Karri Honkanen

Matalan E-luvun vaikutus koulukohteen suunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennetekniikka

Insinöörityö

24.4.2019

Metropolia

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Karri Honkanen Matalan E-luvun vaikutus koulukohteen suunnittelussa 57 sivua + 1 liitettä 24.4.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Jouni Ruotsalainen Projekti-insinööri Arto Heiskanen

Opinnäytetyön aihe on saatu Lemminkäinen Talo Oy:ltä. Työ toteutettiin tutkimalla kirjallisia lähteitä sekä esimerkkikohteen suunnitelmia ja asiakirjoja. Esimerkkikohteena työssä toimi Kevätkummun koulu Porvoossa, jonka rakennustyöt alkoivat toukokuussa 2016 ja valmistuivat lokakuussa 2017.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, kuinka matalaenergiatavoite vaikuttaa koulurakennuksen suunnitteluun. Esimerkkikohteessa matalaenergiatavoitteena oli E-luku 80 kWh_E /(m^2a), mikä antoi aiheen tämän työn tekemiselle.

Työssä käytiin läpi E-luvun laskennan vaiheet. Työssä käytiin myös läpi energialaskennan ajoitus ja merkitys suunnitteluprosessissa sekä matalaenergiatavoitteen vaikutusta eri suunnittelualoille.

Jokaisella suunnittelualalla on vaikutuksensa rakennuksen energiatehokkuuteen. Energiatavoitteita ei kutenkaan pystytä saavuttamaan yksittäisen suunnittelijan omilla suunnitelmilla, vaan kyse on kokonaisuudesta. Yhteistyö suunnitteluprosessin aikana on erittäin tärkeää ja sen on oltava saumatonta matalaenergiatavoitteiden saavuttamiseksi. Suunnitelmien on oltava valmiit hyvissä ajoin, ennen kuin projektin rakennusvaihe voi alkaa. Mahdolliset suunnitelmamuutokset kesken rakennusvaiheen voivat vaikuttaa jokaiseen suunnittelualaan ja vaikuttaa koko suunnittelukokonaisuuteen, joka hankaloittaa energiatavoitteiden saavuttamista.

Avainsanat	E-luku, Matalaenergiarakentaminen, koulurakennus

Author(s) Title Number of Pages Date	First name Last name The Effect of Low E-Value on Design Process of School Buildings 57 pages + 1 appendices 24 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Jouni Ruotsalainen, Principal Lecturer Arto Heiskanen, Project Engineer

The subject of this thesis is in cooperation and collaboration with Lemminkäinen Talo Oy.

The research has been done by studying literary sources, design, and documentation on the subject matter. Kevätkumpu School is used as a case study in this research. The construction work began in May 2016 and the project was completed in October 2017.

The purpose of this thesis was to analyse how the low energy target affects the design of the school building. In this case study, the low energy target for the building was E-value 80 kWhE /(m2a), which gave the motivation to examine this subject.

In this thesis, this researcher will go through and examine how to calculate E-value. In addition, during that examination, this researcher will consider the timing of the energy calculations and its assessment during the design process. This researcher will also investigate how the low energy target will affect in the different design sectors.

All design sectors have their own impact on the building's energy efficiency. Energy targets cannot be reached by using only one of the designer's plans, and that is why networking and cooperation should be done in all design sectors. The plans must be ready well before the construction phase of the project can begin. The possible design changes during the construction phase may influence every area of planning work, which makes it challenging and difficult to achieve energy targets.

Keywords	E-value, Low-energy construction, School Building

Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto 1

2 Kevätkummun koulu 2

3 Energiatehokkuus Suomessa 3

3.1 Energiatehokkuuden kehitys/historia 3
3.2 Energian rooli suunnittelussa nykypäivänä 4

4 E-luku 5

4.1 Yleistä E-luvusta 5

5 E-luvun laskenta 8

5.1 E-luvun laskennan lähtötiedot 8
5.2 Laskennan kulku 11
5.2.1 Rakennuksen lämmitysenergian nettotarpeet 11
5.2.2 Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus 13
5.2.3 Lämpökuormat rakennuksessa 14
5.2.4 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus 18
5.2.5 Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus 23
5.2.6 Lämmitysteho 24
5.2.7 Aurinkojärjestelmän sähköntuotto 27
5.2.8 Rakennuksen E-luku eli energialuku 27

6 Energialaskenta suunnitteluprosessissa 29

6.1 Pääsuunnittelijan rooli energialaskennassa 29
6.2 Energialaskennan sisältö ja prosessin eteneminen 29
6.3 Energialaskennan ajoittuminen suunnitteluprosessissa 31
6.4 Tietomalli energialaskennan apuna 32
6.5 Tulokset energialaskennassa 32

7 Arkkitehtuuri 33

7.1 Rakennuksen suuntaus ja sijoittelu 33

7.2 Rakennuksen tila- ja muotoratkaisut 34
7.2.1 Tilaratkaisut 34
7.2.2 Muotoratkaisut 35
7.3 Ikkunat 35
7.4 Aurinkosuojaus 36
8 Rakennesuunnittelun energiatehokkuus 37
8.1 Ulkovaipan suunnittelu 37
8.1.1 Ulkovaippa 38
8.1.2 Ulkovaipan ilmanpitävyys 38
8.1.3 Esimerkkikohteen ulkovaippa 39
8.1.4 Ikkunoiden ja ulko-ovien liitokset 43
8.2 Kylmäsillat ja kylmäsiltasuunnittelu 44
8.2.1 Kylmäsilta 44
8.2.2 Kylmäsiltasuunnittelu 44
8.3 Rakennusfysikaalinen suunnittelu 45
9 Talotekninen suunnittelu 47
9.1 Energianhankintasuunnittelu 47
9.1.1 Energianhankinnansuunnittelu eteneminen 47
9.1.2 Lämmitysenergia muodot 48
9.1.3 Jäähdytysenergia 51
9.1.4 Paikallatuotettu aurinkosähkö 51
9.2 LVI-suunnittelu 52
9.2.1 Ilmanvaihtojärjestelmä 53
9.2.2 Käyttövesijärjestelmä 53
9.3 Sähkösuunnittelu 54
9.3.1 Valaistus 54
10 Yhteenveto 55
Lähteet 56
Liitteet
Liite 1. Kevätkummun koulun energiatodistus

Lyhenteet

RakMK	Suomen rakentamismääräyskokoelma. Sisältää rakentamista koskevat säännöt ja ohjeet.

1 Johdanto

30 % Suomessa kulutettavasta energiasta menee rakennusten käyttöön. Energiaa eniten suomalaisissa rakennuksissa kuluttaa lämmitys, ilmanvaihto, lämmin vesi ja valaistus. Suomen kasvihuonepäästöistä 30 % aiheutuu rakennusten lämmityksestä. Kasvihuonekaasupäästöjen hillintä rakennuksissa perustuu energiantehokkuuden parantamiseen ja energiankulutuksen pienentämiseen sekä uusiutuvan energiankäyttöön. [1.] Energiamääräykset ovat kiristyneet viime vuosikymmenien aikana ja niin tapahtui kesken tämän opinnäytetyönkin, joka osoittaa sen, että rakentamisessa mennään koko ajan ympäristöystävällisempään suuntaan.

Vuonna 2012 uusitut uudisrakentamisen energiamääräykset eivät enää sanele kuinka pitäisi rakentaa, vaan se asetti vaatimukset rakennuksen kokonaiskulutukselle. Tätä kuvaa arvo E-luku. Tämä muutos antaa vapauden rakennuksen suunnittelulle, mutta vaatii paljon suunnitteluprosessin johtamiseen ja tuotantoon. [2.]

Tässä opinnäytetyössä käsitellään matalaenergiatavoitteen vaikutusta koulurakennuksen suunnitteluun. Esimerkkikohteena opinnäytetyössä käytetään Kevätkummun koulua Porvoossa, jonka matalaenergiatavoitteena on E-lukuvaatimus 80 kWh_E /(m^2a). Opinnäytetyössä käydään läpi aluksi yleisesti energiatehokkuutta Suomessa. Tämän jälkeen käydään läpi E-lukua ja E-luvun laskennan vaiheita. Työssä käydään myös läpi energianlaskennan sisältöä, ajoitusta, merkitystä ja roolitusta suunnitteluprosessissa. Koulurakennuksen matalaenergiatavoitteen vaikutusta arkkitehti-, rakenne- ja talotekniseen suunnitteluun tutkitaan opinnäytetyön loppupuolella.

Opinnäytetyön aihe on saatu Lemminkäinen Talo Oy:ltä, joka toimi esimerkkikohteen Kevätkummun koulun pääurakoitsijana. Lemminkäinen oli yksi Suomen suurimmista rakennusalan yrityksistä. 1.2.2018 Lemminkäinen Oyj yhdistyi YIT Oyj kanssa ja Lemminkäinen Talo Oy:n nimi muutettiin YIT Talo Oy:ksi. 1.1.2019 kaikki YIT:n tytäryhtiöt yhdistyivät YIT Suomi Oy:ksi. Tällä hetkellä YIT on Suomen suurin rakennusyhtiö. [3.]

2 Kevätkummun koulu

Kevätkummun koulu on Porvoossa sijaitseva kaksikerroksinen monitoimirakennus, jossa toimii suomen- ja ruotsinkieliset ala-asteet. Rakennuksessa on myös esikoulu, nuorisotalo ja kirjasto. Valmistumisen jälkeen rakennus nimettiin Kantele-taloksi.

Kuva 1. Kevätkummun koulu, myöhemmin Kantele-talo

Rakennuksen runko on tehty teräsbetonielementeistä ja sen bruttoala on 6921 brm^2.

Kevätkummun koulu on osana Lemminkäisen elinkaarihanketta Porvoossa, johon kuuluu yhteensä 2 koulua ja 3 päiväkotia. Kaikissa kohteissa E-lukuvaatimuksena on 80 $kWh_E/(m^2a)$, jonka Lemminkäinen on itse luvannut toteuttaa urakkatarjouksessaan. Kohteet ovat elinkaarihankkeita, joten Lemminkäinen vastaa rakennuksien suunnittelusta, rakentamisesta ja ylläpidosta 25 vuotta. Kohteen rakennustyöt aloitettiin 16.5.2016 ja kohteen luovutettiin tilaajalle 12.10.2017. Hankkeen päättymisen jälkeen Lemminkäinen Oyj yhdistyi YIT Oyj:n kanssa ja näin ollen YIT Suomi Oy vastaa rakennuksen ylläpito ajasta.

3 Energiatehokkuus Suomessa

Yleisesti ottaen energiatehokkuus tarkoittaa kustannustehokkaalla tavalla energian tehokasta käyttöä sekä kasvihuonepäästöjen vähentämistä. Keskeisenä asiana energiatehokkuuden kehittämisessä on kasvihuonepäästöjen vähentäminen, nimenomaan kustannustehokkaasti. Energian säästämiseen on erilaisia syitä. Tärkeimpänä syynä on tietenkin ilmastonmuutoksen hillintä. Muita syitä ovat:

- Energian saatavuuden turvaaminen
- Tuontienergiatarpeen vähentäminen
- Energiakustannusten alentaminen
- Resurssitehokkuus
- Muut ympäristösyy (ympäristön- ja ilmansuojelu)
- Uusiutuvan energian osuuden kasvu.

Suomi on tällä hetkellä energiansäästötoimissa sekä energiankäytön tehokkuudessa kärkimaita. Tuloksellista energian säästöä Suomessa ollaan saatu aikaan sähkön ja lämmön yhteistuotannolla, edellä mainitulla vapaaehtoisuuteen perustuvalla energiatehokkuussopimuksien kattavuudella sekä energiakatselmusten toteuttamisella järjestelmällisesti. [4.]

3.1 Energiatehokkuuden kehitys/historia

Ensimmäiset energiamääräykset ovat tulleet voimaan Suomessa vuonna 1976. Nämä määräykset olivat edistyksellisiä jopa kansainvälisellä mittapuulla. Näin Suomi olikin 1970- ja 1980-luvuilla energiatehokkuuden edelläkävijä. Vuoden 1978 määräysten jälkeen energiatehokkuuden kehitys kuitenkin pysähtyi lähes kokonaan. [2, s.7.] Tämä voidaan havainnoida taulukosta 1.

Taulukko 1. Rakentamismääräysten kehittyminen vuosina 1976-2012. [2, s.8.]

	C3 1976	C3 1978	C3 1985	C3 2003	C3 2007	C3 2010	D3 2012
Ulkoseinä, W/(m² K)	0,40	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Yläpohja, W/(m² K)	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Maanvarainen alapohja, W/(m² K)	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ikkuna, W/(m² K)	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
Lämpöhäviön kompensaatioraja, %				10	20	30	vapaa
Ilmanpitävyys 50 Pa paine-erolla				$n^{50} = 4,0$	$n_{50} = 4,0$	$n_{50} = 4,0$	$q_{50} = 4,0$
LTO:n vuosihyötysuhde, %				30	30	45	45
Iv:n ominaissähköteho, kW/(m³/s)				2,5	2,5	2,5	2,0
E-luku 150 m² talolle, kWh/(m² a)							162

Jouduttiin odottamaan yli 30 vuotta kunnes 2010 päästiin taas vauhtiin energiatehokkuuden kehityksen kanssa. 2010 käytettiin kuitenkin vielä luovaa suunnittelua rajoittavia rakenneosakohtaisia vaatimuksia, sekä rajoitettiin myös lämpöhäviötä ja ilmanvaihdon puhallinsähköä. [2, s.7.]

Vuodesta 2012 lähtien energiatehokkuus vaatimukset ovatkin kohdistuneet kokonaisenergiankulutukseen. U-arvo säilyi vertailuarvona vielä vuoden 2012 jälkeenkin, mutta lämmöntalteenotolla sekä ilmanpitävyydellä voidaan kompensoida lämpöhäviöt täysin vapaasti. Näin ollen käytännössä E-luvulla on tämän jälkeen ohjattu energiavaatimusten täyttämistä. Vuoden 2012 energiamääräysten RakMK D3 onkin muuttanut energiantehokkuuden ohjausta jopa yhtä merkittävästi kuin ensimmäiset energiamääräyksen vuonna 1976. [2, s.7.]

Kesken opinnäytetyön työstämisen vuoden 2018 alusta tuli energiamääräyksiin tuli päivityksiä. Näiden mukana energiamuotokertoimiin tuli pieniä muutoksia. [5.]

3.2 Energian rooli suunnittelussa nykypäivänä

Suomessa tiukennettiin uudistuotannon rakennusmääräyksiä rakennusmääräyskokoelman muutoksilla kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen muutos astui voimaan 1.1.2010 ja toinen 1.1.2012. Muutoksien tavoitteena Suomella oli osaltaan toteuttaa Euroopan

unionin energiatehokkuusdirektiivi. Muutoksien myötä rakennuksen eristystä, ilmanvaihtoa ja sisäilmastoa koskevat ohjeet tiukentuivat. [6, s.8.]

Vaikka aikaisemminkin on käytetty energiaa säästäviä laitteita ja toimenpiteitä, niin kokonaisuudessaan rakennuksissa ei kuitenkaan olla saatu energiataloudellisia. Ongelmana on ollut yleensä nimenomaan suunnittelun puute. [6, s.8.]

Nykyään energiaa voidaan kuitenkin pitää ajallisen, esteettisen, taloudellisen ja toiminnallisten tekijöiden lisäksi viidentenä suunnitteluun vaikuttavana tekijänä. Optimitapauksissa suunnittelun lopputuloksena on taloudellisen, toimivan, kauniin ja kestävän lisäksi energiataloudellisen rakennuksen suunnitelmat. [6, s.8.]

