



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

ENERGIATEHOKKAAT RAKENNUKSET

Lotta Kinnunen

Ohjaaja: Antti Niemi

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö 2019

TIIVISTELMÄ

Energiatehokkaat rakennukset

Lotta Kinnunen

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2019, 28 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Antti Niemi

Työn tavoitteena oli miettiä energiatehokkaita rakennuksia ja tuoda esiin uusimpia vaatimuksia rakennuksille. Tarkastelussa otettiin huomioon rakenteet, työnaikainen laadunvalvonta sekä talotekniikka, jotta rakennusten energiatehokkuutta saataisiin käsiteltyä toimivana kokonaisuutena.

Asiasanat: energiatehokkuus, rakentaminen, laadunvalvonta, talotekniikka

ABSTRACT

Energy efficient buildings

Lotta Kinnunen

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2019, 28 p.

Supervisor at the university: Antti Niemi

The aim of the thesis was to investigate energy efficient buildings and to find out the latest requirements related to their construction. The thesis addresses structures, quality control during the construction phase and building services which influence the energy performance of buildings as a functional entity.

Keywords: energy efficiency, building, quality control, building services

ALKUSANAT

Työssä käsitellään energiatehokkuutta rakenteiden, laadunvalvonnan ja talotekniikan näkökulmasta. Kandidaatintyön kirjoitus ajoittui kesälle ja syksylle 2019. Haluan esittää kiitokset kandidaatintyötä ohjanneelle Oulun yliopiston Antti Niemelle sekä läheisilleni Elli Kinnuselle, Matti Kaarlelalla sekä Maira Rezinalle.

Oulu, 04.11.2019

Lotta Kinnunen

Lotta Kinnunen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

TERMIT

1 JOHDANTO	7
2 ENERGIATEHOKKUUDEN LÄHTÖKOHDAT	9
3 ENERGIATEHOKKAAT RAKENTEET	13
3.1 Lämmöneristys	13
3.2 Ilmanpitävät rakenteet	14
3.3 Ikkunat ja ovet	15
3.4 Aurinkosuojaratkaisut	16
4 LAADUNVALVONTA	17
4.1 Liitokset	17
4.2 Ilmatiiviysmittaus	18
4.3 Lämpökuvaus	19
4.4 Kylmäsilta-analyysi	19
5 TALOTEKNIikka	20
5.1 Lämmitys	20
5.2 Ilmanvaihto	21
5.3 Valaistus	23
5.4 Sähkölaitteet	24
5.5 Taloautomaatio	24
6 YHTEENVETO	25
LÄHDELUETTELO	26

TERMIT

E-luku	kuinka paljon rakenne aiheuttaa laskennallisesti lämmitystarvetta vuodessa
ilmanvuotoluku q_{50}	ulkovaipan keskimääräinen vuotoilmavirta tunnissa vaipan pinta-alaa kohden, yksikkö [$m^3/(hm^2)$]
ilmanvuotoluku n_{50}	kertoo kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuuden verran ilmaa vuotaa rakenteiden läpi, yksikkö 1/h, uusissa arvo 2,0, passiivitaloissa 0,1-0,6, vanhemmissa 4-8 ja jopa 16 1/h
ilmatiiveys	rakenteen kyky vastustaa ilman liikettä rakenteen läpi
konvektio	ilman liikkeit, jotka aiheutuvat paine- ja lämpötilaeroista sisä- ja ulkopuolien välillä. Huonetilassa lämmin ilma kohoaa ylös ja viileämpi ilma painuu alemmas
kylmäsilta	vaipparakenteen kylmemmät kohdat ja suuremmat lämpöhäviöt, hyvin lämpöä johtavat materiaalit kuten betoni ja teräs muodostavat kylmäsiltoja
lämmöneristyskyky	materiaalin kyky estää lämmön siirtymistä
lämmönläpäisykerroin	kts. U-luku
matalaenergiatalo	lämmitykseen kuluu energiaa tavanomaista vähemmän, yleensä puolet Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimuksista
nollaenergiatalo	tuottaa energiaa yhtä paljon kuin kuluttaa

passiivitalo lämmitykseen kuluu energiaa tavanomaista vähemmän, yleensä neljännes Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimuksista, ei varsinaista lämmitysjärjestelmää

plusenergiatalo tuottaa energiaa yli oman tarpeen

rakenteen tiiviys tarkoittaa vesihöyry diffuusiota eli kuinka vesihöyry kulkeutuu molekyylitasolla rakenteen läpi

U-luku lämmönläpäisykerroin kuvaa miten paljon tehoa tarvitaan pinta-alaa kohti, jotta saavutettaisiin tietty lämpötilaero eristerakenteen yli, aiemmin k-luku

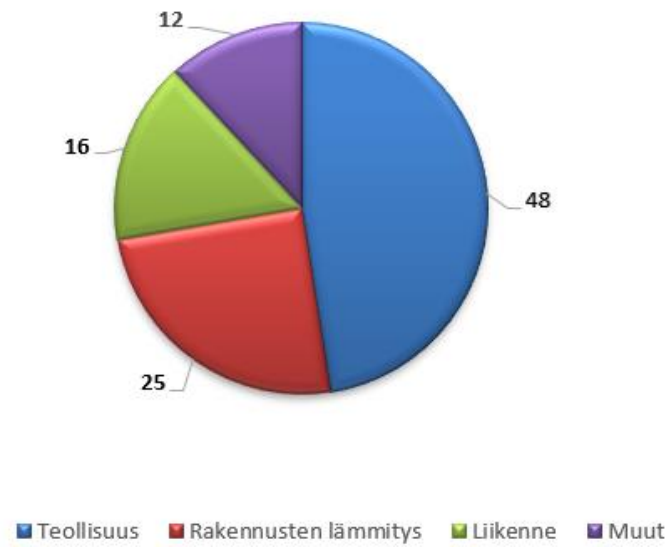
vuotoilma rakenteiden läpi ja liitoksien kautta vuotava ilma

1 JOHDANTO

Kandidaatintyön aiheena on energiatehokkaat rakennukset. Tavoitteena on tiivistää uusimmista tutkimuksista saatua tietoa sekä saada selkeä kuvaus mistä rakennusten energiatehokkuus koostuu sekä ohje, jota voidaan käyttää hyväksi rakennus- tai korjausvaiheessa, kun rakennuksesta halutaan energiatehokkaampi. Rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi sekä ongelmakohtien paikantamista varten käydään läpi rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät rakenteissa, rakentamisessa ja talotekniikassa. Työssä ei käsitellä materiaalin käyttöastetta, rakennusjätettä, hukkamateriaalia tai rakennusmateriaalien ylijäämää.

Vuoden 2020 päätyttyä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. Tämä muutos tulee vaikuttamaan rakennetun ympäristön kokonaisenergiankulutukseen vanhojen rakennusten poistuessa. Ajankohtaisuuden takia on hyvä tarkastella tämän hetkistä energiankulutusta sekä sen sisällään pitämiä ulottuvuuksia. Työssä käydään läpi mitä muutoksia nykyisin yleisesti käytettyihin rakenteisiin, materiaalivalintoihin ja käyttöön tulee tehdä energiatehokkuuden edistämiseksi. Energiankulutuksen laskentaa ei käsitellä työssä.

Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on hyvin merkittävä asia koko Suomelle, sillä Suomen kokonaisenergiankulutuksesta noin 40 % on rakennusten lämmityksen sekä sähkön kulutuksen, että rakentamisesta ja rakennustarvikkeiden valmistuksesta johtuvaa energiankulutusta (Korenoff ym. 2014, s. 38). Yksistään rakennusten lämmitykseen on kulunut vuosittain noin neljännes, eli 25 % Suomen käytettävästä energiasta (Kuva 1.). Tärkein teko energiatehokkuuden kannalta on siis vähentää lämmönhukkaa ja varmistaa, että sähkönkäyttö on tehokasta.

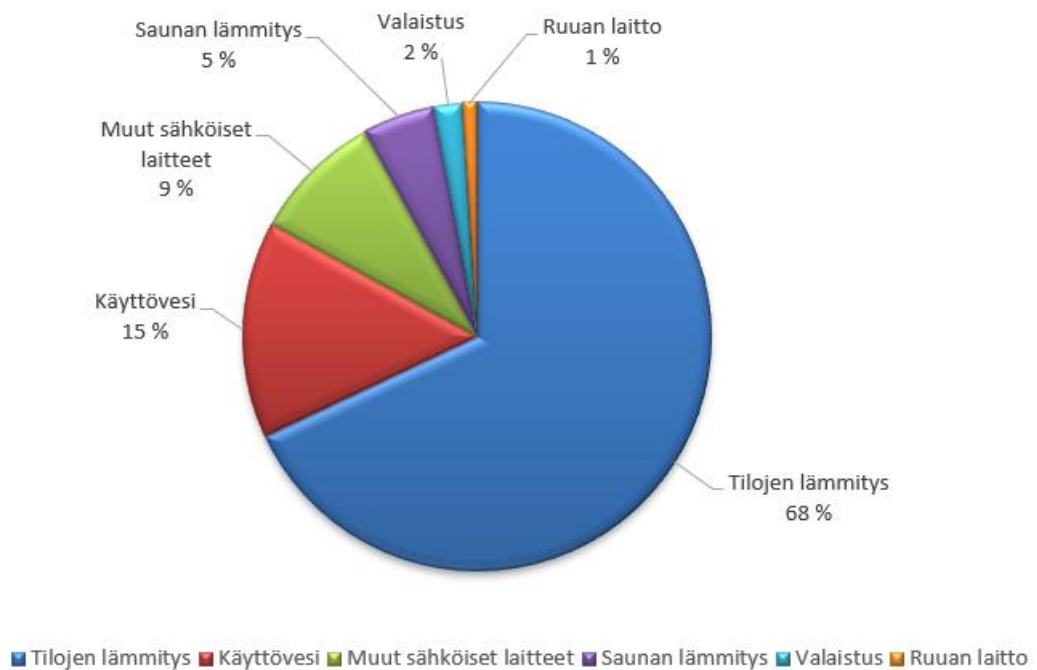


Kuva 1. Energiankulutus Suomessa vuonna 2018 (mukaiillen SVT, 2018b, s. 8).

2 ENERGIATEHOKKUUDEN LÄHTÖKOHDAT

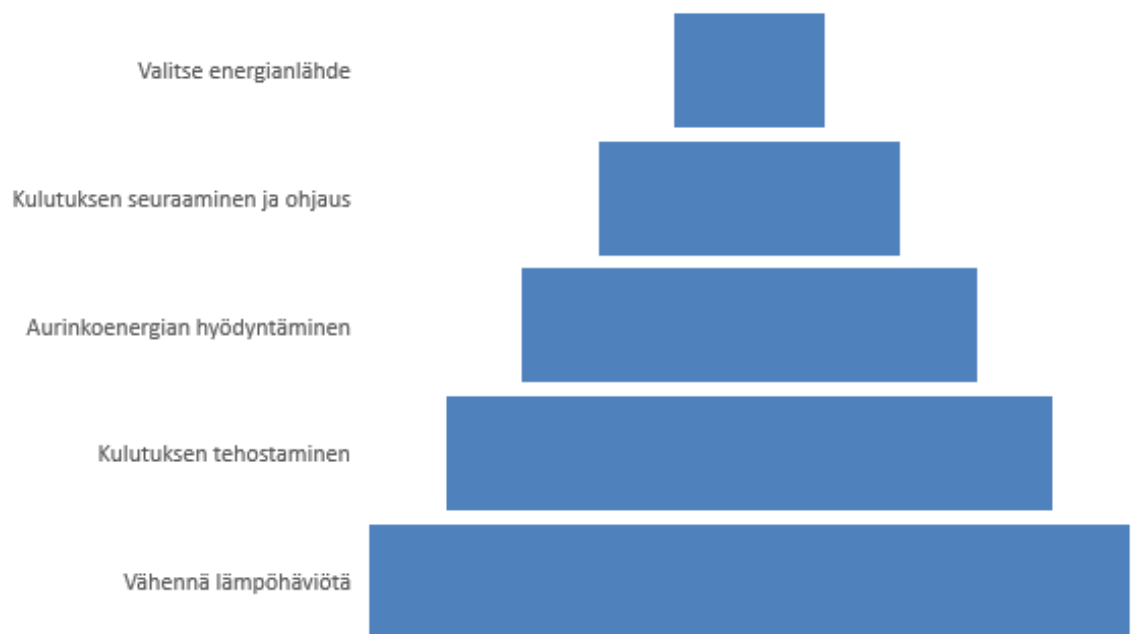
Energiatehokkuudella tarkoitetaan energiaa vaativien toimenpiteiden tyydyttämisen tehokkuutta sekä energian tehokkaan käytön parantamista ominaiskulutusta alentamalla. Energiatehokkuudella saavutetaan samat asuinmukavuudet vähemmällä energiankulutuksella. Samalla säästetään rahaa energiankulutuksen laskiessa ja lisätään Suomen energiaomavaraisuutta. Energiatehokkuutta voidaan kuvata taloudellisesta, teknisestä, energian laadun, päästö- ja ilmastovaikutusten sekä omavaraisuuden näkökulmasta. Tässä työssä tarkastellaan vain rakennusten energiatehokkuutta.

Energiaa tarvitaan nykyään rakennusten lämmitykseen, jäähdytykseen, ilmanvaihtoon, käyttöveden lämmitykseen, valaistukseen ja useisiin erilaisiin sähkölaitteisiin. Suurimman vaikutuksen omaan energiankulutukseen tehdään lämmityksellä sen muodostaessa melkein 70 % asumisen energiankulutuksesta (Kuva 2.). Jotta lämmitys toimisi tehokkaasti, tulee tilojen olla ilmanpitäviä ja riittävästi lämmöneristettyjä.



Kuva 2. Asumisen energiankulutus Suomessa vuonna 2017 (mukaiillen SVT, 2018a, s. 5).

Koko ajan pyritään kehittämään entistä energiatehokkaampia ratkaisuja hiilijalanjäljen pienentämiseksi ja ilmastonmuutoksen etenemisen hidastamiseksi. Uusien säädösten avulla uudet energiatehokkaammat rakenneratkaisut ja lämmitysmenetelmät tulevat nopeammin laajempaan käyttöön rakennusteollisuudessa. Suomessa rakentamismääräyskokoelman mukaan rakennusten kokonaisenergiankulutusta ilmaistaan esimerkiksi E-luvulla, jolla pyritään seuraamaan rakennusten energiatehokkuutta ja ohjaamaan energiatehokkaampaan kulutukseen. Rakennusteknologian kehittyessä tullaan energiatehokkuuden vaatimuksia kiristämään entisestään. Yksi tapa kehittää rakennuksen energiatehokkuutta on Kioton pyramidi. Kioton pyramidi (Kuva 3.) toimii lähtökohtana vähäenergisten rakennusten suunnitteluun (Andresen, 2008, s. 10). Perimmäinen asia Kioton pyramidin mukaan on vähentää lämpöhäviötä, jonka jälkeen on hyvä kiinnittää huomiota asumisen energiankulutukseen.



