 266\,541,8 \text{ kWh/a}$$

$$\gamma_{\text{suunnitelma}} = 266\,541,8 \text{ kWh/a} / 249\,154,8 \text{ kWh/a} = 1,06978$$

$$H_{\text{suunnitelma, esimerkki kuukausi, tammikuu}} = 249\,154,8 \text{ kWh/a} / ((21 - (-3,97)) \times 730 \text{ h/kk}) \times 1000 = 13\,668,7 \text{ W/K}$$

$$H_{\text{suunnitelma, yhteensä}} = 394\,182,2 \text{ W/K}$$

$$T_{\text{suunnitelma}} = 110 \text{ Wh/K} / 394\,182,2 \text{ W/K} = 0,000279 \text{ h}$$

$$a_{\text{suunnitelma}} = 1 + (0,000279 \text{ h} / 15) = 1,0000186$$

$$\eta_{\text{lämpö, suunnitelma}} = (1 - 1,06978^{1,0000186}) / (1 - 1,06978^{1,0000186+1}) = 0,483147$$

$$Q_{\text{sis.lämpö, suunnitelma}} = 0,483147 \times 266\,541,8 \text{ kWh/a} = 128\,778,9 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{lämpökuorma, vertailu}} = 27\,094,8 \text{ kWh} + 65\,027,5 \text{ kWh} + 65\,027,5 \text{ kWh} + 80\,718,9 \text{ kWh} + 0,5 \times 127,3 \text{ kWh} = 237\,932,4 \text{ kWh/a}$$

$$\gamma_{\text{vertailu}} = 237\,932,4 \text{ kWh/a} / 243\,721,0 \text{ kWh/a} = 0,976249$$

$$H_{\text{vertailu, yhteensä}} = 385\,585,6 \text{ W/K}$$

$$T_{\text{vertailu}} = 110 \text{ Wh/K} / 385\,585,6 \text{ W/K} = 0,000285 \text{ h}$$

$$a_{\text{vertailu}} = 1 + (0,000285 \text{ h} / 15) = 1,000019$$

$$\eta_{\text{lämpö, vertailu}} = (1 - 0,976249^{1,000019}) / (1 - 0,976249^{1,000019+1}) = 0,506014$$

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = 0,506014 \times 237\,932,4 \text{ kWh/a} = 120\,397,1 \text{ kWh/a}$$

4.6 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen laskennassa otetaan huomioon lämmitysjärjestelmästä aiheutuvat häviöt lämmöntuotannosta lämmönluovutukseen saakka. Lasketut häviöt lisätään tilojen, ilmanvaihdon sekä lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeisiin. Laskennassa käytettävät hyötysuhteet perustuvat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 esittämiin arvoihin.

4.6.1 Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitys

Tilojen lämmityksen hyötysuhteessa huomioidaan häviöt lämmönluovutuksessa, säädössä, lämpötilakerrostumassa ja lämmönjaossa. Tilojen lämmityksen energiankulutus lasketaan kaavoilla 27–29 [9, s. 35]. Lämmitysjärjestelmän hyötysuhteena käytetään vesiradiaattoreille lämpötiloilla 70/40 °C tarkoitettua arvoa, sillä tarkempaa arvoa ei ole tiedossa.

$$Q_{\text{lämmitys, tilat}} = Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} / \eta_{\text{lämmitys, tilat}} \quad (27)$$

$$W_{\text{tilat}} = e_{\text{tilat}} A \quad (28)$$

$$W_{kl} = e_{kl} A \quad (29)$$

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ on tilojen lämmityksen energiankulutus lämmönluovutuksesta lämmöntuottoon asti, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$	on tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh
$\eta_{\text{lämmitys, tilat}}$	on lämmitysjärjestelmän hyötysuhde tilojen lämmityksessä
W_{tilat}	on lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus, kWh
e_{tilat}	on apulaitteiden ominaiskulutus, kWh/(m ² a)
A	on lämmitetty netto-ala, m ²
W_{kl}	on lämmönjakokeskuksen sähkönkulutus, kWh
e_{kl}	on lämmönjakokeskuksen sähkönkulutuksen ohjearvo, kWh/(m ² a).

