



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JUHO KOIVISTO
KOKONAISENERGIATARKASTELUN TUOMAN VALINNANVA-
PAUDEN VAIKUTUS OMAPERUSTAISESSA ASUNTOTUOTAN-
NOSSA

Diplomityö

Tarkastajat: professori Kalle Kähkö-
nen ja DI Juhani Heljo
Tarkastajat ja aihe hyväksytty Tuo-
tantotalouden ja rakentamisen tie-
dekuntaneuvoston kokouksessa 9.
lokakuuta 2013

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Koivisto, Juho: Kokonaisenergiatarkastelun tuoman valinnanvapauden vaikutus omaperustaisessa asuntotuotannossa.

Diplomityö, 63 sivua, 12 liitesivua

Marraskuu 2013

Pääaine: Rakennustuotanto

Tarkastajat: professori Kalle Kähkönen, DI Juhani Heljo

Avainsanat: E-luku, energialuku, energiatehokkuus, rakentamismääräykset, asuntotuotanto

Työn tavoitteena on selvittää jatkuvasti uudistuvien rakentamismääräysten vaikutus omaperustaiseen asuntotuotantoon. Suomen rakentamismääräyskokoelman osista uudistuvat vuonna 2012 osat: C4, D2, D3 ja D5. Edellä mainitut osat pitävät sisällään rakentamismääräyskokoelman energiamääräykset.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D5 on valittu kolme omaperustaisen asuntotuotannon tekijälle helposti ymmärrettävää tarkastelukohtaa: lämmönjohtumisesta aiheutuva lämpöhäviö, ilmanvuodosta aiheutuva lämpöhäviö ja ilmanvaihdon poistoilmasta talteenotetun lämpöenergian määrä. Rakenteina on käytetty Pohjanmaalla käytettyjä perusratkaisuja, jotta tutkimustulokset voidaan sitoa alueen arkeen.

Työssä on käytetty investointikriteereinä sisäistä korkoa, investoinnin takaisinmaksukertoja sen pitoaikana sekä työn aikana kehiteltyä E-parannuskustannusta. E-parannuskustannus kriteerin vahvuutena on se, että tuloksen yksikkö on euro, eikä esimerkiksi prosenttiyksikkö. Mikään edellä mainituista investointikriteereistä ei huomioi pehmeitä arvotekijöitä, joita ei voi rahassa mitata.

Työtä varten on rakennettu perusajatus, millä kuvataan tuotteen energiatehokkuuden syntymistä rakentajan ja asiakkaan näkökulmasta. Rakentajan näkökulmasta löytyy neljä tukiprosessia, joiden avulla rakentajan tulisi hallita lopputuotteen onnistuminen energiatehokkuuden ja kokonaisuuden kannalta. Näitä ovat suunnittelunohjaus, laskenta, hankinta ja tuotanto. Suunnittelunohjaus on energialaskennan ja energiatehokkaiden valintojen takia keskeisin. Asiakkaan näkökulma perusajatuksessa on otettu huomioon pelkkänä investointina, ilman tunneperäisiä valintakriteerejä. Tuote eli rakennus, kaikkine ominaisuuksineen, syntyy rakentajan ja asiakkaan valintojen perusteella. Tämän lisäksi on kuvattu omaperustaisen asuntotuotannon prosessi. Perusajatuksen ja omaperustaisen asuntotuotannon prosessin avulla on pohdittu työn tuloksia. Työn tulokset sidottiin onnistuneesti rakentajan arkeen.

Peab Oy:n Seinäjoen konttorin omaperustaisen asuntotuotannon tukiprosessien yhteyshenkilöt, sekä Pohjanmaan alueen yhteistyökumppanit auttoivat kehittämään työtä oikeaan suuntaan.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

KOIVISTO, JUHO: The effect of the freedom of choice, made possible by overall energy analysis, in housing

Master of Science Thesis, 63 pages, 12 Appendix pages

November 2013

Major: Construction management

Examiners: Professor Kalle Kähkönen and M.Sc. Juhani Heljo

Keywords: E-factor, energy factor, energy efficiency, the National Building Code of Finland, Housing

One of the main goals was to find out how the continuously renewing of National Building code of Finland affects housing. The following parts of the National Building Code of Finland C4, D2, D3 and D5 were renewed in 2012. The aforementioned parts contain the rules for energy management.

From part D5, calculation of power and energy needs for heating of buildings, has been chosen three easily understandable matters which are in close touch with the buildings energy efficiency. Those three matters are thermal loss by conduction, thermal loss by air leakage and the energy recovering from ventilation exhaust. The structures have been used in Ostrobothnia as basic solutions. That way the research finding can be easily bound to the region's everyday life.

To compare the investments there is three criteria: internal rate of return, pay-back time during service life and the cost of energy efficiency's improvement percentage. The last one was developed during the research. The strength of the cost of energy efficiency's improvement percentage is that the result is in Euros. All above mentioned investment criteria take into account only values that can be measured in money.

The basic idea was created to help analyze the investment criteria from three point of views, from the housing process, from the building itself and from the customers point of view. Housing process consists of smaller processes that back it up. Four of them are more important for creating energy efficiency: design guidance and management, purchasing, calculation and construction. Design guidance and management is the pivotal process for creating energy efficiency with minimal costs. The customer point of view is shown solely as an investment without any sentimental values. The apartment building itself shows the demands of the builder and the customer. Without the sentimental values the basic idea will pursue energy efficiency with minimal costs. The results were analyzed successfully bound to builder's daily life.

Peab Oy's support processes contacts from Seinäjoki as well as the regions partners helped to develop the research to the right direction.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitoksen rakennustuotannon ja -talouden yksikössä ja tämän tutkimustyön teettäjänä toimi Peab Oy.