Kuva 3. Kioton pyramidi (mukaillen Andresen, 2008, s. 10).

Energiatehokas rakennus on parhaimmillaan, kun rakennetekniikka ja talotekniikka on sovitettu yhteen toimivaksi kokonaisuudeksi. Energiatehokkaassa rakennuksessa on toimivuuden lisäksi pienemmät käyttökustannukset, pitkä elinkaari ja hyvä jälleenmyyntiarvo. Nykyään erilaisia energiataloja rakennetaan yhä enemmän ja ne ovat toteutettavissa hyvinkin yksinkertaisesti. Matalaenergia-, passiivi-, nollaenergia- ja

plusenergiatalot ovat energiataloja. Matalaenergiatalon lämpöhäviöiden tulee olla alle 85 % vertailulämpöhäviöistä. Matalaenergiatalon lämmitysenergiantarve on 60-90 kWh/brm² riippuen rakennuksen sijainnista. Passiivitalossa lämmitystarve on tätäkin pienempi, noin 20-30 kWh/brm². Matalaenergia- ja passiivitalon ilmanvuotoluvun tulisi olla alle 0,6 litraa tunnissa. Nollaenergiatalo tuottaa uusiutuvaa energiaa yhtä paljon kuin se kuluttaa uusiutumattomaa energiaa. Plusenergiatalo tuottaa energiaa yli oman kulutustarpeen. Plusenergiataloissa hyödynnetään aurinkokennoja ja muuta auringosta saatavaa energiaa. (Siikanen, 2015, s. 63) Airaksisen ja Vainion (2012) tekemässä tutkimuksessa on arvioitu, että siirryttäessä vuonna 2020 nollaenergiataloihin suurimmat energiasäästöt tulevat vuoteen 2050 mennessä rakennuskannan poistuman vuoksi (Korenoff ym. 2014, s. 39).

Rakennusten energiatehokkuuden seurantaan ja vertailuun on kehitetty erilaisia dokumentteja, joilla pyritään vähentämään rakennusten energiankulutusta ja näin myös vähentämään kasvihuonepäästöjä. Energiaselvitys tehdään suunnitteluvaiheessa ja sillä arvioidaan rakennuksen energiatehokkuutta. Energiaselvitys vaaditaan rakennuslupavaiheessa ja se tulee päivittää rakennuksen valmistuessa. Selvityksessä mainitaan rakennuksen E-luku, lämpöhäviö, lämmitysteho ja energiatodistus. Energiatodistus on laskennallinen todistus rakennuksen todellisesta energiatehokkuudesta. Siinä otetaan huomioon rakennuksen lämmöneristys, ikkunat, pinta-alat ja rakennusosien U-arvot sekä lämmityksen että ilmanvaihdon hyötysuhteet, lämpökuormat ja uusiutuvan energian osuus. (D3 Suomen RakMk, 2012, s. 26)

Käyttötottumukset

Kuten Kioton pyramidista näkee (Kuva 3.), suurin tekijä energiatehokkaampaan rakennukseen lämpöhäviöiden jälkeen on tyydyttää oma energiantarve tehokkaammin. Energiatehokkuuden kannalta käyttötottumuksilla on merkittävä vaikutus. Rakennuksen suurimpia käyttöön liittyviä kulutuksia aiheuttavat rakennusten sisäisten toimintojen tuntemattomuus, esimerkiksi saman tilan yhtäaikainen lämmittäminen ja jäädyttäminen eri toiminnoilla. Molemmat järjestelmät voivat olla hyvinkin energiatehokkaita, mutta niiden yhtäaikainen käyttö ei ole tehokasta.

Tehokkaita käyttötapoja olisi ladata laitteet silloin, kun aurinkosähköä on saatavilla tai yöllä sähkön ollessa halvempaa ja välttää tehopiikkien luomista. Asuinrakennusten energiankulutus on kasvanut noin 1,5 % vuodessa, siitä huolimatta energiasäästöpotentiaalin arvioitiin vuoteen 2020 mennessä olevan lämmön ja polttoaineiden osalta 5,6 TWh ja sähkön osalta 1,1 TWh (Korenoff ym. 2014, s. 13; s. 38).

Energian tuhlauksen karsimiseen tulisi kiinnittää huomiota, sillä se on kustannustehokkainta energian säästämistä vanhojen laitteiden uusimisen tai rakenteellisten muutosten kustannuksiin verrattuna. Kerrostaloissa rakennusten laatutason vaikutuksen näkee suoraan energiankulutuksessa. Huollon ja käytön on arvioitu vaikuttavan kulutukseen -10 ... + 20 %. Lisäksi asukkaiden tottumukset ja elämäntavat vaikuttavat energiankulutukseen +/- 5 %. palvelurakennuksien kohdalla tärkeäksi säästötavaksi nousevat käyttäjien määrän ja käyttöasteen vaihtelun huomioon ottaminen, sillä vaihtelu on niin suurta, että rakennuksissa tulisi pystyä ohjaamaan valaistusta ja ilmanvaihtoa tarpeenmukaiseksi. Asuinrakennuksissa puolestaan sähkölaitteiden korkealla varustelutasolla saatetaan kaksinkertaistaa sähkön kulutus. (RIL 255-1, 2014, s. 223)

Käyttötottumuksien muuttaminen pysyvästi voi olla kuitenkin vaikeaa. Tottumuksia voi jakaa alkuun pienempiin osiin, joista muutokset voi aloittaa, esimerkiksi valojen ja muiden sähkölaitteiden käyttötunnit ja käyttäjien määrä sekä tottumukset peseytyessä ja muu lämpimän veden käyttö. Tämän jälkeen huomioon tulisi ottaa myös haluttu taso lämpötilassa ja ilmanvaihdossa sekä tottumukset tuuletuksessa ja valon määrässä.

3 ENERGIATEHOKKAAT RAKENTEET

Energiatehokkaat rakennukset muodostuvat energiatehokkaista materiaaleista, joista energiatehokkaat rakenteet koostuvat. Energiatehokkailla rakenteille tarkoitetaan lämmöntarpeen vähentämistä valittujen rakenteiden avulla. Rakenteiden energiatehokkuus on pysyvää, se ei riipu käyttäjästä, käytöstä, eikä se ole säädettävissä. Sen vuoksi rakenteita tulisi miettiä huolella, sillä pysyvien rakenteiden muutokset ovat jälkeinpäin vaikeita ja kalliita. (Lylykangas ym. 2015, s. 9)

Rakennuksen vaipan lämmöneristystä ja ilmanpitävyyttä parantamalla voidaan pienentää rakennuksen lämpöenergian tarvetta. Rakenteet, joilla voidaan vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen merkittävästi ovat liitosten tiivistykset sekä rakenteiden nurkka- ja saumakohtien ratkaisut, sillä ne vähentävät rakennuksen lämpövuotoa. Energiatehokkuuden yhtenä tärkeimpänä vertailuarvona onkin alettu pitämään ominaislämpöhäviötä neliötä kohti $W/(m^2K)$ (RIL 255-1, 2014, s. 201). Vuotojen vähentämisen lisäksi nykyään on käytettävissä rakenteita, joilla voidaan lisätä rakennuksen energiatehokkuutta keräämällä energiaa. Tässä kappaleessa käsitellään lämmöneristämisen, ilmanpitävyyden, aukkojen ja aurinkosuojaratkaisujen vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen.

