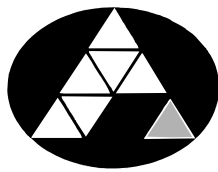


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Ville-Veikko Hakulinen

RAKENNUSVALVONNAN ENNAKOIVA LAADUNOHJAUS JA
ENERGIATEHOKKUUS PIENTALOISSA

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2012



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2012
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)

Ville-Veikko Hakulinen

Nimeke

Rakennusvalvonnan ennakoiva laadunohjaus ja energiatehokkuus pientaloissa

Toimeksiantaja

Joensuun rakennusvalvonta

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ennakoivaa laadunohjausta, jonka Joensuun rakennusvalvonta on ottanut käyttöön. Opinnäytetyön tavoite oli selvittää mitä ennakoivalla laadunohjauksella voidaan saavuttaa ja miksi sitä tehdään. Tavoitteena oli myös selvittää pientalorakentamisen energiatehokkuutta ja energiaratkaisuja. Rakennusvalvonnan ennakoivassa laadunohjauksessa opastetaan rakennuttajaa energiatehokkuuteen ja tekniseen kestävyysrakennushankkeessa rakennusluvan myöntämisen yhteydessä. Päättävänä ennakoivassa laadunohjauksessa Joensuun rakennusvalvonnan osalta on matalaenergiarakentaminen, ja opinnäytetyössä esitetään, kuinka matalaenergiataso saavutetaan.

Työssä käydään läpi ennakoivan laadunohjauksen historiaa ja kuinka Joensuun rakennusvalvonta soveltaa sitä. Opinnäytetyössä tutkittiin pientalorakentamisen energiatehokkuutta ja teknistä kestävyyttä ja esitettiin energiataselaskelma, pohjautuen uusiutuviin rakennusmääräyskokoelman osiin. Opinnäytetyössä käytiin myös läpi työkaluja, joita hyödynnetään ennakoivassa laadunohjauksessa

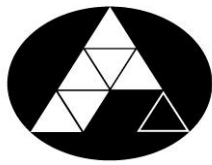
Opinnäytetyön tulokseksi saatiin laaja selvitys ennakoivasta laadunohjauksesta ja energiatehokkuudesta. Matalaenergiataso saadaan opinnäytetyön tuloksien perusteella saavutettua edullisesti kun rakennushankkeessa kiinnitetään huomiota ennakoivaan suunnitteluun ja työn laatuun.

Kieli
suomi

Sivuja 49
Liitteet 3
Liitesivumäärä 5

Asiasanat

rakennusvalvonta, ennakoiva laadunohjaus, energiatehokkuus, matalaenergia



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
March 2012
Degree Programme in Civil engineering
Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358-13-260 6800

Author(s)
Ville-Veikko Hakulinen

Title
Proactive quality control of supervision of building and energy efficiency of detached house

Commissioned by
Supervision of building of Joensuu

Abstract

The goal of this thesis was to research proactive quality control and energy efficiency for detached house. One priority of the thesis was to find out is quality control profitable. Proactive quality control of supervision of building contains guidance of energy efficiency and technical durability attached to the construction permission procedure. Main objective in proactive quality control of supervision of building is low cost housing. How to achieve low cost housing level is portrayed in this thesis.

The history of Proactive quality control of supervision of building is displayed in the thesis and furthermore how proactive quality control is adapted to supervision of building of Joensuu. Energy efficiency policy and technical durability of housing was portrayed in the thesis and in addition energy level calculation was displayed in the thesis. A variety of tools and utilities which are exploited in proactive quality control were represented in thesis.

As a result of thesis was obtained a comprehensive report of proactive quality control at energy efficiency. Low cost housing is attained economically according to thesis that is paying attention to projects proactive planning and quality of labour.

Language
Finnish

Pages 49
Appendices 3
Pages of Appendices 5

Keywords

Supervision of building, proactive quality control, energy efficient, low cost housing

Tiivistelmä

Abstract

Sisältö

1 Johdanto	5
1.1 Opinnäytetyön tausta	5
1.2 Opinnäytetyön tavoite ja rajaus	5
1.3 Opinnäytetyön suoritus.....	6
2 Ennakoiva laadunohjaus	7
2.1 Ennakoivan laadunohjauksen kehitys tähän päivään	7
2.2 Joensuun rakennusvalvonnan tavoitteet laadunohjauksessa	8
2.3 Matalaenergiatalo	8
2.4 Laadunohjausprosessi.....	9
2.5 Ennakoivan laadunohjauksen keskeiset asiat	10
2.6 Ennakoivan laadunohjauksen vaikuttavuus.....	12
3 Työkaluja ennakoivaan laadunohjaukseen	13
3.1 Energiajuniori ja energiatodistus	13
3.2 Laatukortit	15
3.3 Lämpökuvaus ja tiiviysmittaus.....	15
3.4 Suunnittelun aikainen ohjaus ja rakentajan polku	17
4 Pientalon energiankulutus	19
4.1 Suomen rakennuskannan energiankulutus ja lämmönjohtavuus	19
4.2 Rakennuksen ilmanpitävyys.....	23
4.3 Rakennusvaipan lämpöhäviö.....	24
4.4 Ilmanvuoto ja ilmanvuotoluku	26
4.5 Ilmanvaihto.....	27
5 Energiataselaskelma	29

5.1	Lähtötiedot ja laskentamenetelmä	29
5.2	Lämmitysenergian nettotarve ja lämpökuormat	32
5.3	Järjestelmien energiankulutus	34
5.4	E-luku	36
6	Energia ratkaisut	38
6.1	Rakennuksen muoto ja sijoitus	38
6.2	Ilmanvaihtojärjestelmä ja lämmöntalteenotto	39
6.3	Lämmitysjärjestelmien kustannusvertailu	40
7	Tulokset	45
8	Pohdinta	46
	Lähteet	47
	Liitteet	

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta

Opinnäytetyö sai alkunsa, kun ryhdyin perehtymään rakennusvalvonnan ennakoivaan laadunohjaukseen. Rakennusvalvonnan ennakoivassa laadunohjauksessa rakennusvalvonta ohjaa rakennushankkeeseen ryhtyvää rakennuksen teknisessä kestävyudessa ja energiatehokkuudessa ja ohjeistaa rakennuttajaa, kuinka onnistunut rakennushanke suoritetaan. Ennakoivasti ohjaava rakennusvalvonta antaa paremman pohjan laadukkaammalle rakentamiselle kuin pelkät rakentamismääräysten antamat minimimitavoitteet. Otin yhteyttä Joensuun rakennusvalvontaan, jossa aihe herätti mielenkiintoa. Joensuun rakennusvalvonnasta tuli myös työn tilaaja. Rakennusvalvonnan ennakoivalla laadunohjauksella on saatu erinomaisia tuloksia Oulun kaupungin rakennusvalvonnassa. Oulun kaupunki on saanut vähennettyä energiakulutusta ja hiilidioksidipäästöjä sekä rakennusmateriaaleista aiheutuneet päästöt ovat vähentyneet.

1.2 Opinnäytetyön tavoite ja rajaus

Opinnäytetyön tavoite oli selvittää miten rakennusvalvontaa voitaisiin kehittää paremmaksi palveluorganisaatioksi. Tutkimustyön tavoitteena oli esittää ennakoivaa laadunohjausta ja siinä käytettäviä työkaluja sekä energiatehokkuutta.

Laadunohjausprosessissa rakennusvalvonta neuvoo rakennushankkeeseen ryhtyvää energiatehokkuuteen ja laatutietoisuuteen koskevissa asioissa ja myös rakennushankkeen onnistuneessa läpiviennissä. Kokonaisenergian kulutusta ja energiaselvitystä tehtäessä tutkitaan vuonna 2012 uudistuvia rakennusmääräyskokoelman osia D3 ja D5. Opinnäytetyössä olen käyttänyt luonnosvaiheessa olevaa D5 rakennusmääräyskokoelmaa, joka on päivitetty 27.10.2011. Opinnäytetyössä käsitellään myös energiatehokkuuden työkaluja, kuten Energiajuniori-ohjelma, lämpökuvausta ja laatukortteja. Opinnäytetyön pääpaino oli pientalojen uudisrakentamisessa.

1.3 Opinnäytetyön suoritus

Opinnäytetyön suoritin omatoimisesti ja yhteistyössä Joensuun rakennusvalvonnan kanssa. Ohjaajana opinnäytetyössä toimi Joensuun rakennusvalvonnan rakennustarkastaja Jukka Hyttinen. Työn suorittamiseen sain tietoa ja opastusta olemalla osittain mukana rakennuslupakäsittelyissä ja rakennustarkastuksissa.

2 Ennakoiva laadunohjaus

2.1 Ennakoivan laadunohjauksen kehitys tähän päivään

Rakennusvalvonnan ennakoiva laadunohjaus pohjautuu pitkälti niin sanottuun Oulun malliin. Oulun rakennusvalvonnan kehittymistä on muovannut omat tavoitteet ja linjat ja jatkuvasti muuttuvat rakennusmääräyskokoelma. Oulun rakennusvalvonnan tavoitteita ovat mm. rakennushankkeen lisäarvoa tuovat ratkaisut, kuntien ja toimintakentän tehokkaampi yhteistyö ja tarjota kuntalaisille tietoa rakennusasioissa. [1]

Rakennusvalvonnan ennakoiva laadunohjaus lähti Oulussa liikkeelle 2000-luvun alussa. Laadunohjausta ryhdyttiin kehittämään Oulun rakennusvalvonnassa johdonmukaisesti. Johdonmukaisessa kehittämisessä onnistuttiin melkein pä sattumalla, koska silloin ei tiedetty, että 2000-luvun lopulla rakentamisen painotus on energiatehokkuudessa ja palataan tiiveyteen ja kosteustekniikkaan. Laatutyö alkoi kosteudenhallinnalla, jota vietiin eteenpäin vuosina 2001–2005. Pientalon teknistä laatua kehitettiin 2003–2007. Pientalon tekniseen laatuun liittyy kosteustekniikan lisäksi energiankulutus, sisäilman laatu ja ympäristövaikutukset. Vuonna 2007 laatutyö eteni pientalon asuttavuuteen, jossa otettiin huomioon rakennusten aiheuttamat varjostukset ja rakennusten turhat tilat sekä ryhdyttiin kiinnittämään paljon huomiota energiatehokkuuteen. Vuodesta 2007 eteenpäin laatutyön ydin on ollut energiatehokkuudessa. Energiatehokkuuden työkaluina Oulun kaupunki on käyttänyt arkkitehtien ja insinöörien ohjausta, Energiajuniori-ohjelmaa, laatukortteja ja rakennuksen vaipan tiiviysluvun tarkkailua.

Tavoitteet omakotitalon lämmitysenergian säästölle vuonna 2008 olivat 30 % ja vuonna 2009 35 %. Tavoitesäästötasot kertovat, että uudisrakentamisessa haluttiin päästä matalaenergiatasolle. Matalaenergiatalo kuluttaa noin 30- 35 % vähemmän lämmitysenergiaa kuin pelkän rakennuslain edellyttämän tason talo. Ympäristöministeriö oli uusimassa rakennusmääräyskokoelman osan C3, rakennuksen lämmöneristys vuonna 2010 ja Oulun rakennusvalvonta ryhtyi valmistautumaan uusiutuviin määräyksiin. Lämmöneristysmääräyksiä kiristettiin noin 35 % vuoden 2008 tasoon nähden. Vuonna 2009 Oulun rakennusvalvonta asetti tavoitteen rakentamisen tuotannolle siten, että tehdään pääosin matalaenergiataloja ja passiivitaloja koerakentajille. Lisäkorostusta vuoden 2009 alusta annettiin kosteus- ja lämpötekniikan suunnittelulle, rakentamisaikaisen kosteuden hal-

linnalle, vaipan tiiveydelle ja soveltuville rakennetyypeille. Oulun rakennusvalvonta on saanut laadunohjauksen tuloksena mittavia lämmitysenergian- ja hiilidioksiidipäästösäästöjä Oulun kaupungille. [1]

2.2 Joensuun rakennusvalvonnan tavoitteet laadunohjauksessa

Joensuun rakennusvalvonnan tavoite on tuoda tiedoksi jo suunnitteluvaiheessa hankkeeseen ryhtyvälle kaikki mahdolliset vaihtoehdot hankkeen laatuun liittyvissä valinnoissa. Ohjausta annetaan myös onnistuneeseen ja energiatehokkaaseen hankkeen suorittamiseen. Suunnittelulla, oikeilla valinnoilla ja huolellisella rakentamisella on merkittävä vaikutus talon energiatehokkuuteen, asumiskustannuksiin ja käyttömukavuuteen. Mallia Joensuun rakennusvalvonta on saanut Oulusta, jossa ennakoivalla laadunohjauksella on päästy hyviin tuloksiin.

Rakennusvalvonnan päätavoite laadunohjauksessa on, että rakennus täyttäisi matalaenergiatason. Matalaenergiatalo alittaa rakennusmääräyksien asettamat vertailuarvot, joten rakentajaa halutaan ohjeistaa valitsemaan hyvät suunnittelijat ja panostamaan työn suorittamisen laatuun. Lisäksi lupavaiheessa Joensuun rakennusvalvonta haluaa ilmatiiveysmittauksen lupaehdoksi. Ilmatiiveysmittaus on suoritettava ennen pinnoitustöitä ja kun kaikki läpiviennit on tehty. Toimenpiteellä saadaan selkeä kuva talon tiiveyden toimivuudesta. Matalaenergiatalolle hyvän ilmatiiveyden saavuttaminen on tärkein ehto. Rakennusvalvonnan tavoite uudisrakentamisessa on saada ohjattua 60 % pientaloista matalaenergiataloiksi. Joensuun rakennusvalvonta pitää myös rakentajailtoja, joissa jaetaan tietoa korjausrakentamisesta, energiatehokkuudesta ja asioista, jotka on otettava huomioon kestävä ja energiatehokasta taloa rakentaessa. Kutsu rakentamisiltoihin ja laadunohjausiltoihin lähetetään Joensuun kaupungin tonttien luovutuksen yhteydessä rakentamiseen ryhtyvälle. Rakentajailtatoiminnalla parannetaan rakentajan tietoisuutta. [2]

2.3 Matalaenergiatalo

Energiatehokkaan talon rakentaminen ei ole kustannuksiltaan merkittävästi suurempi kuin tavallinenkaan pientalo. Kuten luvussa 2.2 käy ilmi, yksi päätavoitteista ennakoivassa laadunohjauksessa Joensuun rakennusvalvonnalla on energiatehokas matalaenergiatalo. Tekninen toteuttaminen matalaenergiatalolle ei ole hankalaa, koska käytetään jo olemassa olevia hyviä ratkaisuja. Tärkeää matalaenergiatalon hankkeessa on hyvä suun-

nittelu, laadukas tekniikka ja toteutus ja rakenneratkaisut. Myös laadukkaisiin rakennusmateriaaleihin kannattaa panostaa. [3]

Alhaisen lämmitysenergiantarpeen matalaenergiatalossa takaavat ulkovaipan hyvä lämmöneristävyys ja ilmanpitävyys. On ehdotonta, että lämpöenergiaa otetaan talteen ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteella. Energian tuotossa otetaan huomioon energiatehokkaita ratkaisuja kuten maalämpöpumppu. Maalämpöä voidaan käyttää lämmityksessä ja jäädytyksessä. Rakennuksen käytössä otetaan huomioon sopivan sisälämpötilan säätö ja sisälämpötilan pitäminen tasaisena. Lämpimän veden käyttö on muistettava pitää kohtuullisena ja katsoa, että lämmityskaudella tuuletus tapahtuu ensisijaisesti koneellisen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kautta.

Matalaenergiatalon kuuluu alittaa vuoden 2010 C3:n rakentamismääräyskokoelman lämpöhäviöiden vertailuarvot. Matalaenergiatalo kuluttaa enintään 85 % rakennusmääräyskokoelman määrittämistä lämpöhäviöistä. Matalaenergiatalon lämmitysenergian kulutus on Etelä-Suomessa 60 kWh/brm² vuodessa ja 90 kWh/brm² Pohjois-Suomessa vuodessa. [3]

Ennakoivassa laadunohjauksessa täytyy ohjata rakennushankkeeseen ryhtyvää alittamaan rakennuslainsäädännön asettamat vertailuarvot. Tätä kautta päästään rakennushankkeessa energiatehokkuuteen ja energiansäästöön. Parhaiten matalaenergiatalon määrittämiseen päästään vertaamalla sitä ns. normitaloon, jonka suunnittelu- ja toteutusarvot täyttävät vain C3 rakennusmääräyskokoelman minimiarvot. Taulukossa 1 esitetään vertailu normitalon ja matalaenergiatalon välillä. Taulukossa vertaillaan vaipan lämmönjohtavuutta, ilmanpitävyyttä ja oikean ilmanvaihtokoneen mitoittamista.

Taulukko 1. Normitalon ja matalaenergiatalon suunnittelu- ja toteutusarvojen vertailu [4, s.35]

Tekninen tekijä	RakMK C3 -määräys	Matalaenergiarakennus
U-arvot, W/m ² K		
Alapohja maanvastainen	0,16	0,12
Alapohja ryömintätilaan	0,17	0,10
Alapohja ulkotilaan	0,09	0,09
Ulkoseinä	0,17	0,14
Yläpohja	0,09	0,08
Ikkunat	1,0	0,9
Ovet	1,0	0,6
Vaipan ilmanvuotoluku n ₅₀ ,1/h	< 2,0	< 0,8
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde %	45	> 65
Ilmanvaihdon ominaissähköteho, KW/(m ³ /s)	< 2,5	< 2,0

2.4 Laadunohjausprosessi

Rakennusmääräysten vähimmäistasot eivät ohjaa rakennushanketta optimaaliseen energiatehokkuuteen. Rakennusvalvonnalla on hyvä mahdollisuus ohjeistaa lupavaiheessa olevaa rakentajaa energiatehokkuudessa ja teknisessä laadussa. Ohjausprosessin tavoite on, että rakennuttajat tekevät vapaaehtoisesti laadukkaampia valintoja rakentaessaan ja tulevat laatutietoisemmiksi. Kohderyhmänä ennakoivalle laadunohjaukselle on pienrakennuttajaperheet, suunnittelijat, vastaavat työnjohtajat, talotoimittajat ja urakoitsijat. Laadunohjaus tapahtuu laadunohjausilloissa, joissa asiantuntijat antavat ohjeistusta ja neuvoa taloteknisissä asioissa.