- apulaitteiden ominaiskulutus 2 kWh/(m² a) [9, s. 37]
- lämmitetty nettoala 2907 m² (taulukko 3)
- lämmitysjärjestelmän hyötysuhde tilojen lämmityksessä 0,87 [9, s. 37]
- lämmönjakokeskuksen sähkönkulutuksen ohjearvo 0,07 kWh/(m² a) [9, s. 42].

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, suunnitelma}} = 120\,376,0 \text{ kWh/a} / 0,87 = 138\,363,2 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, vertailu}} = 123\,323,9 \text{ kWh/a} / 0,87 = 141\,751,6 \text{ kWh/a}$$

$$W_{\text{tilat}} = 2 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)} \times 2907 \text{ m}^2 = 5\,814 \text{ kWh/a}$$

$$W_{\text{kl}} = 0,07 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)} \times 2907 \text{ m}^2 = 203,5 \text{ kWh/a}$$

4.6.2 Lämpimän käyttöveden lämmitys

Lämpimän käyttöveden lämmityksen energiankulutuksen laskennassa otetaan huomioon kiertojohdon häviöt sekä siirron hyötysuhde, joka pitää sisällään jakojohdon lämpöhäviöt. Energiankulutus lasketaan kaavalla 30. [9, s. 38.]

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = Q_{\text{lkv, netto}} / \eta_{\text{lkv}} + Q_{\text{lkv, kierto}} \quad (30)$$

$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$ on lämpimän käyttöveden lämmityksen energiankulutus lämmöntuotosta vesipisteille asti, kWh

$Q_{\text{lkv, netto}}$ on lämpimän käyttöveden lämmityksen nettotarve, kWh

η_{lkv} on lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde

$Q_{lkv, kierto}$ on lämpimän käyttöveden kiertojohdon häviö, kWh.

- lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde 0,88 [9, s. 39].

$$Q_{lämmitys, lkv} = 17\,442 \text{ kWh/a} / 0,88 + 127,3 \text{ kWh} = 19\,947,8 \text{ kWh/a}$$

4.6.3 Rakennuksen lämmitysenergian kulutus

Rakennuksen kokonaislämmitysenergian kulutus lasketaan kaavalla 31, joka ottaa huomioon lämmitysenergian tuoton hyötysuhteen.

$$Q_{lämmitys} = (Q_{lämmitys, tilat} + Q_{lämmitys, iv} + Q_{lämmitys, lkv}) / \eta_{tuotto} \quad (31)$$

$Q_{lämmitys, tilat}$ on tilojen lämmityksen energiankulutus, kWh

$Q_{lämmitys, iv}$ on ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus, kWh

$Q_{lämmitys, lkv}$ on lämpimän käyttöveden lämmityksen energiankulutus lämmöntuotosta vesipisteille asti, kWh

η_{tuotto} on lämmitysenergian tuoton hyötysuhde lämmityksessä.

- lämmitysenergian tuoton hyötysuhde lämmityksessä kaukolämmöllä 0,97 [9, s. 42].

$$Q_{lämmitys, suunnitelma} = (138\,363,2 \text{ kWh/a} + 64\,900 \text{ kWh/a} + 19\,947,8 \text{ kWh/a}) / 0,97 = 230\,114,4 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{lämmitys, vertailu} = (141\,751,6 \text{ kWh/a} + 175\,074,1 \text{ kWh/a} + 19\,947,8 \text{ kWh/a}) / 0,97 = 282\,017,2 \text{ kWh/a}$$

4.7 Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus

Ilmanvaihtokoneiden sähkökulutus selvitetään suunnitteluratkaisussa Riuskalla. Vertailulaskennassa käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaista ilmavirtaa ja ominaissähkötehoa (taulukko 2). Sähkökulutus lasketaan jokaiselle ilmanvaihtokoneelle erikseen kaavoilla 32–34. [9, s. 50.]