3.1 Lämmöneristys

Lämmöneristyksen parantaminen rakennuksessa on tehokas keino vähentää energiankulutusta. Rakennuksen vaipan lämmöneristyksellä on suuri merkitys koko rakennuksen tiivyyteen ja sitä kautta energiatehokkuuteen. Lämmöneristyksellä vähennetään rakenteissa johtuvaa ja konvektion aiheuttamaa lämpöhukkaa joko pienentämällä lämmönläpäisyä kylmien rakenteiden kautta erilaisilla eristysmateriaaleilla tai jättämällä ilmakerroksia rakenteiden väliin.

Rakennuksen ulkoverhouksen jälkeen jätetään koolauksen avulla tuuletusrako, jotta lämmöneristeet pysyvät kuivana. Ilmaraon avulla mahdollinen rakenteen sisään päässyt kosteus tuulettuu pois (Lylykangas ym. 2015, s. 49). Ilmaraon jälkeen on tuulensuoja, jonka tarkoitus on pitää rakenne ulkopinnalta tuulenpitävänä. Tuulensuoja on kiinni eristeessä.

Eri eristeillä on eri lämmönläpäisykerroin riippuen eristeen materiaalista ja materiaalin tiheydestä. Lämmöneristyskyky on sitä parempi, mitä pienempi kerroin ja mitä paksummin eristettä on. Eristeen sisäpintaan laitetaan höyrynsulku. Höyrynsulun tarkoituksena on pitää rakenne ilmanpitävänä sisäpuolelta. Höyrynsulun on tärkeää olla yhtenäinen ja tiivis, jotta se säilyy ehjänä ja toimii suunnitellusti. Sen takia höyrynsulun oikeaa sijoitusta ja kiinnittämistä tulee miettiä tarkkaan. Ilmansulusta saa ehjän tiivistämällä ne puristuksiin tai limittämällä saumat teipillä (Paloniitty, 2012, s. 57).

Hyvä lämmöneristys maksaa hieman enemmän kuin tavanomainen, mutta mahdollistaa samalla talotekniikan yksinkertaistamisen ja säästää lämmityskustannuksissa koko talon elinkaaren ajan (Lylykangas ym. 2015, s. 50). Etenkin alapohjan rakenneratkaisut on mietittävä huolella, koska alapohjan rakenteita on vaikea muuttaa myöhemmin. Tärkeää on huomioida riittävä lämmöneristys maanvaraisen laatan alla (Rantala & Leivo, 2019, s. 386).

3.2 Ilmanpitävät rakenteet

Vaipan tiiveys on kyky estää ilmapvirtausten pääsy rakenteen läpi. Ilmanpitävyydellä on suuri merkitys rakennuksen energiankulutukseen. Ilmatiiveyteen tulisi kiinnittää paljon huomiota jo rakennusvaiheessa, jotta suurilta puutteilta ja virheiltä vältytään. Hyvällä ilmatiiveydellä vältytään lämmön karkaamisen lisäksi maaperästä kulkeutuvilta radonilta sekä mikrobeilta, ulkoilman epäpuhtauksilta ja sisäilman kosteuden päätyemiseltä rakenteisiin (RIL 255-1, 2014, s. 46). Hyvä ilmanpitävyys parantaa lisäksi lämmöntalteenottoa eli LTO:a, josta kerrotaan lisää kappaleessa 5.2.

Ilma voi virrata joko vaipan rakenteiden läpi tai rakojen ja reikien kautta, joita muodostuu esimerkiksi ikkunoiden, ovien ja hormien liitoksiin. Tilan sisäilmasto tuntuu vetoisalta, kun rakenteissa on vuotokohtia. Kylmän vedon tunteen välttämiseksi sisäilman lämpötilaa nostetaan, ja tämä kasvattaa energiankulutusta.

Välillä ilmavuotokohtia on vaikea löytää. Usein ne kuitenkin sijaitsevat rakenteiden liitoksissa ja suurten pintojen epäjatkuvuuskohdissa. Ilmavuotokohtien paikantamisen apuna voi käyttää lämpökuvausta, josta kerrotaan kappaleessa 4.3. Tilan ilmanpitävyys voidaan myös mitata ilmatiiviysmittauksella, josta puolestaan kerrotaan kappaleessa

4.2. Huolella suunnitellut rakenteet sekä laadukas rakennustyö takaavat hyvän ilmatiiveyden saavuttamisen. Jotta ilmanpitävät rakenteet toimivat suunnitellusti, täytyy työn olla huolellista työmaalla. Mitä vähemmän rakennuksessa on vuotopaikkoja, sitä pienempi ilmanvuotoluku on.

3.3 Ikkunat ja ovet

Ikkunoissa ja ovissa esiintyvät kaikki edellä mainitut ominaisuudet. Ikkunat ja ovet toimivat esimerkkinä näille kolmelle aiheelle. Ikkunoiden ja ovien asennus täytyy tehdä huolella karmin ja seinän tilkitsemiseksi, jotta vältetään suurilta ilmavuodoilta. Toimivalla tiivistyksellä vedontunne vähenee ja lämmitysenergiankulutus pienenee 5-15 % (Ympäristö.fi, 2018). Myös kiinnitykset täytyy suunnitella huolella, jotta vältetään lämpöhukkaa aiheuttavilta kylmäsilloilta. Ikkunat ja ovet vaativat noin 15-20 mm asennusvaraa ja tiivisteitä varten. Ikkunoiden ja ovien lämmöneristävyyttä on nykyisin parannettu, mutta ilmanpitävyydessä on vielä haasteita (RIL 255-1, 2014 s. 177).

Asuinrakentamisessa suuri osa vaipan rakenteesta koostuu ikkunoista. Ikkunoiden kohdalla lämpöhäviö on jopa kuusinkertainen ulkoseiniin verrattuna, joten ikkunapinta-alan suurentaminen lisää lämpöhäviötä (Lylykangas ym. 2015, s. 32). Uusissa energiaa säästävissä ikkunoissa lasi kuitenkin vuotaa vähemmän lämpöä kuin ikkunan karmit ja puitteet. Näillä energiatehokkailla ikkunoilla yhden ison ikkunan rakenne on taloudellisempi kuin monta pientä ikkunaa karmien vuodon vuoksi.

Uusien ikkunoiden aurinkosuojalasin avulla pystytään estämään auringon lämpösäteilyn aiheuttama sisäilman lämpötilan nousu, jolloin koneellisen jäähdytyksen tarve vähenee tai sitä ei tarvita. Näissä laseissa sisäpuoli on tiiviimpi kuin ulkopuoli. Tällä tavoin vähennetään energiankulutusta merkittävästi säästämällä sekä lämmitykseen että jäähdytykseen kuluva energia. Joissakin uusissa ikkunoissa on lasien välissä aurinkosuojalasin tavoin toimiva lämpöä eristävä kaasu. (Lylykangas ym. 2015, s. 55)

Ovien energiatehokkuutta on helppo vertailla energialuokkien avulla. Ovissa lämmönläpäisykertoimen tulisi olla pienempi kuin $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, matalaenergiataloissa saa olla korkeintaan $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ja passiivitaloissa alle $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Siikanen, 2015, s. 63).