Haluan kiittää diplomityöni valvojaa professori Teuvo Tolosta, sekä diplomityöni ohjaajaa diplomi-insinööri Juhani Heljoa sekä tämän tutkimustyön aikaisista että koko opiskelun aikaisista neuvoista ja ohjauksesta.

Tämän lisäksi haluan kiittää Peab Oy:n Länsi- ja Keski-suomen aluejohtaja Mika Katajistoa, teknistä johtajaa Jouko Alapoikela ja Seinäjoen konttorin työpäällikköä Vesa Mäkirantaa, jotka antoivat minulle mahdollisuuden tehdä diplomityötä töiden ohella. Haluan kiittää myös Peab Oy:n järjestelmäpäällikköä tekniikan lisensiaatti Matti Niirasta työn alkuun saattamisesta, Peab Oy:n pohjanmaan alueen laskentapäällikkö Matti Lepistöä kustannusvertailujen kanssa auttamisesta sekä Sartekno Oy:n Heikki Saviojaa lämmöntalteenottoon liittyvistä keskusteluista ja avusta.

Haluan kiittää myös vanhempiani Annikaa ja Veikkoa, jotka järjestivät minulle työtilat tämän pitkän projektin ajaksi, auttoivat perhettäni arkipäivän askareissa, mutta myös kannustivat minua tekemään työtä muiden töiden ohella. Parhaan kannustuksen palkinnon keräävät isäni Veikko ja äitini Annika, mutta Peab Oy:n liiketoiminnan kehityspäällikkö Miikka Voipio heti perässä hyvällä hopeasijalla veljellisen kannustuksen siivittämänä.

Lopuksi haluan kiittää rakasta vaimoani Henna-Maijaa, joka ymmärtänyt ja tukenut minua kaikissa tekemisissäni. Tasapainottelu työn, diplomityön ja perheen osalta on ollut haastavaa. Kiitos myös esikoisestamme Neeasta, joka syntyi kannustamaan minua työn teossa, mutta myös muistuttamaan elämän tärkeistä asioista.

Seinäjoki 8.10.2012

Juho Koivisto

SISÄLLYS

Tiivistelmä	ii
Abstract	iii
Alkusanat	iv
Termit ja niiden määritelmät	vii
1 Johdanto	10
1.1 Tausta ja tutkimusongelma	10
1.2 Tavoite.....	10
1.3 Toteutus ja rajaus	10
1.4 Tutkimuksen rakenne	11
2 Energiatehokkuuslaskelmien periaatteet.....	13
2.1 Energia	13
2.2 Matalaenergia-, passiivi-, nollaenergia- ja plusenergiatalo.....	14
2.3 Rakennusmääräykset 2010.....	15
2.4 Rakennuksen lämmitystehon ja energiankulutuksen laskenta rakennusmääräyskokoelman osan D5 mukaan (2007).....	17
2.5 Rakennuksen lämmitystehon ja energiankulutuksen laskenta 2012	19
2.6 Uudistukset vuodelle 2012.....	23
2.7 Energiatehokkuuden mittaaminen.....	28
2.8 Investointilaskelmat	29
2.9 Energiatodistus.....	31
3 Tutkimuksen perusajatus.....	33
3.1 Omaperustainen asuntotuotanto ja energialaskenta	34
3.2 Laskenta ja hankinta.....	35
3.3 Suunnitelmat ja tuotanto	35
4 Tulosten esittely	42
4.1 Ikkunoiden johtumisesta aiheutuva lämpöhäviö.....	42
4.2 Vaipan rakenteiden lämpöhäviöt.....	43
4.3 Vaipan ilmanvuodosta johtuva lämpöhäviö.....	44
4.4 Ilmastoinnista talteenotettu lämpö	45
4.5 Rakenneosan valinnan vaikutus E-lukuun	46
4.6 Investoinnin kannattavuus.....	49
5 Tulosten analysointi	52

6	Tulosten vaikutus perusajatuksessa	54
6.1	Tuotannon tukiprosessit	54
6.2	Tuote	56
6.3	Asiakkaan päävalintakriteerit.....	57
7	Johtopäätökset.....	59
7.1	2012 määräyksiä vaikutus omaperustaiseen asuntotuotantoon ja sen ohjaukseen.....	59
7.2	Tulevaisuus tuotannon ja suunnitelmien osalta	60
7.3	Asiakkaan vaikutus rakentamiseen	60
	Lähteet.....	62
	LIITTEET	64

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Bruttoala (brm ²)	Kerrostasoalojen summa, joka kuvaa koko rakennuksen laajuutta.
Energiamuotojen kertoimet	Energialähde- tai tuotantomuotokertoimet, joilla kerrotaan energiamuodot energialuvun laskemiseksi.
Energialuku (kWh _E /m ² ,a)	Eli E-luku kuvaa energiamuotojen kertoimilla painotettua rakennuksen vuotuista ostoenergian laskennallista kulutusta, joka on laskettu lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa.
E-parannuskustannus (€/%)	Tutkimuksessa käytetty investointikriteeri, joka määrittelee rakennushankkeen E-luku tavoitteen parannusprosentin kustannuksen.
Ilmanvuotoluku n50 (1/h)	Ilmanvuotoluku n50 kertoo kuinka monta kertaa ilma vaihtuu tunnissa ilman vuodosta johtuen, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pascalin ali- tai ylipaine. Ilmavuodon määrä on suhteutettuna ilmatilavuuteen.
Ilmanvuotoluku q50 (m ³ /(hm ²))	Ilmanvuotoluku n50 muuttuu vuoden 2012 määräyksissä ilmanvuotolukuun q50. Ilmavuoto voidaan mitata samalla tavalla, mutta sen määrä on suhteutettuna vaipan pinta-alaan.
Kokonaisenergiavaatimus (kWh/m ² a)	Suomessa kokonaisenergiavaatimukset ovat määrätty käyttötarkoituksiluokkien mukaan, joita suomessa on yhdeksän kappaletta. Asuinkerrostalon kokonaisenergiavaatimus on 130 kWh/m ² a.
Kustannuslaji yksi (KL1)	Kustannuslaji yksi sisältää rakenneosan työvaiheen oman työn osuuden.