Perinteisesti pientalohankkeessa pääpaino on ollut hankkeen kustannuksissa eikä hankkeessa ole huomioitu kunnossapito- ja energiakustannuksia. Laadunohjauksella annetaan rakennushankkeeseen ryhtyvälle elinkaarikustannusajattelua, jossa optimoidaan hankkeen investointikulut sekä kunnossapito- ja energiakustannukset. Ohjausprosessilla voidaan näin saada hankkeelle lisäarvoa, koska rakennuksen tekninen laatu paranee. Teknisessä laadussa energiatehokkuuden lisäksi painotetaan ympäristöystävällisyyttä, kosteuden kestävyyttä ja hyvää sisäilmastoa. Onnistunut laadunohjaus vaatii rakennusvalvonnalta hyviä perusteluja suosituksilleen rakennushankkeeseen, koska valinta jää rakennushankkeeseen ryhtyvälle vapaaehtoiseksi. Pientalorakentajan kannattaa hakeutua laadunohjausprosessiin mahdollisimman nopeasti, eli heti tontin saamisen jälkeen. Rakentajan on myös hyvä muistaa olla maltillinen valintoja tehdessä, sillä rakennusluvan myöntämisen jälkeen muutoksien ja korjauksien teko on vaikeaa. [5]

2.5 Ennakoivan laadunohjauksen keskeiset asiat

Tässä luvussa käydään läpi keskeisiä asioita, joita on esillä laadunohjausillassa. Laadunohjausillassa rakentajalle neuvotaan energiatehokkuutta ja taloteknisiä ratkaisuja. Energianeuvonnan ja teknisten ratkaisujen lisäksi rakennusvalvonta esittää omia tavoitteita laadunohjauksen suhteen ja mihin laadunohjauksella pyritään. Laadunohjausillassa käydään myös läpi ohjausprosessissa käytettäviä työkaluja kuten Energiajuniori-ohjelma ja laatukortit. [5]

Muuttuvat energiamääräykset ja energiatehokkuus asettavat haasteita rakennusalalle. Matalaenergiarakentaminen näkyy myös talojen arkkitehtuurissa kun otetaan huomioon rakennusten ikkunoiden suuntaaminen ja aurinkoenergian hyödyntäminen. Matalaenergiataso ei rajoita rakennushankkeessa käytettyjä rakennusmateriaaleja, vaan matalaenergiatalo voidaan rakentaa kaiken tyyppisistä materiaaleista. Keinot, joilla energiansästöä saadaan aikaiseksi, ovat jo käytössä olevia ratkaisuja ja eivätkä vaadi uudenlaisia arkkitehtuuria. Säästöä energiankulutukseen saadaan toteutettua neljällä eri keinolla, jotka ovat

- lämmöneristeen lisääminen
- entistä parempien ikkunoiden käyttö
- tiiviimpi ulkovaippa
- tehokkaampi lämmöntalteenotto poistoilmasta.

Suunnitteluohjeina energiatehokkaaseen taloon on noudattaa tehottomien hukkatilojen poistoa, yksinkertaista muotoa, ja auringolta suojaamista jäähdyttämisen kannalta. Samat rakennustilat kannattaisi suunnitella mahdollisimman pienemmiksi, jolloin on vähemmän lämmitettävää aluetta ja myös investointikulut vähentyvät. Talon muodon suunnittelussa voidaan huomioida rakenteiden massiivisuuskin. Kun rakennuksen vaiipan muodostavat rakenteet tehdään massiiviseksi kevytrakenteisten sijaan, saadaan aikaan energiansästöä jopa 20 %. Energiansäästötoimenpiteillä tehty matalaenergiatalo kuluttaa noin 35 % vähemmän lämpöenergiaa vuodessa, kuin normitalo. Matalaenergiatalossa tilojen lämmitystarve jää paljon alhaisemmaksi kuin normitalossa. Yksi syy tähän on, että matalaenergiatalo pystyy paremmin hyödyntämään sisäisiä lämpökuormia. Ikkunoiden suuntaamisella ja koolla ei ole suurta merkitystä matalaenergiatalon energiankulutukseen, koska matalaenergiatalo tarvitsee lämmitystä vain kolmena kuu-kautena vuodessa, jolloin aurinko ei merkittävästi paista. Energiatehokkaan talon ikkunoiden hyvä lämmöneristävyys on kuitenkin tärkeää. [6]

Maankäytön suunnittelussa kaavoituksen ja rakennusvalvonnan tulisi toimia yhteistyössä ja tavoitteet suunnittelulle ja lupakäsittelylle tulisi olla yhdensuuntaiset. Maankäyttö- ja rakennuslaki asettaa edelleen samoja vaatimuksia kuin antiikin aikana: utilitas, firmitas, venustas – käyttökelpoisuus, lujuus, kauneus. Tämän päivän lakiin sovitettuna korostetaan enemmänkin rakennuksen kestävästä käyttökelpoisuudesta, huollettavuudesta ja korjattavuudesta. Rakennuksen kelvollisuus ympäristöön ja kaavoitukseen sekä kauneuden ja

sopusuhtaisuuden asettamat ehdot ovat haastavia. Esteettisiä asioita on vaikea määrittää, mutta yhteisymmärrys ja tavoitteet saada ympäristö pitkäkestoiseksi ja kestäväksi antavat apua määrittämisessä. Maankäytön- ja rakennuslain yleinen tavoite on ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävä alueiden käyttö ja rakentaminen. [6, s. 6]

Asemakaavan tavoitteena on turvallisen, terveellisen ja viihtyisän ympäristön luominen. Kaavoittajan kannattaa asemakaavaa laatiessaan käyttää rakennustarkastajalta saatavaa tietoa viimeaikaisten rakennuslupien yhteydessä esille tulleista ongelmista. Ongelmat tulisi ratkaista kaavalla siten, ettei tulkinnanvaraisuutta tulisi. Kaavoittajan ja rakennustarkastajan on päätettävä mitkä asiat päätetään kaavalla pitävästi ja mitkä voidaan ratkaista rakennusvalvonnan ohjauksella lupavaiheessa. Rakennusvalvonnan ja kaavoituksen on oltava myös selvillä muoti-ilmiöistä uudisrakentamisessa, jotta rakentamista voi ohjata oikeaan suuntaan ja välttää huonoja ratkaisuja. Rakennushankkeeseen ryhtyvää on pyrittävä neuvomaan hankkeen suunnittelun käynnistyessä ja tämä edesauttaa myös luvan käsittelyä. Viranomaisohjaus onnistuu tehokkaimmin kun päästään ohjaamaan kokonaisen alueen rakennusten suunnittelua, kuten kunnan luovuttamien tonttien tontti-alueilla. Tällöin voidaan sopeuttaa naapureiden hankkeita toisiinsa, jolloin katumaisen kokonaisuuteen pystytään hyvin vaikuttamaan. [6, s. 8]

Oulun rakennusvalvonta käyttää työkaluna laadunohjauksessa pientalon laadun arviointia. Rakennusvalvonta on keksinyt tähtiluokitusjärjestelmän pientaloihin. Tähtiluokitus arvioi pientalon teknistä laatua. Yksi tähti vastaa energiamääräysten vähimmäistasoa. Maksimitaso tähtiluokitusjärjestelmässä on viisi tähteä. Kolme tähteä kuvaa edullista ja tavoiteltavaa tasoa rakennushankkeessa. Pientalon teknisen laadun arvioinnissa tarkastellaan kohteen kosteudenkestävyyttä, sisäilman laatua, energiankulutusta ja ympäristövaikutuksia. Jokaista teknisen laadun osa-aluetta arvioidaan erikseen ja arvioinnin tulokset pohjautuvat ohjelman esittämiin kysymyksiin. Ohjelma opastaa rakentajaa laatu-tietoisemmaksi ja tekemään parempia valintoja rakennushankkeessa. Arviointia tehdes-sään rakentaja saa tietoa, mitä valintoja täytyy tehdä, jotta talohankkeesta saadaan tekni-sesti kestävä ja energiatehokas [8; 9]

2.6 Ennakoivan laadunohjauksen vaikuttavuus

Panostaminen energianeuvontaan uudisrakentamisessa on kustannustehokkaampaa kuin että panostettaisiin kuluttavien rakennusten energiantuotantoon. Oulun kaupungissa

energianeuvonnalla on saatu hyviä tuloksia ja vuonna 2009 rakennetuissa omakotitaloissa lämmitysenergian säästö oli 37,4 % rakennusmääräyskokoelman minimitasoon verrattuna. Rahallinen panos, jonka Oulun kaupunki on laittanut laadunohjaukseen, on noin 100000 €/ vuosi. Vuonna 2009 laadunohjauksen tulos oli yli 24 miljoonaa euroa säästöä. Tulos on verrattu tavanomaiseen rakentamiseen eli vain määräystason täyttävään uudisrakentamiseen. Säästö tuli vähentyneestä lämmitysenergian kulutuksesta ja päästöistä koituneista säästöistä. Tulos on erittäin merkittävä verrattuna rahallisen panoksen määrään. Päästösäästön määrä on ollut vuosittain noin 5 miljoonan euron luokkaa. Tulokset säästöissä olisivat vain murto-osa ilman laadunohjausta rakennuslupaprosessissa. Oulun rakennusvalvonta on kattanut pienen panostuksen laadunohjaustoiminnalle lupamaksuilla. Ennakoiva laadunohjaus on hyvin kannattavaa ja siitä hyötyy rakennuttaja ja yhteiskunta. Vaikuttavuus laadunohjauksessa ei välttämättä näy heti, vaan se vaatii vuosien työn. Ohjausprosessin jalkautuminen voi viedä hetken ja se vaatii riittävää osaamista ja sitoutumista. [5]

3 Työkaluja ennakoivaan laadunohjaukseen

3.1 Energiajuniori ja energiaselvitys

Päätyökalu matalaenergiatasoon ohjaamisessa on Energiajunioriohjelma, joka laskee erilaisten rakenneratkaisujen, mm. eristepaksuuksien, ikkunoiden ja ovien, ilmanvaihtokoneen ja lämmitysmuodon sekä talon ilmatiiveyden vaikutusta talon energiankulutukseen. Ohjelman avulla saadaan asetettua omalle hankkeelle tavoitteet energiankulutukselle ja keinot millä kulutustasoon päästään. Palvelusta voi myös tulostaa rakennuslupahakemuksen liitteenä tarvittavan energiatodistuksen ja energiaselvityksen. Rakennusvalvonnan tarkoituksena on, että rakennuttaja kiinnittää huomiota energiankulutukseen ja lämmitysmuotojen valintaan suunnittelun alkuvaiheessa. Rakennushankeeseen ryhtyvä ja suunnittelija voivat tehdä yhteistyötä ja edetä ohjelman laskumalleilla energiankulutuksen tavoitteisiin. Suunnittelijan on helppo nähdä Energiajunioriohjelmaan tehdystä tavoiterakennuksesta, millaisia rakenne- ja lämmitysmuotoratkaisuja hankkeessa tullaan tekemään. Kuvassa 1 esitetään Energiajunioriohjelman näkymää. Arvoja syötettäessä tavoitteena on ollut matalaenergiataso. [2]

Rakennuskohde:		Asuntopinta-ala (huoneistoala), as ^m		115,00																																																											
Kohteen katuosoite:		Bruttopinta-ala (lämpimät ja puolilämpimät tilat), br ^m		140,00																																																											
Postinumero: Paikkakunta:		Maanpäällinen kerrostasoala (lämpimät ja puolilämpimät tilat), m ²		130,00																																																											
80100 Joensuu		Rakennustilavuus (lämpimät ja puolilämpimät tilat), r ^m		355,00																																																											
Rakennustyyppi:		Lämmin ilmatilavuus (lämpimät ja puolilämpimät tilat), r ^m		300,00																																																											
Omakotitalo		Asukasmäärä (makuuhuoneiden lukumäärä + 1), hlö		4																																																											
Energiaselvityksen laatija:		Rakennuksen valmistumisvuosi		2011																																																											
Energiaselvityksen tilaaja:		Asuntojen lukumäärä		1																																																											
Rakennustunnus:																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RAKENTEET</th> <th>määrä</th> <th>u-arvo</th> <th>u-arvo</th> <th>IKKUNAT</th> <th>määrä</th> <th>u-arvo</th> <th>u-arvo</th> </tr> <tr> <td></td> <td>m²</td> <td>W/m²K</td> <td>vertailu</td> <td></td> <td>m²</td> <td>W/m²K</td> <td>vertailu</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ulkoseinä</td> <td>90,00</td> <td>0,11</td> <td>0,17</td> <td>Pohjoinen</td> <td>4,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Alapohja</td> <td>115,00</td> <td>0,10</td> <td>0,16</td> <td>Itä</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Yläpohja</td> <td>115,00</td> <td>0,09</td> <td>0,09</td> <td>Etelä</td> <td>8,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Ulko-ovi</td> <td>4,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>Länsi</td> <td>3,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Lisää</td> <td colspan="4">Lisää</td> </tr> </tbody> </table>								RAKENTEET	määrä	u-arvo	u-arvo	IKKUNAT	määrä	u-arvo	u-arvo		m ²	W/m ² K	vertailu		m ²	W/m ² K	vertailu	Ulkoseinä	90,00	0,11	0,17	Pohjoinen	4,00	1,00	1,00	Alapohja	115,00	0,10	0,16	Itä	1,00	1,00	1,00	Yläpohja	115,00	0,09	0,09	Etelä	8,00	1,00	1,00	Ulko-ovi	4,00	1,00	1,00	Länsi	3,00	1,00	1,00	Lisää				Lisää			
RAKENTEET	määrä	u-arvo	u-arvo	IKKUNAT	määrä	u-arvo	u-arvo																																																								
	m ²	W/m ² K	vertailu		m ²	W/m ² K	vertailu																																																								
Ulkoseinä	90,00	0,11	0,17	Pohjoinen	4,00	1,00	1,00																																																								
Alapohja	115,00	0,10	0,16	Itä	1,00	1,00	1,00																																																								
Yläpohja	115,00	0,09	0,09	Etelä	8,00	1,00	1,00																																																								
Ulko-ovi	4,00	1,00	1,00	Länsi	3,00	1,00	1,00																																																								
Lisää				Lisää																																																											
Lämmitysmuoto:		Lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde		1,00																																																											
Sähkölämmitys+ilmalämpöpumppi		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, %		70																																																											
Lämmönjakotapa:		IV-järjestelmän ominaissähköteho SFP, kW/(m ² /s)		1,50																																																											
Sähkölämmityspatterit		Kohteessa mitattu ilmanvuotoluku (n50), 1/h		0,8																																																											
<input checked="" type="checkbox"/> Vedenkulutuksen huoneistokohtainen mittaus ja laskutus <input checked="" type="checkbox"/> Lämmönkehitys sisältää käyttöveden lämmityksen <input type="checkbox"/> Lämpimän käyttöveden kiertajohto <input type="checkbox"/> Kiertojohdton on liitetty märkätilojen lämmityslaitteita <input type="checkbox"/> Jäähdytys otetaan huomioon laskennassa		Rakennuksen ilmanvaihtokerroin, 1/h		0,50																																																											
		Aurinkokeräinten hyötysuhde		0,00																																																											

Kuva 1. Energiajuniorin näkymä pientalokohteen arvoilla [10]

Vuodesta 2008 lähtien rakennuslupaa haettaessa on hakemukseen liitettävä energiaselvitys. Energiaselvityksen määräyksien mukaisuuden osoittaminen onnistuu energiajunioriohjelmalla. Energiaselvityksessä on esitettävä kaikki kuusi asiaa, jotka ovat [11]

1. rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuus
2. ilmanvaihtolaitteen ominaissähköteho
3. rakennuksen lämmitysteho
4. arvio kesäaikaisesta lämpötilasta ja tarvittaessa jäähdytysteho
5. rakennuksen energiankulutus

6. rakennuksen energiakulutus.

3.2 Laatumerkit

Ennakoivassa laadunohjauksessa käytetään perustyökaluna energiajuniori-ohjelmaa, joka tuli esille luvussa 3.1. Energiajunioria käyttäessä voidaan mallia ja tavoitearvoja ottaa laatumerkeistä. Laatumerkeissä on matalaenergia- ja passiivitasoon vaadittavia arvoja, joita rakentaja voi käyttää energiajunioria täyttäessä ja päästä haluttuun tavoite-tasoon. Laatumerkit ovat Oulun kaupungin kehittämiä työkaluja ennakoivan laadunohjauksen avuksi. [12, 13]

Energiakortissa on esillä matalaenergiatason vaatimia arvoja. Energiakortissa on kaksi matalaenergiatasoa ja kortti näyttää prosentuaalisesti kuinka paljon ne alittavat rakennusmääräyskokoelman vaatimustason. Näin ollen tämä ohjaa rakentajaa rakennusvaiheissa, riittävän tiiveyden saavuttamisessa ja ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisessä. Energiakortti ohjaa säästämään tilojen lämmitykseen menevässä energiassa ja kokonaisenergian kulutuksessa. Esillä on myös maininta matalaenergiatason lisäinvestoinnista verrattuna perustasoon ja takaisinmaksuaika vähentyneellä energiakulutuksella. Passiivitasoon vaatimukset ja lisäinvestoinnin määrä verrattuna perustasoon ovat mainittu laatumerkeissä. Näkymä energiakortin ensimmäisestä sivusta on esitetty liitteessä 1.