3.4 Aurinkosuojaratkaisut

Aurinkosuojaratkaisuilla pyritään minimoimaan sisälämpötilan yllämpeneminen ja vähentämään viilennystarvetta. Tällä tavoin tarvitaan vähemmän koneellista jäähdytystä ja vähennetään energiankulutusta. (Lylykangas ym. 2015, s. 37)

Rakennusta lämmittäviä asioita ovat aurinko, ulkoilma sekä talo itsessään. Auringosta tuleva valo ja lämpö on usein liiallista keväästä syksyyn, joka muodostaa rakennuksen jäähdytystarpeen. Yleinen viihtyisän sisäilman raja kulkee noin 23 °C:ssa (Energiatehokas koti, 2016b).

Ratkaisuja, joilla voidaan vaikuttaa liialliseen rakennuksen lämpiämiseen, voivat olla rakennuksen ulko- tai sisäpuolisia, kuten leveä räystäs, ikkunoiden koko, suuntaus sekä malli tai ikkunoiden yläpuoliset rakenteet. Sisäpuoliset ratkaisut ovat esimerkiksi sälekaihtimet tai kappaleessa 3.3 mainittu ikkunoiden välissä oleva kaasu. (Lylykangas ym. 2015, s. 37)

4 LAADUNVALVONTA

Korkealaatuinen rakentaminen on edellytys energiatehokkaiden rakenteiden toimivuudelle sekä rakennuksen kokonaistehokkuudelle. Laadunvalvonnalla rakentamisen tasoa voidaan tarkkailla sekä rakentamisen aikana että rakennuksen valmistuttua. Tässä kappaleessa käydään läpi energiatehokkuudelle merkittävimpiä rakentamisen aikana huomioon otettavia liitoksia sekä huolellisen rakentamisen vaikutukset rakennukseen. Kappale käsittelee myös energiatehokkaiden rakenteiden rakentamisessa käytössä olevia mittaus- ja suunnittelukäytäntöjä, joilla voidaan sekä rakentamisen aikana että rakennusvaiheen valmistuessa tarkastaa saavutettua energiatehokkuutta. Mittaukset tukevat toisiaan ja mahdollistavat puutteiden löytymisen ajoissa, mikä tekee muutosten teosta halvempaa ja myös rakentamisesta energiatehokkaampaa rakennusmateriaalihukan vähentyessä muutosten ollessa pienempiä.

4.1 Liitokset

Vaipan osien lämpöhäviöt riippuvat ulko- ja sisälämpötilan erosta. Alapohjan ja maanvastaisen ulkoseinien lämpöhäviöt eivät riipu yhtä vahvasti ulkolämpötilasta maan reagoidessa hitaammin ulkoilman viilenemiseen (RIL 255-1, 2014 s. 201). Liitokset ovat rakenneosien epäjatkuvuuskohtia ja niiden suunnitteluun kannattaa käyttää erityistä huolellisuutta, jotta ne ovat toimivia sekä lämmön pysymisen että kosteuden tuulettumisen kannalta. Liitoskohdat tulee eristää hyvin kylmäsiltojen minimoimiseksi. Hyvällä suunnittelulla voidaan usein säästää paljon energiaa pienellä investoinnilla (Lylykangas ym. 2015, s. 58). Lylykankaan ym. tekemässä vertailussa voi nähdä kuinka suuri vaikutus kylmäsiltoilla on rakennuksen energiatehokkuuteen ja E-lukuun.

Tyypillisimpiä liitoskohtaongelmia ovat ulkoseinän ja alapohjan sekä ulkoseinän ja yläpohjan rakenneosien väliset liitokset. Näiden lisäksi rakennuksen vaipan rikkovat aukot ja läpiviennit muodostavat haastavia kohtia ilmatiiveyden kannalta. Myös sokkelit muodostavat usein kylmäsiltojen laatan ja täyttökerroksen väliin. Tämä tuntuu lämmitettyjen laattojen reuna-alueilla kylmältä ja aiheuttaa lämpöhukkaa. (Rantala & Leivo, 2019, s. 385)

Pientaloissa sokkelina käytettävät harkot toimivat lämmön ilmanvuoreittinä. Kylmäsilta laatan ja täytön välillä saadaan katkaistua lisäämällä eristettä sokkelin sisäpintaan. Laatan reuna pysyy lämpimänä ja lämpöhukka vähenee. Ulkoseinän ja sokkelin välistä ilmavuotoa voi puolestaan vähentää lisäämällä solumuovikaistan kapillaarikaton ja alajuoksun väliin. Solumuovikaista muotoutuu paremmin betonipintaa vasten kuin esimerkiksi bitumi (Rantala & Leivo, 2019, s. 385).

Yläpohjan ja ulkoseinän liitoksissa tulee kiinnittää huomiota kuormien aiheuttamaan taipumaan rakenteiden pitkillä jänneväleillä. Näissä kohdissa höyrynsulun tulee olla joustava, jotta se ei murre. Erityistä huomiota vaativat jännevälän keskikohdat, missä taipumat ovat suurimmillaan. Höyrynsulun murtuessa yläpohjaan syntyy konvektiovirtaus eli yläpohjaan kohonnut lämmin ilma vuotaa hukkaan. (Rantala & Leivo, 2019, s. 390)

4.2 Ilmatiiviysmittaus

Ilmatiiviysmittaus toimii laadunvalvonnan apuna rakentamisen aikana, jolloin on mahdollisuus korjata havaitut ilmavuodot aikaisemmin. Mittaus on hyvä tehdä kahteen kertaan, rakentamisen aikana, kun ilmatiiviskerros on valmistunut, sekä rakennuksen valmistuttua. (Paloniitty, 2013, s. 160)

Ilmatiiviysmittausta varten mitataan ulko- ja sisäilman lämpötilat sekä ulkoilman vallitseva paine. Mittaustilanteessa luodaan paine-ero ulkoilmaan nähden puhaltimen avulla joko puhaltamalla ilmaa sisältä ulos tai imemällä ilmaa ulkoa sisälle. (Paloniitty, 2013, s. 159). Mittauksella helpotetaan rakennuksen lämmöntarpeen arviointia ja saadaan selville tilan ilmanvuotoluku q_{50} . Mikäli mittaus tehdään sekä yli- että alipaineessa on ilmanvuotoluku näiden tulosten keskiarvo. Systemaattisesti mitattu ilmanvuotoluku toimii rakentamisen laadun mittarina (Lylykangas ym. 2015, s. 74). Vaipan ilmanvuotoluvun yläraja on $4 \text{ [m}^3\text{/(hm}^2\text{)]}$. Mikäli mittauksia tai muuta menettelyä ei tehdä ilmanvuotoluvun selvittämiseksi käytetään ulkovaipan ilmanvuotolukuna asetettua ylärajan arvoa.