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = \Sigma P_{es} q_v \Delta t \quad (32)$$

$$P_{es} = P_e / q_v \quad (33)$$

$$\Delta T = (P_{es} \rho_s) / (\rho c_p) = (P_e \rho_s) / (\rho c_p q_v) \quad (34)$$

$W_{\text{ilmanvaihto}}$	on puhaltimen / iv-koneen sähköenergiankulutus, kWh
P_{es}	on puhaltimen / iv-koneen ominaissähköteho, kW / (m ³ /s)
q_v	on puhaltimen / iv-koneen ilmavirta, m ³ /s
Δt	on puhaltimen / iv-koneen käyttöaika laskentajaksolla, h
P_e	on puhaltimen / iv-koneen sähköteho, kW
ΔT	on puhaltimen ilmavirran lämpötilaa nostava vaikutus, K
ρ_s	on ilmaan siirtyvän lämpötehon ja puhaltimen sähkötehon suhde
ρ	on ilman tiheys, kg/m ³
c_p	on ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK.

Lasketaan vertailutapaukseen ilmanvaihtokoneen sähköenergiankulutus kaavalla 30.

- iv-koneen ominaissähköteho, 2,0 kW / (m³/s) (taulukko 2)
- iv-koneen ilmavirta, 5,814 m³/s (taulukko 3)
- iv-koneen käyttöaika laskentajaksolla, (11/24) x (5/7) x 8760 h.

$$W_{\text{ilmanvaihto, vertailu}} = 2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) \times 5,814 \text{ m}^3/\text{s} \times (11/24) \times (5/7) \times 8760 \text{ h} = 33\,347,4 \text{ kWh/a}$$

Riuskan simuloinneilla saadaan suunnittelutapauksessa ilmanvaihtokoneiden yhteiseksi sähköenergiankulutukseksi 42 000 kWh/a. Suunnitteluratkaisun suurempi sähköenergiankulutus selittyy tapauksessa käytetyillä suuremmilla ilmavirroilla.

4.8 Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus

Jäähdytysjärjestelmän sähköenergiantarve ja sen apulaitteiden sähkönkulutus voidaan selvittää Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 antamien laskukaavojen avulla. Laskentatapauksessa jäähdytysjärjestelmän sähköenergiantarve selvitetään Riuskan avulla. Sähköenergiantarpeen avulla lasketaan tuotettu jäähdytysenergia sekä apulaitteiden sähkönkulutus kaavoilla 35 ja 36. Vertailulaskennassa oletetaan, että jäähdytystarvetta ei esiinny. [9, s. 52.]

$$E_{sys} = Q_{ct} / \epsilon_E \quad (35)$$

$$E_{ac} = \beta_{ac} Q_{ct} \quad (36)$$

Q_{ct}	on jäähdytysjärjestelmällä tuotettu jäähdytysenergia, kWh
E_{sys}	on jäähdytysjärjestelmän sähköenergiantarve, kWh
ϵ_E	on jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuinen kylmäkerroin
E_{ac}	on apulaitteiden sähkönkulutus, kWh
β_{ac}	on järjestelmän vuotuinen apulaitteiden sähkönkulutuksen kulutuskerroin.