Tiiveyskortti sisältää tietoa pientalon ilmatiiveydestä ja ilmavuotoluvun vaikutuksesta lämmitysenergiantarpeeseen. Tiiveyskortissa on kyllä- tai ei-kysymyksiä liittyen talon tiivistämismenpiteisiin ja läpivienteihin. Kysymyksiin vastattaessa ilmenee mikä on pientalon mahdollinen ilmanvuotoluku. Matala- ja passiivitasoon tarvitaan kortin mukaisesti jälkimittaus valmistuneesta kohteesta. Tiiveyskortissa on myös esimerkitiivistämismenpiteitä. Tiivistämismenpiteiden ratkaisuja on betoni-, puu-, harkko- ja hirsirunkoiseen kohteeseen. Tiiveyskortti painottaa, että hyvän tiiveyden omaava kohde säästää lämmitysenergiaa ja välttää kosteusriskejä. Tiiveyskortti näytetään liitteessä 2. [12]

3.3 Lämpökuvaus

Lämpökuvaus on hyvä työkalu kuvaamaan uudisrakennuksen onnistuneisuutta. Kohteeseen voidaan tehdä tiiveysmittauksen lisäksi lämpökuvaus. Kohteen puutteet ja poik-

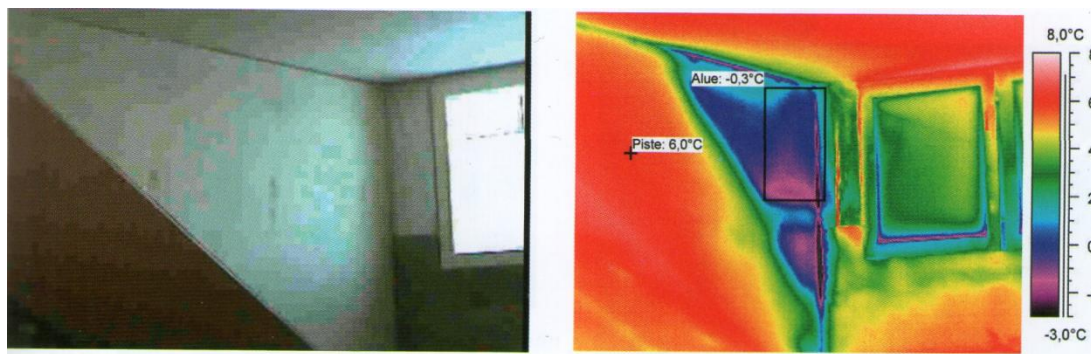
keamat esitetään raportissa lämpökuvina ja ongelmakohdat merkitään pohjapiirustukseen. Lämpökuvauksessa selviää rakennuksesta monta asiaa, kuten

- rakennusten lämpöolosuhteita
- vaipan ilmapitävyys
- rakenteiden lämpötekniinen toimivuus
- viihtyisyys
- talotekniikan puutteet ja viat.

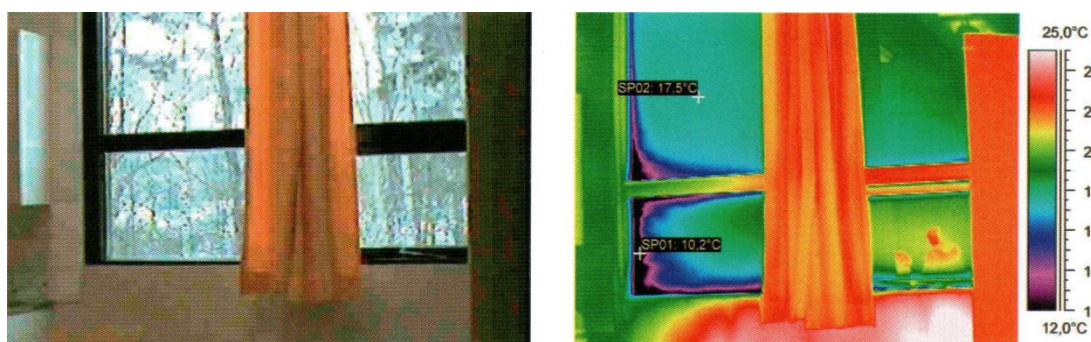
Asunnon energiatehokkuuden toimivuus ei ole paljain silmin nähtävissä rakennuksen pinnoista vaan laadun onnistuminen voidaan varmistaa pintoja rikkomatta ja aukomatta lämpökuvauksella. Lämpökuvauksetkimuksen perusteella voidaan suositella korjaustarve ja korjaustapa. Lämpökamerakuvaus tarvitsee tuekseen kohteen lämpötila- paine- ja kosteusmittaukset. [14, s. 11– 12]

Pintalämpötilojen mittaus perustuu rakennusmateriaalien pintojen lähettämään eli emittoimaan lämpösäteilyyn. Pinnan lähettämän lämpösäteilyn voimakkuus riippuu pintalämpötilasta ja pinnan emissiokertoimesta eli kyvystä lähettää lämpösäteilyä. Lämpökamerat mittaavat kuvatusta pinnasta tulevaa infrapuna-alueen kokonaissäteilyä, johon sisältyy myös pinnasta heijastuva säteily. Kiiltävän ja heijastavan pinnan tarkka lämpösäteily on näin ollen vaikea määrittää, koska lämpösäteilyä tulee muistakin lämmönlähteistä. [14, s. 16]

Rakennus voidaan kuvata sekä sisä- ja ulkopuolelta. Perustapauksessa kohde kuvataan sisäpuolelta. Rakenteet eivät ole koskaan tasalämpöisiä, eivätkä kaikki epäsäännöllisyydet pintalämpötiloissa tarkoita eristeellisiä tai rakenteellisia puutteita ja kuvauksessa on huomioitava rakenteelliset kylmät sillat. Sisäpuolisessa lämpökuvauksessa kuvataan rakennuksen nurkat, katon ja seinän sekä lattian liitokset ja läpiviennit. Rakennevirheet, kuten puutteellinen eristys tai eristevirhe aiheuttaa pintalämpötilojen laskua. Kuvassa 2 havainnollistetaan eristyksen puutetta, jossa puhalluseriste ei ole täyttänyt kattolyhdyn seinää kokonaan. Kuvassa 3 ilmenee ilmapuotoa ikkunasta, jossa on puutteellinen tiivisyys. [14, s.22, 33, 36]



Kuva 2. Eristeputte [14]



Kuva 3. Ilmavuoto [14]

Ilmanvuotoluku, jota käytetään suunnitteluarvona rakennusmääräyskokoelman osan D3 mukaan on 4,0 l/h. Jos rakentaja aikoo käyttää tätä pienempää lukua energialaskennassa, täytyy rakentajan perustella luvun saavutettavuus rakennusvalvonnalle. Tähän käytännössä tarvitaan tiiviysmittausta. Tiiviysmittauksen ohessa ilmavuodot voidaan paikantaa lämpökameralla. Matalaenergiatalon ilmanvuotoluku on alle 0,8 l/h.

Rakennuksen ilmatiiviysmittaus tehdään siten, että rakennuksen ilmanvaihtoa varten tehdyt läpiviennit, tulisijat ja hormit suljetaan tiiviisti teippaamalla. Ovien ja ikkunoiden on oltava suljettu mittauksen ajaksi. Tiiviysmittaus tapahtuu sitä varten tehdyllä paine-koelaitteistolla. Mitattavaan tilaan kuuluvat kaikki lämmitettävät ja jäähdytettävät tilat, joissa on koneellinen ilmanvaihto. Ilmanvuotoluvun mittauksesta tehdään kirjallinen raportti. [15]

3.4 Suunnittelun aikainen ohjaus ja rakentajan polku

Luvan myöntäminen on rakennusvalvonnalle työkalu, jonka avulla asetetaan vaatimukset rakentamiselle. Rakennusvalvonnan tehtävänä on myös huolehtia tarvittavasta rakentamisen yleisestä ohjauksesta. Yksi tärkeistä asioista viranomaisohjauksessa on todeta rakennushankkeeseen ryhtyvälle, että hän kykenee huomioimaan hankkeen vaati-

vuuden ja omaa edellytykset hankkeen toteuttamiseen. Maankäyttö- ja rakennuslaki painottaa pääsuunnittelijan ja muiden suunnittelijoiden pätevyyden täyttämistä. Myös rakennuksen kokonaissuunnittelusta ja laadusta on vastattava pätevän henkilön. Ammat-tiosaamista tarvitaan aina jos tarvitaan rakennuslupaakin. Tontin valintaakin tehdessä täytyy käyttää pätevää henkilöä, jotta haluttu rakennus pystytään tontille toteuttamaan. Yhteistyö rakentajan ja rakennusvalvonnan välille on hyvä syntyä ennen rakennuslupa-hakemusta. Rakennusvalvonta pystyy ohjaamaan rakentajaa suunnittelijoiden valinnas-sa ja kuinka edetä rakennushankkeessa. Rakentajan täytyy saada tietoa suunnittelijoihin koskevista rakentamismääräyskokoelman osan A2 vaatimuksista ja tällöin ottaa ne asiat huomioon suunnittelijaa valittaessa. Kun lupakäsittely on saatu mahdollisimman ennak-kopainotteiseksi vähentää se kompromissien ja muutostöiden määrää luvan käsittelyssä. [16, s. 24- 26]

Rakennushankkeen epäonnistumisen syyt ovat useasti ammattitaidon puutteessa sekä rakennuksen suunnittelussa että toteutuksessa. Myös kiire ja liiallisuuksiin viety sääs-täminen ovat haitallisia asioita rakennushankkeen toteuttamiselle. Rakennusvalvontavi-ranomaisen on velvollinen edistämään laadukasta suunnittelua ja rakentamistapaa. Liian rutiininomainen rakentaminen ja vastaavasti liikanainen luottaminen viranomaisen vel-vollisuuteen korjata virheelliset ratkaisut rakentamisessa voivat johtaa ongelmiin. Vaik-ka suhde rakennusvalvontaan kestää koko rakennuksen toteuttamisen ajan, kaiken tar-kastaminen ja virheratkaisujen löytäminen on viranomaiselle mahdotonta. Laadun var-mistaminen ja virheiden ennalta ehkäisy onnistuu rakennuttajalle parhaiten hyvän pää-suunnittelijan nimeämisellä. Pääsuunnittelijalla täytyy olla resurssit koordinoida ja so-vittaa koko rakennushanke sen laadun ja vaativuuden edellyttämällä tavalla. Rakennus-hankkeen suunnittelu koostuu monista suunnitteluosista, joiden yhteen sovittamiseen tarvitaan pääsuunnittelijalta kiinnostusta ja kokemusta. [16, s. 68- 73]

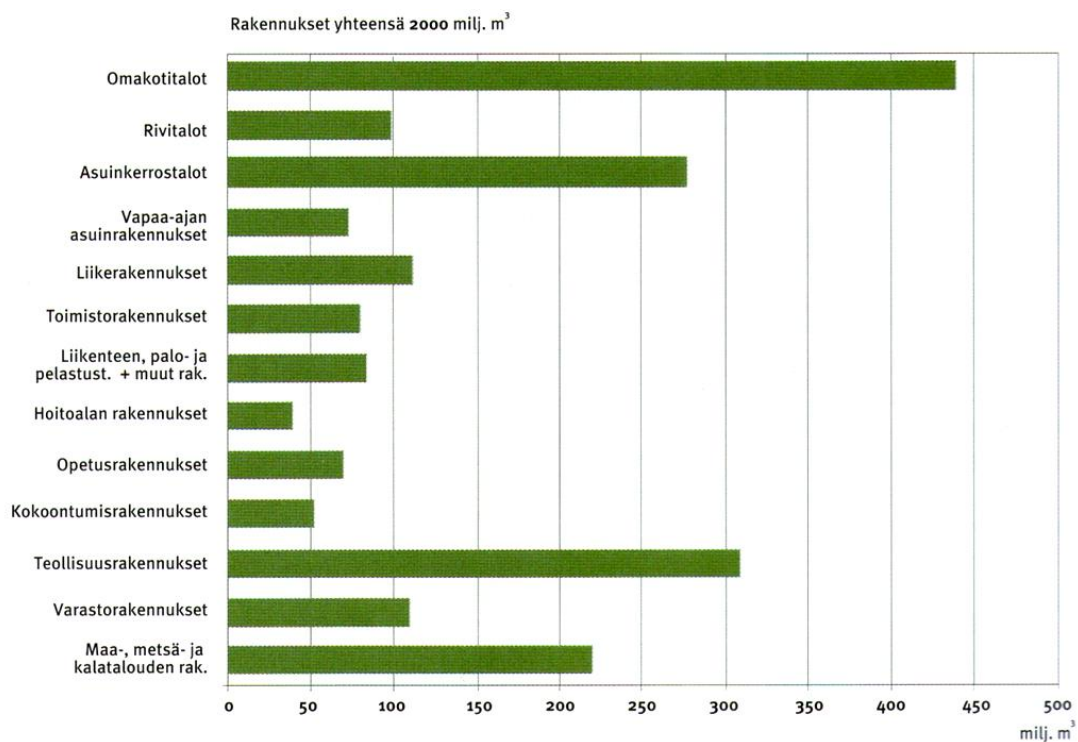
Oulun rakennusvalvonta on kehittänyt Rakentajan polku-nimisen oppaan pientaloraken-tajille. Opas neuvoo mitä rakennushankkeen eri vaiheissa kannattaa tehdä ja missä jär-jestyksessä. Yhteensä Rakentajan polku sisältää kaksitoista vaihetta. Opas alkaa tontin hankinnan neuvonnalla ja etenee aina rakennuksen käyttöönottoon asti. Rakentajan polku selkeyttää rakentajalle rakennuslupahakemuksen kulkua ja viranomaistoimintaa. Opas myös parantaa pientalorakentajan laatutietoisuutta rakennushankkeen valinnoissa. [17]

4 Pientalon energiankulutus

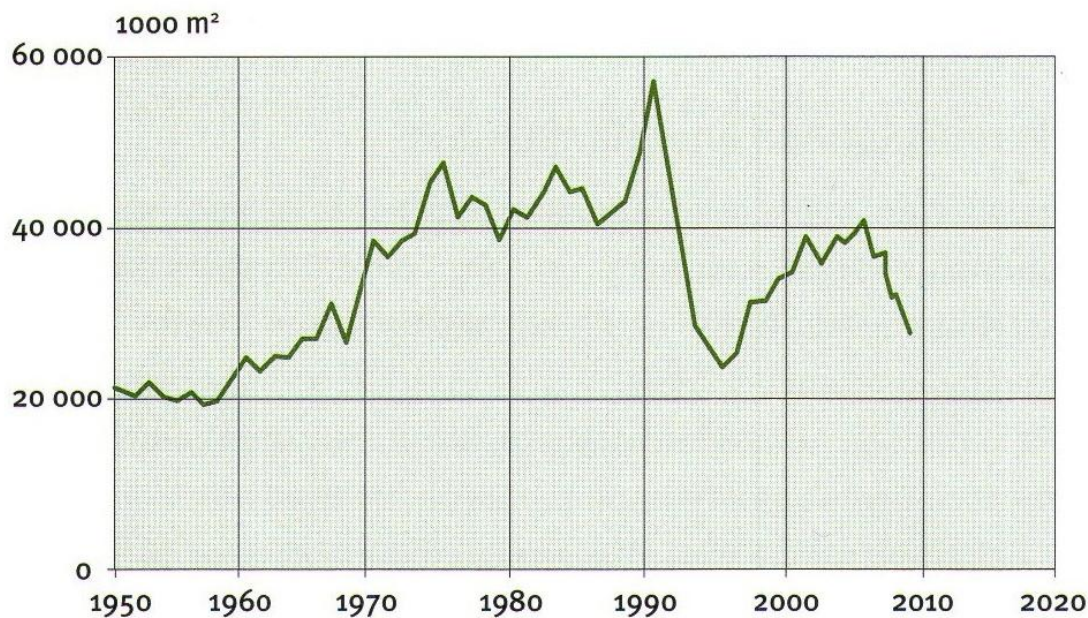
4.1 Suomen rakennuskannan energiankulutus ja lämmönjohtavuus

Tässä luvussa tarkastellaan Suomen rakennuskannan energiankulutusta ja rakennuskannan lämmönjohtavuuden kehitystä. Ennakoivassa laadunohjauksessa on tärkeää tutustua Suomen rakennuskannan energiankulutukseen ja rakennuskannan muotoon. Lämmitysenergian- ja sähköenergiankulutus on muuttunut suuresti vuosikymmenten aikana. Myös uudisrakentamisen määrä on vaihdellut melkoisesti.

Suomen rakennuskannan koko oli vuonna 2010 noin 2000 milj. kuutiometriä ja noin 500 miljoonaa neliometriä. Vuosittain rakennuskannassa tapahtuu noin 1,5-2 %:n kasvu rakennuskantaan nähden ja rakennuksia poistuu käytöstä samaan aikaan noin 1 % verran. Rakennuskannassa tapahtuu täten kasvua 0,5-1 %:n verran vuodessa. Rakennuskannan kasvu on seurausta kaupungistumisesta ja talouksien perheeseen pienenemisestä. Kuviossa 1 havainnollistetaan Suomen rakennuskantaa vuonna 2010. Kuviossa 2 esitetään Suomen uudisrakentamisen määrää aikavälillä 1950- 2010. [4, s. 15]



Kuvio 1. Suomen rakennuskanta vuonna 2010 [4, s. 16]



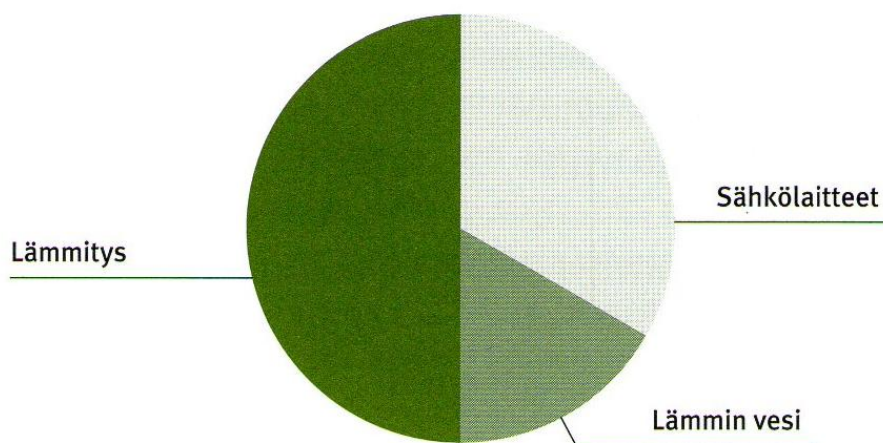
Kuvio 2. Suomen uudisrakentamisen määrä 1950 - 2010 [4, s. 16]

Suomen rakennuskannan energiankulutusta on lisännyt varustetason parantuminen, sähkölaitteiden lisääntyminen ja itse rakennuskannan kasvaminen. Energiansäästötoimia on tosin tehty ja rakennustekniikan kehitys on johtanut lämmitysenergian laskuun 30 % 70-luvun tasoon nähden. Kuviossa 3 esitetään sähköenergian käyttöä ja lämmitysenergian ominaiskulutusta.