4.3 Lämpökuvaus

Lämpökuvauksella parannetaan rakentamisen laatua kuvaamalla rakennukset ennen käyttöönottoa, jolloin viimeistelyn aikaiset asennukset voidaan vielä tarkastaa. Lämpökuvauksella havaitaan nopeasti ilmavuotokohtat, kosteusvauriot ja suuret pintalämpötilojen poikkeamat kylmempinä alueina rakennuksesta otetusta lämpökuvasta. Ylipaineessa vuotoja on vaikeampi havaita vuotojen ollessa rakennuksesta ulospäin. Alipaineistuksella ilmavuotokohtat paljastuvat, kun kylmempää ilmaa virtaa rakennuksen ulkopuolelta, jolloin myös vaikeasti havaittavat lämpövuodot on helppoa löytää lämpökuvasta. Rakenteen kylmäsilat eivät kuitenkaan reagoi samalla tavalla kuin ilmavuodot vaan kylmäsiltojen lämpötilat pysyvät samana alipaineesta huolimatta. (Kauppinen, 2012, s. 4; RIL 255-1, 2014, s. 373)

Lämpökuvausta varten mitataan ulko- ja sisäilman lämpötilat sekä sisäilman suhteellinen kosteus. Mikäli lämpötilaero on pienempi kuin 15 °C tai lämpötilat vaihtelevat nopeasti ei mittausta voida suorittaa. (Kauppinen, 2012, s. 6)

Rakennusvaiheen lämpökuvauksella huomattavat vuotokohtat voidaan korjata esim. lisäämällä lämmöneristettä tai tekemällä korjauksia seinäliitoksiin ja -saumoihin. Näin talon ilmatiiveyttä ja energiatehokkuutta saadaan parannettua ennen talon valmistumista (Kauppinen, 2012, s. 3).

4.4 Kylmäsilta-analyysi

Kylmäsilta-analyysillä voidaan minimoida rakenteiden liitosten kylmäsilta-vaikutusta. Analyysi toimii kolmiulotteisen mallinnuksen tavoin ja lisää ymmärrystä liitosten kosteusteknisestä toimivuudesta havainnollistamalla suunnittelijalle valitun rakenteen ongelmakohdat ja toimivuuden eri lämpötiloissa. Analyysia ei tarvitse tehdä, mikäli rakennuksessa käytetään pääsääntöisesti tavanomaisia rakenteita ja detaljeja. (Lylykangas ym. 2015, s. 72)

5 TALOTEKNIikka

Rakennusteknisten asioiden lisäksi on tärkeää käyttää tekniikkaa tehokkaasti. Talotekniikkaa tarvitaan ilmatiiviissä rakennuksessa, sillä sisäilman laadusta huolehditaan parhaiten koneellisella ilmanvaihdolla. Talotekniikkaa miettiessä kaikki osa-alueet on suunniteltava toimimaan hyvin yhteen, sillä talotekniikan toimivuuden heikko ymmärrys tai yhteensovittamattomuus voi johtaa pahimmillaan siihen, että toisella järjestelmällä lämmitetään ja toisella jäähdytetään rakennusta.

Talon energiatehokkuutta voidaan parantaa huolehtimalla, että oma lämmön ja lämpimän veden käyttö on kohtuullista. Talotekniikka mahdollistaa helpon kulutuksen seurannan sekä kulutuksen vähentämisen erilaisten automaatioiden avulla. Näin energiaa menee vähemmän hukkaan eikä lämmitykseen käytettyä energiaa tuhjata.

Seuraavissa kappaleissa selitetään, kuinka rakennuksesta saadaan energiatehokkaampi talotekniikan eri osa-alueilla.

5.1 Lämmitys

Rakennuksissa, joissa lämmitystä käytetään säännöllisesti, on lämmitysjärjestelmän valinta suurin yksittäinen käyttökustannuksiin vaikuttava tekijä. Varaava takka kattaa esimerkiksi 10-30 % rakennuksen kokonaislämmitystarpeesta (RIL 255-1, 2014, s. 223). Yhden asteen muutos sisälämpötilassa vastaa noin 5 prosenttia lämmityskustannuksista, joten lämmityksestä aiheutuva energiankulutus on merkittävä (RIL 255-1, 2014, s. 208).

Lämmityksen energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät ovat rakennuksen ilmatiiveys ja lämmöneristys, lämmitysjärjestelmä sekä jäähdytys, sisäilman lämpötila, pintojen lämpö ja liikkuvan ilman nopeus eli vedon tunne (RIL 255-1, 2014, s. 201). Ilmatiiveys ja lämmöneristys ovat rakenteellisia tekijöitä, joiden puutteellisuus vaikuttaa rakennuksen lämpöhäviöihin kuten pintojen lämpöön sekä vedon tunteeseen. Lämmitysjärjestelmä ja sisäilman lämpötila ovat puolestaan asukkaan itse valittavissa ja säädettävissä tottumusten mukaan.

Lämmitysenergia jakaantuu tilojen ja käyttöveden lämmitykseen. Lämmityksestä noin 20-30 % menee käyttövettä varten (Motiva, 2016). Tilojen lämmitysenergiatarve on sitä suurempi, mitä enemmän rakennuksen ulkovaipassa on lämpöhäviöitä, eli ilmavuotoja tai johtumishäviöitä. Suurimpia lämpöhäviöitä aiheuttavat ikkunat ja ovet sekä ulkoseinät. Lämpöhäviöitä minimoimalla saadaan rakennuksen lämmöntarve pienenemään.

Lämpö siirtyy kolmella tavalla, jotka ovat johtuminen, säteily ja konvektio. Lämpötilaerot aiheuttavat lämmönsiirtymisen. Kylmäsillat ovat tyypillisiä johtumisen esimerkkejä, missä kylmä rakenne hohkaa kylmempää ilmaa yleisestä rakenteesta poiketen. Konvektion muodostavat esimerkiksi yhdessä lämmin sisäilma ja kylmät ikkunapinnat. Viileämpi ikkunan pinta aiheuttaa vetohaitan eli ikkunoiden viilentämä kylmempi sisäilma ilma virtaa lattialle (RIL 255-1, 2014, s 176.). Lämmitykseen kuuluvat vaiheet ovat tuotanto, varaus, siirto ja jako. Vaiheiden hyötysuhdetta parantamalla esimerkiksi tarkastamalla ja korjaamalla vuotokohtat lämmönsiirron ja -jaon hyötysuhdetta voidaan parantaa ja lämpöhäviötä pienentää.

Käyttöveden energiatehokkuuteen vaikuttavat lämmitystapa ja sen hyötysuhde eli varaajan ja jakelun häviöt. Suomessa vettä käytetään keskimäärin 140 litraa vuorokaudessa asukasta kohden, mutta vaihtelu on jopa 60-270 l/asukas/vrk. Suuret vaihtelut johtuvat lähinnä käyttötottumuksista. Puolet tästä määrästä kuluu peseytymiseen, neljäsosa vessassa ja neljäsosa keittiössä. Suihkussa käytetty vesimäärä on vaikuttavin tekijä kokonaisvedenkulutuksen määrään. (Motiva, 2019). Vedenkulutuksen mittaaminen ja seuraaminen ovat vähentäneet kulutusta noin 10 % uudiskohteissa. Perusparannusten puolella mittarin lisääminen säästi jopa 20 %. Suurempi säästö johtuu kulutuksen helpomman seurannan lisäksi parannuksen yhteydessä uusituista vesikalusteista. (RIL 255-1, 2014, s. 212)

5.2 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon tuloilma pidetään viileämpänä kuin sisäilma, jotta puhdas ilma laskeutuisi kunnolla huonetilaan, ja jotta lämmitys tapahtuisi varsinaisella lämmitysjärjestelmällä. Ilmanvaihdon energiatehokkuuteen vaikuttavat ilman vaihto, puhdistus, kostutus ja kuivaus. Ilmanvaihdolla vaihdetaan rakennuksen sisäilma korvaamalla se toista reittiä

tuodulla korvausilmalla. Ilmanvaihdolla tuodaan puhdasta ilmaa hengitystä varten ja poistetaan ilmaan kertyneitä epäpuhtauksia. Ilmanvaihdon taloteknisistä ratkaisuista seuraavat kolme vaihtoehtoa ovat erityisesti asuinrakentamisessa yleisimmät:

1. perinteinen painovoimaan perustuva ilmanvaihto
2. koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä
3. moderni koneellinen tulo- ja poistolämmöntalteenotolla. (Siikanen, 2015, s. 205)

Koneellista ilmanvaihtoa varten lasketaan ilmanvaihdon tarve, jotta voidaan taata hyvä sisäilman laatu. Asetettu vaatimus on, että huoneilma vaihtuisi kerran kahdessa tunnissa. Ilmanvaihdon mitoitukseen vaikuttavat paljon rakenteiden tiiveys sekä tulo- ja poistoluukkujen sijainnit. Koneellinen ilmanvaihto on tehokkainta ja tarkimmillaan, kun ilmanvuotoaukkoja on mahdollisimman vähän.