- jäähdytysjärjestelmän sähköenergiantarve 5000 kWh/a
- jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuinen kylmäkerroin 2,5
- järjestelmän vuotuinen apulaitteiden sähkönkulutuksen kulutuskerroin 0,08 [9, s. 54].

$$Q_{ct} = E_{sys} \times \epsilon_E = 5000 \text{ kWh} \times 2,5 = 12\,500 \text{ kWh}$$

$$E_{ac} = 0,08 \times 12\,500 \text{ kWh} = 1000 \text{ kWh/a}$$

4.9 Rakennuksen E-luku

Lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien sekä valaistuksen ja sähkölaitteiden energiankulutus muodostavat energiamuodoittain jaoteltuna rakennuksen ostoenergiankulutuksen (kaava 37). Energialuku saadaan selville kertomalla rakennuksen energiankulutukset niille tarkoitetuilla energiamuotojen kertoimilla (kaava 38). [9, s. 13.]

$$E_{osto} = Q_{lämmitys} + W_{lämmitys} + W_{ilmanvaihto} + W_{jäähdytys} + W_{laitteet} + W_{valaistus} \quad (37)$$

$$E = f_{kaukolämpö} Q_{netto-kaukolämpö} + f_{sähkö} W_{netto-verkkosähkö} \quad (38)$$

E_{osto}	on rakennuksen ostoenergiankulutus, kWh / (m ² a)
$Q_{lämmitys}$	on lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/(m ² a)
$W_{lämmitys}$	on lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh / (m ² a)
$W_{ilmanvaihto}$	on ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh / (m ² a)
$W_{jäähdytys}$	on jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh / (m ² a)
$W_{laitteet}$	on käyttäjäsähkölaitteiden sähköenergian kulutus, kWh / (m ² a)
$W_{valaistus}$	on valaistusjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh / (m ² a)
E	on rakennuksen energialuku, kWh / (m ² a)
$f_{kaukolämpö}$	on kaukolämmön energiamuodon kerroin
$Q_{netto-kaukolämpö}$	on kaukolämmön kulutus, kWh / (m ² a)
$f_{sähkö}$	on sähkön energiamuodon kerroin
$W_{netto-verkkosähkö}$	on sähkön kulutus, kWh / (m ² a).

- kaukolämmön energiamuodon kerroin 0,7 (taulukko 1)
- sähkön energiamuodon kerroin 1,7 (taulukko 1)

$$E_{osto, suunnitelma} = 230\,114,4 \text{ kWh/a} + 5\,814 \text{ kWh/a} + 203,5 \text{ kWh/a} + 42\,000 \text{ kWh/a} + 5000 \text{ kWh/a} + 1000 \text{ kWh/a} + 65\,027,5 \text{ kWh} + 65\,027,5 \text{ kWh} = 414\,186,9 \text{ kWh/a}$$

$$E_{suunnitelma} = (0,7 \times 230\,114,4 \text{ kWh/a} + 1,7 \times (5\,814 \text{ kWh/a} + 203,5 \text{ kWh/a} + 42\,000 \text{ kWh/a} + 5000 \text{ kWh/a} + 1000 \text{ kWh/a} + 65\,027,5 \text{ kWh} + 65\,027,5 \text{ kWh})) / 2907 \text{ m}^2 = \underline{163 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})}$$

$$E_{osto, vertailu} = 282\,017,2 \text{ kWh/a} + 5\,814 \text{ kWh/a} + 203,5 \text{ kWh/a} + 33\,347,4 \text{ kWh/a} + 65\,027,5 \text{ kWh} + 65\,027,5 \text{ kWh} = 451\,437,1 \text{ kWh/a}$$

$$E_{vertailu} = (0,7 \times 282\,017,2 \text{ kWh/a} + 1,7 \times (5\,814 \text{ kWh/a} + 203,5 \text{ kWh/a} + 33\,347,4 \text{ kWh/a} + 65\,027,5 \text{ kWh} + 65\,027,5 \text{ kWh})) / 2907 \text{ m}^2 = \underline{167 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})}$$

5 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli käydä läpi uudistumassa olevien rakentamismääräysten muutokset vanhoihin nähden. Näiden uusien säädösten ja ohjeiden pohjalta oli myös tarkoitus suorittaa vaadittu energialuvun laskenta Hyvinkäällä sijaitsevalle rakennukselle sekä selvittää, täyttääkö se asetetut energiatehokkuusvaatimukset.