Kustannuslaji kaksi
(KL2)

Kustannuslaji kaksi sisältää rakenneosan työvaiheen materiaalin osuuden.

Kustannuslaji kolme
(KL3)

Kustannuslaji kolme sisältää rakenneosan työvaiheen työ- ja materiaalikustannukset. Tällöin työn suorittaa ulkopuolinen urakoitsija materiaaleineen.

Ilmanvaihdon vuosihyötysuhde
(%)

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde kuvaa lämmöntalteenoton tehokkuutta. Se antaa hyvän käsityksen rakennuksen ilmanvaihdosta säästettävästä energian määrästä.

Lämpöhäviöenergiat

Rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergiat koostuvat rakenteellisista lämpöhäviöistä, vuotoilmasta ja ilmanvaihdon jäteilämästä. [13, s.18-25]

Primäärienergia

Primäärienergialla tarkoitetaan luonnonvaroihin sisältyvää energiaa ennen muunnosprosesseja. Primäärienergia on jalostamatonta ja käyttämätöntä energiaa, joka voi koostua uusiutuvista tai uusiutumattomista energiamuodoista tai molemmista eri suhteissa. Primäärienergian avulla pyritään kuvaamaan energialähteistä saatavissa olevaa energiaa sekä luonnonvarojen määrää, käyttöä ja kulumista. [2, s.4-5]

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt
(kWh/m² a)

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt kuvaavat rakennuksen vaipan läpi johtuvan lämmön lämpöenergian suuruutta.

Sisäinen korko

Investoinnin sisäinen korkokanta on se laskentakorko, jolla investoinnin nettonykyarvo on nolla. Mitä suurempi sisäinen korkokanta on, sitä parempi investointi.

[<https://wiki.aalto.fi/display/TU22/8.+Investointilaskelmat>]

Takaisinmaksukerrat pitoaikana

Takaisinmaksukerrat pitoaikana on investointikriteeri, joka kertoo kuinka monta kertaa investointi maksaa hankintakustannuksensa takaisin pitoaikana.

Tilojen lämmitysenergian nettotarve

(kWh)

Tilojen lämmitysenergian nettotarpeella tarkoitetaan tilan lämmitystarpeen sekä sen lämmityksessä hyödynnettävien lämpökuormien erotusta. [3, s.16]

U-arvo

(W/m²K)

U-arvolla tarkoitetaan rakenteen lämmönläpäisykerrointa. U-arvon yksikkö kuvaa lämpövirrantiheyttä, joka läpäisee rakenneosan, kun lämpötilaero rakenteen ulko- ja sisäpinnan välillä on yksikön suuruinen. Mitä pienempi U-arvo rakenteella on, sitä paremmin se eristää lämpöä. [11, s.3]

Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve

Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve syntyy, kun rakenteiden läpi vuotavan ilman mukana tulee sisätilaa viileämpää ilmaa, mikä täytyy lämmittää.

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tutkimusongelma

Tutkimustyön taustalla on jatkuvan muutoksen aiheuttamat epävarmuustekijät rutiinien ympärillä. Jatkuva muutos tekee suurien kokonaisuuksien hallinnasta vaikeaa ja välillä jopa mahdotonta. Alati vaihtuvat ja muuttuvat rakennusmääräykset sekä kehittyvä tekniikka aiheuttavat päänvaivaa rakentajille. Muutos rutiinissa, eli rahaa tuottavassa työssä, heikentää aluksi tehoa ja tekee epävarmaksi.

Rakennusalan luonteelle on ominaista, että asiakas on tärkein. Ilman asiakasta ei ole rakentamista ja toisaalta ilman rakentamista ei ole töitä. Näin ollen on luontevaa, että rakentajalla on halu tietää muutoksien vaikutuksista asiakaskuntaan. Yrityksen perusedellytyksenä on tuottava toiminta ja näin ollen halu tietää muutoksen vaikutuksista kustannustehokkaaseen toimintaan on perusteltua.

1.2 Tavoite

Työn tavoitteena on tutkia energiatehokkuuden kannalta muutamien perusratkaisujen vaikutusta omaperustaiseen asuntotuotantoon. Toisin sanoen tavoitteena on saada selvyys energiatehokkaiden ratkaisujen luonteesta ja saada kuva siitä millaisia vaikutuksia energia- ja kustannustehokkailla ratkaisuilla on omaperustaisen asuntotuotannon prosessiin, itse rakennukseen ja asiakkaaseen.

Toisena tavoitteena on käyttää työssä Peab Oy:n Pohjanmaalla käyttämiä perusrakenneratkaisuja, jotta tuloksiin voidaan samaistua helposti. Apuna työssä käytetään Seinäjoen konttorin yhteistyötahoja, joita tutkimus koskee. Tämän toivotaan aiheuttavan kiinnostusta aiheeseen ja kehittävän yhteistyötä niin sisäisissä toiminnoissa, kuin yhteistyötahoissa.