Modernissa koneellisessa ilmanvaihdossa raitis ilma suodatetaan, jotta ulkoa otettava korvausilma olisi mahdollisimman puhdasta esimerkiksi kevään siitepölyiltä. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enimmillään 2,0 kW/m³/s (Siikanen, 2015, s. 61). Koneellisessa ilmanvaihdossa merkittävässä roolissa on lämmöntalteenotto eli LTO. Poistoluukun kohdalla osa käytetystä ilmasta puhdistetaan ja kierrätetään uudelleen sisäilmaan esilämmittämään tuloilmaa lämmön säilyttämiseksi. LTO:n tulee olla vähintään 45 % lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä, mutta tehokkaimmilla laitteilla LTO on jopa 50-80 % (Siikanen, 2015, s. 61; Paloniitty, 2012, s. 12).

Painovoimainen ilmanvaihto toimii kuten koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä, mutta painovoimainen perustuu tuulen ja lämpötilaerojen aiheuttamaan paine-eroon. Lämmin ilma kohoaa tilassa ylöspäin ja viileä ilma laskeutuu alas. Leudolla ilmalla ilmanvaihto on vähäisempää. Painovoimaisen ilmanvaihdon haasteita ovat esimerkiksi tuuli, paine-erot väärin päin, lämpötilat väärin päin, tuloilman riittämättömyys, tilojen huuhtoutumattomuus. Painovoimainen ilmanvaihto ei aina täytä nykyajan vaatimuksia sisäilman laadusta ja tämän takia koneellinen ilmanvaihto on yleisin järjestelmä energiatehokkaissa rakennuksissa. (Saari ym. 2014, s. 16)

Rakennusten jäähdytys eli sisäilman viilentäminen on paljon energiaa kuluttava talotekninen ratkaisu. Jäähdytys on Suomessa tarpeellista vain muutamina kuukausina

vuodesta sisäilman lämpötilan laskemiseksi miellyttävälle tasolle. Asuin- tai teollisuusrakennuksen jäähtytyksessä viilennys tapahtuu ilmanvaihdon kautta. Oikein asennettu ja ilmanvaihtoa koskevat säädökset täyttävän järjestelmän ilmanvaihto vaihtaa rakennuksen sisäilman tilavuuden verran ilmaa kerran kahden tunnin aikana (D2 Suomen RakMk, 2012, s. 10).

Ilmanvaihdossa ja viilennyksessä voidaan käyttää useita erilaisia järjestelmiä saman lopputuloksen saavuttamiseksi. Taloteknisiä ratkaisuja, kuten ilmanvaihtoa suunniteltaessa, jäähtytyskeinon ja sen kapasiteetin valinnassa on huomioitava, kuinka paljon ilmapainetta on viilennettävä ja mitä tekniikkaa ilmanvaihdossa on mahdollista käyttää. Energiatavokkain ratkaisu on tapauskohtainen ja esimerkiksi asuinrakennuksissa ilmalämpöpumppua on tehokasta käyttää vain silloin, kun asunnossa oleskellaan ja asuntoa on järkevää viilentää. Pientaloissa ilmalämpöpumpulla tapahtunut energiatavokas viilennys kuluttaa vuodessa n. 100-300 kWh (Energiatavokas koti, 2016a).

5.3 Valaistus

Valaistuksen energiatavokkuuteen vaikuttavat luonnonvalon ja keinovalon määrä sekä heijastukset. Valaistuksessa energiankulutuksessa säästää eniten valonmäärän säädöllä ja ylimitoituksen välttämällä. Valontarpeeseen vaikuttavat luonnonvalon hyötykäyttö, käyttöaika ja käyttötarve. Myös keinovalon asennuskorkeus ja tilan heijastavat materiaalit vaikuttavat riittävään valon määrään (RIL 255-1, 2014, s. 213). Uusilla energiatavokkailta LED-valaisimilla saavutetaan sama valomäärä vähemmällä energialla (Siikanen, 2015, s. 245). Energiansäästöllä saadaan katettua LED-valaisinten investointikustannukset. Uusien säädösten mukaan valaistusta täytyy pystyä ohjaamaan toimintojen ja tarpeenmukaisesti, esimerkiksi julkisissa tiloissa valaisimet voidaan varustaa liikkeen tunnistimilla (Ympäristöministeriö, 2017). Valaistuksen tuottamasta lämmöstä saatava hyöty on parhaimmillaan jopa 60-70 % (Energiatavokas koti, 2018b).

5.4 Sähkölaitteet

Sähkölaitteiden energiankulutus on noin kymmenesosa kodin kokonaisenergiankulutuksesta (Kuva 2.). Sähkölaitteiden energiankulutukseen vaikuttavat lähinnä omat käyttötottumukset ja laitteen ominaisuudet, eli laite kannattaa valita tarpeenmukaisesti. Lisäksi kulutukseen vaikuttavat laitteiden sijoitus ja asennus. Sähkölaitteet on jaettu energialuokkiin aakkosilla A:sta G:hen, joissa parasta energiatehokkuusluokkaa edustavat A-merkillä varustetut laitteet. Tiskikone ja pyykinpesukone kannattaa valita A-luokasta. Tiskikoneen sähkönkulutusta voi pienentää puolella liittämällä sen suoraan lämpimään veteen kylmävesiliitännän sijaan. (Energiatehokas koti, 2018a)

5.5 Taloautomaatio

Taloautomaation avulla voidaan helposti seurata kulutusta, säästää energiaa tai lisätä asuinmukavuutta. Automaatiolla voidaan yhdistää kaikki talotekniikka helposti ohjattavaksi ja optimoiduksi kokonaisuudeksi, jolloin energiankulutusta on helpompi seurata ja päällekkäisien toimintojen asetuksia muuntaa. Esimerkiksi tarpeenmukainen ilmanvaihto ohjaa ilmanvaihtoa sisäilman kosteus- ja hiilidioksidipitoisuusmittausten perusteella tai lämmitystä voidaan säätää sähkön hinnan tai sääennusteen perusteella. Taloautomaatiolla voidaan tallentaa ja säätää halutut asetukset, jolloin voidaan vähentää turhaa lämpimänä pitoa poistamalla lämmöt poissa ollessa ja laittaa ne päälle etänä ennen kotiin tuloa. Taloautomaatiota suunniteltaessa on mietittävä omien tämän hetkisten tarpeiden lisäksi tulevia lisäyksiä ja muutoksia, joita rakennukseen halutaan myöhemmin investoida, jotta ne on mahdollista liittää olevaan järjestelmään helposti.