4 E-luku

4.1 Yleistä E-luvusta

E-luvulla eli rakennuksen tai rakennuksen osan kokonaisenergiankulutuksella tarkoitetaan ostoenergian laskennallisen kulutuksen ja energiamuotojen kertoimien tuloa jaettuna lämmitetyllä nettoalalla. [7, s.165.] E-luku siis saadaan seuraavasta kaavasta:

$$E = \frac{f_{kaukolämpö} Q_{kaukolämpö} + f_{kaukojäähdytys} Q_{kaukojäähdyty} + \sum f_{polttoaine,i} Q_{polttoaine,i} + f_{sähkö} W_{sähkö}}{A_{netto}} \quad (1)$$

missä

E	rakennuksen energialuku, $kWh_E/(m^2a)$
$Q_{kaukolämpö}$	kaukolämmön kulutus, kWh/a
$Q_{kaukojäähdytys}$	kaukojäähdytyksen kulutus, kWh/a
$Q_{polttoaine,i}$	polttoaineen i sisältämän energian kulutus, kWh/a
$W_{sähkö}$	sähkön kulutus, josta on vähennetty rakennuksessa käytetty omavaraissähköenergia, kWh/a

$f_{kaukolämpö}$	kaukolämmön energiamuodon kerroin
$f_{kaukojäähdytys}$	kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin
$f_{polttoaine,i}$	polttoaineen i energiamuodon kerroin
$f_{sähkö}$	sähkön energiamuodon kerroin
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m²

Esimerkkikohteessa energiamuotojen kertoimina on käytetty 15.1.2013 voimaan tulleita valtioneuvoston asetuksen 9/2013 mukaisia lukuarvoja:

Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
kaukojäähdytys	0,4
fossiiliset polttoaineet	1,0
rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

[8, s.8.]

1.1.2018 voimaan tulleen valtioneuvoston asetuksen 788/2017 myötä energiamuotojen kertoimiin on tullut pieniä muutoksia. Nykyisin voimassa lukuarvot:

sähkö	1,20
kaukolämpö	0,50
kaukojäähdytys	0,28
fossiiliset polttoaineet	1,00

rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,50.

[9.]

E-luvun perusteella määräytyy energiatodistuksessa ilmoitettava energiatehokkuus-luokka. Opetusrakennuksissa ja päiväkodeissa energiatehokkuusluokka määräytyy E-luvun perusteella alla olevan taulukon mukaisesti:

Taulukko 2. Opetusrakennusten ja päiväkotien energiatehokkuusluokka taulukko. [10, s.25.]

Opetusrakennukset ja päiväkodit (käyttötarkoitusluokka 6)

- Opetusrakennus
- Päiväkoti

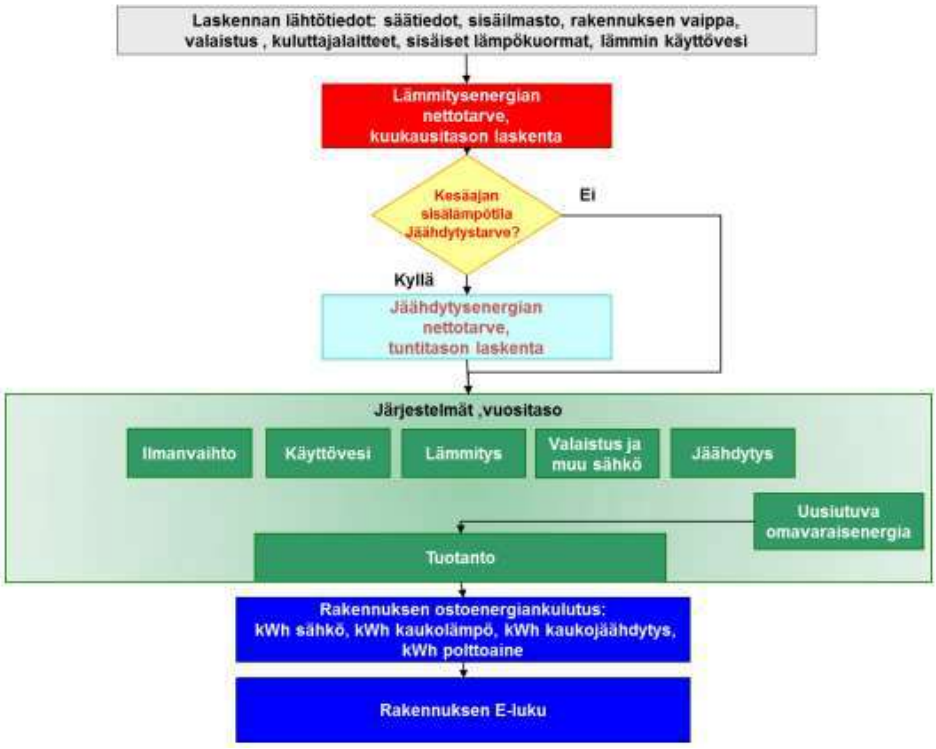
Energiatehokkuusluokka	E-luku ($kWh_E/(m^2 vuosi)$)
A	E-luku ≤ 90
B	91 ≤ E-luku ≤ 130
C	131 ≤ E-luku ≤ 170
D	171 ≤ E-luku ≤ 230
E	231 ≤ E-luku ≤ 300
F	301 ≤ E-luku ≤ 360
G	361 ≤ E-luku

Esimerkkikohde kuulu siis energiatehokkuusluokkaan A.

Uuden opetus- ja päiväkotirakennuksen E-luvun raja-arvo on kuitenkin 100 $kWh_E/(m^2a)$ jota rakennus ei saa ylittää. [11, s.3.] Lemminkäinen on kuitenkin luvannut Kevätkummun koulun kohdalla E-luvun olevan enintään 80 $kWh_E/(m^2a)$.

5 E-luvun laskenta

Tässä luvussa käydään pintapuolisesti läpi E-luvun laskennan vaiheita. Laskentaa siis käydään läpi lähtötiedoista aina E-luvun laskennan loppuun asti, kuitenkaan syventymättä täysin kaavoihin ja laskuihin. Esimerkkeinä tässä viitataan Lemminkäisen Kevätkummun kouluun Porvoossa.



Kuva 2. Energiankulutuksen laskennan vaiheet lähtötiedoista E-lukuun. [12, s.14.]

5.1 E-luvun laskennan lähtötiedot

E-luvun laskenta aloitetaan lähtötietojen selvittämisellä. Lähtötietojen selvittäminen heti alkuun on tärkeää sillä, E-luku lasketaan yleensä laskentaohjelmilla, joihin lähtötiedot syötetään.

Energialaskennassa lähtötietoja on kolmea eri tyyppiä:

- Rakennuksen suunnitelmista saatavat rakennuskohtaiset lähtötiedot

- Rakennuskohtaiset käyttötiedot

- Laskentamenetelmien ohjearvot. Käytetään jos ei tarkempia tietoja ole saatavilla.

Määräyksissä olevia lähtöarvoja, laskentasääntöjä ja suunnitteluarvoja on käytettävä, kun vaatimuksenmukaisuutta osoitetaan. [12, s.14.]

Taulukossa 3 on esitetty energialaskennan eri vaiheissa tarvittavia lähtötietoja:

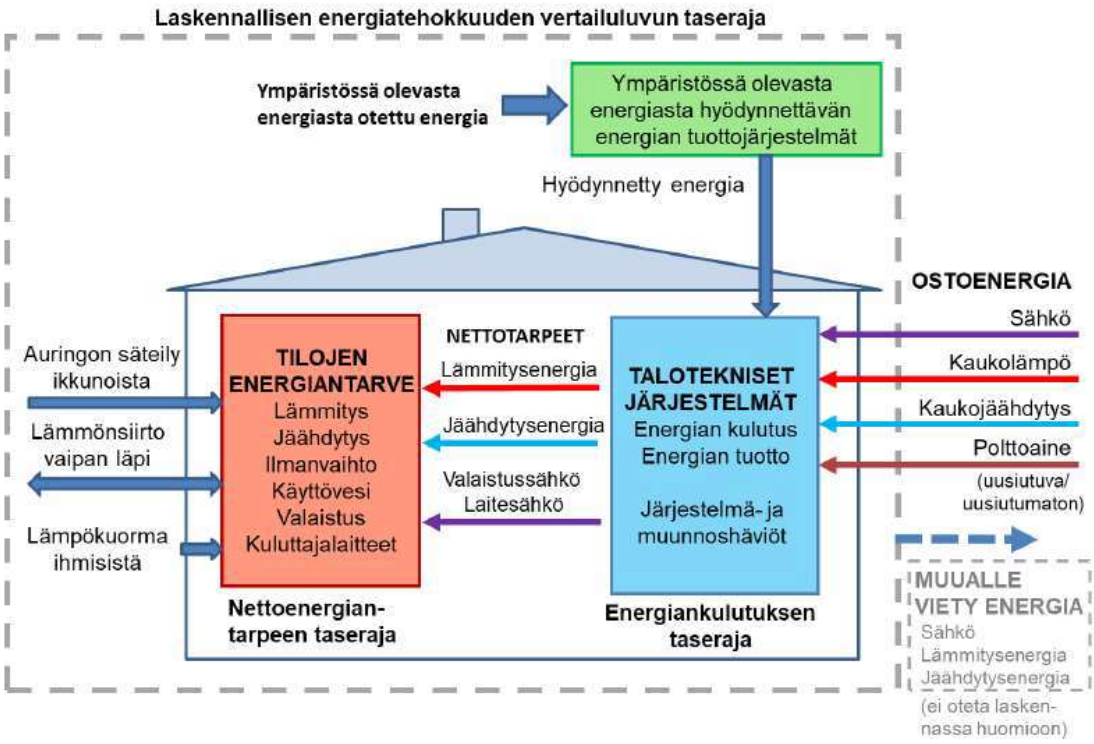
Taulukko 3. Energialaskennan eri vaiheissa tarvittavat lähtötiedot. [12, s.17,28,31,39,47,59, 63,70.]

Laskennan vaihe:	**Tarvittavat lähtötiedot:**
Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve	• Rakennusosien pinta-alat • Rakennusosien lämmönläpäisykertoimet • Ilmanvaihdon ilmavirrat • Ilmanvaihtojärjestelmän käyntiajat • Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet
Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus	• Rakennustyyppi • Rakennuksen pinta-ala
Lämpökuormat	• Rakennuksessa olevien henkilöiden lukumäärä • Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus • Ikkunoiden pinta-alat ilmansuunnittain sekä ikkunoiden auringon säteilyn läpäisykerroin • Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin häviöt • Rakennuksen tilojen lämpöhäviöt
Lämmitysjärjestelmän energiantarve	• Tilojen lämmitysenergian nettotarve • Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve • Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve
Lämmitysjärjestelmän energianenergiankulutus	• Tilojen lämmitysenergian nettotarve • Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve • Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus	• Ilmanvaihtokoneiden sähkötehot tai SFP-luvut • Ilmanvaihtokoneiden ilmavirrat
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus	• Ilmastointikoneen jäähdytyspatterin käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia • Huonelaitteiden käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia
Lämmitysteho	• Rakennusosien pinta-alat • Rakennusosien lämmönläpäisykertoimet • Rakennuksen ilmatilavuus • Ilmanvaihdon ilmavirrat • Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpötilasuhteet mitoitustilanteessa • Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama • Lämmitysjärjestelmien hyötysuhteet
Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotto	• Kennojen pinta-ala, suuntaus ja kallistus sekä kennojen hyötysuhde

E-luvun laskennan lähtötiedoille on varattu oma sivu rakennuksen energiantodistuksessa. Kyseisellä sivulla ilmoitettavat lähtötiedot ovat otsikoitu seuraavasti:

rakennuskohde, rakennusvaippa, ikkunat ilmansuunnittain, ilmanvaihtojärjestelmä, lämmitysjärjestelmä, jäähdytysjärjestelmä, lämminkäyttövesi ja sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla. Liitteenä on kevätkummun koulun energiatodistus, josta voi katsoa tarkemmin mitä lähtötietoja energiatodistuksessa ilmoitetaan.

5.2 Laskennan kulku



Kuva 3. Laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun eli E-luvun taseraja [12, s.15.]

Opinnäytetyössä esitetyt kaavat ovat peräisin Suomen rakentamismääräyskokoelman rakennusten energiatehokkuutta käsittelevästä osasta [12] sekä Rakennusmääräyskokoelma D5:sta. [13.]

5.2.1 Rakennuksen lämmitysenergian nettotarpeet

E-luvun laskenta kulkee yksinkertaisesti kuvan 2. kaavion mukaisesti. Ensin siis lasketaan lämmitysenergian nettotarve. Lämmitysenergian nettotarpeella tarkoitetaan energiaa, joka tuodaan tiloihin, tuloilmaan ja käyttöveteen lämmitysjärjestelmillä. Lämmitysenergian tarpeesta, kun vähennetään rakennukseen ikkunoiden läpi tuleva auringon

säteilyenergia, poistoilmasta talteen saatu energia ja sisäiset lämpökuormat, saadaan lämmitysenergian nettotarve. [12, s.14.]

Lämmitysenergian nettotarve saadaan siis kaavasta:

$$Q_{lämmitys,tilat,netto} = Q_{tila} - Q_{sis.lämpö} \quad (2)$$

missä

$Q_{lämmitys,tilat,netto}$ lämmitysenergian nettotarve, kWh

Q_{tila} lämmitysenergian tarve, kWh

$Q_{sis.lämpö}$ lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh

Lämmitysenergian tarve saadaan kaavasta:

$$Q_{tila} = Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv,tuloilma} + Q_{iv,korvausilma} \quad (3)$$

missä

Q_{joht} johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh

$Q_{vuotoilma}$ vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

$Q_{iv,tuloilma}$ tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

$Q_{iv,korvausilma}$ korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

5.2.2 Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus

Laitteiden sähköenergian kulutuksella tarkoitetaan laitesähkön kokonaiskulutusta pois lukien ilmanvaihtojärjestelmän, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien sekä valaistusjärjestelmän sähkönkäyttöä. Valaistuksen sähkönkulutuksella tarkoitetaan yksinkertaisesti valaistusjärjestelmän sähkönkulutusta. [12, s.28.]

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkäyttö katsotaan samaksi lämpökuorman kanssa [8, s.19]. Näiden vuotuinen energiankäyttö lasketaan siis samalla kaavalla kuin lämpökuorma:

$$W = kP\frac{\tau_d}{24}\frac{\tau_w}{7}\frac{8760}{1000} \tag{4}$$

Missä

W	Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkäyttö kWh/m^2
k	käyttöaste
P	lämpökuorma W/m^2
τ_d	rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa h
τ_w	rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa d

Alla olevasta taulukosta saadaan ohjearvot edellä mainittuun sähkönkäyttö kaavaan.