Määräysten kiristymisen huomaa laskennassa selkeästi. Energialuvun laskennassa sähköenergian määrä lähes kaksinkertaistetaan ja tällä on suuri vaikutus lopputulokseen. Tämän myötä jatkossa on kiinnitettävä enemmän huomiota sähköenergian kulutukseen.

Lämmityksessä tulee pyrkiä käyttämään energiamuotona joko uusiutuvia polttoaineita tai kaukolämpöä. Jos jäähdytystarvetta esiintyy, kaukojäähdytystä kannattaa pitää ensisijaisena vaihtoehtona energiamuotokertoimensa takia. Näillä saavutetaan suurin hyöty E-lukua silmällä pitäen.

Laskentajärjestys muotoutui Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti. Ensin selvitettiin lämmitysjärjestelmän energiankulutukset huomioiden lämpöhäviöiden ja -kuormien vaikutukset. Tätä seurasi ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmän energiankulutusten laskeminen. Saatujen kulutusten perusteella laskettiin energialuku, joka kohdetapauksessa oli 163 kWh/(m² a).

Laskentatapauksen kohde ei ollut aivan tyyppillisin toimistorakennus, sillä siinä oli henkilöstöravintola, joka asetti erityisvaatimuksia ammattikeittiöineen. Myös näyttely- ja neuvottelutilat aiheuttivat suuret ilmamäärät suunnitteluratkaisussa. Laskenta suoritettiin kuitenkin soveltaen toimistorakennusten standardiarvoja. Laskennan lopputuloksesta voidaan todeta sen täyttävän rakentamismääräyskokoelman osan D3 asettaman vaateen energialuvulle toimistorakennuksessa, joka on 170 kWh/(m² a).

Verrattaessa suunnitteluratkaisua vertailuratkaisuun (taulukko 5) voidaan todeta suunnitelman olevan vain hieman energiatehokkaampi E-luvultaan. Energiamuotojen kertoimet tasaavat luvut lähes samoiksi. Suunnitelman mukaisessa energialaskennassa kuluu vuodessa yli 50 MWh vähemmän kaukolämpöä kuin vertailuratkaisussa, mikä johtuu pääasiassa ilmanvaihdon käyttämästä lämmitysenergian määrästä. Energialuvuissa ero on kuitenkin vain 4 kWh/(m² a), mikä selittyy sillä, että suunnitteluratkaisussa sähköenergiaa kuluu noin 15 MWh/a enemmän. Sähköenergian kulutuksen erot selittyvät sillä, että suunnitteluratkaisun ilmanvaihtojärjestelmän lasketaan kuluttavan enemmän sähköä kuin vertailulaskennassa. Myös jäähdytys kuuluu suunnitelmaan, ja tämä lisää sähköenergian kulutusta.

Taulukko 5. Suunnittelu- ja vertailuratkaisun energiat

Järjestelmien energiankulutus	Energian tuotantotapa	Suunnittelu- ratkaisun energiatarve MWh vuodessa	Vertailu- ratkaisun energian kulutus MWh vuodessa	Säästö MWh vuodessa
Tilojen lämmitys	Kaukolämpö	142,6	146,1	3,5
Ilmanvaihdon lämmitys	Kaukolämpö	66,9	115,3	48,4
Käyttöveden lämmitys	Kaukolämpö	20,6	20,6	0,0
Lämmönkulutus yhteensä		230,1	282	51,9
Laitteet	Verkkosähkö	65,0	65,0	0,0
Valaistus	Verkkosähkö	65,0	65,0	0,0
Lämmitysjärjestelmän apulaitteet	Verkkosähkö	5,8	5,8	0,0
Lämmönjakokeskuksen energiankulutus	Verkkosähkö	0,20	0,20	0,0
Ilmanvaihtokoneiden energiankulutus	Verkkosähkö	42,2	33,4	-8,8
Jäähdytysjärjestelmä	Verkkosähkö	5,0	0,0	-5,0
Jäähdytysjärjestelmän apulaitteet	Verkkosähkö	1,0	0,0	-1,0
Sähkönkulutus yhteensä		184,2	169,4	-14,8