6 YHTEENVETO

Kandidaatintyön aiheena oli energiatehokkaat rakennukset. Työssä käsiteltiin energiatehokkuutta rakenteellisten ja taloteknisten ratkaisujen sekä käyttötottumusten näkökulmasta. Energiatehokas rakennus on parhaimmillaan näiden kaikkien yhteensovitettu kokonaisuus. Käyttötottumusten muutoksella tehdään halvimpia tehokkuuteen vaikuttavia parannuksia ja rakenteelliset ratkaisut tukevat talotekniikan käyttöä sujuvammaksi ja varmistavat tehokkaat käytännöt asukkaille automaation avulla.

Lämmitys on suurin energiatehokkuuteen vaikuttava tekijä. Parantamalla rakennuksen lämmöneristystä ja ilmanpitävyyttä vaikutetaan suoraan rakennuksen energiankulutukseen ja energiatehokkuuteen. Hyvä lämmöneristys, rakentamisen laatu ja suunnitelmissa pysyminen voidaan varmistaa rakentamisen aikaisilla tiiviys- ja lämpömittauksilla. Laadukkaalla suunnittelulla ja huolellisella toteutuksella saadaan tehtyä toimivia ratkaisuja tulevaisuuteen.

Talotekniikan merkittäviä seikkoja ovat lämmitys ja ilmanvaihto. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla pystytään vähentämään rakennusten lämmöntarvetta yli 45 % ja parhaimmilla laitteilla jopa 80 %. Lämpimän veden kulutuksen seuraamisella voidaan vaikuttaa lämmityskuluihin 10 % uudiskohteissa. Vanhemmissa kohteissa mittarin lisäyksellä saatava säästö on kaksinkertainen. Muut talotekniikan osa-alueet vaikuttavat asunnon sähkön kulutukseen, ja näitä olisi hyvä tarkkailla älykkäillä ja ohjattavilla automaatiojärjestelmillä.

Rakennusmääräykset ohjaavat rakentamista ja tehokkuusvaatimukset tulevat kiristymään tulevina vuosina uudistusten myötä. Energiatehokkaat rakennukset tulevat tulevaisuudessa käyttämään entistä enemmän uusiutuvaa energiaa säilyttäen kuitenkin saman asuinmukavuuden tason kuin aiempina vuosikymmeninä. Suomessa pyritään kohti nollaenergiarakentamista, mikä ei ole vielä mahdollista lämmitystarpeen vuoksi. Rakennusteknologia kehittyy kuitenkin jatkuvasti, ja kun uudisrakennusten puolella siirrytään nollaenergiataloihin, suurimmat arvioidut energiasäästöt Suomen mittapuulla tulevat vanhan rakennuskannan poistuessa.

LÄHDELUETTELO

Andresen I., 2008. Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus. En introduksjon [verkkodokumentti]. Oslo: SINTEF. 22. Saatavissa: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2411710/Prosjektrapport22.pdf?sequence=1> [29.9.2019]. 42 s.

D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMk), 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Helsinki, 34 s.

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMk), 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Helsinki, 35 s.

Energiatehokas koti, 2016a. Energiatehokas ilmanvaihto ja jäähdytys, viilennyslaitteiden energiatehokas käyttötapa [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/miten_tehdaan_energiatehokas_koti/energiatehokas_ilmanvaihto_ja_jaahdytys/viilennyslaitteiden_energiatehokas_kayttotapa [viitattu 6.7.2019].

Energiatehokas koti, 2016b. Miten tehdään energiatehokas koti, aurinkosuojaratkaisut [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/miten_tehdaan_energiatehokas_koti/aurinkosuojaratkaisut [viitattu 5.7.2019].

Energiatehokas koti, 2018a. Talotekniikan suunnittelu, sähkölaitteet [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/sahkolaitteet [viitattu 16.10.2019].

Energiatehokas koti, 2018b. Talotekniikan suunnittelu, valaistus [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/valaistus [viitattu 2.7.2019].

Kauppinen T, (toim.), 2012. Rakennusten lämpökuvaus [verkkodokumentti].

Rakentajain kalenteri 2012. Saatavissa:

<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120604.pdf> [viitattu 24.9.2019]. 7 s.

Korenoff G., Grandell L., Lehtilä A., Koljonen T. & Nylund N-O., (toim.), 2014.

Energiatehokkuuden kehittyminen Suomessa – Arviot menneisyydestä ja tulevaisuudesta [verkkodokumentti]. Espoo: VTT. Saatavissa:

<https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T180.pdf> [viitattu 14.6.2019]. 70 s.

Lylykangas K., Andersson A., Kiuru J., Nieminen J. & Päätaalo J. (toim.), 2015.

Rakenteellinen energiatehokkuus [verkkodokumentti]. Helsinki: Rakennusteollisuus.

Saatavissa: [http://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/oppaat-](http://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/oppaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf)

[ohjeet/ret_opas_20150917.pdf](http://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/oppaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf) [viitattu 27.8.2019]. 189 s.

Motiva, 2016. Tietoa energian- ja vedenkulutuksesta, lämmitysenergiankulutus

[verkkodokumentti]. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian-_ja_vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus [viitattu 25.10.2019].

Motiva, 2019. Hyvä arki kotona, vedenkulutus [verkkodokumentti]. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/vedenkulutus [viitattu 25.10.2019].

Paloniitty S., 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Tampere: Tammerprint Oy, 92 s. ISBN 978-952-269-035-7

Paloniitty S. (toim.), 2013. Rakennusten tiiviysmittaus [verkkodokumentti]. Rakentajain

kalenteri 2013. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK130504.pdf> [viitattu 7.8.2019]. s. 155-161

Rantala J. & Leivo V. (toim.), 2019. Rakenteiden ja liitosten rakennusfysiikkaa

[verkkodokumentti]. Saatavissa:

<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK070301.pdf> [viitattu 22.8.2019] s. 383-391

RIL 255-1, 2014. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Tammerprint Oy, 500 s. ISBN 978-951-758-589-7

Saari M., Antson A., Kukkonen P. & Nyman M., 2014. Energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas [verkkodokumentti]. Espoo: VTT. Saatavissa: https://www.talteka.fi/sites/default/files/file_attachments/pientalon_ilmanvaihto-opas.pdf [viitattu 27.10.2019]. 57 s.

Siikanen U., 2015. Rakennusfysiikka – Perusteet ja sovelluksia. 2. painos. Helsinki: Tammerprint Oy, 256 s. ISBN 978-952-267-001-4

Suomen virallinen tilasto (SVT), 2018a. Asumisen energiankulutus 2017 [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/asen/2017/asen_2017_2018-11-22_fi.pdf [viitattu 4.10.2019]. 10 s.

Suomen virallinen tilasto (SVT), 2018b. Energian hankinta ja kulutus – 2018, 4. neljännes [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehk/2018/04/ehk_2018_04_2019-03-28_fi.pdf [viitattu 18.6.2019]. 16 s.

Ympäristö.fi, 2018. Energiahukan vähentäminen, ikkunoiden ja ovien tiivistys [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiöt/Energiatehokkuus/Energiahukan_vahentaminen/Ikkunoiden_ja_ovien_tiivistys [viitattu 30.9.2019].

Ympäristöministeriö, 2017. 1009/2017, Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009> [viitattu 24.10.2019].