1.3 Toteutus ja rajaus

Tutkimus on rajattu omaperustaisen asuntotuotannon tuottamaan kerrostaloon. Esi-merkkitaloja työssä on kaksi, joiden geometria on erilainen. Omaperustaisen asuntotuotannon tukiprosesseista otetaan energiatehokkaiden ratkaisujen osalta kantaa vain suunnittelunohjauksen, laskennan ja hankinnan sekä tuotannon osalta.

Tutkimus on pidettävä mahdollisimman yksinkertaisella tasolla ottaen huomioon omaperustaisen asuntotuotannon osaamis- ja tuotantoalue, mihin energiatehokkailla ratkaisuilla on vaikutusta. Tästä syystä tutkimuksessa keskitytään rakennuksen energian kulutuksen osalta kolmeen pääaiheeseen: lämmönjohtavuus rakenteissa, rakenteiden

ilmanpitävyys ja ilmanvaihdon poistoilmasta talteen kerätty energia. Koska työssä on valittu käytettäväksi Pohjanmaan alueelle ominaisia ratkaisuja, käytetään työssä myös Pohjanmaan alueen sääolosuhteita energiatehokkuuslaskelmissa. Lämmitysmuotoon ei laskelmissa tarvitse valittujen laskelmien perusteella ottaa kantaa ja näin ollen lämmitysmuoto rajataan pois työn aihepiiristä, vaikkakin sillä on merkitystä kokonaisenergiatarkastelussa.

Investoinnin pitoajaksi on tässä työssä päätetty käytettävän 50 vuotta. Energian hintana käytetään kolmea eri vaihtoehtoa (5c/kWh, 10c/kWh ja 15c/kWh), jotta voidaan nähdä energian hinnan vaikutus investointilaskelmissa. Investointilaskelmien menetelmiksi on valittu perinteisistä menetelmistä sisäisen koron periaate ja investoinnin takaisinmaksukerrat pitoaikana. Tämän lisäksi tutkimuksen myötä kehittyi uudenlainen investoinnin mittari E-parannuskustannus rakentajan käyttöön, joka kertoo energiatehokkuusluvun tavoitevaatimuksen parannusprosentin kustannuksen.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimus jakautuu kuuteen eri lukuun seuraavasti

1. Johdanto
2. Energiatehokkuuslaskelmien periaatteet
3. Tutkimuksen perusajatus
4. Tulosten esittely
5. Tulosten analysointi
6. Tulosten vaikutus perusajatuksessa
7. Johtopäätökset

Tutkimustyön toisessa luvussa esitetään tutkimustyön taustalla oleva teoria. Teoriaan kuuluu energia käsitteenä, energiatehokkaiden talomuotojen esittely, rakennusmääräyksien energiatehokkuuslaskelmien perusteet vuosilta 2007 – 2012, 2012 määräysten tuomat muutokset ja lopuksi investointilaskelmien teoria

Kolmannessa luvussa esitellään tutkimuksessa hyväksi käytetty perusajatus, jonka perusteella tuloksia on analysoitu kappaleessa kuusi. Toiseksi luvussa esitellään omaperustaisen asuntotuotannon toiminnot, joiden vaikutukset ilmenevät tuloksista. Kolmanneksi esitellään esimerkkikohde rakenteineen sekä materiaali- ja konevalintoinen.

Neljännessä luvussa esitellään laskelmien tulokset. Ensiksi esitellään millaisia eroja on lämmitettävissä lämpö määrissä ja kustannuksissa eri tapauksissa. Toiseksi esitellään valintojen vaikutusta energiatehokkuuslukuun minimivaatimuksilla. Tämän jälkeen esitellään investointilaskelmat ja niiden tulokset. Viidennessä luvussa analysoidaan työn tulokset ja niiden luotettavuus.

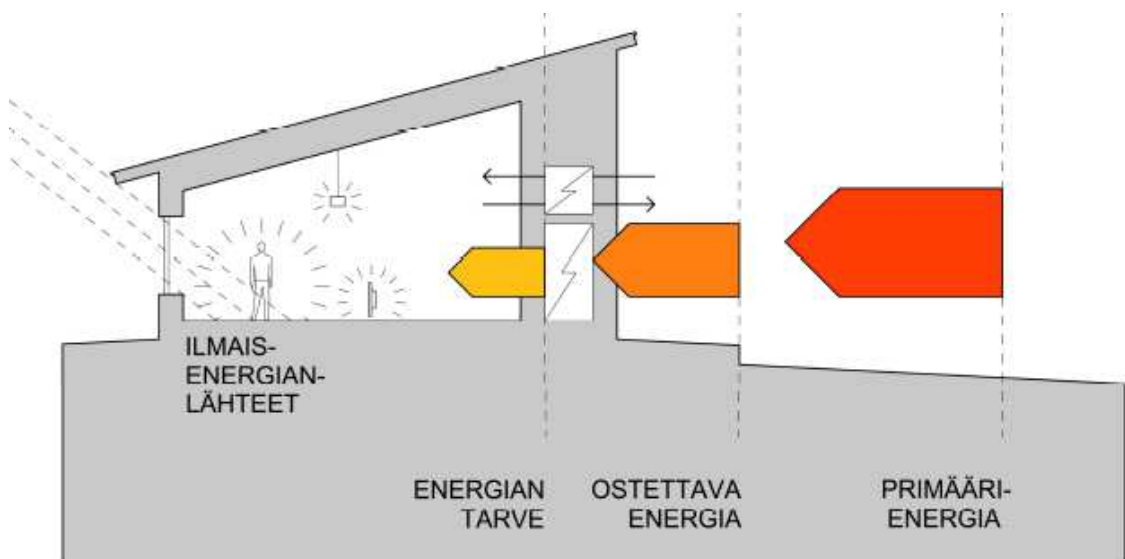
Kuudennessa luvussa analysoidaan investointilaskelmien pohjalta millaisia vaikutuksia valinnoilla on omaperustaisessa asuntotuotannossa ja koko rakennuksessa. Tämän jälkeen tuodaan esille myös asiakkaan näkökulma ja vaikutusmahdollisuudet.