Taulukko 4. Lähtöarvoja rakennuksen energialaskentaan [8, s.19]

Käyttötarkoitusluokka	Kellonaika[d]	Käyttöaika		Käyttö-aste	Valaistus	Kuluttaja-laitteet	Ihmiset[a]
		h/24h	d/7d	-	W/m²	W/m²	W/m²
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8[b,c]	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11[b,c]	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12[c]	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19[c]	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14[c]	4	4
Opetusrakennus ja päiväkoti	08:00-16:00	8	5	0,6	18[c]	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12[c]	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9[c]	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6
b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1
c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erillisselvitys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.
d ilmanvaihdon käyntiaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

5.2.3 Lämpökuormat rakennuksessa

Rakennukseen kohdistuu neljää erilaista lämpökuormaa: henkilöistä aiheutuva lämpökuorma, valaistuksesta ja sähkölaitteista aiheutuva lämpökuorma, rakennukseen ikkunankautta tulevan auringon säteilyenergian aiheuttama lämpökuorma sekä lämpimän käyttöveden ja varastoinnin aiheuttama lämpökuorma. Osa näistä lämpökuormista voidaan hyödyntää rakennuksen lämmityksessä. [12.]

Henkilöistä aiheutuva lämpökuorma:

Rakennuksessa olevista ihmisistä vapautuu lämpöä rakennuksiin ja tämä aiheuttaa rakennuksille lämpökuormaa [12, s.31]. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan määräysten vaatimuksenmukaisuuden osoittamisessa henkilöiden lämpökuorman laskennassa käytetään taulukon 4. mukaisia arvoja, sekä kaavana käytetään samaan kaavaa, jolla aikaisemmin laskettiin jo laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutusta. [8, s.19-20.] Henkilöistä aiheutuva lämpökuorma lasketaan siis:

$$Q_{henk\ \ öt} = kP\frac{\tau_d}{24}\frac{\tau_w}{7}\frac{8760}{1000} \tag{5}$$

missä

$Q_{henki\ öt}$ Ihmisistä aiheutuva vuotuinen lämpökuorma kWh/m^2

k käyttöaste

P henkilöistä aiheutuva lämpökuorma W/m^2

τ_d rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa h

τ_w rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa d

Tulokseksi saadaan siis vuotuinen lämpökuorma neliömetriä kohden (kWh/m^2). Tämä kun kerrotaan rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla, niin saadaan koko rakennuksen ihmisistä johtuva lämpökuorma.

Valaistuksesta ja sähkölaitteista johtuva lämpökuorma:

Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuorman on sama kuin laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus [12, s.32]. Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuorma siis saadaan kaavasta:

$$Q_{sähkö} = W_{valaistus} + W_{laitteet} \tag{6}$$

missä

$Q_{sähkö}$ valaistuksesta ja sähkölaitteista johtuva lämpökuorma kWh

$W_{valaistus}$ valaistuksen sähkönkäyttö kWh

$W_{laitteet}$ kuluttajalaitteiden sähkönkäyttö kWh

Rakennukseen ikkunan kautta tulevan auringon säteilyenergian aiheuttama lämpökuorma:

Rakennuksen ikkunoiden kautta tulevan auringon säteilyenergia lasketaan alla olevalla kaavalla. Säteilyenergiaan kuuluu auringosta suoraan ikkunoista rakennukseen tulevan energia, sekä energian, joka tulee rakennukseen välillisesti ikkunaan absorboituneena lämpönä. [12, s.32.]

$$Q_{aurinko} = \sum G_{säteily,vaakapinta} F_{suunta} F_{läpäisy} A_{ikk} g = \sum G_{säteily,pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad (7)$$

missä

$Q_{aurinko}$	ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia kWh/kk
$G_{säteily,vaakapinta}$	auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle pinta-alan yksikköä kohti
F_{suunta}	muuntokerroin, jolla muutetaan vaakatasolle tulevan auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi ilmansuunnittain
$F_{läpäisy}$	säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin
A_{ikk}	ikkuna-aukon pinta-ala, johon laskettu mukaan kehys- ja karmirakenteet m^2
g	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin
$G_{säteily,pystypinta}$	auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnalle pinta-alan yksikköä kohti

Edellä mainituista molemmat kokonaissäteilyenergiat ($G_{säteily,vaakapinta}$ ja $G_{säteily,pystypinta}$) sekä kokonaissäteilyenergian muuntokerroin (F_{suunta}) saadaan energiatehokkuusasetuksesta. [12, s.33]

Säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin saadaan kaavasta:

$$F_{läpäisy} = F_{ke\ ä} F_{verho} F_{varjostus} \quad (8)$$

missä

$F_{kehä}$ kehäkerroin

F_{verho} verhokerroin

$F_{varjostus}$ varjostusten korjauskerroin

Jos ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerrointa ei tiedetä, niin se saadaan kaavasta:

$$g = 0{,}9\ g_{kohtisuor}$$

missä

$g_{kohtisuora}$ ikkunan kohtisuora auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin

Taulukko 5. Kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin. [12, s. 33]

Lasitus	$g_{kohtisuora}$
Yksinkertainen lasitus	0,85
Kaksinkertainen lasitus	0,75
Yksipuitteinen, kolmilasinen ikkuna	0,70
Eristyslasi + erillislasi	0,65
Eristyslasi, matalaemissiviteettipinnoite + erillislasi	0,55

Lämpimän käyttöveden ja varastoinnin aiheuttama lämpökuorma:

Lämpimän käyttöveden ja varastoinnin rakennukselle aiheuttama lämpökuorma aiheutuu niiden häviöistä. Lämpimän käyttöveden kiertojohto sekä lämminvesivaraaja sijaitsevat koulun sisäpuolella, tämän johdosta näiden häviöstä osa on rakennuksen lämpökuormaa. Lämpökuorman osuus on energiatehokkuusasetuksen mukaan 50 % näiden molempien lämpöhäviöstä. [12, s.36.]

Lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia:

Edellä mainittuja lämpökuormia voidaan käyttää osittain rakennuksen lämmityksessä. Lämpökuormia voidaan käyttää lämmityksessä silloin kun on samaan aikaan lämmitystarve. Rakennusten säätölaitteiden on tällöin vähennettävä muuta lämmöntuottoa samalla määrällä, kuin lämpökuorma tuottaa lämmitysenergiaa. [12, s.36.] Lämpökuormien hyödynnettävä energia rakennuksen lämmityksessä lasketaan kaavalla:

$$Q_{sis.lämpö} = \eta_{lämpö} Q_{lämpökuorma} \tag{9}$$

missä

$Q_{sis.lämpö}$	lämmityksessä hyödynnettävät lämpökuormat kWh
$\eta_{lämpö}$	kuukausittainen hyödyntämisaste lämpökuormille
$Q_{lämpökuorma}$	rakennuksen lämpökuorma kWh

Rakennuksen lämpökuorma lasketaan yksinkertaisesti laskemalla kaikki edellä mainitut lämpökuormat yhteen.

5.2.4 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus muodostuu lämmitysenergian sekä sähköenergian kulutuksesta. Nämä molemmat energian kulutukset on kuitenkin laskettava erikseen. [12, s.47.]

Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus lasketaan kaavalla:

$$Q_{lämmitys} = \frac{Q_{lämmitys,tilat} + Q_{lämmitys,iv} + Q_{lämmitys,lkv} - Q_{muu,tuotto}}{\eta_{tuotto}} \tag{10}$$

missä

$Q_{lämmitys}$	Lämpöenergian kulutus lämmitysjärjestelmässä kWh/a

$Q_{lämmitys,tilat}$ lämmönjakelujärjestelmän lämpöenergian tarve kWh/a

$Q_{lämmitys,iv}$ lämpöenergian tarve ilmanvaihdon lämmityksessä kWh/a

$Q_{muu,tuotto}$ energia, joka on tuotettu muilla mahdollisilla tuottojärjestelmillä.

η_{tuotto} tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksen lämmitysenergian tuoton hyötysuhde

Rakennuksissa, joissa on useampi kuin yksi lämmöntuottojärjestelmä, niin lämmitys energiankulutus lasketaan järjestelmittäin järjestelmien hyötysuhteiden ja järjestelmää kohdistuvien lämmöntarpeiden mukaan. [12, s.47.]

Ilmanvaihtokoneen lämmityspattereiden hyötysuhteeksi voidaan olettaa 1,0 ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksen laskennassa. Tällöin siis $Q_{lämmitys,iv}$=Q_{iv} . [12, s.43.]

Lämmitysjärjestelmän energiatarpeella tarkoitetaan yksinkertaisesti sitä, kuinka paljon rakennuksen lämmitysjärjestelmät tarvitsevat energiaa. Lämmitysjärjestelmien energiantarve lasketaan koska sitä tarvitaan, kun lasketaan lämmitysjärjestelmien energiankulutusta seuraavaksi. Näissä laskelmissa otetaan huomioon myös lämpöhäviöt.

Tilojen ja ilmanvaihdon lämmönjakelujärjestelmän lämpöenergian tarve lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Q_{lämmitys,tilat} = \frac{Q_{lämmitys,tilat,netto}}{\eta_{lämmitys,tilat}} + Q_{jakelu,ulos} + Q_{varastointi,ulos} \quad (11)$$

missä

$Q_{lämmitys,tilat}$ lämmönjakelujärjestelmän lämpöenergian tarve. Katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä kWh/a

$Q_{lämmitys,tilat,netto}$	lämmitysenergian nettotarve. Katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä kWh/a
$\eta_{lämmitys,tilat}$	lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde
$Q_{jakelu,ulos}$	lämpöhäviö lämmön jakelujärjestelmästä lämmittämättömään tilaan kWh/a
$Q_{varastointi,ulos}$	lämpöhäviö lämmön jakelujärjestelmän varastoinnista kWh/a

Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Q_{lämmitys,lkv} = \frac{Q_{lkv,netto}}{\eta_{lkv,siirto}} + Q_{lkv,varastointi} + Q_{lkv,kierto} + Q_{lkv,ulos} - Q_{lkv,lto} \quad (12)$$

missä

$Q_{lämmitys,lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve kWh/a
$Q_{lkv,netto}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve kWh/a
$\eta_{lkv,siirto}$	lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde
$Q_{lkv,varastointi}$	lämpöhäviö lämpimän käyttöveden varastoinnista kWh/a
$Q_{lkv,kierto}$	lämpöhäviö lämpimän käyttöveden kiertojohdosta kWh/a

$Q_{lkv,ulos}$ lämpöhäviö lämpimän käyttöveden kiertojohdosta lämmittämättömään tilaan kWh/a

$Q_{lkv,lto}$ käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty jäteveden lämmöntalteenotolla talteen otettu energia kWh

1.1.2018 voimaan tulleiden rakentamismääräyskokoelman energia asetusten muutosten jälkeen, lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeen laskenta kaavaan on tullut edellä merkatut punaiset lisäykset. Esimerkkikohteessa Kevätkummun koulussa lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve on siis laskettu ilman näitä lisäyksiä. [12, s.43.]

Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla:

$$W_{lämmitys} = W_{tilat} + W_{tuotto,apu} + W_{lkv,pumppu} + W_{LP,lämmitys} \quad (13)$$

missä

$W_{lämmitys}$ lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus kWh/a

W_{tilat} sähköenergian kulutus lämmönjakojärjestelmän apulaitteissa kWh/a

$W_{tuotto,apu}$ sähköenergian kulutus lämmöntuottojärjestelmän apulaitteissa kWh/a

$W_{lkv,pumppu}$ sähköenergian kulutus lämpimän käyttöveden pumpussa kWh/a

$W_{LP,lämmitys}$ sähkönkulutus lämpöpumppujärjestelmässä

Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteita ovat esimerkiksi kiertopumput ja säätölaitteet. Näiden sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla:

$$W_{tilat} = e_{tilat} A_{netto,i} \quad (14)$$

missä

e_{tilat} sähköenergian ominaiskulutus lämmönjakelujärjestelmän apulaitteissa kWh/a(m^2 a)

$A_{netto,i}$ rakennuksen osan i lämmitetty nettoala, jonka lämmön jakelujärjestelmä kattaa m^2

Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla:

$$W_{tuotto,apu} = e_{tuotto} A_{netto} \quad (15)$$

missä

e_{tuotto} sähköenergian ominaiskulutus lämmöntuottojärjestelmän apulaitteissa kWh/a(m^2 a)

A_{netto} rakennuksen lämmitetty nettoala m^2

Sähköenergian kulutus lämpimän käyttöveden pumpussa lasketaan kaavalla:

$$W_{lkv,pumppu} = P_{lkv,pumppu} t_{lkv,pumppu} \frac{365}{1000} \quad (16)$$

missä

$P_{lkv,pumppu}$ ottoteho lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun sähkömoottorissa W

$t_{lkv,pumppu}$ lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika h/vrk

Sähköenergian kulutus lämpimän käyttöveden pumpussa lasketaan kaavalla:

$$W_{LP,lämmitys}=Q_{LP,lämmit\ \ ,tilat}/SPF_{tilat}+Q_{LP,lämmit,lkv}/SPF_{lkv}+W_{lisälämmitys} \quad (17)$$

missä

$Q_{LP,lämmitys,tilat}$	tilojen lämmitysenergia lämpöpumpun tuottamana kWh
SPF_{tilat}	lämpöpumpun kausisuorituskykykerroin eli SPF-luku tilojen lämmityksessä
$Q_{LP,lämmit,lkv}$	lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia kWh
SPF_{lkv}	lämpöpumpun kausisuorituskykykerroin eli SPF-luku käyttöveden lämmityksessä
$W_{lisälämmitys}$	lisälämmityksen sähköenergian tarve tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä kWh ($Q_{lämmitys,tilat}+Q_{lämmitys,lkv}$)

5.2.5 Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus

Ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutus saadaan laskemalla suunnitellun ominaissähkötehon, ilmavirran sekä käyntiajan tulo [12, s.56]. Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus saadaan siis kaavasta:

$$W_{ilmanvaiht}\ =\sum SFP\ q_v\Delta t+W_{iv,muu} \quad (18)$$

missä

$W_{ilmanvaihto}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus kWh
SFP	ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho kW/(m^3/s)
q_v	ilmanvaihtokoneen ilmavirta m^3/s
Δt	ilmanvaihtokoneen laskentajakson käyttöaika, h
$W_{iv,muu}$	muu sähkökulutus ilmanvaihtojärjestelmässä kWh

Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho konekohtaisesti lasketaan kaavalla:

$$SFP = \frac{P_{puh}}{q_v} \tag{19}$$

missä

P_{puh}	ilmanvaihtokoneen sähköteho tehosäätölaitteineen kW

5.2.6 Lämmitysteho

Lämmitystehon tarve lasketaan rakennuksessa yleensä tiloittain. Tällöin voidaan tarvittava lämmitysteho laskea ja mitoittaa sekä valita lämmityslaitteet tilakohtaisesti. Lämmitystehon tarve rakennuksissa määräytyy pääasiassa rakenteiden johtumislämpöhäviöistä, ilmanvuodoista ja ilmanvaihdosta. Lämmitystehon tarve saadaan rakennuksessa samanaikaisten tilakohtaisten lämmitystehon tarpeiden summana, siihen lisätään myös mahdollinen ilmanvaihtojärjestelmästä riippuva tuloilman lämmitystehon tarve sekä käyttöveden lämmitykseen tarvittava samanaikainen tehon tarve. [12, s.63.]