Kuvio 3. Sähköenergian käyttö ja lämmitysenergian ominaiskulutus [4, s. 15]

Suomessa rakennuskannan vuotuinen energiankulutus on laskelmien mukaan noin 160 TWh. Rakennustuotannosta ja rakennusmateriaalien valmistuksesta johtuvaa kulutusta on vuosittain noin 20 TWh. Suomessa pientalon energiankulutuksesta noin puolet menee lämmitykseen, kolmannes kodin sähkölaitteisiin ja viidennes veden lämmitykseen, kuten kuvio 4 osoittaa. [4, s. 47]



Kuvio 4. Pientalon energiakulutuksen osatekijät [4, s. 47]

Kuviosta 4 näkee, että lämmitysenergian lisäksi rakennukset kuluttavat myös sähköenergiaa. Lämmitysenergiakin tosin voi olla sähköenergiasta saatua, riippuen lämmitysjärjestelmästä. Suurin osa sähkönkulutuksesta kuluu valaistukseen, ruoan säilytykseen ja valmistukseen sekä pyykin ja astioiden pesuun. Uusien ja vanhojen sähkölaitteiden sähkönkulutusta kannattaa vertailla, koska uudet kodinkoneet kuluttavat jopa kaksi kertaa vähemmän sähköenergiaa. Uusista kodinkoneista tehdään energiatehokkaita ja ympäristöystävällisiä. [4, s. 47]

Pientalon energiamäärästä menee puolet lämmitysenergiaan. On tärkeää estää energiahäviötä, joka johtuu lämpövirtana rakennuksen vaipan kautta. Lämpö virtaa korkeamman lämpötilan alueelta matalammalle lämpötila alueelle. Lämpö siirtyy johtumalla kiinteissä materiaaleissa, joissa lämpö välittyy molekyylien törmäyksien avulla. Konvektiossa lämpö siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Vaipan kautta menevään energiahäviöön vaikuttaa suuresti vaipan rakennusosien lämmöneristävyys. Lämmöneristävyys voidaan määrittää RakMK C4:ssä olevilla laskentaohjeilla. Rakennusosan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo, yksikkö W/m^2K määritetään.

Lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla

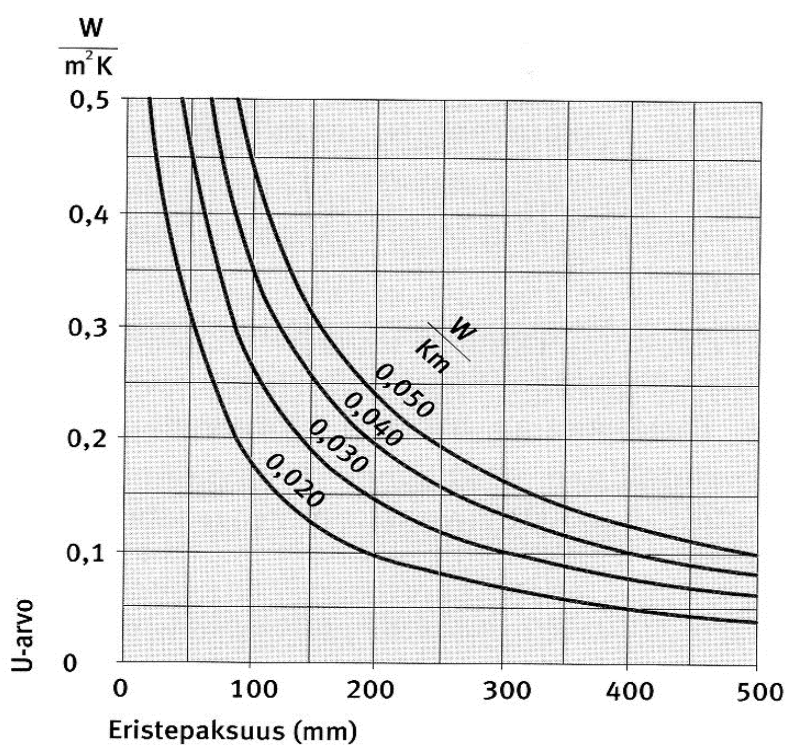
$$U = 1 / R_T \quad (1)$$

jossa

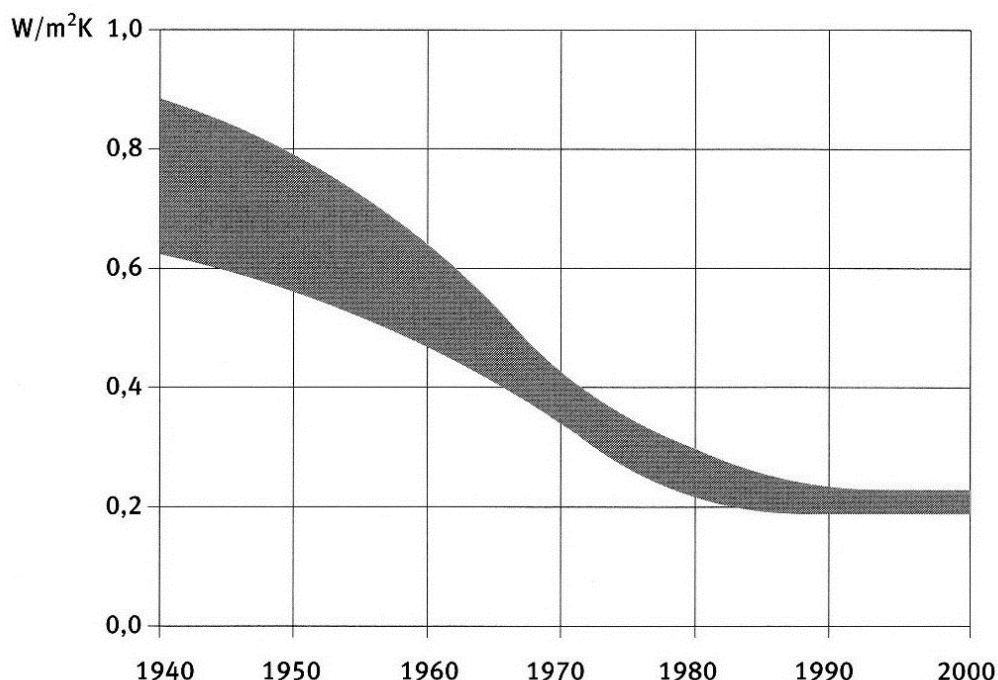
R_T rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön, m^2K/W

R_T kasvaa suuremmaksi eristekerrosten määrän ja paksuuden mukaan. Kaavasta 1 näkee, että kun R_T suurenee, pienenee U-arvo. Mitä alhaisempi U-arvo, sitä paremmin rakennusosa estää lämmönvirtaamista. [4, s. 29; 18, s. 5]

Kuviossa 5 esitetään U-arvon riippuvuutta eristeen paksuudesta. Eristeen paksuuden lisääminen 250mm:n jälkeen ei alenna juurikaan U-arvoa. Kuviossa 6 näytetään ulkoseinän U-arvon kehitystä uudisrakentamisessa.



Kuvio 5. Eristepaksuus ja U-arvo [4, s. 29]



Kuvio 6. Ulkoseinän U-arvon kehitys Suomen uudisrakentamisessa [4, s. 30]

4.2 Rakennuksen ilmanpitävyys

Ilmanpitävyyttä kuvataan ominaisuudella, jolla rakenteet estävät sen läpi meneviä ilmanvirtauksia. Energiatohokkuudessa on tärkeää kiinnittää huomiota rakennuksen ilmanpitävyyteen, koska hallitsemattomat ilmavuodot vaipan läpi aiheuttavat monenlaisia ongelmia, kuten

- energiankulutus lisääntyy
- viihtyisyys huononee
- ilmanvirtaukset ja vetoisuus kasvaa
- paine-erot rakennuksen alueiden välillä suurenee
- kosteuden ilmeneminen ja kerääntyminen rakenteisiin lisääntyy.

Tärkein kokonaistiiveyteen vaikuttava asia on ilmansulku. Ilmansulku on kerros, joka estää rakenteen läpi meneviä ilmanvirtauksia. Tuulensuoja on myös ilmanpitävyyttä parantava materiaalikerros. Ilman- ja höyrinsulku asennetaan lämmöneristyksen sisäpuolelle ja sulun tehtävänä on ehkäistä ilmavuodot ja vesihöyryn pääsy rakenteen sisään. Lämmöneristyksen lämpimällä puolella olevien kerrosten höyrynvastuksen on oltava viisi kertaa suurempi verrattuna rakenteen kylmällä puolella olevaa höyrinsulkua vastaan. Kylmällä puolella olevalla kerroksella tarkoitetaan tuulensuojaa. Jos höyrinsulus-

sa on reikiä, ovat ne erittäin haitallisia, koska kosteutta pääsee liikaa sisäilmasta rakenteisiin ja saattaa tiivistyä vedeksi tai jäätyä vesikatteen, ulkoverhouksen tai tuulensuojalevyn sisäpinnalle. Erittäin pienet reiät höyrynvastuksessa eivät nosta diffuusion kautta tulevaa kosteuden määrää merkittävästi. Diffuusiosta kosteusvirta pyrkii tasoittamaan sisä- ja ulkoilman kosteuseroa. Kosteusvirta etenee vaipparakenteessa menemällä rakennusmateriaalin pinnalta toiselle. [4, s. 31]

Rakennuksen puutteellinen tiiveys vaikuttaa myös suuresti energiankulutukseen. Lämpöenergia karkaa rakennuksen vaipan rei'istä. Kylmää ilmaa tulee myös rakennuksen sisälle paine-erosta johtuen. Jos vuotokohtaa ei tukita, tapahtuu lämmön karkaamista niin pitkään kuin tilaa halutaan lämmittää. Lämpimän ilman poistuminen talosta tapahtuu kolmella eri tavalla: [19, s. 19]

1. Ulkovaipan ilmanvuotokohdista
2. Ulkovaipan läpi johtumalla
3. Ilmanvaihdon kautta

4.3 Rakennusvaipan lämpöhäviö

Rakennusvaipan lämpöhäviössä tarkastellaan rakennuksen rakenteellisia osia, kuten seiniä, ylä- ja alapohjaa, ikkunoita ja ovia. Vaipan lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennuksen sisämittojen pinta-aloja. Rakenteiden läpi virtaa jatkuvasti lämpöenergiaa ulkoilmaan, johtuen sisä- ja ulkolämpötilojen lämpötilaerosta. Vastaavasti kesällä lämpöenergia voi virrata viileämpää sisätilaa kohti. Siirtyvä lämpöenergia on verrannollinen sisä- ja ulkotilan lämpötilaeroon. Tarpeettoman korkea sisälämpötila lisää energiankulutusta siten, että 1 °C asteen nousu aiheuttaa vuodessa 5 % kasvun lämmitysenergian kulutuksessa. Ikkunat ja ovet ovat suurimpia lämpöhäviön kohtia rakennuksen vaippaa tarkastellessa. Käyttäjät pystyvät vaikuttamaan ikkunoiden lämpöhäviöön säätämällä sälekaihtimia ja ikkunaluukkuja lämmityskausina. Verhojen avulla voidaan estää lämmönläpäisyä 30 % 3-lasisen ikkunan läpi. [20, s. 12; 4, s. 52]

On tärkeää, että liiallinen lämmönläpäisy ehkäistään suunnitteluvaiheessa riittävällä eristepaksuudella ja laadukkailla ikkuna- ja oviratkaisuilla, koska lisäeristäminen on kallista ja hankalaa ja vaatii ammattimiehen. Seiniä ei kannata eristää sisältä päin, koska väliseinä katkaisee uuden eristeen ja höyrynsulun ja muodostaa kylmänsillan ja edistää kosteuden tiivistymistä. Ulkoa päin eristäessä täytyy puurunkoisen rakenteen olla sel-

lainen, että se harvenee kerroksesta toiseen ulospäin mentäessä. Uloimmaksi eristekerrokseksi ei kannata laittaa tiiviitä eristelevyjä vaan kosteutta läpäiseviä eristelevyjä. Tuuletusväli täytyy jättää ulkoeristuksen alle. Kun tiiveyttä halutaan parantaa on eristäminen vasta toisena tärkeysjärjestyksessä - ensimmäisenä on ilmapuodot. Ei ole hyötyä lisäeristää, jos ikkunoissa ja ovissa on suuret ilmapuodot ja täten suuremmat energialämpöhäviöt. [19, s. 36- 37]

Rakennuksen vaipan lämpöhäviön määrittäminen aloitetaan laskemalla rakenteiden U-arvot C4 rakentamismääräyskokoelman mukaan ja myös määritetään rakenteiden pinta-alat, joista lämmön virtaaminen tapahtuu. Johtumishäviöt lasketaan D5 rakentamismääräyskokoelman mukaan kaavoilla 2- 4. [21, s. 17]

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkunat}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsiilat}} \quad (2)$$

jossa

Q_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, (kWh)
$Q_{\text{ulkoseinä}} \dots Q_{\text{kylmäsiilat}}$	johtumislämpöhäviöt rakennusosien läpi, (kWh)

Ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien, yläpohjien, alapohjien, ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt lasketaan seuraavasti

$$Q_{\text{rakosa}} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (3)$$

jossa

Q_{rakosa}	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, (kWh)
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, (W/m ² K)
A_i	rakennusosan i pinta-ala, m ²
T_s	sisälämpötila, °C
T_u	ulkolämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla laatumuunnos kilowattitunneiksi

Rakennusosien liitosten aiheuttamien kylmien siltojen lämpöhäviöt lasketaan seuraavasti.

$$Q_{\text{kylmäsiilat}} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (4)$$

jossa

l_k	viivamaisen kylmäsiilan pituus, m
-------	-----------------------------------

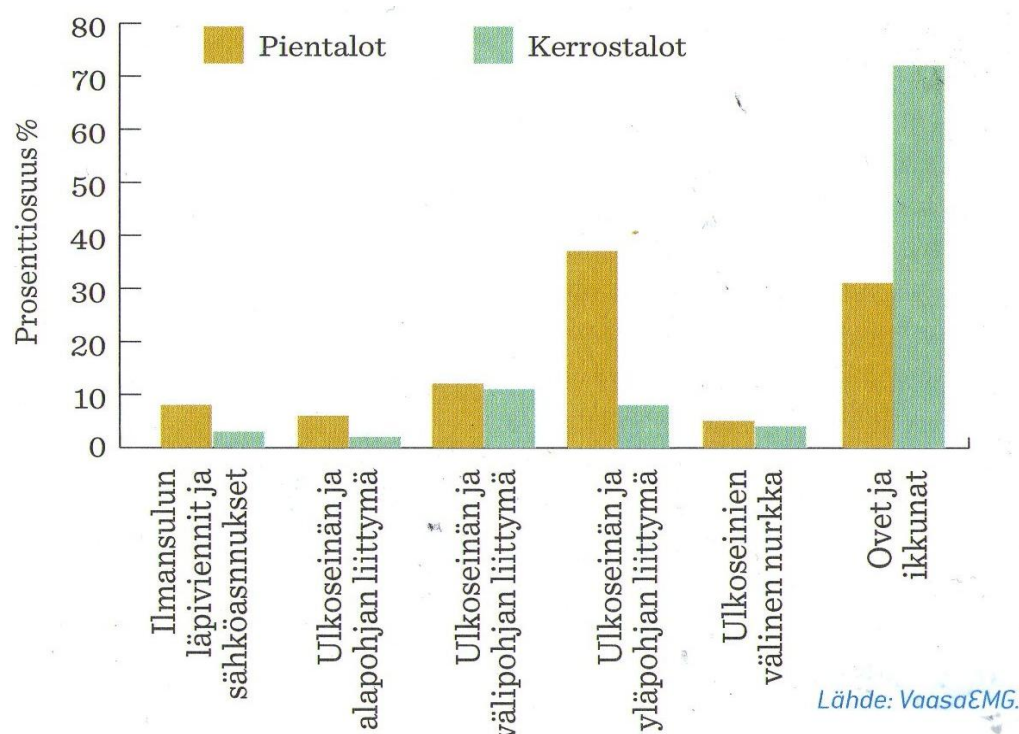
Ψ_k

viivamaisen kylmäsillan lisäkonduktanssi, (W/ m K)

4.4 Ilmanvuoto ja ilmanvuotoluku

Kuten luvussa 2.2 mainitaan, ilmanvuotomittaus tulee olemaan lupaehtona haettaessa rakennuslupaa. Matalaenergiatalossa ilmanvuotoluvun on alitettava 0,8 l/ h vertailuarvon (taulukko 1). Kosteusteknisen turvallisuuden ja energiatehokkuuden kannalta tulisi ilmanvuotoluvun q_{50} olla enintään $1 \text{ m}^3 /(\text{hm}^2)$ (rakennuksen vaipan neliön läpi virtaa yksi kuutio ilmaa tunnissa paine-eron ollessa sisä- ja ulkoilman välillä 50 Pa) [6; 20, s. 14]

Pientaloissa suurimmat ilmanvuotokohdat ovat seinän ja yläpohjan liitoskohdassa ja ovissa ja ikkunoissa. Jos seinän ja yläpohjan liitospaikkaan on jäänyt ilmanvuoto, on tämä hankala tukkia, sen sijaan ikkunoitten ja ovien vuotokohtia on helppo tukkia pellavariiveillä ja liimapaperilla. Rakennusmateriaaleilla ja rakennustavalla ei ole suurta merkitystä ilmanvuotoihin vaan työn laatu ratkaisee. Energiankulutus kasvaa lineaarisesti ilmanvuotojen kasvaessa, mutta hyvä tieto on, että energiakulutus myös vähenee tilkitessä vuotokohtia. Kuviossa 7 esitetään prosenttiosuutta ilmanvuotojen sijaintikohdista. [19, s. 20- 23]