Seitsemännessä luvussa esitellään tutkimuksen johtopäätökset sekä arvioidaan miten tutkimuksessa on onnistuttu.

2 ENERGIATEHOKKUUSLASKELMIEN PERIAATTEET

2.1 Energia

Kun rakentamisen ympäristössä puhutaan energiatehokkuudesta, ei ole ihan yksiselitteistä miten asiat otetaan huomioon. Tämän vuoksi on ensiksi ymmärrettävä energiäkäsitteet. Puhuttaessa rakennuksen käytönaikaisesta energiatarpeesta, ovat seuraavat käsitteet keskeisiä: primäärienergia, ostoenergia, hyöty- ja ilmaisenergia. Tämän kappaleen tarkoituksena on luoda kuva energiäkäsitteistä, jotka ovat ominaisia rakennuksen käyttöaikana. Kuvassa 2.1. on esitetty yksinkertaisesti energian eri vaiheet, kun ajatellaan rakennuksen energiatarvetta.



Kuva 2.1. Energiäkäsitteiden kuvaus rakennuksen energiatarpeen piirissä [1, s.11]

Primäärienergialla tarkoitetaan luonnonvaroihin sisältyvää energiaa ennen muunnosprosesseja. Primäärienergia on jalostamatonta ja käyttämätöntä energiaa, joka voi koostua uusiutuvista tai uusiutumattomista energiamuodoista tai molemmista eri suhteissa. Primäärienergiaa sisältävät erilaiset polttoaineet kuten kivihiili, raakaöljy, maakaasu, turve, puu, kasvit, uraani sekä virtaava vesi, auringon säteily ja tuuli. Primäärienergialla tarkoitetaan käytännössä saatavilla olevaa energiaa, joka voi olla mekaanista energiaa, lämpö- tai sähköenergiaa. Primäärienergian avulla pyritään kuvaamaan energiälähteistä saatavissa olevaa energiaa sekä luonnonvarojen määrää, käyttöä ja kulumista. [2, s.4-5]

Rakennuksen ostoenergian kulutuksella tarkoitetaan energiaa, joka tuodaan rakennukseen sen ulkopuolelta. Energiaa voidaan ottaa sähköverkosta, kaukolämpöverkosta, kaukojäähdytysverkosta ja uusiutuvan tai fossiilisen polttoaineen sisältämänä energiana. Ostoenergia koostuu lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä sähkölaitteiden että valaistuksen energiankulutuksesta energiamuodittain eriteltynä, missä on otettu huomioon vähennykset uusiutuvasta omavaraisenergiasta. [3, s.4]

Puhuttaessa ilmaisenenergiasta tarkoitetaan sillä rakennukseen kohdistuvista lämpökuormista hyödynnettävää lämpöenergiaa. Näitä ovat esimerkiksi henkilöiden luovuttama lämpöenergia, valaistuksesta ja sähkölaitteista vapautuva lämpökuorma, ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia ja lämpimän käyttöveden ja varaajan aiheuttamat lämpökuormat. [3, s.30-37]

2.2 Matalaenergia-, passiivi-, nollaenergia- ja plusenergiatalo

Vuoden 2010 rakentamismääräyskokoelman mukaan matalaenergiataloa suunniteltaessa tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85% rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään ulkoseinille lämmönläpäisykertoimen vertailuarvoa $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ lämpimissä tiloissa ja $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ puolilämpimissä tiloissa. [4, s.5] VTT:n mukaan matalaenergiatalon tilojen lämmitysenergiankulutus on vähintään 50% pienempi kuin Suomen vuoden 2010 rakentamismääräyskokoelman vähimmäisvaatimusten mukaan toteutetun ns. normitalon. [5, s.3] Tämä tarkoittaa sitä, että passiivi-, nollaenergia- ja plusenergiatalo kuuluvat matalaenergiatalokonseptiin.

Passiivitalo on rakennus, jossa lämmitysenergian tarvetta on pienennetty. Passiivitalon voi toteuttaa mistä tahansa materiaalista, millä tahansa rakennustekniikalla. Passiivitalo hyödyntää tehokkaasti ilmaisenenergiälähteet, mutta tarvitsee silti lämmitysjärjestelmän. Passiivitalonmääritelmä perustuu kolmeen pääkriteeriin, jotka ovat: tilojen lämmitysenergian tarve, kokonaisprimäärienergian tarve ja ilmanvuotoluku. Taulukon 2.1 avulla voidaan vertailla kansainvälisen passiivitalon ja suomalaisen passiivitalon eroja. Taulukosta 2.1 voidaan myös huomata maantieteellisen sijainnin vaikutus. [6, s.4, s.9]

Taulukko 2.1 Passiivitalomääritelmän vertailutaulukko [6, s.9]

	Kansainvälinen passiivitalo	Suomalainen passiivitalo		
		Etelä-Suomi	Keski- Suomi	Pohjois- Suomi
Tilojen lämmitysenergian tarve [kWh/m ² a]	max. 15	max. 20	max. 25	max. 30
Kokonaisprimäärienergian tarve [kWh/m ² a]	max. 120	max. 130	max. 135	max. 140
Ilmanvuotoluku [1/h]	max. 0.6	max. 0.6	max. 0.6	max. 0.6
KäytettäväPinta-ala	Nettolattiapinta- ala	Bruttoala		
Laskentamenetelmä	PHPP	Vapaasti valittava		