Lämmitystehon tarve rakennuksessa lasketaan yhteen laskemalla samanaikaiset tehon tarpeet kaavalla:

$$\Phi_{lämmitys} = \frac{\Phi_{tila}}{\eta_{tilalämmitys}} + \frac{\Phi_{iv}}{\eta_{iv}} + \frac{\Phi_{lkv}}{\eta_{lkv}} \quad (20)$$

missä

$\Phi_{lämmitys}$	lämmitystehon tarve rakennuksessa W
Φ_{tila}	lämpötehon tarve tilojen lämmitysjärjestelmässä W
$\eta_{tilalämmitys}$	tilalämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa
Φ_{iv}	lämpötehon tarve ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmässä W
η_{iv}	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmä hyötysuhde mitoitusolosuhteissa
Φ_{lkv}	lämpötehon tarve käyttöveden lämmitysjärjestelmässä W
η_{lkv}	käyttöveden lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve saadaan kaavalla:

$$\Phi_{tila} = \Phi_{joht} + \Phi_{vuotoilma} + \Phi_{tuloilma} + \Phi_{korvausilm} \quad (21)$$

Φ_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi W
$\Phi_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve W
$\Phi_{tuloilma}$	teho tuloilman lämmittämiseen tilassa W
$\Phi_{korvausilma}$	teho korvausilman lämmittämiseen tilassa W

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän lämpötehon tarve ilmanvaihtokoneittain lasketaan kaavalla:

$$\Phi_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}(T_{sp} - T_{lto,mit}) \quad (22)$$

missä

ρ_i	ilman tiheys 1,2 kg/m^3
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti 1000 J/(kg K)
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta m^3/s
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila °C
$T_{lto,mit}$	mitoitustilanteen lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila °C

Lämpötehon tarve käyttöveden lämmitysjärjestelmässä lasketaan kaavalla:

$$\Phi_{lkv} = \rho_v c_{pv} q_{v,lkv}(T_{lkv} - T_{kv}) + \Phi_{lkv,kiertohäviö} \quad (23)$$

missä

ρ_v	veden tiheys 1000 kg/m^3
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti 4,2kJ/(kg K)
$q_{v,lkv}$	lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama m^3/s
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila °C

$\Phi_{lkv,kiert\quad äviö}$	lämpöhäviöt lämpimän käyttöveden kiertojohdossa kW

5.2.7 Aurinkojärjestelmän sähköntuotto

Rakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kuukausittain tuottaman sähköenergian määrä lasketaan kaavalla:

$$W_{pv,i} = \eta_{kenno} F G_{aur,i} A_{kenno} \tag{24}$$

missä

$W_{pv,i}$	aurinkosähkökennojen kuukaudessa i tuottama sähköenergia kWh
η_{kenno}	aurinkosähkökennoston hyötysuhde
F	aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjaus
$G_{aur,i}$	kuukauden i aikana aurinkosähkökennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia kWh/m^2
A_{kenno}	aurinkosähkökennon pinta-ala ilman kehystä m^2

5.2.8 Rakennuksen E-luku eli energialuku

Edellisissä luvuissa on esitetty, kuinka määritetään rakennuksen ostoenergian kulutuksen laskentaan tarvittavat arvot. E-luku siis lasketaan kertomalla ostoenergian kulutukset energiamuotojen kertoimilla ja jakamalla nämä rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla.

E-luvun kaava on siis:

$$E = \frac{f_{kaukolämpö}Q_{kaukolämpö} + f_{kaukojäähdytys}Q_{kaukojäähdyty} + \sum f_{polttoaine,i}Q_{polttoaine,i} + f_{sähkö}W_{sähkö}}{A_{netto}} \quad (25)$$

Esimerkkikohteessamme Kevätkummun koulussa ostoenergian energiamuotoina on kaukolämpö ja sähkö. E-luku lasketaan siis kaavalla:

$$E = \frac{f_{kaukolämpö}Q_{kaukolämpö} + f_{sähkö}W_{sähkö}}{A_{netto}} \quad (26)$$

Tässä opinnäytetyössä ei laskettu E-luvun laskennassa tarvittavia tietoja, joten käytetään liitteen energiatodistuksessa olevia arvoja, kun seuraavassa lasketaan rakennuksen E-luku.

$Q_{kaukolämpö}$= 39 556 kWh/vuosi

$W_{sähkö}$= 292 693 kWh/vuosi

Kevätkummun koulu on valmistunut loppuvuodesta 2017, joten sen E-luvun laskennassa on käytetty vielä vanhoja energiamuotokertoimia.

$f_{kaukolämpö}$ =0,7

$f_{sähkö}$=1,7

Kevätkummun koulun lämmitetty nettoala on 6567 m^2

$$E = \frac{0{,}7 * 39556\ kWh/vuosi + 1{,}7 * 292693\ kWh/vuosi}{6567m^2}$$

$E = 79{,}99$kWh/$(m^2 vuosi)$

Kevätkummun koulussa E-luku on siis alle 80 kWh/(m^{2}vuosi). Eli tämä täyttää tarjouksessa luvatun energiatehokkuuden.

6 Energialaskenta suunnitteluprosessissa

6.1 Pääsuunnittelijan rooli energialaskennassa

Pääsuunnittelijan vastuulla energialaskennassa on pitää laskenta ajan tasalla, sekä varmistaa että suunnitelmat ovat energiatavoitteiden mukaiset. Pääsuunnittelijan roolina on siis kerätä muilta suunnittelijoilta tarvittavat tiedot energialaskentaa varten. [7, s.28] Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että pääsuunnittelijalta vaadittaisiin energialaskentavalmiuksia, sillä energialaskija hoitaa kyseiset laskelmat energiatehokkaan rakennuksen suunnitteluprosessissa. Pääsuunnittelijan vastuuna on tehdä tarvittavat muutokset ja johtopäätökset energialaskentatuloksista. Aina kun suunnitteluratkaisuja joudutaan projektissa muuttamaan pääsuunnittelija toimittaa näistä tiedot energialaskijalle, joka päivittää energialaskelman. Projekteissa voidaankin sopia, että tilaajalle esitetään aina uusinta suunnitelma versiota vastaava energialaskelma. Näin pääsuunnittelijan ja energialaskijan kommunikaation on oltava suunnitteluprojektin aikana jatkuvaa ja sujuvaa. [7, s.25.]

6.2 Energialaskennan sisältö ja prosessin eteneminen

Useissa kohteissa energia laskenta kuitenkin tehdään vasta valmiista suunnitelmista. Näin ollen energialaskennan suunnittelua ohjaava vaikutusta ei pystytä enää hyödyntämään, koska suurempia muutoksia on tässä vaiheessa enää todella hankala, ellei jopa mahdotonta toteuttaa. Näissä tapauksissa yleensä energialaskenta tehdäänkin vain energiatodistusta varten. [7, s.24.]

Matalaenergia kohteissa onkin tärkeää, että energialaskenta aloitetaan riittävän varhaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia. Energialaskenta onkin hyvä aloittaa jo hankesuunnitteluvaiheessa karkeiden energiatarkasteluiden ja -simulointienmuodossa. Näiden perusteella voidaankin jopa asettaa rakennushankkeen energiatehokkuustavoitteet. Energiasimuloinnit voidaankin aloittaa jo, kun tilaohjelma tai rakennuksen alustavat tilakaaviot on tehty. Energiasimulointien avulla voidaan jo aikaisessa vaiheessa tarkastella rakennuksen muotojen ja suuntauksien vaikutuksia energiankulutukseen. [7, s.24.]

Energialaskenta voidaankin sitten aloittaa toden teolla, kun arkkitehti on saanut valmiiksi ensimmäiset luonnoksensa suunnitelmista. Luonnosvaihe onkin juuri se vaihe missä

vaikutetaan eniten valmiin rakennuksen energiantarpeeseen. Vaikka energiatehokkuustavoite olisi suunniteltavassa kohteessa vaativa, rakennuksessa ei välttämättä tarvitse olla pienet ikkunat ja muotovalinnoiltaan tiivis ja yksinkertainen. Arkkitehdin on kuitenkin oltava joustava suunnitelmien suhteen sekä tehdä suunnitelmista energiatavoitetta tukevia. Arkkitehtuurisiinrajoitteisiin törmätäänkin juuri silloin, kun matalaenergia rakennusten suunnittelussa ei hyödynnetä energialaskentaa. [7, s.24.]

Rakennuksen energiatavoite on syytä kirjata suunnittelijoiden konsulttisopimuksiin, sillä energiatavoitteen muuttuminen kesken suunnitteluprosessin voi aiheuttaa paljon lisätyötä. Energiatavoite voi olla vaikkapa kaikkiin sopimuksiin liitettävä asiakirjaliite, johon kirjataan energiatavoite tarkasti. [7, s.24-25.]

Teknisten suunnitteluratkaisujen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen hahmotetaan energiankulutuksen laskentaa apuna käyttäen. Laskenta toimii suunnittelun apuna tarkasteltaessa optimaalisimpia suunnitteluvaihtoehtoja energiatavoitteiden saavuttamiseksi. Energialaskijan on tunnettava energialaskennan periaatteet sekä eri järjestelmien energiankulutuksen muodostumiset hyvin, jotta pystytään analysoimaan suunnitteluratkaisujen vaikutukset kulutuksen sekä eri energialajien ja kulutustekijöiden ristiriitaisuudet. Suunnittelijat voivat suunnitteluprosessin aikana ehdottaa energiatarvetta pienentäviä muutoksia, kunhan nämä eivät vaikuta suunnitelmien laatuun muuten heikentävästi. Näistä muutoksista energialaskija laskee niiden tarpeellisuuden ja riittävyyden. Prosessi muistuttaakin tavoitteellista kustannuslaskentaa, joka suoritetaan suunnitteluvaiheen aikana. Esimerkkejä ostoenergian ominaiskulutuksen pienentämiseksi muun muassa ikkuna pinta-alan pienentäminen, tehokkaan lämmöntalteenottolaitteen valinta ja paikallinen energiantuotanto kuten aurinkosähkö. Suunnitteluprosessin valmistuttua energialaskelmien tulisi täyttää asetetut energiatavoitteet. [7, s.25.]

6.3 Energialaskennan ajoittuminen suunnitteluprosessissa

Taulukko 6. Energialaskennan vaiheita prosessin eri aikana [7, s.26]

Hankesuunnittelu	• Tilaohjelmien tai tilakaavioihin perustuvien vaihtoehtojen laskennallinen vertailu.
Yleissuunnittelu	• Laaditaan energialaskelmat vaipparakenteiden ja taloteknisten järjestelmien vaihtoehtoihin perustuen. • Laaditaan energiaselvitys.
Toteutussuunnittelu	• Päivitetään energiankulutuslaskelma pohjautumaan valitun toteutusvaihtoehdon teknisiin suunnitelmiin ja käyttöaikatietoihin.
Vastaanotto	• Laskelman päivitys vastaamaan ensimmäiselle takuuvuodelle sovittuja käyttöarvoja ja muita tarkennettuja tietoja. • Lasketaan kulutukset kuukausitasolla.
Käyttö	• Energiantavoitekulutuslaskelman päivitys sovituilla käyttöarvoilla, toiselle takuuvuodelle tai lopulliselle käytölle.

Ensimmäisen kerran energiankulutuksen laskentaa ja simulointeja suoritetaan hankesuunnittelussa. Yleissuunnitteluvaiheessa kyseiset laskelmat tarkistetaan ja toteutussuunnittelussa nämä vielä varmennetaan tarkennetuilla laskelmilla. Laskennat voidaan myös erikseen sovittaessa tehdä urakoitsijan laitevalintojen jälkeen, lopullisilla käyttöaikatauluilla ja säätöarvoilla vastaanottovaiheessa sekä vielä takuuajan päättyessä parhaillaan käytetyillä käyttöaikatauluilla ja säätöparametreilla. [7, s.25-26.]

Yleissuunnitteluvaiheessa vertaillaan erilaisten suunnitteluvaihtoehtoja, kuten julkisivuratkaisujen, teknisten järjestelmien ja toimintojen sijoittelun vaikutusta energiankulutukseen käyttäen apuna simulointia. Yleissuunnittelu vaiheessa myös varmistetaan olosuhteiden, kustannusten ja muiden tavoitteiden osalta suunnitelmien tavoitteiden mukaisuus. Elinkaarikustannus- ja kokonaistaloudellisuusvertailut voidaan myös tarvittaessa laatia tässä vaiheessa päätöksenteon tueksi. Tavoitteet pitää päivittää, mikäli tarkasti harkiten valitaan alkuperäisistä energia- ja olosuhdetavoitteista poikkeava vaihtoehto. [7, s.26-27.]

Energiakulutustarkasteluissa pitää huomioida peruskulutuksen ohessa sovittujen energiasäästöratkaisujen vaikutus. Nämä vaikutukset on huomioitava niin, että ne ovat erikseen huomioitavissa ja kirjattavissa. [7, s.27.]

Energiakulutuslaskennan valmistuessa laaditaan takaisinmaksuajoista laskelmat käyttäen rakennuttajan kanssa sovittuja energiahintoja, tarkastelujaksoja sekä sijoitetun

pääoman tuottovaatimuksia. Näin saadaan selville säästötoimenpiteiden taloudelliset kannattavuudet. [7, s.27.]

6.4 Tietomalli energialaskennan apuna

Energiankulutuksen laskenta on välttämätön asia, kun suunnitellaan energiatehokkaita rakennuksia. Energialaskentaa voidaan tehdäkin monella erilaisella työkalulla, mutta dynaamisilla simulointiohjelmilla saadaan tarkimmat arviot suunniteltavan rakennuksen energiankäytöstä ja sisäolosuhteista. Moni energiasimulointiohjelma käyttääkin apunaan rakennuksen tietomallia. Helpoiten tiedon siirto simulointiohjelmiin onnistuu yksinkertaistetulla IFC-mallilla. Laskentaohjelmaan viedään mallin avulla tiedot aukotuksesta, ikkunoista, rakenteista ja rakennuksen suuntauksesta. [7, s.27.]

Energiatehokkaan rakennuksen suunnittelussa ensimmäiset energiasimuloinnit tehdään jo arkkitehtisuunnittelussa. Tässä vaiheessa laskennantulokset ovat vasta karkealla tasolla, koska laskennan lähtöarvoina käytettävät tilat ovat vain tilaryhmiä ja muutenkin lähtötiedot voivat olla vain hahmotelmia. Suunnitteluprosessin alkuvaiheessa, tietomalli ei välttämättä ole vielä käyttökelpoinen energialaskentaa varten. Näin ollen energialaskija mallintaa energialaskentatarpeita palvelevan karkean mallin laskennan käynnistämiseksi. Energialaskennan tarkkuus paraneekin suunnittelun edetessä, kun tietomalli ja muut lähtötiedot paranee ja tarkentuu. [7, s.27.]

Mitä yksikertaisemmaksi arkkitehdin malli tehdään, sitä varmemmin se toimii oikein energialaskentaohjelmissa. Ongelmat tietomalleissa liittyvät yleensä tilaobjekteihin, jotka määritellään laskentaa varten. Tässä on siis huomioitava kyseessä olevan tietoteknisistä asioista sekä yhteisestä työskentelytavasta. Energialaskentaa varten joudutaan siis tekemään yksinkertaistettu geometriamalli, jos tietomallin laadinnassa, siirrossa ja hyödyntämisessä sekä suunnittelijoiden yhteistyössä esiintyy ongelmia. [7, s.27.]

6.5 Tulokset energialaskennassa

Matalaenergiarakentamisessa on usein ongelmallista, se kun vertaillaan suunnitteluratkaisuja, niin sama suunnitteluratkaisu voi vaikuttaa yhteen energiankäytön osa-alueen kulutukseen vähentävästi, kun taas toiseen se vaikuttaa lisäävästi. Suunnittelijoiden on

siis aktiivisesti etsittävä paras suunnitteluratkaisujen yhdistelmä, jotta energiankulutus saadaan optimoitua tavoitteiden mukaiseksi. Suunnitteluratkaisuja on myös verrattava muihin tavoitteisiin ja kustannuksiin, eikä päätöstä voida tehdä vain energialaskentaa palvelevasti. Elinkaarikustannus- ja kokonaistaloudelliset vertailut kannattaa teettää päätöksentueksi. [7, s.29-30.]