Kuvio 7. Ilmanvuotojen sijainnit omakoti- ja kerrostaloissa [19, s. 23]

Rakenteiden vuotokohtien kautta sisään ja ulos virtaavan ilman lämmittämiseen kuluva energia lasketaan rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan kaavoilla 5-7. [21, s.20-21]

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} q_{\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (5)$$

jossa

$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, (kWh)
ρ_i	ilman tiheys $1,2 \text{ kg/m}^3$
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000Ws/(Kg K)
$q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, m^3/s
T_s	sisälämpötila, $^{\circ}\text{C}$
T_u	ulkolämpötila, $^{\circ}\text{C}$
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla laatumuunnos kilowattitunneiksi

Vuotoilmavirta $q_{\text{vuotoilma}}$ määritetään kaavalla 6

$$q_{\text{vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{\text{vaippa}} \quad (6)$$

jossa

q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, $\text{m}^3 / (\text{h m}^2)$
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m^2
x	kerroin rakennuksen kerroksien mukaan, -
3600	kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä m^3/h yksikköön m^3/s

Rakennuksen ilmavuotoluku q_{50} voidaan laskea ilmavuotoluvusta n_{50} kaavalla 7

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{\text{vaippa}}} V \quad (7)$$

jossa

q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, $\text{m}^3 / (\text{h m}^2)$
n_{50}	rakennuksen ilmavuotoluku 50Pa paine-erolla, $1/\text{h}$
V	rakennuksen tilavuus, m^3
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m^2

4.5 Ilmanvaihto

Energiatohokkuudessa on syytä kiinnittää huomiota pientalon ilmanvaihtoon ja lämmöntalteenottoon ja sen vuosihyötysuhteeseen. Tavoitetasoon, joka oli matalaenergiata-

so, on vaikea päästä ilman koneellista ilmanvaihtoa ja lämmön talteenottoa. Koneellinen ilmanvaihto ja lämmöntalteenotto ovat välttämättömyys uudisrakentamisessa ja energia- tehokkuudessa. Ilmanvaihtoa tarvitaan asuinrakennuksessa kolmesta eri syystä: [2: 19, s. 38]

1. Ilmanvaihto on osa asuinmukavuutta ja se pitää ilman raikkaana eikä ilma pääse tunkkaiseksi ja rupea haisemaan.
2. Ilmanvaihto vähentää asuintilan kosteutta, jota tulee monesta lähteestä, kuten saunomisesta, ruoan laitosta ja pyykin kuivatuksesta. Yksi henkilö tuottaa noin 3-5 litraa vettä vuorokaudessa. Jos kosteus ei pääse poistumaan, alkaa se tunkeutua seiniin ja rakenteisiin aiheuttaen kosteusvaurioita ja mikrobikasvustoa.
3. Ilmanvaihto poistaa myös epäpuhtauksia asuintilan sisällä olevista rakennusmateriaaleista ja sisutuksesta ja huonekaluista. Ilmanvaihto tuo sisälle puhdasta ilmaa ja parantaa mukavuutta. Riittävä ilmanvaihto pitää myös radonkaasun määrää alhaisena.

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve lasketaan rakennusmääräyskokoelma D5:n mukaan kaavalla 8. Jos ilmkäsittelyprosesseihin sisältyy muutakin kuin lämmitystä täytyy energiatarve laskea muulla tavalla. [8, s. 22]

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} ((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t / 1000 \quad (8)$$

jossa

Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kg K)
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
$\Delta T_{puhallin}$	lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h

Mikäli kaavalla 9 laskettu T_{lto} ylittää sisäänpuhalluslämpötilan, lämmöntalteenoton tehoa on säädettävä, ettei sisäänpuhalluslämpötilaa ylitetä. Lämmöntalteenoton jälkeinen kuukauden keskimääräinen tuloilmalämpötila lasketaan D5 rakennusmääräyskokoelman mukaisesti kaavalla 9. [21, s. 22]

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}} \quad (9)$$

jossa

T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
ϕ_{lto}	lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kg K)
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s

Lämmöntalteenotolla talteen otettu teho lasketaan kaavan 10 mukaisesti. [21, s. 23]

$$\phi_{lto} = \eta_{a, ivkone} t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v, poisto} (T_s - T_u) \quad (10)$$

jossa

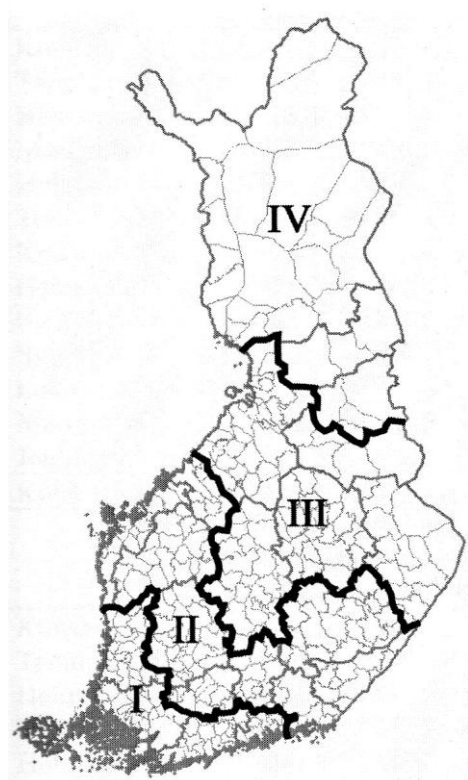
ϕ_{lto}	lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W
$\eta_{a, ivkone}$	ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde, -
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kg K)
$q_{v, poisto}$	poistoilmavirta, m ³ /s
T_s	sisälämpötila, °C
T_u	ulkolämpötila, °C

5 Energiataselaskelma

5.1 Lähtötiedot ja laskentamenetelmä

Energiamääräykset uusiutuvat vuonna 2012 ja uutuutena on E-luku, joka on rakennuksen kokonaisenergiankulutusta vastaava luku. E-luku on määritettävä vastaavaisuudessa, joten sillä on merkitystä rakennusvalvonnan toimintaan ja tämän takia on tärkeää

tutustua uusiutuviin energiamääräyksiin. Luvussa 5 käydään läpi pääpiirteittäin kokonaisenergiankulutusta ja energiataselaskelmaa, perustuen luonnosvaiheessa olevaan D5 rakentamismääräyskokoelmaan ja myös D3 rakentamismääräyskokoelmaan. Kokonaisenergiankulutuksen laskenta aloitetaan säätietojen määrittämisellä. Ulkolämpötila ja auringon säteilyarvot pystypinnoille määrittyvät myös kohteessa käytetyillä säätiedoilla. Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen, kuten kuvassa 2 näkyy. Laskennassa käytetään rakennustyyppin standardikäyttöä vastaavia asetusarvoja huonelämpötilalle ja ilmanvaihdon määriä rakentamismääräyskokoelman D3 mukaisesti. [20, s. 18, 29]



Kuva 2. Säävyöhykkeet [20, s. 29]

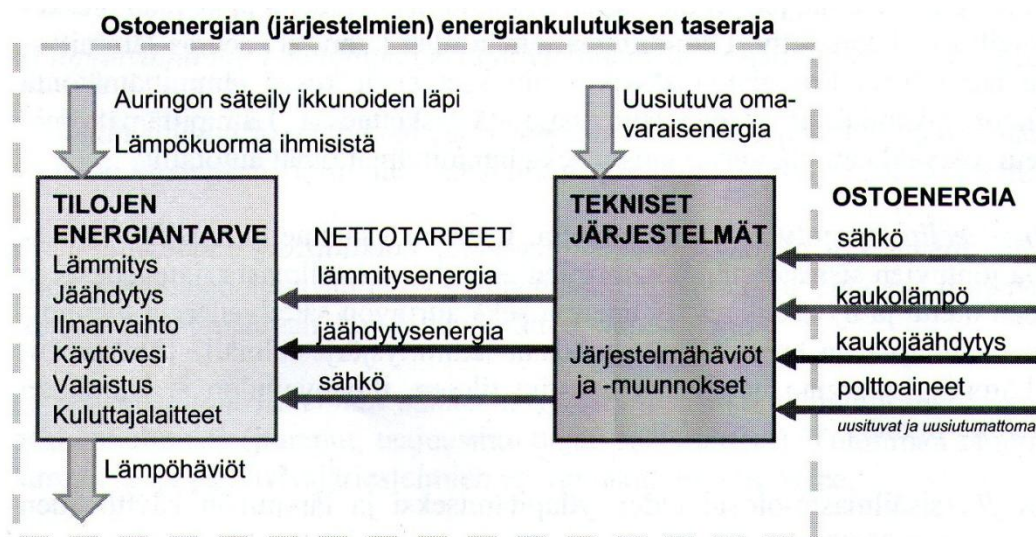
Rakennuksen pinta-alat ja tilavuus pitää selvittää ennen laskentaa. Tiedot löytyvät rakennuksen suunnitelmista. Rakenteiden lämmönjohtavuusarvoja käytetään lämpöhäviöitä laskettaessa. Luvun 4.3 olevissa kaavoissa esiintyi rakennusosan pinta-ala ja lämmönjohtavuus. Pientalon sekä rivi- ja ketjutalon käyttöaika on 24 tuntia vuorokaudessa viikon jokaisena päivänä. Valaistuksen, laitteiden ja ihmisten energialaskennassa käytettävät sisäiset lämpökuormat nettoalaa kohden määräytyvät D3 mukaisesti. [21, s. 12; 20, s. 19]

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi ja mahdollisen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on selvitettävä. Vuosihyötysuhteen arvoa voidaan käyttää kaikkina kuukau-

sina ja erilaisissa lämmityskausissa. Rakenteille täytyy valita ilmanpitävyysluokka. Hyvää ilmapitävyystasoa D5 rakentamismääräyskokoelman mukaan pientalolle on 1,0- 3,0 l/h. Tulo- ja poistoilmavirta ovat laskennassa määräyskokoelma osan D3 mukaan yhtä suuret, joten ulkoilmavirta täytyy määrätä rakennuksen käyttötarkoitukseluokan, D3 mukaisesti. [21, s. 21- 24; 20, s. 18]

Pien-, hirsi- ja ketjutalotyypit eivät tarvitse jäähdytysjärjestelmää rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti. Lämmitysmuodon selvittäminen ja sähköntarve järjestelmien ja jäähdytyksen käyttöön täytyy määrätä rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti. Uusiutuva omavaraisenergia, kuten varaava tulisija otetaan laskennassa huomioon. Omavaraisenergia otetaan huomioon vähennyksenä laskettaessa ostoenergian määrää. Jos rakennuksessa on tulisija, voidaan lämmitettävään tilaan saatavaksi lämmitysenergiaksi laskea enintään 2000 kWh vuodessa tulijaa kohden. [20, s. 10, 24; 21, s. 13]

Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti energiataselaskelma tehdään kuukausitasolla. Energiatasemenetelmässä rakennukseen kuukaudessa tuleva energiamäärä on sama kuin kuukaudessa poistuva energiamäärä. Vuosikulutus on kuukausikulutuksen summa. Rakennuksen energiantarve koostuu tilojen ja ilmanvaihdon lämmitystarpeesta, käyttöveden lämmitystarpeesta, tilojen ja ilmanvaihdon jäähdytystarpeesta sekä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergiantarpeesta. Lämmityksen nettotarve saadaan lämmitysenergiantarpeen, auringon säteilystä saadun energian, lämmöntalteenotosta saadun ja sisäisten lämpökuormien energian vähennyksenä. Kuviossa 8 on esitetty ostoenergian taseraja ja sen muodostuminen nettoenergiatarpeista, järjestelmien kuluksista ja uusiutuvasta omavaraisenergiasta. [21, s. 12, 14]



Kuvio 8. Ostoenergian taseraja [21 s. 14]

5.2 Lämmitysenergian nettotarve ja lämpökuormat

Tässä luvussa tarkastellaan energiataselaskelman vaiheita ja laskuja pääpiirteittäin. Energiataselaskenta aloitetaan lämmitysenergian nettotarpeen määrittämisellä. Lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 10 rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisesti. [21, s. 16]

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

jossa

$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh
Q_{tila}	tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
$Q_{\text{sis.lämpö}}$	lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh

Tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla 12 rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisesti. Kaavassa esiintyvät Q_{joht} ja $Q_{\text{vuotoilma}}$ esitettiin luvuissa 3.2 ja 3.3. Lämmitysenergian tarvetta laskettaessa täytyy määrittää $Q_{\text{iv,tuloilma}}$ ja $Q_{\text{iv,korvausilma}}$ rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan. [21, s. 16, 24- 25]

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

jossa

Q_{tila}	tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh
Q_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman aiheuttama lämpöhäviö, kWh

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

Lämpökuormista tuleva energia, $Q_{sis.lämpö}$ hyödynnetään tilojen lämmityksessä. Lämpökuormien energia lasketaan kaavalla 13 rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisesti. [21, s. 35- 36]

$$Q_{sis.lämpö} = \eta_{lämpö} Q_{lämpökuorma} \quad (13)$$

jossa

$Q_{sis.lämpö}$	lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh
$\eta_{lämpö}$	lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste, -
$Q_{lämpökuorma}$	rakennuksen lämpökuorma eli muun kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh

Hyödyntämisaste $\eta_{lämpö}$ riippuu lämpökuorman ja lämpöhäviön suhteesta sekä aikavakiosta, joka on rakennuksen tilan sisäpuolisen tehollisen lämpökapasiteetin suhde ominaislämpöhäviöön. Rakennuksen eristeen sisäpuolinen lämpökapasiteetti vaikuttaa lämmön varastoitumisen rakenteisiin ja vaikuttaa lämmitys- ja jäähdytysenergian kuluksi. Tehollinen lämpökapasiteetti määräytyy rakennuksen tyyppin ja koon mukaan rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisesti. Aikavakio on riippumaton rakennuksen koosta ja on lämpökapasiteettia kuvaava suure. Rakennusten aikavakioiden suuruusluokka on 1-7 vuorokautta. Lämpökapasiteetti on rakennuksessa vakio, kun taas ominaislämpöhäviöön vaikuttaa tiiveys, ilmanvaihto ja lämmityskausien vaihtelut. [21, s. 35- 37]

Rakennukseen tulee lämpöenergiaa valaistuksesta, sähkölaitteista, ihmisistä ja ikkunoiden kautta tulevasta säteilyenergiasta. Lämpökuormia voi hyödyntää vain silloin, kun on tarvetta lämmitykselle ja säädetään muuta lämmön tuottoa pienemmälle. Rakennuksen lämpökuorma lasketaan kaavalla 14, D5 rakentamismääräyskokoelman mukaisesti. Lämpimän käyttöveden kierron ja lämpimän varastointiveden lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tulevaksi osuudeksi käytetään laskennassa 50 %. [21, s. 35]

$$Q_{lämpökuorma} = Q_{henk} + Q_{säh} + Q_{aur} + Q_{lkv,kierto} + Q_{lkv,varastointi} \quad (14)$$

jossa

$Q_{lämpökuorma}$	rakennuksen lämpökuorma, kWh
-------------------	------------------------------

Q_{henk}	henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{säh}}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma, kWh
Q_{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh
$Q_{\text{lkv,kierto}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tuleva osuus, kWh
$Q_{\text{lkv,varastointi}}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöstä lämpö

Lämpimän veden lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 15. Kylmän veden lämpötilana käytetään 5 °C ja lämpimän veden lämpötilana 55 °C. Lämpimän käyttöveden kulutukseksi voidaan valita rakentamismääräyskokoelman osan D3 esitettyjä arvoja. Muissa tarkasteluissa lämpimän käyttöveden kulutus voidaan määrittää rakentamismääräyskokoelman osan D5 laskumalleilla.

$$Q_{\text{lkv,netto}} = \rho_v c_{pv} V_{\text{lkv}} (T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}}) / 3600 - Q_{\text{lkvLTO}} \quad (15)$$

jossa

$Q_{\text{lkv,netto}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh
ρ_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h
Q_{lkvLTO}	jäteveden lämmöntalteenotolla talteenotettu ja käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty energia, kWh

5.3 Järjestelmien energiankulutus

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeista. Lämpöä varastoidessa, jakaessa ja luovuttaessa tapahtuu lämpöhäviöitä, jotka täytyy ottaa huomioon järjestelmien energiankulutuksessa. Lämpöhäviöt otetaan huomioon rakentamismääräyskokoelma osa D5 esitetyissä järjestelmien energiakulutuksen laskentamenetelmissä. Lämpöhäviö ilmenee järjestelmän hyötysuhteessa, jolla järjestelmä voi varastoida, siirtää tai luovuttaa lämpöenergiaa. Kun tilojen, lämpimän käyttöveden ja ilmanvaihdon energiankulutus lämpöhäviöineen on laskettu, täytyy sen jälkeen laskea lämmitysenergian tuoton hyötysuhteen vaikutus lämmitysjärjestelmän energian kulutukseen. Tilojen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 16. [21, s. 38, 45]

$$Q_{\text{lämmitystilat}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}}{\eta_{\text{lämmitys,tilat}}} + Q_{\text{jakelu,ulos}} - Q_{\text{omavarais,lämmitys,tilat}} \quad (16)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitystilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, joka katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh/a
$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$	laskettavan lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde, -
$Q_{\text{jakelu,ulos}}$	laskettavan lämmön jakelujärjestelmän lämpöhäviö lämmitettävään tilaan, kWh/a
$Q_{\text{omavarais,lämmitys,tilat}}$	mahdollisella uusiutuvan omavaraisenergian tuottojärjestelmällä tuotettu tilojen lämmitysenergia, kWh

Uusiutuvaa omavaraisenergiaa on esimerkiksi aurinkokeräimillä tuotettu lämpö. Uusiutuvat polttoaineet käsitellään osana uusiutuvaa ostoenergiaa. [21, s. 39]