Nollaenergiatalon määritelmä ei ole yksiselitteinen, sillä kyseiselle termille löytyy useita määritelmiä. Nollaenergiäkäsittelyä voidaan ajatella energiakustannusten, energian kokonaiskulutuksen, energian laadun, primäärienergian, emissioiden tai energiariippuvuuden perusteella. [7] VTT:n mukaan Suomessa järkevin määrittely nollaenergiatalolle on energian kokonaiskulutuksen mukainen määrittely. Tällöin rakennuksessa tuotetun energian ylijäämän on oltava vähintään yhtä paljon kuin on kulutetun energian määrä. Tämä vaatii energiatehokkuutta talon kaikilta talotekniikkajärjestelmiltä. [8]

Euroopan parlamentti on päättänyt, että kaikki uudet julkiset rakennukset ovat 31.12.2018 jälkeen lähes nollaenergiataloja. Tämän lisäksi parlamentti päätti, että kaikki uudet rakennukset ovat 31.12.2020 jälkeen lähes nollaenergiataloja. [9, s.9] Plusenergiatalo on periaatteiltaan nollaenergiatalon kaltainen, mutta tuottaa energiaa yli oman tarpeensa. Lähes nollaenergiatalon ja plusenergiatalon tapauksissa tuotetun energian ylijäämä voidaan myydä esimerkiksi valtakunnanverkkoon. [10]

2.3 Rakennusmääräykset 2010

Määräyksien osalta työssä käsitellään lämmönläpäisevyyden osalta lämpimiä tiloja. Rakennuksen ilmastointiin liittyvistä määräyksistä tutkitaan energiansäästötoimenpiteisiin liittyviä asioita, joka tarkoittaa lähinnä lämmön talteenottoa koskevia määräyksiä ja laskentaa.

2.3.1 Rakennusten lämmöneristys C3

Rakennuksen vaipan lämpöhäviö saa olla enintään yhtä suuri kuin taulukon 2.2. mukaisilla vertailuarvoilla laskettu rakennuksen lämpöhäviö. Rakennuksen vaipan lämpöhäviö

saa olla kuitenkin maksimissaan 30 % suurempi kuin taulukon mukaisilla arvoilla laskettu lämpöhäviö, jos lämpöhäviön ylitys tasataan pienentämällä rakennuksen vuotoilman tai ilmanvaihdon lämpöhäviötä.

Rakennuksen vaippaan kuuluvan seinän, yläpohjan tai alapohjan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lämpimän tilan ikkunan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

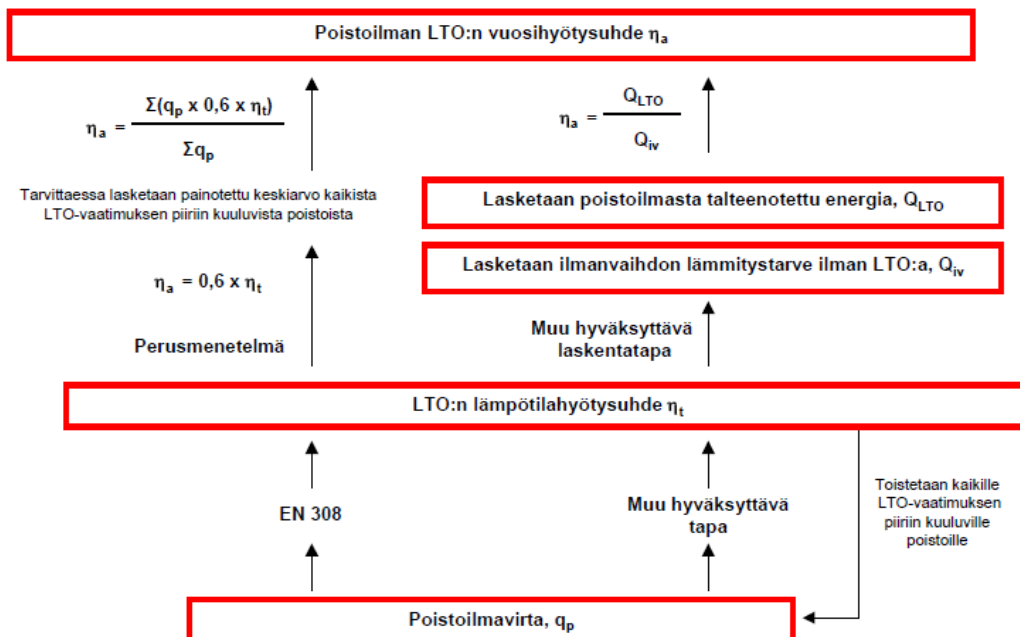
Rakennuksen lämmöneristyksen suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota rakennusosien oikeaan lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Näin on meneteltävä ennen kaikkea silloin, kun rakennusosien lämmönläpäisykertoimina käytetään pienempiä arvoja kuin taulukossa 2.2. [11, s.6-7]

Taulukko 2.2. Lämmönläpäisykertoimien vertailuarvoja rakenneosista.

Rakennusosa	Lämmönläpäisykerroin U (W/m ² K)
Seinä	0,17
Yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09
maata vastaan oleva rakennusosa	0,16

2.3.2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto

Ilmanvaihto on tärkeä osa energiansäästötoimenpiteissä ja näin ollen se vaikuttaakin suuressa määrin rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskelmiin. Poistoilman LTO:n vuosihyötysuhde η_a voidaan määrittää kuvan 2.2. määrittämällä tavalla. [12, s.7]



Kuva 2.2. Ympäristöoppaan 122 mukainen kaavio rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä.