Ostoenergiamuoto	Yhteis- mittallistamis- kerroin	Suunnittelu- ratkaisun energiankulutus MWh vuodessa	Vertailu- ratkaisun energiankulutus MWh vuodessa	Säästö
Kaukolämpö	0,7	230,1	282,00	51,90
Verkkosähkö	1,7	184,20	169,40	-14,80
Energiankulutus		414,30	451,40	37,10
Painotettu energiankulutus		474,21	485,38	11,17

	Suunnittelu- ratkaisu kWh/(m ² a)	Vertailu- ratkaisu kWh/(m ² a)
E-luku	163	167

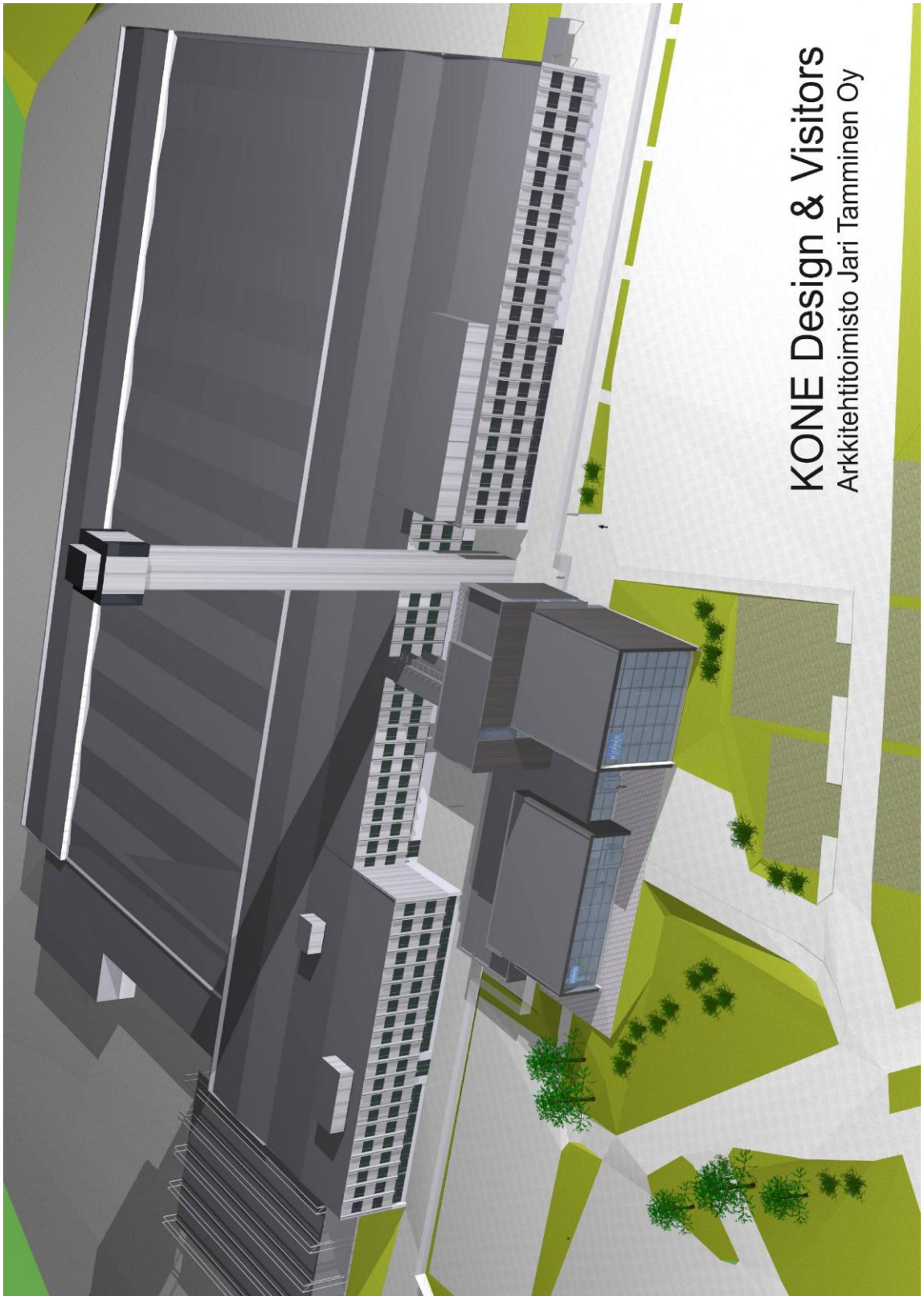
Sähköenergian kulutusta vähentämällä E-lukua voisi saada huomattavasti pienemmäksi suunnitteluratkaisussa. Suurimmat sähkönkulutukset sekä suunnittelu- että vertailuratkaisussa ovat laitteilla ja valaistuksella. Laitteiden kulutukseen ei voi laskennassa puuttua, sillä sen tulee noudattaa standardikäytölle annettuja arvoja. Valaistuksen aiheuttamaa energiankulutusta sen sijaan on mahdollista pienentää tarpeenmukaisella valaistuksen ohjauksella suurestikin.