Seuraavassa energialaskennasta saatavia tuloksia, jotka tosin riippuvat projektin vaiheesta:

- Arvio kulutustasosta
- Suunnitteluratkaisujen kulutus vertailut
- Rakennuksen E-luku
- Suunnitteluvaiheessa määritetty tavoitekulutus
- Energiankulutustavoite ensimmäiselle käyttövuodelle
- Ylläpitoa varten energian tavoitekulutus

  [7, s.30].

7 Arkkitehtuuri

Arkkitehtisuunnittelulla on erittäin iso vaikutus rakennuksen energiatehokkuustavoitteen toteutumiselle. Arkkitehtisuunnittelu voi siis joko pilata mahdollisuudet päästä tavoitteeseen tai sitten antaa sille suotuisat lähtökohdat. Erityisesti tilojen lämmitystarpeeseen arkkitehti voi vaikuttaa suunnitelmillaan paljon. Keinoja, joilla avulla tavoitteet voidaan saavuttaa, ovat muun muassa tila- ja muotoratkaisut, ikkunoihin liittyvä suunnittelu ja ylipäätänsä vaippaan liittyvä suunnittelu. [7, s.55.]

7.1 Rakennuksen suuntaus ja sijoittelu

Energiataloudellinen suuntaus rakennukselle määräytyy usein ympäristöstä. Kasvillisuus, maastonmuodot, ympäröivät rakennukset sekä ilmansuunnat ovat asioita, jotka vaikuttavat rakennuksen suuntauksen optimoimiseen energiataloudellisuuden kannalta. Jos ympäristö ei vaikuta suunniteltavaan rakennukseen, se sijoitetaan siten, että se pystyy hyödyntämään etelästä tulevan auringonsäteilyn. Tuulelta rakennus voidaan suojata

maaston, puuston tai apurakennuksen avulla. Apurakennus voi olla vaikkapa parkkihalli tai varastorakennus. [6, s.120.]

Toimisto- ja koulurakennuksissa suuntauksen merkitys energiataloudelle on pienempi kuin asuinrakennuksille. Toimisto- sekä koulurakennuksiin vaikuttaa päivisin suuret sisäiset kuormitukset, näin ollen auringon säteilyenergia pienentää lämmitystarvetta vain kylmällä ilmalla. [6, s.120.]

7.2 Rakennuksen tila- ja muotoratkaisut

7.2.1 Tilaratkaisut

Energiantehokkuutta arvioidaan yleisesti lattianeliömetriä kohden laskettavana ominaisenergiankulutuksena, joten tehokas tilankäyttö jää usein huomioimatta, kun tarkastellaan energiatehokkuutta [14, s.28]. Matalaenergia rakentamisen kannalta on kuitenkin järkevää, että arkkitehtisuunnittelussa lämmitettävän ulkovaipan sisäpuolelle määritetään vain ne tilat sekä toiminnot, jotka vaativat sisälämpötilaa. Tällä tavoin säästetään rakennus- ja ylläpitokustannuksia, pienennetään rakennuksen lämmitystarvetta ja vähennetään rakentamisen ympäristökuormaa. Tilan tarpeellisuutta on arvioitava oikein kriteerein. Sopivan väljällä mitoituksella parannetaan rakennuksen kalustettavuutta, muunneltavuutta ja monikäyttöisyyttä sekä näin saadaan rakennukseen lisää laadun tuntua, joka vaikuttaa suoraan rakennuksen arvoon. [7, s.55.]

Jo ennen varsinaisen rakennussuunnittelun aloittamista määritellään rakennuksen energiankulutukseen merkittävästi vaikuttavia seikkoja. Mitoitettaessa pinta-aloja eri toiminnoille vaikutetaan rakennuksen energian kulutukseen. Tilaohjelmaa suunniteltaessa voidaan tilojen käyttöastetta tehostaa ja näin voidaan parantaa koulurakennuksen energiantehokkuutta. Eli kun tiloja käytetään tehokkaasti, tämä tukee rakennuksen energiantehokkuutta. [7, s.55.]

Ohjelma-alan ja bruttoalan suhdeluvulla voidaan arvioida rakennuksen pohjaratkaisun tilankäytön tehokkuutta luonnossuunnittelu vaiheessa ja näin pyrkiä optimoimaan tilankäyttöä. [14, s.28.]

7.2.2 Muotoratkaisut

Ulkovapain muodolla on suuri vaikutus rakennuksen tilojen lämmitäs- ja viilennystarpeeseen. Rakennuksen muodolla tarkoitetaan ulkovaipan pinta-alaa, jonka läpi lämpöhäviöt tapahtuvat ulkovaipassa. Lämpöhäviöt ja tilojen lämmitystarve on siis suurempia, kun vaipan pinta-alakin on suurempi. Tavoiteltaessa muodoltaan kompaktia rakennusta on tällöin tarkasteltava pohjapiirustuksessa sekä poikkileikkauksissa lämmöneristetyn tilan muotoa. Rakennuksen lämmöneristetyn vaipan muodon yksinkertaistaminen vaikuttaa investointikustannusten ja ylläpitokustannusten pienenemiseen. [14, s.29.]

Rakennuksen muotoa ei kuitenkaan kannata yksinomaan valita energiatehokkuustavoitteen takia, sillä näin toimittaessa saatettaisiin heikentää rakennuksen ei mitattavissa olevia laadullisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat rakennuksen arvoon. Rakennuksen energiatavoitteet voidaan saavuttaa myös monimutkaisilla ja ikkunapinta-alaltaan suuremmilla ulkovaipoilla, mutta näin ollen energiatehokkuus pitää saavuttaa muilla kuin arkkitehtuurisilla keinoilla. [14, s.29.]

7.3 Ikkunat

Rakennuksen ikkunat tulisi sijoittaa, suunnata ja mitoittaa harkitusti sekä arkkitehdin tulee olla tietoinen näiden ratkaisujen vaikutuksesta rakennuksen energiantarpeeseen sekä päivänvalo olosuhteisiin. Tämä on tärkeää, sillä ikkuna-aukotuksella on erittäin suuri merkitys sisätilojen viihtyvyydelle, sisätilojen lämpöviihtyvyydelle, tilojen lämmitysenergiankulutukselle sekä rakentamiskustannuksille. [14, s.35,]

Ikkunoiden lämmöneristävyys on selvästi huonompi kuin ulkoseinän, näin ollen suuri ikkunapinta-ala lisää ulkovaipan lämpöhäviötä. Näin ollen ikkunoiden energiatehokkuuteen ja ikkunapinta-alaan sekä ikkunoiden suuntaukseen on kiinnitettävä huomioita. Ikkunapinta-alan vaikutus lämpöhäviöihin voidaan arvioida, kun lasketaan keskimääräinen U-arvo ulkoseinistä tai ulkovaipasta. [14, s.32,]

Ikkunapinta-alan vaikutus on myös mahdollista kääntää energiatehokkuuden puolelle, kun aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää passiivisesti lämmityskaudella. Ikkunapinta-alan kasvattamisella voidaan myös vähentää tiettyyn rajaan saakka sähkövalaistuksen tarvetta. Pimeän vuoden- ja vuorokaudenaikaan ikkunoiden kautta tulevaa luonnonvaloa

ei pystytä hyödyntämään ja silloin tarvitaan joka tapauksessa sähkövalaistusta. [14, s.32,]

Arkkitehdin päämääränä on yleensä pyrkiä tilojen valoisuuteen sekä viihtyvyyteen. Tämä johtaa usein suuriin ikkunapinta-aloihin suunnitelmaluonnoksissa. Suunnitelmien kehittyessä ikkunan pinta-alat yleensä pienenevät, jotta kustannus- sekä energiatehokkuustavoitteet saavutetaan. Sisätilojen päivänvalo-olosuhteita on hyvä tarkastella energiatehokkuuden vastapainona laskennallisesti ja simulointityökaluilla. Näin saadaan energiatehokkaaseen taloon optimoitua asumisviihtyvyys. [14, s.33,]

Energiatehokkaan rakennuksen ikkunoiden on oltava U-arvoiltaan hyviä ja karmien on oltava lämpökatkaistuja. Nykypäivänä usea valmistaja valmistaa tällaisia ikkunoita. [7, s.63,]

7.4 Aurinkosuojaus

Aurinkosuojauksella pyritään estämään epäedullisen auringonsäteilyn vaikutus rakennuksen sisätiloissa ja energiankulutuksessa. Aurinkosuojauksella tarkoitetaan kahta eritoimintoa. Näitä ovat varjostus ja häikäisynesto. Varjostuksella tarkoitetaan suojaamista suoralta auringonsäteilyltä mikä vaikuttaa heikentävästi lämpöviihtyvyyteen. Häikäisynestolla taas tarkoitetaan näkökenttään osuvilta korkeilta luminansseilta suojautumista. [14, s.38,]

Rakennuksen auringonsuojaustapoja on erilaisia. Näitä ovat kiinteät varjostavat rakenteet, ohjattavat tai automaattisesti säätyvät julkisivurakenteet, kaihtimet sekä lasin ominaisuudet ja auringonsuojakalvot. [14, s.38,]

Kiinteitä varjostavia rakenteita ovat muun muassa räystäät, lipat ja kiinteät julkisivurakenteet. Näiden avulla pyritään estämään sisäolosuhteille haitallisen auringonsäteilyn pääsyä sisätiloihin. [14, s.38.]

Säädettävät julkisivurakenteilla voidaan torjua eri tilanteista ja kulmista tulevaa haitallista auringonsäteilyä. Niitä voidaan ohjata joko automaattisesti tai manuaalisesti. [14, s.38.]

Kaihtimet toimivat aurinkosuojana sitä paremmin mitä ulompana ne ovat ikkunan eristävästä eristyslasista. Ikkunan ulkopuolelle asennettavat kaihtimet estäisivät tehokkaasti, mutta niitä ei käytetä kovinkaan usein Suomen ilmastossa. Ikkunan sisäpuolelle asennettavat kaihtimet estävät käytännössä vain häikäisyltä, sillä huoneilmaa lämmittävä auringonsäteily on jo päässyt ikkunan läpi huonetilaan. [14, s.38.]

Lasin ominaisuuksiin tai auringonsuojakalvoon perustuvat aurinkosuojat leikkaavat sisätiloihin pääsevän auringonsäteilyn joka tilanteessa. Kyseistä auringonsuojausta ei voida käyttää, kun lämmityskaudella halutaan pienentää huoneen lämmitykseen kuluvaa lämmitystarvetta auringonsäteilyllä. Näin ollen lasin ominaisuuksiin tai auringonsuojakalvoon perustuvat ratkaisut eivät yleensä sovellu aurinkoenergian passiiviseen hyödyntämiseen. [14, s.38.]

Arkkitehdin on siis löydettävä parhaat keinot simulointien avulla, kuinka saadaan kyseistä rakennusta varten paras auringonsuojaus.

8 Rakennesuunnittelun energiatehokkuus

Lämpö- ja kosteustekninen suunnittelu ja vaipanilmatiiveyden suunnittelu ovat rakennesuunnittelussa keskeisiä asioita energiatehokkuuden kannalta [15].

8.1 Ulkovaipan suunnittelu

Energiatehokkuuden sekä rakenteiden rakennusfysikaalisentoiminnan kannalta on rakennuksen ulkovaipan suunnittelulla ja optimoinnilla erittäin suuri merkitys. Homehtuvat ja epätaloudelliset rakenteet ovat riskinä, jos rakenteiden suunnittelu tehdään huonosti. [7, s.65.]

Lämmöneristyksen optimointi rakennuksen vaipassa on vaativa tehtävä suunnittelijalle. Rakenteiden U-arvoja ei matalaenergiarakentamisen suunnittelun alkuvaiheissa yksiselitteisesti ole mahdollista päättää. Rakennesuunnittelijan tuleekin yhdessä muiden suunnittelijoiden kanssa päätettävä alustavat eristepaksuudet vaipparakenteeseen ja näillä tiedoilla laskettava alustavat U-arvot. Kyseisiä arvoja sekä muita energian kulutukseen vaikuttavia arvojen avulla lasketaan rakennuksen vuotuinen energiankulutus.

Tulosten perusteella tarvittaessa muutetaan rakenteita ja näin ollen voidaan saavuttaa energiankulutustavoite. Optimaalinen U-arvotaso eri vaipparakenteille voidaan hakea energiasimulointien kautta ja näin ollen elinkaariedullisemmat rakenteet voidaan saavuttaa. [7, s.58.]

8.1.1 Ulkovaippa

Ulkovaipan lämmöneristyksellä on suuri vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. Hyvin eristetty ulkovaippa pienentää rakennuksen energiankulutusta ja samalla varmistetaan sisätiloihin hyvä lämpöviihtyvyys. [14, s.54.]

Lämmöneristyksen kannalta rakenteet tulee suunnitella niin, etteivät lämmöneristeet pääse kastumaan ja ettei eristeen läpi pääse kulkemaan hallitsemattomia ilmavirtoja. Eristekerroksen paksuus ja mitoitus riippuu paljon lämmöneristeen lämmönjohtavuudesta. Useimmiten lämmöneristeiden lämmöneristys perustuu eristeen sisällä paikalla olevaan ilmakerrokseen. Ilmakerros vähentää lämmönjohtumista ja konvektiota. [14, s.52.]

Massiiviset yksiaineisten rakenteiden hyvinä puolina on helppototeutus ja yksinkertainen rakennusfysikaalinen toimivuus. Tällaisen rakenteen käyttö ei kuitenkaan ole mahdollista matalaenergiarakennuksissa, koska niillä saavutettu lämmöneristävyys ei ole tarpeeksi hyvä. Ulkovaipparakenteen on siis oltava monikerrosrakenteinen, jossa eri kerroksilla on erilaisia toiminnallisia tehtäviä vaipparakenteessa. Ulommaisimman kerroksen tehtävänä on olla riittävän tiivis, jotta tuuli ja sadevesi ei pääse rakenteeseen. Heti ulkoverhouksen takana tulee olla tuuletusrako, jonka tarkoituksena on tuulettaa mahdollisesti ulkoverhouksen taakse päässyt kosteus pois. Haitallisten ilmavirtauksien estämiseksi lämmöneristeen pinnassa tulee olla tuulensuoja. Tiivis ja yhtenäinen ilman- ja höyrynsulkukerros tulee asentaa lämmöneristeiden lämpimälle puolelle. [14, s.52.]

8.1.2 Ulkovaipan ilmanpitävyys

Rakennuksen tiiveys on erittäin tärkeää, kun rakennetaan matalaenergiarakennusta, koska silloin ei tapahdu energianhukkaa ja kosteusvuotoja ilmanvuotojen kautta. Rakennuksen ollessa hyvin eristetty, ilmanvuotojen suhteellinen merkitys kasvaa rakennuksessa. Pienetkin ilmavuodot voivat olla kohtalollisia, sillä ne voivat kuljettaa suurenkin

määrä kosteutta rakenteisiin aiheuttaen kosteus ja homevaurioita. Rakennuksen sijainnilla ja ympäristön tuuliolosuhteilla ei ole niin suurta vaikutusta rakennuksen sisäolosuhteille, kuten lämmitysenergian tarpeelle, kun ilmanvuodot on saatu minimoitua. On siis erittäin tärkeää, että rakennuksen rakenteista ja detaljeista saadaan tiiviit. [7, s.60-61.]