2.4 Rakennuksen lämmitystehon ja energiankulutuksen laskenta rakennusmääräyskokoelman osan D5 mukaan (2007)

Rakennuksen energiankulutus voidaan laskea seuraavasti yhdeksässä vaiheessa:

1. lämpöhäviöenergiat
2. käyttöveden lämmitystarve
3. lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat
4. laitesähköenergiankulutus
5. lämpökuormat
6. jäähditysenergian tarve ja –kulutus sekä kesäajan sisälämpötila
7. lämmitysenergian kulutus
8. rakennuksen energiankulutus
9. ostoenergiankulutus

Laskennan lähtötietoina tarvitaan yleisesti ottaen säätiedot, sisäilmasto, rakennuksen vaippa, bruttopinta-ala, henkilömäärät ja järjestelmät. [13, s.10]

2.4.1 Rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergiat

Rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergiat koostuvat rakenteellisista lämpöhäviöistä, vuotoilmoista ja ilmanvaihdosta. Nämä kolme ovat keskeisessä tarkastelussa tässä työssä ja esittävät isoa osaa lämmöntasauslaskelmissa ja energiatehokkuuslaskelmissa. Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia Q_{joht} johtuu sisä- ja ulkopuolen lämpötilaeroista. Rakenteiden epätiiviyksien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmitykseen tarvitsema energia on $Q_{\text{vuotoilma}}$. Ilmanvaihdon lämmitykseen tarvittava energia on Q_{iv} . Näiden kolmen energia-arvon avulla voidaan laskea kaavalla (1) rakennuksen kokonaislämpöhäviöenergia. [13, s.18-25]

$$Q_{\text{kokonaislämpöhäviö}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv}} \quad (1)$$

2.4.2 Käyttöveden lämmitystarve

Käyttöveden lämmitystarve riippuu siitä, kuinka paljon lämmintä käyttövettä kulutetaan. Suomessa yksi henkilö käyttää lämmintä vettä noin 50-60 litraa päivässä. [13,s.27] Perustilanteessa, kun ei ole parempaa tietoa, vettä lämmitetään 50 astetta. Tämä tarkoittaa sitä, että yhden henkilön vuodessa käyttämän lämpimän veden lämmittämiseen kuuluu energiaa noin 1100 kWh.

2.4.3 Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat ja laitesähköenergian kulutus

Rakennuksen tilojen lämmitykseen kuuluvat huonetilojen lämmitys ja ilmanvaihdon lämmitys. Tilojen lämmitysjärjestelmän energiatehokkuuden laskennassa otetaan huomioon lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat. Lämpöhäviöitä syntyy lämmön kehityksen, varastoinnin, siirron ja luovuttamisen aikana.

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia on lämmitysjärjestelmään tuodun lämpöenergian ja lämmityksen lämpöenergian tarpeen erotus. Osa lämpöhäviöenergiasta tulee lämpökuormina hyödyksi rakennuksen lämmityksessä. [13, s. 28-32]

Rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus on valaistussähkön, ilmanvaihtojärjestelmän sähkön ja muun laitesähkön yhteenlaskettu kulutus ilman tilojen lämmitykseen ja jäähdytykseen käytettyä sähköä. [13, s. 33-38]

2.4.4 Lämpökuormat ja niiden hyödyntäminen

Henkilöt, sähkölaitteet, valaistus ja ikkunoista sisään tuleva auringon säteilyenergia aiheuttavat lämpökuormia rakennuksissa. Niitä voidaan käyttää hyödyksi osittain rakennuksen lämmityksessä. Lämpökuormaenergia voidaan hyödyntää vain sillä edellytyksellä, että samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta ja että säätölaitteet vähentävät muun lämmön tuottoa vastaavalla määrällä. [13, s. 39-49]

2.4.5 Jäähdytysenergian nettotarve

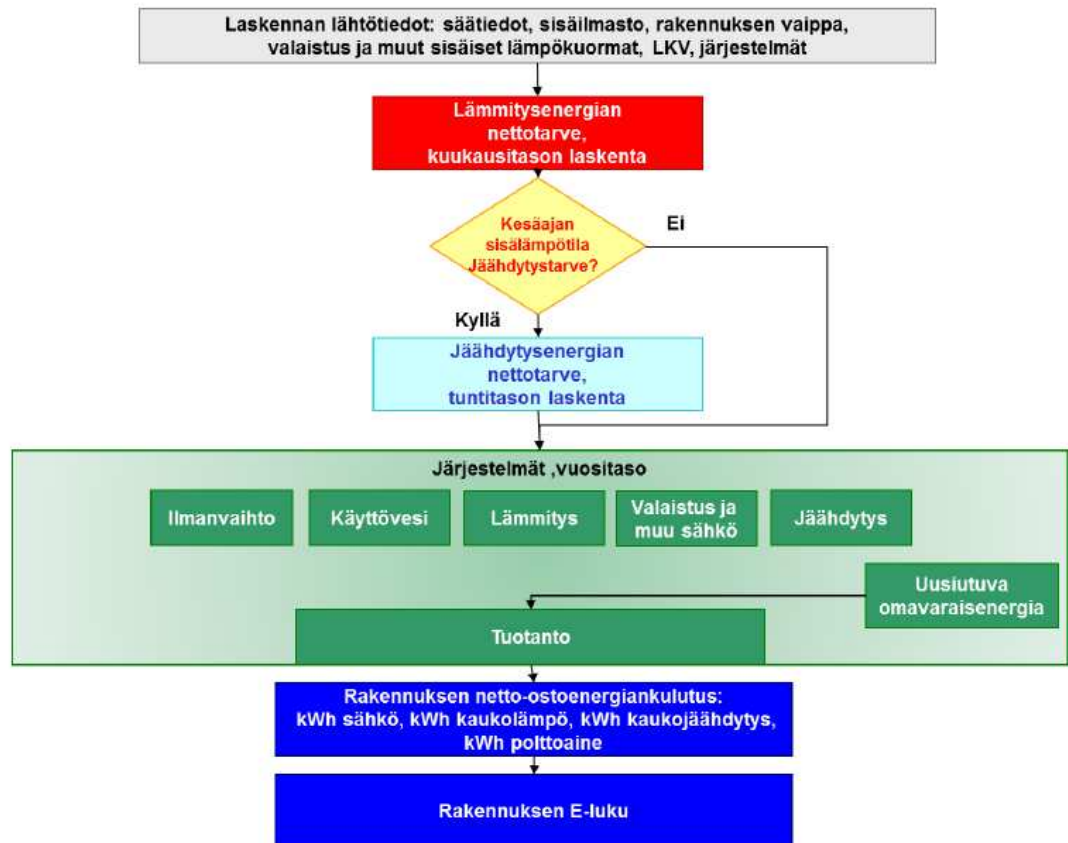
Jos rakennus varustetaan jäähdytysjärjestelmällä, niin rakennuksen tilojen jäähdytysenergiankulutus lasketaan jäähdytysenergian tarpeen ja jäähdytysjärjestelmän hyötysuhteen avulla. Hyötysuhde ottaa huomioon esimerkiksi jäähdytysjärjestelmän putkiston ja varaajien kylmähäviöt. Jäähdytysjärjestelmän kylmähäviöt ovat jäähdytysjärjestelmään tuodun kylmäenergian ja jäähdytysenergian tarpeen erotus.