Uudistuvissa ohjeissa laskentaa ei ole monimutkaistettu liikaa, ja se on mahdollista suorittaa jo olemassa olevin keinoin. On kuitenkin selvää, että uudet määräykset johtavat entistä enemmän tietokonepohjaiseen simulointiin, sillä tuntitasoinen laskenta on lähes mahdotonta suorittaa käsin. Määräykset myös aiheuttavat tietojen päivitystarpeen sekä suunnittelijoille että käytössä oleville laskentaohjelmille niin laskentatapojen kuin käytettävien säätietojenkin osalta.

Lähteet

- 1 Yritys. Verkkodokumentti. Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy. <<http://www.maaskola.fi/index.php?id=2>>. Luettu 11.9.2011.
- 2 Kurnitski, Jarek. 2010. Energiatehokkuuden tiekartta 2021 -luentomateriaali. Sitra.
- 3 Energian tuotanto. Verkkodokumentti. Opetushallitus. <http://www.edu.fi/luovasti_luonnonvaroista/luonnonvarojen_kayttajat/energian_tuotanto>. Luettu 23.10.2011.
- 4 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=394585&lan=FI#a3>>. Luettu 23.10.2011.
- 5 Lämmöneristys, ohjeet 2012. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C4. Ympäristöministeriö.
- 6 Kylmäsiilat. Verkkodokumentti. Energiatehokas koti. <http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/kylmasiilat>. Luettu 23.10.2011.
- 7 Kalliomäki, Pekka. 2010. Energiapaketti 2012 -taustamuistio. Ympäristöministeriö.
- 8 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=394585&lan=FI#a3>>. Luettu 23.10.2011.
- 9 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2012. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Ympäristöministeriö.
- 10 Julkaisut. Verkkodokumentti. Valtion ympäristöhallinto. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=394585&lan=FI>>. Luettu 23.10.2011.
- 11 Riuska – olosuhde ja energiasimulointiohjelmisto. Verkkodokumentti. Insinööritoimisto Olof Granlund Oy. <<http://www.granlund.fi/palvelut/granlund-ohjelmistot/riuska/>>. Luettu 23.10.2011.
- 12 Ympäristöministeriön moniste 122. 2003. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 13 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=394585&lan=FI#a3>>. Luettu 23.10.2011.

Rakennuksen periaatekuva



Yleiskaavio suunnitteluratkaisun ilmanvaihtojärjestelmästä