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus muodostuu lämmitysenergian $Q_{\text{lämmitys}}$ ja $W_{\text{lämmitys}}$, jotka molemmat lasketaan erikseen. Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan kaavalla 17 rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti. Jos rakennuksessa on useampia lämmöntuottojärjestelmiä, lasketaan lämmitysenergian kulutus erikseen joka järjestelmälle sen omalla hyötysuhteella ja järjestelmään kohdistuvalla lämmön tarpeella. [21, s. 45]

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{lämmitys,iv}} + Q_{\text{lämmitys,lkv}}}{\eta_{\text{tuotto}}} \quad (17)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh
$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{lämmitys,iv}}$	ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{lämmitys,lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh
η_{tuotto}	lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä

Puhaltimien ja ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutus lasketaan suunnitellun ominaissähkötehon, ilmavirran ja käyntiajan tulona kaavalla 18 rakentamismääräyskokoelma D5 mukaan. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä ominaissähköteho saa olla korkeintaan $2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä $1 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho lasketaan konekohtaisesti kaavalla 19 rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti. [21, s. 53]

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = \sum SFP q_v \Delta t + W_{\text{iv,muut}} \quad (18)$$

jossa

$W_{\text{ilmanvaihto}}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
SFP	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m ³ /s)
q_v	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m ³ /s
Δt	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla, h
$W_{\text{iv, muut}}$	muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus, kWh
$SFP = \frac{P_{\text{puh}}}{q_v} \quad (19)$	

jossa

SFP	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m ³ /s)
P_{puh}	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen sähköteho tehonsäätölaitteeseen, kW
q_v	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m ³ /s

5.4 E-luku

Rakennuksen E-luku eli kokonaisenergiankulutus on laskettava. E-luku on rakennuksen vuotuinen energiakertoimella painotettu kokonaisenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku saadaan, kun lasketaan ostoenergian ja energiamuotojen tulot yhteen. E-luku täytyy määrittää D3 rakentamismääräyskoelman lähtötiedoilla ja E-luku ei saa ylittää rakentamismääräyskoelman osan D3 antamia arvoja. Energiamuotojen kertoimet ovat seuraavat: [20, s. 8- 9]

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

Rakennuksen ostoenergiankulutus lasketaan kaavalla 20. Ostoenergiaa laskettaessa uusiutuva omavaraisenergia on otettava huomioon ja se hyödynnetään kohteen teknisissä järjestelmissä. Rakennuksen kokonaisenergiankulutus E-luku lasketaan kaavalla 25 rakennuksen ostoenergiankulutuksesta energiamuotojen kertoimia käyttäen. $Q_{\text{lämmitys}}$ ja $W_{\text{ilmanvaihto}}$ esitettiin luvussa 4.3. [21, s. 15]

$$E_{osto} = Q_{lämmitys} + W_{lämmitys} + W_{ilmanvaihto} + Q_{jäähdytys} + W_{jäähdytys} + W_{kuluttajalaitteet} + W_{valaistus} - W_{käytetty\ omasähkö} \quad (20)$$

jossa

E_{osto}	rakennuksen ostoenergiankulutus, kWh/(m ² a)
$Q_{lämmitys}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/(m ² a)
$W_{lämmitys}$	lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/(m ² a)
$W_{ilmanvaihto}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/(m ² a)
$Q_{jäähdytys}$	jäähdytysjärjestelmän lämpöenergian (kaukojäähdytyksen) kulutus, kWh/(m ² a)
$W_{jäähdytys}$	jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/(m ² a)
$W_{kuluttajalaitteet}$	kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/(m ² a)
$W_{valaistus}$	valaistusjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/(m ² a)
$W_{käytetty\ omasähkö}$	rakennuksessa käytetty omavaraissähköenergia, kWh/(m ² a)

E-lukua määrittäessä ostoenergia voidaan esittää energiamuodoissa, jota rakennuksessa käytetään. Ostoenergia kerrotaan energiamuotokertoimella kaavassa 21. E-lukua määrittäessä voi käyttää rakentamismääräyskokoelman osan D3 lähtötietojen ja tulosten esittämiseen tehtyjä lomakkeita, jotka ovat esitetty liitteessä 3. [8, s.15; 7, s.33- 34]

$$E = f_{kaukolämpö} Q_{kaukolämpö} + f_{kaukojäähdytys} Q_{kaukojäähdytys} + \sum f_{polttoaine,i} Q_{polttoaine,i} + f_{sähkö} W_{sähkö} \quad (21)$$

jossa

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

6 ENERGIARATKAISUT

6.1 Rakennuksen muoto ja sijoitus

Omakotitalojen koolla on suuri vaikutus sen lämmitysenergian kulutukseen. Pientaloissa vaipan lämpöhäviöt on suhteellisesti suurimmat. Pari- ja rivitaloissa vaipan osuus pienenee, jolloin myös lämmönkulutus vähenee. Toinen tekijä lämmönkulutukseen rakennuksen koon ohella on tilankäytön suunnittelu. Hyödyllisintä on vähentää tarpeettomien lämmitettävien tilojen määrää ilman taloteknisten asioiden liiallista mutkistamista. Tarpeettomat tilat lisäävät vaippapinta-alaa ja lämmitettävää tilavuutta. Pientalon turhaa lämmitettävää tilavuutta lisäävät [4, s. 28]

- suuret käytävät
- avarat portaat
- takkahuoneet
- osa varastoista
- liian korkeat tilat.

Pientalon sijoittamisessa on kolme huomattavaa asiaa, jotka vaikuttavat energiatalouteen. Sijoittamisessa otetaan huomioon aurinkoisuus, tuulisuus ja korkeusasema. Pientalo kannattaa asettaa siten, että valtaosa julkisivuista suunnataan lounasta ja etelää kohti. Näin saadaan valoisuutta ja eniten ilmaisen energiaa auringosta, varsinkin lämmityskauden aikana. Eteläisivustalle tehdään myös piha ja puutarha. Kaavoituksessa on varmistettava, ettei rakennus joudu muiden rakennusten varjostamaksi. Tuulensuojat kannattaa sijoittaa itä- ja pohjoispuolelle rakennusta, josta tuuli yleisimmin puhaltaa Suomessa lämmityskausien aikana. Luontevimmat ratkaisut tuulensuojaukseen ovat tuuliesteet, kuten aidat, katokset ja rakennukset. Puita tuulenesteenä käyttäessä on havupuut istutettava pohjois- ja itäpuolelle ja lehtipuut sijoitettava eteläpuolelle. Jos pientalo rakennetaan rinteeseen, on tuulensuojauksen kannalta edullisinta sijoittaa rakennus etelärinteeseen. Laaksopainanteisiin talon rakentamista tulisi välttää, koska siellä kylmä ilma jäähtyesään painautuu lähemmäksi maan pintaa ja patoutuu esteeseen ja eikä pääse välttämättä rakennuksen yltä poistumaan. [4, s. 115]

Hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi hukkaneliöiden määrää on vältettävä pientalorakentamisessa. Hukkaneliöiden välttäminen tapahtuu mm. massoittelun avulla, joka

tarkoittaa esimerkiksi pitkistä käytävistä luopumista. Liian pientä, alle 80-neliöistä taloa ei kannata rakentaa vaan tilan suunnittelun täytyy pohjautua tontin ominaisuuksiin ja tilan tarpeen mukaan. Pientalon energiataloutta voidaan parantaa sijoittamalla lämmitystä vaativat tilat rakennuksen keskiosaan ja lämmittämättömät tilat erillisiin rakennuksiin tai talon kylmälle sivustalle. Rakennuksen kerrosluvulla ei ole merkittävää energiataloudellista kantavuutta. [4, s. 117]

6.2 Ilmanvaihtojärjestelmä ja lämmöntalteenotto

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä poistaa likaantuneen sisäilman ja suodatettu ja lämmitetty puhdas ilma viedään sisäilmaan. Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä saadaan myös hyöty poistoilman lämmöstä lämmöntalteenottolaitteella. Koneelliset ilmanvaihtojärjestelmät ovat monivaiheisia ja antavat enemmän säästövaraa kuin painovoimalliset järjestelmät. Ilmanvaihtojärjestelmä säädetään ihmismäärän ja kosteuden määrän ja kosteuden syntymisen määrän mukaan, jotta ilmanvaihto on riittävä. Järjestelmän suodattimet on tarkistettava ja vaihdettava kahdesti vuoteen, koska kanavistossa olevat pieneliöt ja pöly aiheuttavat epäpuhtaan ilman. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho on oltava enintään $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. [4, s. 61; 20, s. 15; 19, s. 43]

Lämmöntalteenottolaitteilla saadaan poistoilman lämmöstä energiaa, jota käytetään tuloilman lämmittämiseen. Lämmöntalteenottojärjestelmän mallilla ja vuosihyötysuhteella on vaikutusta energiankulutukseen. Matalaenergiatasossa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen on oltava vähintään 65 %. Rakennuslain asettama alhaisin vuosihyötysuhde on 45 % ilmanvaihdon lämmityksen vaatimasta lämpöenergiasta. Kaikkein tehokkain lämmöntalteenottojärjestelmä on regeneratiivinen eli pyörivä lämmönsiirrin. Tällä järjestelmällä päästään noin 70- 80 %:n vuosihyötysuhteeseen. Laite soveltuu huoneisto-kohtaiseen ilmanvaihtoon, sitä ei suositella keskitettyihin ratkaisuihin ilmavirtojen sekoittumisen riskin takia. Muita energiatehokkaita lämmöntalteenottolaitteita ovat risti- virta- ja vastavirtasiirtimet, joiden vuosihyötysuhde on noin 50- 70 %. Järjestelmässä voi kytkeä kaksi lämmönsiirrinkennoa peräkkäin, jolloin saadaan vuosihyötysuhdetta parannettua. Taulukossa 2 esitetään teoreettisia kustannuksia ja säästöjä mitä LTO- laitteella saa aikaan. [4, s. 43]

Taulukko 2. Suuntaa-antavia tuloksia lämmöntalteenoton kustannuksista ja säästöistä. [19, s. 48]

Talotyyppi	Lämmitys- energian- kulutus kWh/ vuosi (sis. lämmin vesi)	Investointi euroina	Säästö prosentteina energian- kulutuksesta	Säästö euroina vuodessa	Takai- sinmak- suaika vuosina
1980-luvun omakotitalo, 120 m ²	26000	5200	17	530	10
1970-luvun omakotitalo, 100 m ²	26000	5800	7	210	28
1945-1960 rakennettu rintama- miestalo 160 m ²	40000	6600	6	260	26

Oikeanlaisen ilmanvaihtojärjestelmän ja lämmöntalteenottolaitteen mitoittaminen on energiatehokkuuden kannalta edullista. Alitehoiseksi mitoitettu ilmanvaihtokone on normaaliolosuhteissa täysiteholla ja kuluttaa enemmän energiaa kuin riittävän tehokas ilmanvaihtokone. Ilmanvaihtokoneen puhaltimien moottoreiden on toimittava tasavirtatekniikalla vaihtovirtatekniikan sijaan. Ilmanvaihdon on ohjauduttava ilman laadun mukaan ja hyvin valitussa ilmanvaihtolaitteessa on CO₂- ja RH- tunnistimet. Ilmanvaihtokanavissa on vältettävä pitkiä ja mutkaisia vetoja ja kanavien on hyödyllistä olla suuri-kokoisia. Suodattimien vaihto ja huolto kannattaa tehdä ajallaan, ettei äänitaso nouse liian korkealle laitteessa ja sisäilma pysyy puhtaana. Oikeilla valinnoilla ja taitavalla suunnittelulla saadaan pienennettyä ilmanvaihtolaitteen ominaissähkötehoa ja parannettua lämmöntalteenoton hyötysuhdetta. [11]

6.3 Lämmitysjärjestelmien kustannusvertailu

Luvussa 6.3 esitetään lämmitysjärjestelmien kustannusvertailu. Vertailu tehdään pelletin, sähkön ja maalämmityksen kesken. Kustannusvertailun tarkoituksena on selvittää mikä kyseisistä lämmitysjärjestelmistä tulee kannattavimmaksi investoinniksi. Uudistuvat rakennusmääräyskokoelman energiamääräykset puoltavat uusiutuvia energianlähteitä, jotka tässä tapauksessa ovat maalämpö ja pelletti. Yhteisiä alkuarvoja laskennalle on

käytetty vuotuisen lämmitysenergian tarvetta 18000 kWh, vuotuisen poiston laskentakorkoa (i) 4 %, pelletin hinta 0,04 €/kWh ja sähkön hinta 0,11 €/kWh. Muuttuvien ja kiinteiden kulujen tuloksia laskettaessa on otettu huomioon energiaratkaisun alkuinvestointi, tekninen käyttöikä, varaosien vuotuinen hinta hankintahintaan verrattuna ja järjestelmän hyötysuhde. Taulukossa 3 on esitetty kaikki muut arvot, joita laskennassa käytetään. [22]

Taulukko 3. Laskennan alkuarvot. [22]

Sähkölämmitys	H [€]	4000	alkuinvestointi
	Tekn. ikä [a]	18	tekninen käyttöikä
	Varaosat [%]	0,3	varaosien vuotuinen osuus alkuinvestoinnista
Maalämpöpumppu	H [€]	11000	alkuinvestointi
	Tekn. ikä [a]	22	tekninen käyttöikä
	Varaosat [%]	0,8	varaosien vuotuinen osuus alkuinvestoinnista
	COP	3,1	Maalämpöpumpun hyötysuhde/ lämpökerroin
Pellettikattila	H [€]	10000	alkuinvestointi
	Tekn. ikä [a]	23	tekninen käyttöikä
	Varaosat [%]	0,9	varaosien vuotuinen osuus alkuinvestoinnista
	η [%]	89	pellettikattilan hyötysuhde
	q_i, pelletti [kWh/kg]	4,7	Pelletin lämpöarvo
	pelletti [€/t]	180	Pelletin hinta

Seuraavaksi määritetään energiaratkaisujen kiinteitä kustannuksia. Taulukon 4 tulokset on saatu seuraavia laskentakaavoja käyttäen. Vuotuinen annuiteettipoisto lasketaan kaavalla 22. Varaosien ja huollon osuus vuodessa määritetään kaavalla 23. Vuotuiset kiinteät kustannukset lasketaan kaavalla 24. Kiinteät kulut yhteensä koko käyttöiän ajalta lasketaan kaavalla 25. [22]

$$k = i(1+i)^n / (1+i)^n - 1 * H \quad (22)$$

jossa

k	Vuotuinen annuiteetti poisto
i	laskenta korko
n	tekninen käyttöikä
H	investointi ja asennus

$$\text{varaosat/huolto } [\text{€/a}] = \text{varaosat}/100 * H \quad (23)$$

$$\text{Yhteensä } [\text{€/a}] = \text{varaosat/huolto } \text{€/a} + k \quad (24)$$

$$\text{Yhteensä maksetaan } [\text{€}] = \text{€/a} * \text{lainan pitoaika} \quad (25)$$

Taulukko 4. Kiinteät kustannukset. [22]

kiinteät kustannukset	Sähkö	Maalämpöpumppu	Pellettikattila
investoinnit ja asennus [€]	4000	11000	10000
vuotuinen poisto, annuiteetti [€/a]	315,97	761,19	673,09
varaosat/huolto [€/a]	12	88	90
yhteensä [€/a]	327,97	849,19	763,09
yhteensä maksetaan €	5 903,52	18 682,11	17 551,08

Taulukossa 5 näytetään muuttuvien kustannuksien muodostuminen lämmitysjärjestelmille. Sähköenergian hankintakulut vuodessa lasketaan kaavalla 26 ja maalämpöpumpun sähköenergian tarve kaavalla 27. Pellettien lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla 28 ja pellettien määrän tarve vuodessa määritetään kaavalla 29. Pelletteihin menevä kulu vuodessa saadaan kaavalla 30. [22]

$$\text{Sähköenergian hankinta } [\text{€/a}] = \text{sähköenergian tarve} * \text{sähkön hinta} \quad (26)$$

$$\text{Sähköenergian tarve maalämpö } [\text{kWh /a}] = E * COP \quad (27)$$

$$\text{Pellettien tarve } [\text{kWh /a}] = E / \eta \quad (28)$$

$$\text{Pellettien tarve } [\text{t/a}] = \text{pellettien tarve} / q_i, \text{pelletti} \quad (29)$$

$$\text{Pellettien kustannus } [\text{€/a}] = \text{pellettien tarve } [\text{t/a}] / \text{Pelletin hinta} \quad (30)$$

Taulukko 5. Muuttuvat kustannukset.

muuttuvat kustannukset	Sähkö	Maalämpöpumppu	Pellettikattila
sähköenergian tarve [kWh/a]	18000	5806,45	0
sähköenergian hankinta [€/a]	1980	638,71	0
pellettien tarve [kWh/a]	0	0	20224,72
pellettien tarve [t/a]			4,303
pellettien kustannus [€/a]			774,56
yhteensä [€/a]	1 980,00	638,71	774,56

$$\text{Lämmön kiinteät kustannukset } [\text{€/kWh}] = \text{kiinteät yhteensä } [\text{€/a}]/E \quad (31)$$

$$\text{Lämmön muuttuvat kustannukset } [\text{€/kWh}] = \text{muuttuvat yhteensä } [\text{€/a}]/E \quad (32)$$