8.1.3 Esimerkkikohteen ulkovaippa

Kevätkummun koulun ulkovaipan tiedot ovat peräisin suunnitelmista. Suunnitelmat on saatu kohteen projektipankista.

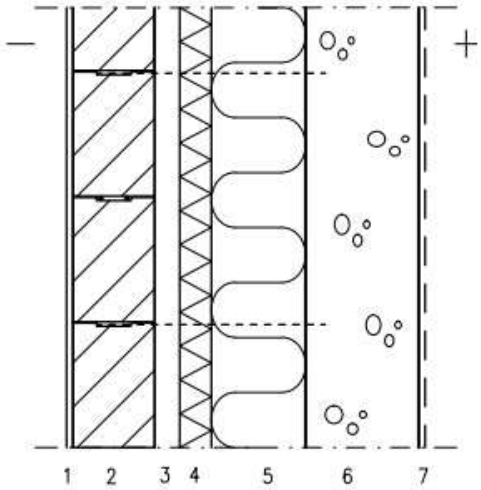
Julkisivu:

Esimerkkikohteessa Kevätkummun koulussa julkisivun ulkoseinän rakenne on juuri monikerrosrakenteinen. Ulommaisimpana kerroksena on 2-kerrosrappaus, jonka takana on 130 mm paksu tiiliverhous. Näiden tarkoituksena on siis suojata, ettei sadevesi ja tuuli pääse rakenteeseen.

Tiilimuurauksen takana on 40 mm leveä ilmarako. Ilmaraon tarkoituksena on tuulettaa ja kuivata rakenteeseen mahdollisesti päässyt kosteus. Julkisivua muuratessa on oltava tarkkana, etteivät muurauslaasti purseet tuki ilmarakoa ja tällöin estä rakenteen kuivumista.

Ilmaraon jälkeen tuulensuojana toimii 50 mm paksu mineraalivillainen tuulensuojalevy. Tuulensuojalevyjen väliset saumat on teipattava saumausteipillä, jotta pystytään varmistamaan, ettei haitallista ilmavirtaus pääse etenemään lämmöneristeeseen. Tuulensuojalevyssä kiinni lämmöneristeenä on siis 150 mm paksu mineraalivilla eriste.

Kantavana rakenteena esimerkkikohteessa on 220 mm paksu teräsbetonielementtirunko. Rakennuksen ulkoseinien paksuus on siis kokonaisuudessaan 590 mm ja lämmönläpäisykerroin on 0,17 W/m^2 K.



B

	1	2–kerrosrappaus (ohutrappaus) valmistajan ohjeen mukaan
130 mm	2	Julkisivumuuraus rakennusselostuksen mukaan (Kahi–Facade) ohutsaumamuurattu julkisivuharkko, muuraus valmistajan ohjeen mukaan
40 mm	3	Ilmarako
50 mm	4	Tuulensuojalevy, mineraalivilla, esim. Paroc Cortex Pro tuulensuojapinta tuuletusrakoa päin, saumat teipattu Paroc saumausteipillä lambda declared 0,032, europaloluokka A2–s1–d0
150 mm	5	Mineraalivilla, esim. Paroc eXtra lambda declared 0,036, europaloluokka A1
180/220 mm	6	Teräsbetonielementti rakennepiirustusten mukaan (kantavan rungon paksuus tarkistetaan aukkomittojen selvittyä)
	7	Pintamateriaali ja –käsittely huoneselityksen mukaan

Kuva 4. Kevätkummun koulun ulkoseinän rakennetyyppi.

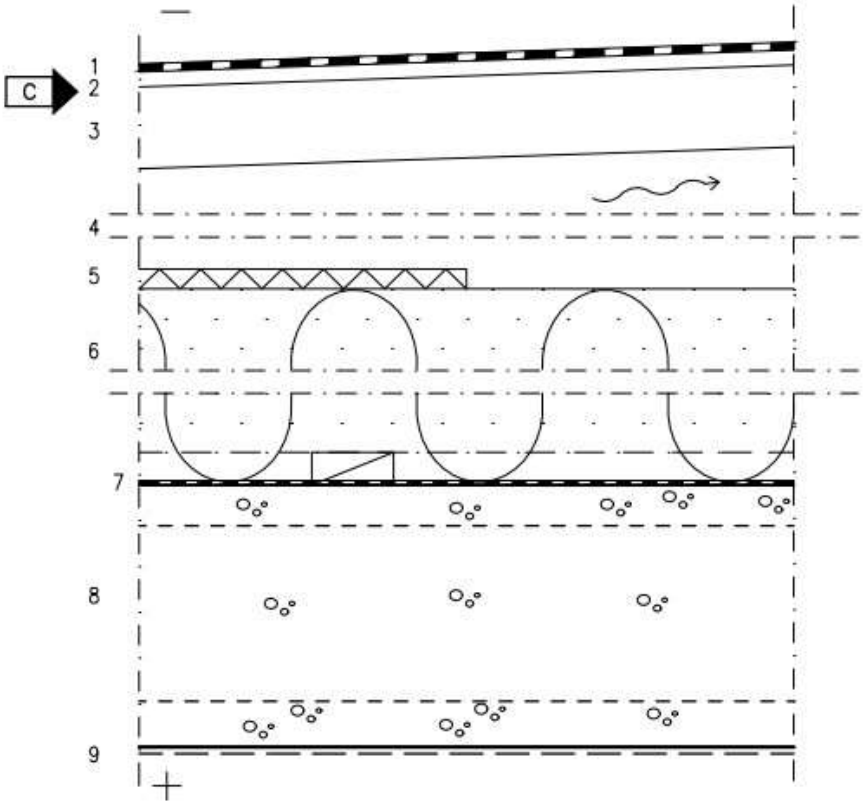
Vesikatto:

Vesikatto on Kevätkummun koulussa myös monikerrosrakenteinen. Vesikaton pinta materiaalina kohteessa käytetään kumibitumikermiä, joka on kiinnitetty 19 mm paksuun homesuojattuun katevaneriin. Katevanerit on pontattu toisiinsa kiinni ja ovat kiinnitetty kattokannattaja NR-ristikoihin, jotka ovat 900 mm etäisyydellä toisistaan.

Katon kantavien puurakenteiden jälkeen tulee tuuletettu ilmatila, joka matalimmasta kohdasta on minimissään 300 mm korkea. Kohteeseen on sisäänpäin kaatavat ja pulpettikattorakenteet, joten tuuletetun ilmatilan korkeus vaihtelee eri kohdissa kattoa.

Tuulettuva ilmatilan alapuolella on 1200 mm leveä 50 mm paksu mineraalivillainen tuulensuojalevykaistale ympäri katon reunoja. Tuulensuojalevystä seuraavana oleva rakennekerros on 450 mm paksu puhallusvilla, joka toimii katon lämmöneristeenä.

Puhallusvillan alapuolella on höyrynsulku, joka on hitsattu bitumilla 400 mm paksuun ontelolaattaan. Ontelolaatan lämpimälle puolelle tulee huoneselostuksen mukainen pintakäsittely.



	1	Vedeneriste, luokka VE40/80, RIL 107–2012, kumibitumikermit, TL2+TL2, sirotepinta, alimmaisena matto kiinnitetään puualustalle piste– ja saumaliimauksella, räystäillä kiinnitys varmistetaan mekaanisin kiinnikkein
C 19 mm	2	Katevaneri, homesuojattu ja pontattu Wisa–kate plus
	3	Kattokannattajat NR–ristikot k900 rakennepiirustusten mukaan
≥ 300 mm	4	Tuuletettu ilmatila
50 mm	5	Tuulensuoja, mineraalivilla reunojen ympäri, b=1200 mm,
450 mm	6	Lämmöneriste, puhallusvilla esim. Paroc BLT 6, koneellisesti paikalleen puhallettuna, asennuksessa huomioitava 5%:n painuma, lambda declared 0,041, europaloluokka A1
	7	Höyrynsulku (K–MS 170/3000) kauttaaltaan bitumilla hitsaten
400 mm	8	Ontelolaatta rakennepiirustusten mukaan
	9	Pintakäsittely huoneselostuksen mukaan

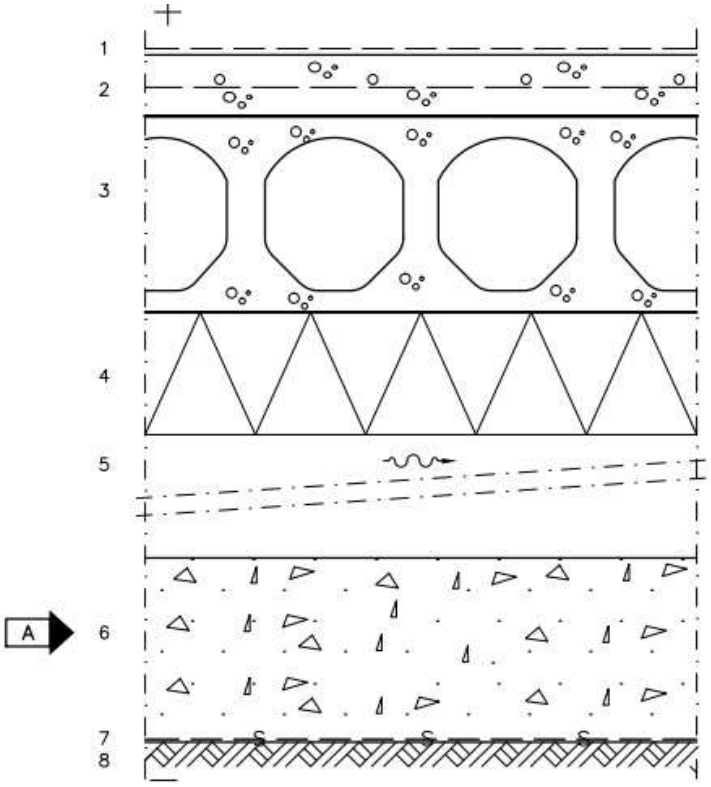
Alapohja:

Esimerkki kohteen monirakenteinen alapohja on ryömintätilallinen tuuletettu alapohja, joka on minimissään 800 mm korkea, mutta kulkuväylien kohdalla sen korkeus on 1200 mm. Tuuletetun alustilan alla on kapillaarikatko mikä on minimissään 300 mm paksu sepelikerros. Sepelikerroksen alla on suodatinkangas, jonka saumat limitetään ja

teipataan. Suodatinkankaan alla on perusmaata, joka on kallistettu salaojien suuntaan 1:50 kaadolla.

Tuuletetun alustilan yläpuolella on 200 mm paksu Thermisol Platina -lämmöneriste, joka on kiinnitetty 320 mm paksuun kantavaan ontelolaattaan. Thermisol Platina -lämmöneriste valmistetaan Neopor-rakeista, jotka sisältävät graffiittia. Valmistaja on luvannut, että Platina-eristeellä saavutetaan 20-25 % parempi energiatehokkuus kuin tavallisella eristeellä. [16, s.6]

Ontelolaatan päälle on 100 mm paksu tasausbetoni, jonka sisällä kulkee vesikiertoisen lattialämmityksen putket. Tasausbetonin päällä on pintakäsittely.

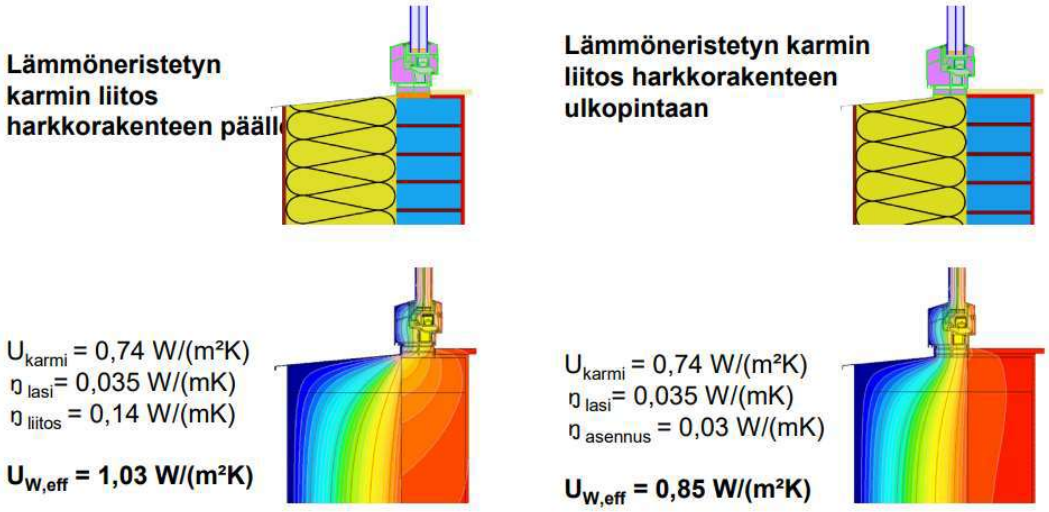


	1	Pintamateriaali ja –käsittely huoneselostuksen mukaan
100 mm	2	Tasausbetoni, BY 45 luokka A–4–30, raudoitus 6–150 B500K vesikiertoinen lattialämmitys LV–suunn. ohjeen mukaan
320 mm	3	Kantava rakenne, ontelolaatta rakennepiirustusten mukaan
200 mm	4	Lämmöneriste, Thermisol Platina Ontelo kiinnitetty ontelolaattaan, lambda declared 0,031, europaloluokka E
≥ 800 mm	5	Tuuletettu alustila, kulkuväylien kohdalla ≥1200 mm
≥ 300 mm	6	Kapillaarikatko, esim. Lohjan Ruduksen lajiteltu sepeli 5...8/16 tai 5...8/32
	7	Suodatinkangas käyttöluokka N2, saumojen limitys ja teippaus
	8	Perusmaa, kallistus salaojiin 1:50 Humusmaa poistettava.

8.1.4 Ikkunoiden ja ulko-ovien liitokset

Ikkunoiden ja ovien liitoksista ulkovaippaan tapahtuu ilmavuotoja useimmiten. Tämän johdosta liitosten tiivistämiset sekä sisäpuolen ilma- ja vesihöyrytiiviiden rakenteiden liittyminen tiiviisti ikkunankarmirakenteisiin on suunniteltava ja toteutettava huolella. Ilmansulkukerroksen ja rakennekerroksen saumaan ei liitä pelkkä pursotus vaan liitos on myös tiivistettävä. Oikein suunnittelun lisäksi onnistunut tiivistys vaatii, että asennuksen aikana pinnat ovat kuivat ja pölyttömät sekä lämpötilojen pitää olla yli 0 °C. [7, s.63.]

Ikkunat on myös sijoitettava oikein seinän syvyyssuunnassa. Energiasimuloinneilla voidaan tehokkaasti tutkia miten ikkunoiden sijoittuminen, koot ja U-arvot vaikuttavat energiahäviöihin ikkunoiden kautta. Näin pystytään optimoimaan rakennekokonaisuus energia- ja elinkaaritehokkaaseen suuntaan. Saadaan myös suunniteltua ikkunoiden detaljit, sillä niiden tarkka suunnittelu sekä toteutus on ensisijaisen tärkeää. [7, s.63-64.]



Kuva 5. Esimerkki ikkunoiden sijoituksen vaikutuksesta U-arvoon. [17, s.13.]