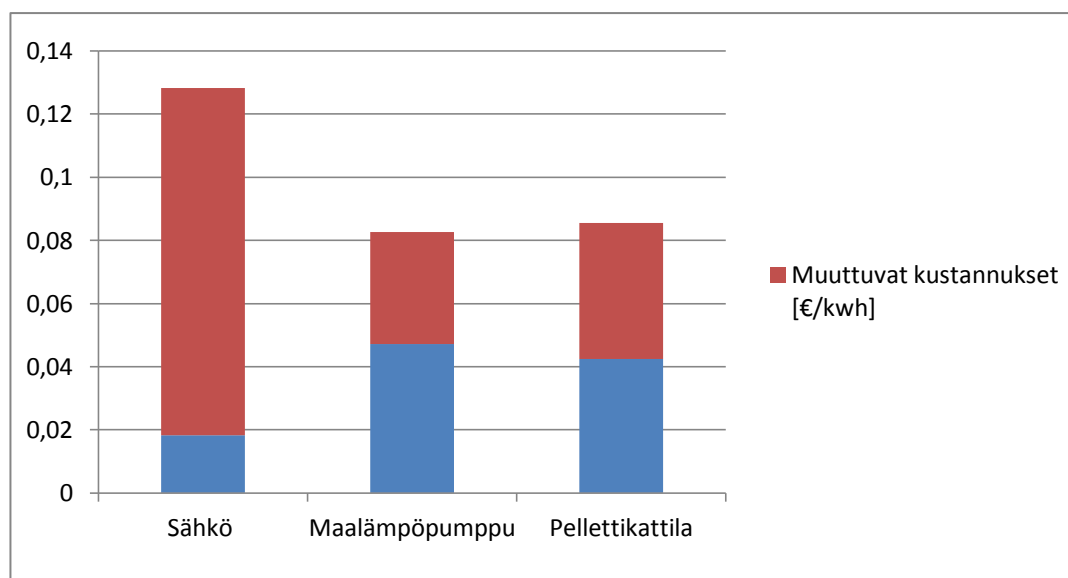
$$\text{Lämpöenergian kokonaishinta } [\text{€/kWh}] = \text{kiinteät kustannukset} + \text{muuttuvat kustannukset } [\text{€/kWh}] \quad (33)$$

$$\text{Lämmitysratkaisun kokonaishinta } [\text{€/a}] = \text{kiinteät kustannukset}[\text{€/a}] + \text{muuttuvat kustannukset}[\text{€/a}] \quad (34)$$

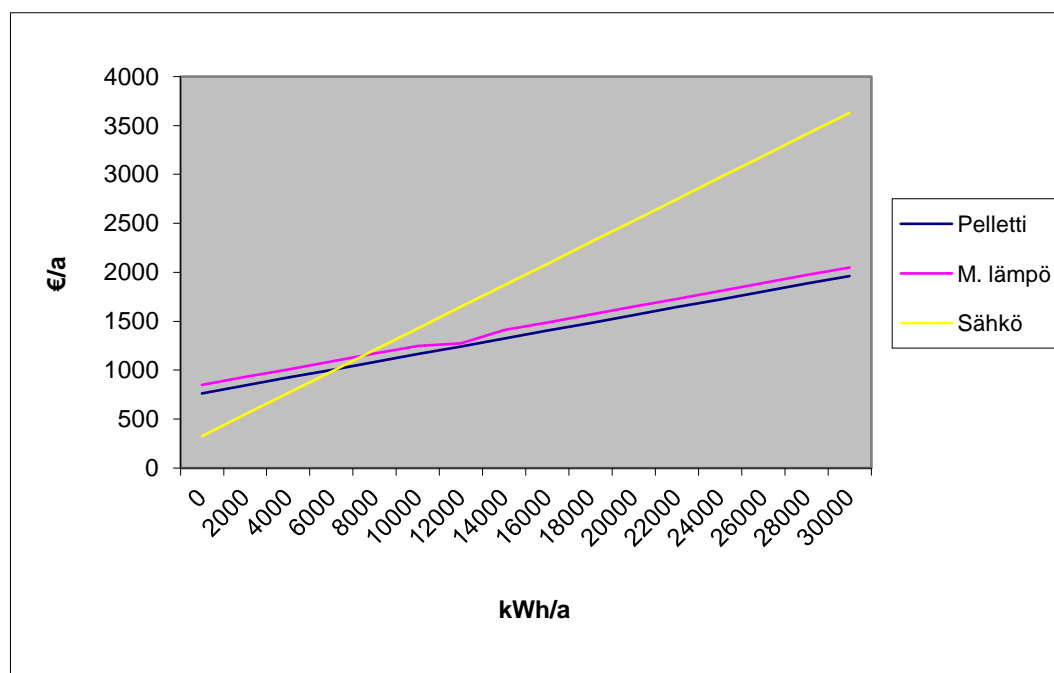
TAULUKKO 6. Kokonaiskustannukset

kokonaiskustannukset	Sähkö	Maalämpöpumppu	Pellettikattila
lämmön kiinteät kustannukset [€/kWh]	0,0182	0,0472	0,0424
lämmön muuttuvat kustannukset [€/kWh]	0,11	0,0355	0,0430
lämpöenergian kokonaishinta [€/kWh]	0,13	0,08	0,09
lämmitysratkaisun kokonaishinta [€/a]	2 307,97	1 487,90	1 537,65

Kokonaiskustannukset ovat suurimmat sähkölämmitysjärjestelmällä, johtuen suurista muuttuvista kustannuksista verrattuna maalämpöpumppuun ja pellettilämmitysjärjestelmään. Kuviossa 9 havainnollistetaan pylväsdiagrammina muuttuvien ja kiinteiden kustannuksien osaa kilowattitunnin kokonaishinnasta. Kuvio 10 on kustannuskuvaaja, kun kiinteät kustannukset ovat vakio ja muuttuvat kustannukset vastaavat laskennassa käytettyjä arvoja. Kuvioista 10 on nähtävissä, että mitä suuremmaksi lämmitystarve kasvaa sitä edullisemmaksi maalämpö ja pelletti tulevat sähköön nähden. [22]



Kuvio 9. Muuttuvat ja kiinteät kustannukset



Kuvio 10. Kustannuskuvaaja

7 Tulokset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ennakoivan laadunohjauksen ajatusmallia ja energiatehokkuutta pientaloissa. Tavoitteena oli myös tutkia onko laadunohjaus kannattavaa ja hyödyllistä. Tutkielmani osoittaa, että laadunohjausprosessi on hyödyllistä Joensuun rakennusvalvonnalle ja rakennushankkeeseen ryhtyvälle. Tavoitteeni energiatehokkuuden selvittämisessä tuli täytettyä. Opinnäytetyöstäni ilmenee mihin asioihin täytyy kiinnittää huomiota, kun rakennushankkeeseen ryhtyvä haluaa energiatehokkaan pientalon.

Ennakoiva laadunohjaus on toiminut hyvin Oulun kaupungin rakennusvalvonnassa. Laadunohjaus vaatii aktiivisuutta rakennusvalvonnalta ja pientä rahallista lisäpanostusta, mutta laadunohjauksen käyttöönotto on erittäin kannattavaa. Prosessin tarkoitus on saada rakentaja laatutietoiseksi ja saavuttaa energian säästöä. Oulun kaupungin antamat laskelmat tuloksista viittaavat onnistuneeseen ajatusmalliin. Joensuun rakennusvalvonnan laadunohjausilloissa läpi käytävät asiat ovat jo hyväksi todettuja ratkaisuja ja tästä syystä luotettavia. Rakennusvalvonnan ohjausprosessiin kannattaa hakeutua, vaikka rakentajalla on vankat käsitykset rakentamisesta. Rakennushankkeeseen ryhtyvän kannattaa vertailla omia käsityksiään laadunohjausilloissa käytäviin asioihin. Oulun kaupungin kehittämät laatukortit ovat selkeitä ja ymmärrettäviä ja ohjaavat energiatehokkuuteen. Laatukortit ja Energiajunior-ohjelma auttavat ymmärtämään, kuinka energiatehokas rakennushanke toteutetaan. Ohjausprosessissa painotetaan myös talon teknistä kestävyyttä. Laatutietoisilla valinnoilla rakennushankkeen suunnittelussa saadaan parannettua talon teknistä kestävyyttä.

Uudisrakentamisen määrä on vaihdellut suuresti Suomessa. Uudisrakentamisen määrä on ollut laskussa 2000-luvun puolivälistä saakka. Huipussaan uudisrakentaminen oli 1990-luvun alussa. Lämmitysenergian kulutus on vähentynyt jatkuvasti Suomen rakennuskannassa, johtuen rakennuslain ja rakennusmääräysten kiristymisestä. Sähkön käyttö on kovassa nousussa, johtuen kasvavasta varustetasosta.

Ilmanpitävyys pientalossa vaikuttaa suuresti lämmitysenergiankulukseen. Tiiviys vaikuttaa myös talon viihtyisyyteen ja kosteudenkestävyyteen. Lämpöenergia poistuu pientalosta puutteellisen tiiviiden, vaipan lämpöhäviönä ja ilmanvaihdon vuoksi. Pientalon

suunnittelussa on hyödyllistä ottaa mainitut asiat huomioon. Ilmanvaihtojärjestelmän valinnalla on suuri merkitys energiankulutukseen. Rakennuksen muoto energiatehokkuuden kannalta kannattaa suunnitella mahdollisimman yksinkertaiseksi ja turhia hukaneliöitä kannattaa välttää. Yksinkertaisempi muoto ja pienemmät tilat kuluttavat vähemmän lämmitysenergiaa.

Energiankulutusta määritettäessä kävi selville mitkä asiat vaikuttavat pientalon kokonaisenergiankulutukseen. Uusitut energiamääräykset johtavat siihen, että energiankulutusta halutaan vähentää ja toisaalta lämmitysjärjestelmissä halutaan tukea uusiutuvia energianlähteitä. E-lukua määrittäessä kohteen ostoenergia kerrotaan energiamuotoker toimella. Energiamuotokerroin on pienin uusiutuvissa energialähteissä. Lämmitysjärjestelmien vertailussa maalämpö ja pelletti ovat vuosikustannuksiltaan edullisempia kuin sähkö, kun lämmitysjärjestelmien lämmitysenergian tarpeena oli 18000 kWh.

Ennakoivassa laadunohjauksessa läpikäytävät asiat, kuten energiatehokkuus ja tekninen kestävyys lisäävät asumisviihtyisyyttä ja asuntojen myyntiarvoa. Asukas hyötyy energiatehokkaasta talosta hyvän viihtyvyyden ja matalan energiakulutuksen takia. Hyvien teknisten ratkaisujen ja energiatehokkaan rakennuksen myyntiarvo on selvästi parempi kuin rakennuksen, jossa näihin asioihin ei ole kiinnitetty huomiota. Vähentynyt energiankulutus alentaa myös hiilidioksidipäästöjä merkittävästi. Hyötyä ennakoivan laadunohjauksesta saa asukas ja yhteiskunta.

8 Pohdinta

Ennakoiva laadunohjaus syntyi Oulussa pitkän kehitystyön tuloksena ja laatutyötä kehitetään edelleen. Ennakoivan laadunohjauksen tulisi ensiksi jalkautua kunnolla Joensuussa, ennen kuin ohjausprosessia ruvetaan muokkaamaan ja kehittämään. Kun haluttuun matalaenergiatasoon päästään Joensuussa, kannattaa Joensuun rakennusvalvonnan aloittaa passiivitalojen koulutusohjelma, kuten Oulussa on halukkaille rakentajille aloitettu. Laadunohjaustyön onnistuminen Joensuussa näyttää todennäköiseltä Oulun kaupungin tuloksiin pohjautuen. Laatutyöstä hyötyvät niin rakentaja, kunta ja rakennusvalvonta. Ennakoivaa laadunohjausta voisi kehittää Joensuun rakennusvalvonnassa nimittämällä henkilö, joka hoitaisi pelkästään energiatehokkuuteen ja tekniseen kestävyyteen liittyviä

asioita. Henkilö voisi neuvoa energiatehokkuudesta kiinnostuneita ja niitä, jotka eivät päässeet tulemaan laadunohjausiltoihin.

Ohjausprosessiin kannattaisi hakeutua senkin takia, että sillä saadaan nopeutettua rakennuslupakäsittelyä. Rakennuslupakäsittely on mutkattomampi, jos rakennushankkeeseen ryhtyvä on laatutietoisempi ja panostaa hankkeen suunnitteluun. Tontin saaneelle rakentajalle voisi olla eduksi, että rakennusvalvonnalta saisi jatkuvasti energiatehokkuuden neuvontaa tai jopa henkilökohtaista opastusta Energiajunior-ohjelmaan ja laatu-kortteihin. Joensuun rakennusvalvonnan tavoitteeksi asettama 60 %:n matalaenergiataso on realistinen tavoite, koska matalaenergiatalotaso saavutetaan tiiviiden ja oikeanlaisen ilmanvaihtojärjestelmän valinnalla. Rakennushankkeessa huomion kiinnittäminen tiiviyteen ja ilmanvaihtojärjestelmän valintaan ei tuo suurta lisäkustannusta urakkaan. Oulun kaupungin tekemän laatukortin mukaan lisäinvestointia tulee noin 2000 €.

Mielestäni opinnäytetyön tulokset ovat luotettavia laadunohjauksen tutkimisessa, koska käytin työssäni Oulun kaupungin antamaa tietoa ja ajatusmalleja. Energiatehokkuutta tutkiessani käytin uutta kirjallisuutta ja ajan tasalla olevaa tietoa, joten tulokset sen osalta ovat varsin luotettavia. Energiatehokkuuden aihepiirissä voisi jatkossa tutkia, miten passiivitalon energiatehokkuus saavutetaan ja miten laadunohjausprosessissa neuvotaan passiivitalon rakentamista.

Suotuisaa Joensuun rakennusvalvonnalle on, että ennakoiva laadunohjaus saa näkyvyyttä toiminnalleen. Mediassa on ollut hyvin näkyvyyttä ennakoivan laadunohjauksen alkamisesta Joensuussa. Joensuun rakennusvalvonta tulee varmasti saamaan hyviä tuloksia laadunohjauksella ja edullista laatutyölle on, että tulokset ovat esillä. Hyvien tuloksien esittäminen lisää myös kiinnostuneisuutta laadunohjauksen toimintaa kohtaan.

Lisäyksenä ennakoivan laadunohjauksen toimintaan olisi, että rakennusvalvonta toimisi vierailevana luennoitsijana ammattikorkeakoulun rakennustekniikan oppitunneilla. Rakennusvalvonnan toiminta ja sen laadunohjaus eivät ole välttämättä tuttuja asioita opiskelijoille. Energiatehokkuuden ja teknisen kestävyuden neuvonta tuleville insinööreille olisi myös erittäin höydyllistä.

Lähteet

- 1 Mäkikyrö Tapani. Oulun rakennusvalvonnan linjaukset ja työkalut energiatehokkuuden parantamisessa. Ennakoivan laadunohjauksen luentomateriaali. <http://ylivieska.centria.fi/rdwood/images/TapaniMakikyro1.pdf>, luettu 20.10.2011.
- 2 Hyttinen, J. Rakennustarkastaja. Joensuun rakennusvalvonta. Haastattelu 28.10.2011.
- 3 SPU – eristeet. Johdatus matalaenergiarakentamiseen. http://www.spu.fi/energia_johdatus, luettu 24.10.2011.
- 4 Lappalainen, M., Energia- ja Ekologiakäsikirja. Suunnittelu ja Rakentaminen, Helsinki, Rakennustieto Oy. 2010.
- 5 Joensuun kaupunki., Ennakoiva laadunohjaus, työkalut ja vaikuttavuus. Ennakoivan laadunohjauksen koulutus Joensuussa. <http://www.jns.fi/Resource.phx/sivut/sivut-tekniset/rakennusvalvonta/laadunohjaus/ennakoivalaadunohjaus.htx>, luettu 31.1.2012.
- 6 Joensuun kaupunki., Ilmasto- ja energiahaasteiden vaikutukset rakennusalalle. Ennakoivan laadunohjauksen koulutus Joensuussa. <http://www.jns.fi/Resource.phx/sivut/sivut-tekniset/rakennusvalvonta/laadunohjaus/ennakoivalaadunohjaus.htx>, luettu 2.2.2012.
- 7 Rakennustarkastuskirja. Ympäristöministeriö ja Rakennustieto Oy, 2004.
- 8 Joensuun kaupunki., Energiamääräykset. Ennakoivan laadunohjauksen koulutus Joensuussa. <http://www.jns.fi/Resource.phx/sivut/sivut-tekniset/rakennusvalvonta/laadunohjaus/ennakoivalaadunohjaus.htx>, luettu 2.2.2012.
- 9 Oulun kaupunki., Pientalon tekninen laatu. Pientalon teknisen laadun arviointiohjelma. <http://www.pientalonlaatu.fi/>, luettu 6.2.2012.
- 10 Oulun kaupunki., Energiajuniori. Energiajunioriohjelma. <http://www.pientalonlaatu.fi/>, luettu 29.10.2011.
- 11 Joensuun kaupunki., Energiaselvityksen sisältö. Ennakoivan laadunohjauksen koulutus Joensuussa. <http://www.jns.fi/Resource.phx/sivut/sivut-tekniset/rakennusvalvonta/laadunohjaus/ennakoivalaadunohjaus.htx>, luettu 9.2.2012.
- 12 Oulun kaupunki. Laatukortit. Pientalon tekninen laatu. 2010. <http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/oppaat/laatukortit.htm>, luettu 2.12.2011

- 13 Sitra. Energialähettiläs edistää kuntien ennakoivaa laadunohjausta. 2010.
<http://www.sitra.fi/fi/Ohjelmat/energia/hankkeet/Energialahettilas/Energialahettilas.htm>, luettu 8.12.2011
- 14 Paloniitty, S. & Kauppinen, T., Rakennusten lämpökuvaus. Helsinki, Rakennusteollisuuden Kustannus Oy, 2006.
- 15 Entec Oy. Tiiviysmittaus. Rakennuksen tiiviysmittaus.
<http://www.entec.fi/tiiviysmittaus.htm>, luettu 9.2.2012.
- 16 Ympäristöministeriö., Rakennustarkastuskirja. Ympäristöministeriö ja Rakennustieto Oy, 2004.
- 17 Oulun kaupunki., Rakentajan polku. Pienrakentajan opas. 2010
<http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/Polku/>, luettu 10.2.2012
- 18 C3 Rakennuksen lämmöneristys. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Asunto- ja rakennusosasto, 2003.
- 19 Laitinen J., Pieni suuri energiakirja. Into Kustannus Oy. 2010.
- 20 Ympäristöministeriö. D3 Rakennusten energiatehokkuus. Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012.
- 21 Ympäristöministeriö. D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Luonnos 27.10.2011.
<http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>, luettu 1.11.2011.
- 22 Hirvonen M., Energiaratkaisut. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Luentomateriaali.
<http://moodle.pkamk.fi/course/view.php?id=3227>, luettu 24.11.2011

Pientalon laatu: **ENERGIAKORTTI** versio 11.5.2010 1 (2)
www.pientalonlaatu.fi

SÄÄSTÄ ENERGIAA, luontoa ja rahaa

- tee matalaenergiatalo 2010
 - passiivienergiatalo 2012
 - nollaenergiatalo 2017
 - plusenergiatalo 2030

MATALAENERGIAVALINNOJA YM:n esimerkkitalolle (RakMk D3).
 Rajatasolla ulkoseinän, ylä- ja alapohjan lämmön eristys määräysten
 2010 vähimmäistasolla ja tehotasolla eristystä hieman enemmän.

Totea talosi taso Energijuniorilla,
www.pientalonlaatu.fi

	MATALAENERGIAN RAJATASO TEHOTASO	
	-20%*)	-3,8%*)
1. IV-KONEEN LÄMMÖNTALTEEN- OTON (LTO) VUOSIHYÖTYSUHDE (%)	67**)	73**)
2. YLÄPOHJAN ERISTEPAKSUUS (mm)	550	600
3. ULKOSEINÄN ERISTEPAKSUUS (mm)	245	300
4. IKKUNAN / OVEN LÄMMÖNERISTÄVYYS (u-arvot)	1,0/0,8	0,8/0,6
5. TALON ULKOVAIPAN ILMATIIVEYS ILMANVUOTOLUKU (vaihtoa/tunti) ks. Oulun Rak.valvonnan Tiiveyskortti	1,0	0,5
6. ALAPOHJAN ERISTEPAKSUUS (mm)	200	300
	250	350

*) Otamalla huomioon esim. maalämpöpististä tulolman lämmitykseen saatava lämpöenergia ja kohdekohtainen tarkempi LVI-suunnitelman perustava määrittäminen, voi laikkomallin vuosihiyötysuhde nousta > 5 % VTT:n sertifikaattia ilmoitusta arvosta.

Elusivulla olevat valinnat on tehty ymp.ministeriön 1-kerroksiselle esimerkkitalolle, n.150 m².

Sivulla 2 ovat vastaavat valinnat pientaloteollisuuden tyypilliselle 2-kerroksiselle talolle, n.160 m².

*) TILOJEN LÄMMÖNTARVE, VERTAILUTASONA ON MÄÄRÄYSTEN VÄHIMMÄISTASO VUONNA 2010

RAKENNUSVALVONTA OULU

Lähde: Oulun kaupunki. Laatu kortit. Pientalon tekninen laatu. 2010.

<http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/oppaat/laatu kortit.htm>

LIITTYY ENERGIAKORTTIIN

Pientalon laatu: TIIVEYSKORTTI versio 11.05.2010 1 (2)

Poista talosi ilmanvuodot

-säästä lämmityskuluissa, vähennä kosteusriskejä

PIENTALON ULKOVAIPAN ILMANPITÄVYYS

Mikä on ilmanvuotoluku?
Ulkovalipan ilmanvuotoluku (1/h) ilmaisee valipan läpi tummissa testolosuhteissa (mm. paine-ero 50 Pa) virtaavan ilmamäärän jaettuna talon sisäilmatilavuudella. Menetelmäkuvaus sivun 2 alareunassa.

Energiaselvityksessä ilmanvuodon arvona on käytettävä määräysten 2010 edellyttämää arvoa 4 1/h (ilmamäärä vaihtuu 4 kertaa tunnissa). Rakennuslupavaiheessa voi Oulussa käyttää parempaakin vuotolukua, jos rakennuttaja tai pääsuunn. sitoutuu (allekirj.) tavoittelemaan seuraavan menetelmän toteutumista ja vastaava työnjohtaja varmentaa toteutumisen vastaamalla (ruksaamalla) kysymyksiin ja allekirjoituksellaan.

ILMANVUOTOLUVUN VALINTA OULUSSA RAKENNUSLUPAA HAETTAESSA

A Ilmanvuotolukua 4 1/h on käytettävä määräysten mukaan, jos tiiveydestä ei ole selvitystä tai mitään vaimeinnustoinmerkkejä ei löydy.

B Ilmanvuotolukua 3 1/h voi käyttää, jos toteuttaa kohdat 1 - 6.

- Onko kivi- / betonirakenteissa halkaajien muodostuminen estetty liikuntasuomissa ja onko liikuntasuomat tiivistetty joustavalla tiivistysmateriaalilla?.....Kyllä Ei
- Onko läpivienneissä ilmativit laipat ilmansulun kohdalla?.....Kyllä Ei
- Onko sauma- / tiivistysmassa tai vastaava tiivistys kaikissa ulkovalipan runkorakenteisiin rajoittuvissa läpivienneissä ja aukoissa (ikkunat, ovet, ..)?.....Kyllä Ei
- Onko sokkelin ja rungon liitoskohta tiivistetty muodonmuutoksia kestävin ainain tai rakasuin?.....Kyllä Ei
- Onko käytetty ilmansulku ja teippi asetettujen vaatimusten mukaisia?.....Kyllä Ei
- Onko höyry- ja ilmansulkujen jatkokohdat kiinteän, jäykän rakenteen kohdalla aina kun se on mahdollista ja onko tehty huolellinen teippaus?.....Kyllä Ei

C Ilmanvuotolukua 2 1/h voi käyttää, (2 1/h on rak. määräysten vertailutaso) jos toteuttaa edellisten kohtien 1 - 6 lisäksi tulee toteuttaa kohdat 7 - 11:

- Onko ilmansulku lävitetty ruuveilla ja nauloilla vain kun ilmansulun molemmilla puolilla on kiinteät pinnat (levy ja runkotoppa).....Kyllä Ei
- Onko ilmansulun kuormitus estetty, esim. eristykseen tai muun painosta?.....Kyllä Ei
- Onko rakennuksen käyttöohjeissa opastettu ukoseisiin kiinnitettävien ripustuskoukujen tyyppi, kiinnitystapa ja sijainti – tavoitteena ohjeistuksessa on suojata ilmansulkua rikkoutumiselta?.....Kyllä Ei
- Onko ilmansulun asennus tehty suunnitelman ja kirj. ohjeiden mukaisesti?.....Kyllä Ei
- Onko ilmanvuodon suhteen kriittiset kohdat 1-10 vaikkauttu ja tallennettu?.....Kyllä Ei

D Ilmanvuotolukua 1,5 1/h tai sitä parempaa tilastollisesti määritettyä RT-80-10974 ohjekortin arvoa voi käyttää esiasetuksena rakennusluvan energiaselvityksessä, jos tavoitteena on matalaenergiataso ja käytetty arvo jälkimitoituksella varmentetaan sekä energiaselvitys päivitetään ko. mittauksen perusteella.

E Ilmanvuotolukua 0,6 1/h (passiivenergiatalon ehdoton vaatimus) voi käyttää esiasetuksena rakennusluvan energiaselvityksessä, jos koennustavoitteena on passiivenergiatalo ja käytetty arvo jälkimitoituksella varmentetaan sekä energiaselvitys päivitetään ko. mittauksen perusteella.

Vuotoluvun tavoite /h
Pvm. / /

Saavutettu vuotoluku /h
Pvm. / /

Vuotoluku mitattu
tai ehdot toteutettu


Rakennuttaja tai Pääsuunnittelija _____
Vast. työnjohtaja _____

Kohde: _____
Osoite: _____
Kortti: _____ kortti _____ lupanumero _____

ILMANVUOTOLUVUN VAIKUTUS TILOJEN LÄMMITYSENERGIA TARPEESEEN

Tiiveys	Sanalinen arviointi	Energiasäästö
< 0,6	passiivitalon vaatimus	> 10 %
< 1,0	erittäin hyvä	7...10 %
1-2	hyvä	0...7 %
2	rak. määr. vertailutaso	0 %
2-3	hyväksyttävä	-0...7 %
3-4	huono	-7...14 %
> 4	erittäin huono	> -14 %

Parempi ilmanpitävyys ei aiheuta merkittävää kustannuslisää, vaan säästää ja tarkkaa työtä.



RAKENNUSVALVONTA OULU

Lähde: Oulun kaupunki. Laatu kortit. Pientalon tekninen laatu. 2010.

<http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/oppaat/laatu kortit.htm>

LIITTYY ENERGIAKORTTIIN

Pientalon laatu: TIIVEYSKORTTI versio 11.05.2010 2 (2)

Toimenpiteitä hyvän ilmanpitävyyden saavuttamiseksi

(Sisältökuvaukset ovat vain periaatteellisia esimerkkejä. Suunnittelijan on aina laadittava kohdekohtaiset ratkaisut)

Betonirunko
Betonisten vaiparakenteiden liitokset tehdään juotosvalulla tai joustavien elastisten saumojen avulla (esim. kittamalla). Yläpohjassa betoni- ja kevytbetonielementtien väliset juotetut pitkittäissaumat tiivistetään saumojen päälle asennetuilla ilmansulkukalvoilla (esim. bitumikermikaistoilla). Ryömintätalissa alapohjassa elementtien alapuolisten solumuovieristeiden väliset saumat tiivistetään esim. polyuretaanivaahtolla.

Puurunko
Rankarakenteisen vaipan lämpimällä puolella tulee aina olla ilmansulku, joka voi olla joko kalvomainen tai levymainen. Kalvomaiset ilmansulut liitetään toisiinsa puristettuna liitoksena tai liittämällä ja teippaamalla kalvo huolellisesti riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä. Puristusliitosta tulee käyttää aina kun se on mahdollista. Levymäiset ilmansulut voidaan liittää toisiinsa vaahdottamalla polyuretaanilla tai teippaamalla riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä.

Ilmansulku sijoitetaan rakenteeseen niin, että sähkörasiat ja johdot voidaan asentaa ilmansulkua rikkomatta. Tämä voidaan toteuttaa esim. asentamalla ilmansulku n. 50 mm etäisyydelle rakenteen sisäpinnasta. Jos ilmansulun sisäpuolelle laitetaan lämmön-eristettä, se tulee asentaa paikalleen vasta sen jälkeen, kun suurin osa rakennusaikaisesta kosteudesta on kuivunut.

Harkkorunko
Joissakin harkkorakenteissa rakenteen ilmanpitävyys perustuu pintkäsitelyihin. Tällaisen harkkorakenteisen ulkoseinän kummatkin pinnat tulee käsitellä rappaamalla tai tasoittamalla. Sisäpinnassa tasoite levitetään kauttaaltaan ja niin, että se voidaan liittää toimivasti mm. ala- ja yläpohjan ilmanpitäviin keroksiin sekä ikkunoihin ja oviin yms. Tasoite levitetään aina myös esim. kintokalusteiden taakse ja alaslaskettujen kattojen yläpuoliseen seinäosaan.

Hirsirunko
Hirsirakennuksien ilmanpitävyyttä suunniteltaessa on otettava huomioon myös hirsikehikon painuminen ja painumaerot. Hirsien välisissä saumoissa ja nurkkaliitoksissa on suositeltavaa käyttää joustavia sidumuovitaikumitiivisteitä. Ovien ja ikkunoiden päälle jätetään riittävä painumavara, joka täytetään avohuokoisella lämmönesteellä tai elastisella umpisoluisella eristeellä. Avohuokoisen eristeen sisäpuolelle asennetaan esim. joustava ilmansulku kalvo, joka kiinnitetään hirsirunkoon ja ikkunan/ oven kamiin puristusliitoksilla tai teippaamalla kalvo huolellisesti riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä.

Yksityiskohtaisempia ohjeita tiiveyden toteuttamisesta, ilhd: Aho, H., Korpi, M. (toim.) Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tutkimusraportti 141, Tampereen teknillinen yliopisto. Talonrakennustekniikka, Tampere. RIAL. Tutkimusraportti 1706, sivut 12-14, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Tampere.

Kalkkila rakentelua koskevia yleisohjeita
Läpiviennit massiivirungon tai levymäisen ilmansulun läpi tiivistetään polyuretaanilla ja kittamalla. Kalvomaisen ilmansulun läpiviennit tiivistetään joko läpiviennitilapölyllä tai levyistä tehtyjen kaulusten avulla.

Ilmansulkuun syntyvät reiät paikataan joko vaahdottamalla tai kittamalla (massiivirungot ja levyt) tai riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä (kalvot).

Likuntasaumot ja muut vastaavat rakenneseosten väliset yksityiskohtat toteutetaan niin, että rakenteiden liikkeet eivät heikennä oleellisesti saumojen ilmanpitävyyttä.

Vaipan läpäisevät kaapelikanavat yms. on suositeltavaa tiivistää kanavien sisältä.

Ikkunoiden ja ovien sekä vastaavien rakennusosien liittymät ilmansulkuun toteutetaan polyuretaanilla, elastisella kittauksella tai riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä. Myös ikkuna- ja ovikarmien tiivisteiden kunto ja toiminta tulee tarkistaa niiden asentamisen yhteydessä.

Kalvomaisia ilmansulkuja ei saa kuormittaa esim. yläpohjan lämmönesteellä niin, että kuormitus voi ajan mittaan venyttää ja rikkoa kalvon tai sen jatkoskohdan.

Yläpohjan kalvomainen ilmansulku liitetään sellaisiin ulkoseinärakenteisiin, joissa ei ole erillistä kalvomaisia ilmansulkua (esim. tiili- tai harkkoseinä, betonielem.) joko puristusliitoksen ja elastisen kittauksen avulla tai liittämällä ilmansulku rakenteen kanssa riittävästi

Maa- ja maanvaraisen betonilaatan ja ulkoseinän liitos tiivistetään bitumikermikaistoilla, joka estää samalla maaperästä tulevan radonin ja homeiden kulkeutumisen sisäilmaan.

Ilmanpitävyyden parantaminen vähentää energiankulutusta, ulkovaipan rakenteiden kosteusriskejä ja vedon tunnetta. Tiiveyttä parannettaessa korostuvat ilmanvaihtolaitteiden säätöön ja säännöityyn huoltoon merkitys sekä välttämättömän ilmanvaihdon varmistaminen myös häiriötilanteissa.

Rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyyden mittaus
Rakennuksen ilmanvaihto, hormit ja muut aukot suljetaan tiiviisti. Rakennuksen sisälle aiheutetaan +50 Pa -ylipaine ja mitataan ilmanvuotoluku (l/h). Tämä vuotoluku ilmaisee ulkovaipan läpi virtaavan ilman määrän tunnissa jaettuna sisäilmavuolavuudella. Tämän jälkeen mitataan vastaavasti ilmanvuotoluku -50 Pa -alipaineessa. Saatujen ilmanvuotolukujen keskiarvona saadaan rakennuksen ulkovaipan epäpuhlinen ilmanvuotoluku.

RAKENNUSVALVONTA OULU

Lähde: Oulun kaupunki. Laatu kortit. Pientalon tekninen laatu. 2010.

<http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/oppaat/laatu kortit.htm>

Rakennuskohde				
Osoite				
Rakennuksen käyttötarkoitus				
Rakennusvuosi				
Lämmitetty nettoala	m ²			
Ilmanvuotoluku q ₅₀	m ³ /(h m ²)			
Rakennusvaipan umpiosat	A m ²	U W/(m ² K)	U A W/K	%
Ulkoseinät				
Yläpohja				
Alapohja				
Ikkunat				
Ulko-ovet				
Kylmäsiilat				
Ikkunat ilmansuunnittain	A m ²	U W/(m ² K)	g-arvo -	
Pohjoinen				
Koillinen				
Itä				
Kaakko				
Etelä				
Lounas				
Länsi				
Luode				
Ilmanvaihtojärjestelmä	Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s) / (m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)	LTO:n lämpötila- suhde -	Jäätymisen esto °C
Pääilmanvaihtokoneet				
Erillispoistot				
Ilmanvaihtojärjestelmä				
Lämmitysjärjestelmä	Tuoton hyötysuhde -	Lämmitysjärj. hyötysuhde -	Lämpökerroin ¹ -	Apulaitteiden sähkönkäyttö ² W
Tilojen ja iv:n lämmitys LKV:n valmistus				
¹ vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle				
² lämpöpumpputjärjestelmissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen				
Jäähdytysjärjestelmä	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin, -			
LKV:n käyttö	m ³ /(m ² a)		yhteensä m ³ /a	
Sisäiset lämpökuormat	Henkilöt W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Valaistus W/m ²	Käyttöaste -
Päiväys	Allekirjoitus	Nimen selvennys		

Rakennuskohde			
Osoite			
Rakennuksen käyttötarkoitus			
Rakennusvuosi			
Lämmitetty nettoala	m ²		
E-luku	kWh/(m²a) (kWh lämmitettyä nettoalaa kohti)		
E-luvun erittely	Ostoenergia	Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus
	kWh/a	-	kWh/a kWh/(m ² a)
Sähkö		1,7	
Kaukolämpö		0,7	
Kaukojäähdytys		0,4	
Uusiutuva polttoaine		0,5	
Fossiilinen polttoaine		1	
...			
Yhteensä		-	
Uusiutuva omavaraisenergia	kWh/a	kWh/(m ² a)	
Aurinkosähkö			
Aurinkolämpö			
Tuulisähkö			
Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia			
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus	Sähkö	Lämpö	Kaukojäähdytys
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Lämmitysjärjestelmä	-		
Tilojen lämmitys ¹			
Tuloilman lämmitys			
Lämpimän käyttöveden valmistus			
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus		-	
Jäähdytysjärjestelmä			
Kuluttajalaitteet ja valaistus		-	
Yhteensä			
¹ Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen			
Energian nettotarve	kWh/a	kWh/(m ² a)	
Tilojen lämmitys ²			
Ilmanvaihdon lämmitys ³			
Lämpimän käyttöveden valmistus			
Jäähdytys			
² sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa			
³ laskettu lämmöntalteenoton kanssa			
Lämpökuormat	kWh/a	kWh/(m ² a)	
Aurinko			
Ihmiset			
Kuluttajalaitteet			
Valaistus			
Laskentatyökalun nimi ja versionumero			
Päiväys	Allekirjoitus	Nimen selvennys	

Lähde: Ympäristöministeriö. D3 Rakennusten energiatehokkuus. Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012.