8.2 Kylmäsillat ja kylmäsiltasuunnittelu

8.2.1 Kylmäsilta

Vaipparakenteen kohtia, joissa lämpöä pääsee vuotamaan ympäröivään rakenteeseen verrattuna selvästi enemmän, kutsutaan kylmäsiltoina. Kylmäsillat rakenteessa aiheuttavat kylmään vuoden aikaan paikallisesti alemman lämpötilan. Tämän johdosta aiheutuu kondensoitumisriski ja näin ollen mahdollisesti kosteusongelma. Kylmäsiltoja tulee yleensä nurkkiin sekä lattian ja seinän liitoskohtiin. [14, s.84.]

Kylmäsillat, jotka muodostuvat geometrisesta epäjatkuvuuskohdasta kutsutaan geometriseksi kylmäsillaksi. Rakenteelliseksi kylmäsillaksi kutsutaan kylmäsiltaa, jotka muodostuvat käytettyjen materiaalien eri lämmönjohtavuuksista. [14, s.84.]

Geometrinen kylmäsilta, joka muodostuu kahden vaipparakenteen nurkkaan, on viivamainen kylmäsilta. Viivamaisia kylmäsiltoja ovat myös ikkuna- ja oviaukkojen sekä välipohjaliitosten ja kantavien väliseinän sokkelien kylmäsillat. Sellaiset kylmäsillat, jotka muodostuvat lämmöneristekerroksen läpäisevästä rakenteista, kuten esimerkiksi tiilijulkisivun ankkureista kutsutaan pistemäisiksi kylmäsilloiksi. [14, s.84.]

Kylmäsiltojen vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen voi olla merkittävä, sillä ne lisäävät lämpöhäviötä rakenteissa. Näin ollen hyvällä suunnittelulla ja pienellä taloudellisella sijoituksella voidaan usein säästää paljon energiaa. [14, s.85.]

8.2.2 Kylmäsiltasuunnittelu

Kylmäsiltasuunnittelun tärkeys korostuu entisestään, kun rakennuksen lämmöneristävyyttä parannetaan, koska näin ollen kylmäsillan suhteellinen vaikutus rakennuksen lämpöhäviöön kasvaa. Kylmäsillat voivat myös oleellisesti haitata rakenteen toimintaa. [7, s.68.]

Kylmäsilloista aiheutuu ulkovaipan sisäpintaan kylmiä kohtia jonka johdosta aiheutuu yleensä vedon tunnetta. Kylmäsillat aiheuttavat siis viihtyvyyden alentumista rakennuksissa. [7, s.68.]

Merkittäviä kylmäsiltojen aiheuttajia ovat rakennuksien ulkonurkat ja ikkunoiden pieliin sijoitetut runkorakenteet. Suunnittelussa on siis todella tärkeää, että näiden detaljeissa on minimoitava kylmäsillat. Tämä saattaa vaikuttaa runkorakenteen aukotuksen sijoitukseen, joten kommunikaatio ja yhteistyön muiden suunnittelijoiden kanssa on oltava saumatonta. [7, s.68.]

Runkorakenteiden suunnittelussa on myös tärkeä huomioida kylmäsillat. Mikäli runkorakenteet on suunniteltu ja toteutettu väärin niin tästä seuraa ongelmia kylmäsiltojen kanssa. [7, s.69.]

Nykyään 3D-laskentaohjelmilla saadaan tarkkoja tuloksia, kun selvitetään rakenteen kylmäsiltoja. Tarkat tulokset vaativat, että malliin syötetään oikeat materiaaliarvot. Ennen rakentamista kylmäsiltojen vaikutus onkin tutkittava laskennallisesti, jos kylmäsiltoja on mahdoton rakenteellisesti poistaa. [7, s.69.]

8.3 Rakennusfysikaalinen suunnittelu

Lämmöneristyksellä on suuri merkitys, kun pyritään kokonaisenergiankulutukseltaan alhaiseen rakennukseen. Rakennusfysikaaliset ratkaisut on tehtävä huolellisemmin, kun vaipan lämmöneristys on paksumpi. Tämä johtuu siitä, kun lämmöneristettyjen rakenteiden vikasietokyky saattaa olla huonompi kuin vähemmän lämmöneristetyillä rakenteilla. Tämä johtuu siitä, kun paksujen eristeiden sisällä voi tapahtua konvektiota, eli ilman kierto, jonka kautta tapahtuu lämmön siirtymistä. Ohuemmilla eristepaksuuksilla tätä ei tapahdu siinä määrin, ettei sitä tarvitse huomioida. [7, s.58.]

Seuraavassa listaus rakennusfysikaalisista suunnittelutehtävistä, jotka rakennesuunnittelijan pitää ottaa huomioon, kun suunnittelee matalaenergiarakennusta:

- Suunnittelijan tulee varmistaa, että rakenne on toteutettavissa työmaalla siten, ettei sen sisälle pääse kosteutta suuria määriä.

- Suunnittelijan tulee miettiä, kuinka rakenteet voidaan suojata kuljetus-, varastointi- ja rakennusaikana niin, ettei se pääse kastumaan.

- Suunnittelijan tulee varmistaa, että rakennus on tarpeeksi tiivis valituilla suunnitteluratkaisuilla. Tiiveys on tärkeä matalan energiankulutuksen kannalta sekä myös sen kannalta, ettei rakenteisiin pääse kosteutta ilmavuotojen mukana.

- Suunnittelijan tulee suunnitella tarkasti höyry- ja ilmansulut myös detaljitasolla, sillä yleensä ilmavuodot tapahtuvat virheellisesti suunniteltujen detaljien johdosta.

- Suunnittelijan tulee varmistaa rakenteiden kuivumiskyky sekä rakenteille on varattava riittävästi aikaa kosteuden poistumista varten.

- Suunnittelijan tulee pyrkiä suunnitelmillaan minimoimaan rakennusaikainen kosteus.

- Suunnittelijan tulee huolehtia, ettei suunnittele monimutkaisia julkisivu rakenteita ja detaljeja, joiden toteuttaminen on vaikeaa. Huonosti suunnitelluilla rakenteilla ja detaljeilla on vaarana se, että sadevesi pääsee rakenteisiin.

- Suunnittelijan tulee varmistaa, että valittu lämmöneriste soveltuu käyttökohteeseen.

- Suunnittelijan tulee varmistaa lämmöneristysratkaisujen yhteensopivuus, rakennusosien välisten liittymä pintojen tiivis toteutus sekä etteivät hyvin lämpöä johtavat runkorakenteet läpäise lämmöneristeitä.

- Suunnittelijan tulee varmistaa, ettei kapilaarinen nousu pääse tuomaan vettä rakenteisiin.

- Suunnittelijan on varmistettava laskelmin ryömintätilan oikea ja riittävä tuuletus.

- Suunnittelijan tulee välttää kylmäsillat.

- Suunnittelijan tulee varmistaa, etteivät homeelle alttiit rakennusosat joudu olosuhteisiin, joissa ne altistuvat homehtumiselle.

[7, s.59.]

9 Talotekninen suunnittelu

9.1 Energianhankintasuunnittelu

Rakennuksen energiahankinnan toteutus määritellään osana hankkeen yleissuunnitteluvaihetta. Hankevaiheessa tehty energiankulutuksen tai päästövaikutuksen tavoitemäärittely toimii tässä suunnittelua ohjaavana tekijänä. Kuten esimerkkikohteessa Kevätkummun koulussa tavoite voidaan määritellä E-lukuna ja näin ollen eri energiamuotojen vaikutuksia on tarkasteltava tavoitteen saavuttamiseksi

9.1.1 Energianhankinnansuunnittelu eteneminen

Energianhankintasuunnittelussa tavoitteena on valita kohteeseen energiamuodot, joilla voidaan optimoida rakennuksen elinkaarikustannukset ja ympäristövaikutukset. Hyväksyttävän E-luvun saavuttamista, uusiutuvan energian lisäämistä tai käytettävän energian päästöjen vähentämistä voidaan pitää tavoitteena energiahankintasuunnittelussa. [7, s.69.]

Energianhankinnansuunnittelu etenee seuraavasti:

- Määritellään alustava arvio rakennuksen energiankulutuksesta ja sen jakautumisesta perustuen hankesuunnitelmaan

- Määritellään huipputehon tarpeesta sekä pysyvyydestä alustavat arviot.

- Selvitetään, mitä kunnallisia liittymiä on käytössä kuten esimerkiksi kaukolämpö, kaukojäähdytys ja sähkö. Tarkastetaan näiden energiatariffit ja liittymämaksut.

- Määritetään, kuinka suuri osa energiasta tuotetaan paikallisesti E-lukutavoitteiden tai muiden tavoitteiden perusteella.

- Selvitetään mahdolliset ehdot ja rajoitukset paikalliselle energiantuotannolle asemakaavassa.

- Selvitetään mahdolliset naapuruston sekä tontin sijainnin, muodon ja koon aiheuttamat rajoitteet.

- Tarkastellaan energiantuottomahdollisuuksia sekä tavoitteiden toteutumista eri vaihtoehdoilla.

- Tarkastellaan elinkaarikustannuslaskelmin energiahankintavaihtoehtojen kannattavuutta. Investointi-, käyttö- ja huoltokustannukset on määriteltävä laskelmia varten.

- Tarkastellaan esimerkiksi energiahankintavaihtoehtojen riskejä sekä järjestelmien käyttöikää.

- Määritellään netto-ostoenergia ja E-luku eri vaihtoehdoille.

- Selvitetään kannattavimmat vaihtoehdot ja näiden vaikutuksen rakennuksen suunnittelu ratkaisuihin.

- Tehdään vaihtoehdoista yhteenvedot ja esitellään päätöksentekijöille.

[7, s.70.]

9.1.2 Lämmitysenergia muodot

Kaukolämpö:

Suomen yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö ja lämmitysmuotona se on todella toimintavarma. Sen energiatehokkuus perustuu sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantoon. Kaukolämpöä on tarjolla käytännössä vain kaupunki- ja taajama-alueilla. Mikäli kaukolämpö valittaisiin lämmitysmuodoksi päästövaikutuksellisista syistä, niin sen tarkastelu olisi monimutkaista sillä energialaitosten päästökertoimet vaihtelevat laitoksittain. Päästökerroin ei kuitenkaan vaikuta E-luvun laskentaan. [7, s.72.]

Sähkölämmitys:

Sähkölämmitystä voidaan käyttää taajama-alueiden ulkopuolella pienissä kyläkouluissa. Se toteutetaan yleensä vesikiertoisena niin, että sähkövastukset lämmittävät varaajasäiliön vettä ja sitten lämmitettyvesi laitetaan kiertoon rakennukseen. Kiinteistöihin voidaan mahdollisesti ostaa vihreää sähköä, mutta tätä ei kuitenkaan huomioida E-luvun laskennassa. [7, s.72.]

Öljylämmitys:

Kaukolämpöalueiden ulkopuolella käytetään yleensä öljylämmitystä. Öljy ei vaadi suuria säiliöitä säilytystä varten, sillä öljy sisältää pienessä tilassa paljon energiaa. Vuosihyötysuhde öljynlämmityskattiloille on arviolta 85-88 %. Verrattuna kaukolämpöön öljylämmitystä tarvitsee huoltaa enemmän. Kesällä lämmitystarvetta on tarkasteltava tapauskohtaisesti ja osassa tapauksista rinnakkaisen lämmönmuodonkäyttö saattaa olla edullisinta, kuten esimerkiksi sähkökattilan. [7, s.72.]

Maakaasulämmitys:

Maakaasulämmitys on Euroopassa yleisesti käytössä oleva lämmitysmuoto, mutta suomessa sitä käytetään vain jonkin verran taajama-alueiden ulkopuolella. Vuosihyötysuhde kaasulämmityskattiloille on arviolta 88-90 %. Hiilidioksidia syntyy vähemmän maakaasua poltettaessa kuin öljyä poltettaessa sekä rikki-, typpi- sekä hiukkaspäästöt ovat lisäksi lähes olemattomat. Maakaasuliittymän mahdollisuus sekä liittymä maksut on selvitettävä tapauskohtaisesti. [7, s.72.]

Pellettilämmitys:

Puupelletit siirretään kuljetinlaitteistolla pellettivarastosta kattilaan kytkettyyn polttimeen, jossa ne poltetaan. Tämä järjestelmä muistuttaa öljylämmitysjärjestelmää, mutta pelletit tarvitsevat isomman pellettisäiliön verrattuna öljysäiliöön. Pellettilämmityksen rinnalle on yleensä otettava vara- ja huippulämmitysmuodot. [7, s.72.]

Maalämpöjärjestelmä:

Maalämpöjärjestelmässä väliaineena toimiva lämmönkeruuneste kiertää maahan poratuissa lämpökaivoissa, maassa tai vesistössä vaakaputkistoissa tai sitten lämpöpaaluissa, joita käytetään rakennuksen perustusrakenteissa. Lämpökenttä vaatii tonttitilaa, mutta en ei pitäisi olla ongelma sillä kouluilla on yleensä pihat. Lämpökaivot voidaan kuitenkin tarvittaessa porata rakennusten sekä pysäköintialueiden alle. Useamman kaivon järjestelmissä kokoojaputket ohjataan kaivoista maakanaaleissa konehuoneeseen. [7, s.72-73.]

Maalämpöpumppujen tarkka energiantuotanto tulee varmistaa tapauskohtaisesti sillä energian saantiin vaikutta maaperänlaatu, pohjavesien virtaukset, reikien syvyydet ja putkitus. [7, s.73.]

Maalämpöpumpulla kokonaan rakennuksen lämmöntarpeen kattaminen ei ole yleensä järkevää. Rinnalle tarvitaan yleensä toinen energiamuoto. [7, s.72.]

Taulukko 7. Ominaisuuksien vertailu lämmöntuotantomuotojen välillä. (+= hyvä, +/-= neutraali, -= huono) [7, s.74.]

	Lämmöntuotannon hyötysuhde	Rajoitukset tilalämmitysratkaisuille	Rakennuksen ulkopuolinen tilantarve	Tilantarve rakennuksessa	Hankinta kustannukset	Huollon tarve	Energian hinta	Päästöt
Kaukolämpö	+	+	+	+	+/-	+	+/-	+
Sähkölämmitys	-	-	+	+	+	+	-	-
Öljylämmitys	+	+	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Kaasulämmitys	+/-	+	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Pellettilämmitys	-	+	+	-	+/-	-	+/-	+
Lämpöpumppu	+/-	+/-	+/-	+	+/-	-	+/-	+/-

Esimerkkikohteessa kevätkummun koulussa lämmitysenergiamuotoina ovat Kauko- ja maalämpölämmitys. Tilojen lämmitykseen menee myös sähköä 2,5 kWh/m^2 vuodessa.

9.1.3 Jäähdytysenergia

Koulurakennuksiin ei yleensä rakenneta koko rakennusta kattavaa jäähdytys järjestelmää, sillä koulut ovat kesäisin kiinni. Koulurakennuksien ylilämpeneminen hoidetaankin tarpeen tullen ohjatulla ilmanvaihtojärjestelmällä. Kuitenkin tiloissa, joissa on suuret lämpökuormat, tarvitaan jäähdytystä, kuten esimerkiksi ATK-luokissa. [2, s.93.]

Koulurakennuksessa kun luokkatiloja sijoitetaan eri julkisivuille, on ongelmallista lämpötilojen hallitseminen välikausilla. Silloin auringonpuolella luokkahuoneet ylilämpenevät ja pohjoispuolella tapahtuu liiallista jäähtymistä. Näin ollen ongelman ratkaisuna on puhaltaa riittävän suuri ja viileä ilmamäärä etelänpuoleiselle ja pohjoispuolella taas rajoitetaan ilmamäärää. Tämä on toteutettavissa ilman koneellista jäähdytystä. Tällöin tarvitaan tarpeenmukaisesti ohjattu ilmanvaihtojärjestelmä sekä hyvän auringonsuojaus ja tämän lisäksi tarvittaessa pidetään ilmanvaihto yöaikaan päällä. [2, s.93.]

9.1.4 Paikallatuotettu aurinkosähkö

Aurinkosähköä tuotetaan aurinkopaneelein. Paneelit voidaan toteuttaa erillisinä eli perinteisellä tavalla tai sitten ne voidaan toteuttaa integroituna esimerkiksi ikkunaan tai julkisivuun. [7, s.76.]

Tavallisesti kun aurinko paistaa paneelia päin kohtisuoraan, niin yhden paneelin teho voi olla jopa 200 wattia. Paneelit kannattaa eteläisessä Suomessa sähkötuotannollisista syistä asentaa kohti etelää ja kallistaa 40-45 asteen kulmaan. Paneeleiden sähkön tuotto on 20 – 30 % alhaisempi, jos ne asennetaan pystyasentoon. Paneelit joudutaan asentamaan pystyasentoon, jos ne integroidaan julkisivuun. [7, s.76.]

Auringon säteilymäärän taso Suomessa on lähes sama kuin Keski-Euroopassa. Suomessa ongelmallista on kuitenkin auringonsäteilyn kausiluontoisuus. Vuosituotannosta ainoastaan 0,5 prosenttia saadaan joulukuussa ja jopa 20-30 prosenttia heinäkuun aikana. [6, s.88.] Kesällä sähköntuotto on hyvää tasoa eurooppalaisittain, johtuen pitkistä valoisista ajoista. Talvella taas tuotto on vähäistä johtuen valon vähäisyydestä. [7, s.76.]

Esimerkkikohteeseen Kevätkummun kouluun asennettiin 75 kennoneliön aurinkopaneelijärjestelmä, jonka vuosituotto on 9 MWh/v. Paneelit asennettiin katolle ja suunnattiin oikeaoppisesti etelään 40 asteen kulmassa.

9.2 LVI-suunnittelu

Matalaenergiatavoitteiden saavuttamisen kannalta LVI-suunnittelulla on keskeinen merkitys. Järjestelmät, jotka vastaavat sisäilmaolosuhteista on vuodenajasta ja kuormitusolosuhteista riippumatta toimittava energiataloudellisesti ja luotettavasti. Erityistä huomiota on kiinnitettävä LVI-järjestelmien häviöihin sekä järjestelmien sähkön kulutukseen, jotta rakennuksen kokonaisenergian kulutus saadaan pidettyä hallinnassa. [7, s.79-80.]

LVI-suunnittelussa tehdään järjestelmävalinta, toteutetaan järjestelmäsuunnittelu sekä mitoitetaan verkostot ja laitteet. Energiankulutukseen voidaan vaikuttaa jokaisella osa-alueella. Yhteistyö arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan kanssa on tärkeää, kun optimoidaan rakennuksen muotoa, vaipan ominaisuuksia ja aukotusta lämmitystehon ja energian osalta. LVI-järjestelmien ja laitteiden energiatehokkaat ohjaus- ja säätöratkaisut varmistetaan, kun tehdään yhteistyötä sähkö- ja rakennusautomaatiosuunnittelijan kanssa. [7, s. 80.]

LVI-teknisillä energiansäästöratkaisuilla pyritään säästämään lämmityksen sekä myös jäähdytyksen osalta, jos sellainen on asennettu. Näillä toimenpiteillä vaikutetaan myös sähköenergian kulutukseen joko lisäävästi tai vähentävästi. Sähköenergian kulutusta yleensä lisäävät lämmitystä- ja jäähdytysenergia säästöratkaisut, kun taas sähköenergian kulutusta pystytään vähentämään tarpeenmukaisilla ohjausratkaisuilla sekä tehokkaammilla moottoriratkaisuilla. On siis tärkeää, että LVI-järjestelmiä ei tarkastella vain erillisinä osina vaan koko rakennuksen osana, jotta energiaa saadaan säästettyä. [7, s. 80.]

Koulujen kohdalla LVI-suunnittelun ja järjestelmien mitoituksen osalta erityispiirteitä ovat:

- Lämmitys sekä ilmanvaihdon tarpeen samanaikaisuus sekä näiden suuri vuorokausittainen vaihtelu.
- Ei kesäisin opetusta, joten sisälämpötilojen hallinta on helpompaa.
- Mahdollinen kesäkäyttö kuten esimerkiksi harrastus tai majoitustilana toimiminen.

[7, s. 80.]

9.2.1 Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa tavoitteena on optimoida sisäolesuhteet huomioon ottaen järjestelmävalinta. Ilmanvaihtolaitteiden puhallinsähkön kulutukseen voidaan vaikuttaa vähentävästi kanavisto- ja laitesuunnittelulla, tarkoituksenmukaisella palvelujaolla sekä ilmanvaihdon tarpeenmukaisella ohjauksella. Kokonaisenergiankulutuksen hallinnan kannalta on erittäin tärkeää, että puhallinsähkön kulutukseen sekä hyviin ohjaus- ja säätöratkaisuihin kiinnitetään erityisen tarkasti huomioita. [7, s. 95-96.]

Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelun alkuvaiheessa määritellään sisäilmaston laatutasolle, säädettävyydelle, energiankulutukselle ja muunneltavuudelle tavoitteet, jotka määrittelevät ilmanvaihtojärjestelmälle vaihtoehdot arkkitehtonisten ja tilankäytöllisten reunaehtojen ohella. Säännöllinen ja riittävä ilmanvaihto on edellytyksenä laatutasoltaan hyvälle sisäilmastolle. Mitoitettavan ilmanvaihdon tarve riippuu tilojen käyttöasteesta ja kuormituksesta. [7, s.96.]

Ilmavaihtojärjestelmä on suunniteltava yhteistyössä eri suunnittelijoiden kanssa, sillä matalaenergiarakennukset on hyvin tiivistetty ja ilmanpitäviä, joten luonnollinen ilman vaihtuvuus rakennuksen vaipan läpi on estetty. [7, s.96.]

9.2.2 Käyttövesijärjestelmä

Käyttövesijärjestelmät kuluttavat veden lisäksi myös lämmitysenergiaa veden lämmitykseen. Lämmitysvesiverkoston häviöihin sekä veden kulutukseen voidaan vaikutta käyttövesijärjestelmän suunnittelussa. Sähköenergiaa voivat myös joissain tapauksissa kuluttaa verkoston paineenkorotus sekä jätevedenpumppaus. [7, s.111.]

Käyttövedenkulutus ja kiertovesijohdon häviöt vaikuttavat energiankulutuksen määrään käyttöveden lämmityksessä. Verkoston ja laitteiden mitoituksella sekä valinnalla voidaan vaikuttaa käyttöveden kulutukseen. Näin voidaan siis vaikuttaa myös käyttöveden energiankulutukseen. Oleellisin tekijä vedenkulutukselle on kuitenkin käyttötottumukset. [7, s.111.]

9.3 Sähkösuunnittelu

Sähköteknisen suunnittelun tavoitteena on löytää ratkaisut, jotka palvelisivat rakennuksen toimintaa tehokkaasti ja toimintavarmasti. Matalaenergiarakentamisessa on kiinnitettävä huomioita erityisesti sellaisiin ratkaisuihin, joiden avulla voidaan varmistaa kulutuksen tarpeenmukaisuus, hukkakulutuksen vähentäminen ja häviöiden pienentäminen. Erityisen tärkeää on pitkän käyttötuntimäärän takia peruskuorman eli yöllä ja viikonloppuna tapahtuvan kulutuksen minimointi suunnittelussa. Tarpeettoman kulutuksen vähentämiseksi kulutuskohteiden eli esimerkiksi valaistuksen ja LVI-laitteiden on oltava hyötysuhteeltaan hyviä, sekä säätöjen että ohjauksen tulee olla optimoituja. Käyttäjien on hyvä nähdä miten heidän toiminta vaikuttaa rakennuksen kulutukseen. Näin ollen kulutuksen mittarointi sekä raportointi on välttämätöntä eri käyttökohteiden osalta. [7, s.112-113.]

9.3.1 Valaistus

Valaistusratkaisuja voidaan pitää hyvin onnistuneina, kun ne täyttävät niille asetetut tilojen käytön vaatimukset valaistustason ja häikäisyneston osalta ja samalla eivät kuluta energiaa tarpeettomasti. Valaistussuunnittelun pohjana tulisi käyttää EU:n sisätyötilojen valaistustandardia SFS-EN 12464-1 ja sen valaistustaso suosituksia. Esimerkiksi luokkahuoneissa keskimääräisen ylläpidettävän valaistusvoimakkuuden on suosituksen mukaan oltava 300 luxia. Valaistuksella on suora vaikutus tiloja käyttävien henkilöiden näkemisen suorituskykyyn, näkömukavuuteen ja viihtyvyyteen. Valaistuksella voi olla vaikutusta jopa tiloja käyttävien henkilöiden hyvinvointiin. Energiatehokkuus ei siis voi olla ainoa ja tärkein suunnittelukriteeri. [7, s.114.]

Julkisivun aukotus vaikuttaa luonnonvalon määrään rakennuksessa. Tämä vaikuttaa merkittävästi valoisina vuorokauden aikoina keinovalaistuksen tarpeeseen. Valaistusenergian kulutusta voidaan säästää merkittävästi, kun keinovalaistusta ohjataan päivänvalon mukaan. Tässä tapauksessa päivänvalon saatavuus ei saa kuitenkaan lämmittää liikaa sisätiloja. Suunnittelijoiden yhteistyö on siis tässäkin kohtaa erittäin tärkeää, kun suunnitellaan sisätilojen valaistusta. [7, s.115.]

10 Yhteenveto

Uudisrakentamisen energiamääräysten uusimisen jälkeen siirryttiin energiatehokkuuden osakohtaisista vaatimuksista kokonaisenergiatarkasteluun vuonna 2012. Tämän jälkeen rakennuksen energiatehokkuutta voitiin kuvata yhdellä lukuarvolla, nimeltään E-luku. Kokonaisenergiatarkasteluun siirtymisen jälkeen suunnittelijoiden yhteistyö suunnitteluprosessin aikana korostui. Nykypäivänä suunnittelijat eivät siis vain keskity suunnittelussa omiin osakohtiinsa, vaan tekevät yhteistyötä muiden suunnittelijoiden kanssa, jotta aikaan saadaan energiatehokkuuden kannalta optimaaliset suunnitelmat ja näin ollen tavoitteeseen päästään.

Kyse on suunnittelukokonaisuudesta eikä vain yksittäisistä suunnitelmista. Tämän takia pääsuunnittelijalla on erittäin tärkeä rooli johtaa suunnittelua ja suunnittelijoiden yhteistyötä matalaenergiakohteen suunnitteluprosessin aikana. Suunnittelijoilla on oltava tarkasti tiedossa E-lukutavoite, ennen kun suunnitelmia aletaan tekemään.

Energiatavoitteen pääsemisen kannalta on tärkeää, että suunnitelmat on valmiina ennen kuin rakennustyöt alkavat. Suunnitelmiin ei ole myöskään järkevää tehdä muutoksia töiden alettua. Tämä johtuu juuri siitä, että suunnittelu on kokonaisuus ja suunnitelmamuutos esimerkiksi arkkitehtisuunnitelmissa voi vaikuttaa paljon myös muiden suunnittelualojen suunnitelmiin. Suunnitelmamuutokset rakennusvaiheen aikana aiheuttavat suunnittelijoille paljon työtä ja ovat vaaraksi energiatavoitteen saavuttamiselle. Suunnitelma muutoksilla voi myös olla suuria kustannusvaikutuksia urakoitsijalle.

Esimerkkikohteessa Kevätkummun koulussa ongelmana oli juuri se, että kaikki suunnitelmat eivät olleet valmiina, kun rakennustyöt alkoivat. Tämä aiheutti työmaalla turhaa selvittelytyötä ja aikatauluviiveitä. Ongelmista huolimatta, lopulta kuitenkin tavoiteltuun E-lukuun päästiin.

Lähteet

1 Ilmasto-opas.fi, Rakentaminen – Hillintä. <https://ilmasto-opas.fi/fi/kunnat/hillinta-ja-sopeutuminen/-/artikkeli/ecf375da-c0ef-43a5-8bbe-ad70041ba9d8/hillinta.htmLähdetieto>

2 Jarek Kurnitski, Energiamääräykset 2012 Opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen, Suomen Rakennusmedia Oy, 2. painos 2012

3 YIT, YIT ja Lemminkäinen yhdistyivät 1.2.2018. <https://www.yit.fi/tietoa-yhdistymisesta>

4 Ritonummi T. ja Puhakka P., Työ- ja elinkeinoministeriö, Energiatehokkuus. <https://tem.fi/energiatehokkuus>

5 Seppo Mölsä, Rakennuslehti, Tammikuussa rakennuslupaa hakevan on muutamassa päivässä ehdittävä opetella satoja muutoksia määräyksiin. <https://www.rakennuslehti.fi/2017/12/tammikussa-rakennuslupaa-hakevan-on-muutamassa-paivassa-ehdittava-opetella-satoja-muutoksia-maarayksiin/>

6 Markku Lappalainen, Energia- ja ekologiakäsikirja suunnittelu ja rakentaminen, Rakennustieto Oy, 2010

7 RIL 259-2012, Matalaenergiarakentaminen toimitilat, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., 2012

8 Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, Rakennusten energiatehokkuus – määräykset ja ohjeet 2012, Ympäristöministeriö

9 778/2017. Maankäyttö ja rakennuslaki. 117 g §: Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista. Finlex. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170788>10 YIT, YIT ja Lemminkäinen yhdistyivät 1.2.2018. <https://www.yit.fi/tietoa-yhdistymisesta>

10 Suomen ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017, Julkaistu Helsingissä 28.12.2017

11 Suomen ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017, Julkaistu Helsingissä 27.12.2017

12 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Energiatehokkuus Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, Ympäristöministeriö.

13 Suomen rakentamismääräyskokoelma D5, Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta –ohjeet 2012, Ympäristöministeriö

14 Lylykangas K., Andersson A., Kiuru J., Nieminen j. ja Päätalo J., Rakenteellinen energiatehokkuus – Opas, RTT eristeteollisuus ja ympäristöministeriö 2016

15 Risto Ruotsalainen, Omataloyhtiö.fi, Rakennusten energiatehokkuus ja sisäilmasto kuntoon huolellisella hankesuunnittelulla, 2011. <https://www.omataloyhtio.fi/artikkelit/7538/rakennusten_energiatehokkuus_ja.htm>

16 Thermisol, Tuoteluettelo, Lattiatuotteet, routaeristeet, kattoeristeet, seinäeristeet, välipohja/askeläänieristeet, keventeet, erikoistuotteet, elementit. <http://www.thermisol.fi/uploads/pdf/materiaalipankki/Thermisol_tuoteluettelo_netti.pdf>

17 Jyri Nieminen, Mikä on passiivitalo. < http://passivehouse.vtt.fi/files/mika%20on%20passiivitalo.pdf>