2.4.6 Rakennuksen energiankulutus ja ostoenergian kulutus

Rakennuksen energiankulutus on rakennuksen lämmitysenergian, laitesähköenergian ja jäähdytysenergian yhteenlaskettu kulutus. Lämmitysenergia sisältää tilojen lämmitysenergian ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian. Laitesähköenergia ja jäähdytysenergia on kuvattu yllä. [13, s.16] Rakennuksen ostoenergiankulutus riippuu valitusta lämmitysjärjestelmästä ja valitusta laitteistosta.

2.5 Rakennuksen lämmitystehon ja energiankulutuksen laskenta 2012

2012 voimaan astuvien määräysten mukaan lasketaan rakennuksen energiankulutus kuvan 2.3 mukaisesti.



Kuva 2.3 Vuoden 2012 mukaiset rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet [3 ,s.13]

2.5.1 Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve

Rakennuksen lämmitysenergian nettotarpeen määrittäminen koostuu seitsemästä vaiheesta:

1. Tilojen lämmitysenergian nettotarve
2. Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt
3. Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve
4. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve
5. Tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian tarve
6. Ilmanvaihdosta talteenotettu energia
7. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

Tilojen lämmitysenergian nettotarve koostuu tilan lämmitystarpeen ja lämpökuormien erotuksesta. Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt koostuvat kaikista ulkoilmaan, maaperään tai puolilämpimiin tiloihin rajoittuvista rakennusosista, sekä kylmäsilloista. Tämän työn laskelmissa ei oteta huomioon lämpökuormia, eikä rakenteiden liitoskohtien tai esimerkiksi parvekekonsolien kylmäsiltoja. Johtumislämpöhäviö lasketaan kaavalla 2.

$$Q_{\text{joht}} = U_i * A_i * (T_s - T_{ka}) * \frac{T_{\text{kok}}}{1000} \quad (2)$$

Missä Q_{joht} = johtumislämpöhäviöt (kWh), U_i = rakenteen U -arvo, A_i = rakenteen pinta-ala (m²), T_s = sisälämpötila (C°), T_{ka} = vuotuinen keskilämpötila ulkona (C°), T_{kok} = aika tunteina vuodessa (h) ja 1000 = luku jolla muutetaan watit kilowateiksi.

Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve koostuu rakenteiden epätiiviyksien kautta tulevan vuotoilman lämmittämisestä ja voidaan laskea kaavalla 3.

$$Q_{\text{vuotoilma}} = i * c_{pi} * q_{v,\text{vuotoilma}} * (T_s - T_u) * \frac{T_{\text{kok}}}{1000} \quad (3)$$

Missä $Q_{\text{vuotoilma}}$ = vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh), i = ilman tiheys (1,2kg/m³), c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, (1000Ws/kgK), $q_{v,\text{vuotoilma}}$ = vuotoilman virta (m³/s), T_s = sisälämpötila (C°), T_u = ulkolämpötila (C°), T_{kok} = aika tunteina vuodessa ja 1000 = luku jolla muutetaan watit kilowateiksi.

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve koostuu ilmanvaihtokoneessa tapahtuvasta tuloilman lämmittämisestä ja lämmön talteenotosta. Tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian tarve koostuu tilan tuloilman lämpenemiseen tarvittavasta lämpöenergiasta, sekä korvausilman lämpenemiseen tarvittavasta lämpöenergiasta. Lämmön talteenoton poistoilmasta talteen otettu lämpöenergian määrä voidaan laskea kaavalla 4. [3, s.16-26]

$$Q_{lto} = \sum t_d * t_v * i * c_{pi} * q_{v,tulo} * (T_{lto} - T_u) * \frac{T_{kok}}{1000} \quad (4)$$

Missä Q_{lto} = ilmanvaihdosta talteen otettu energia (kWh), t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h), t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde (vrk/7vrk), i = ilmantiheys, c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 Ws/kgK), $q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta (m³/s), T_{lto} = lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila (C°), T_u = ulkolämpötila (C°), T_{kok} = aika tunteina vuodessa, 1000= luku jolla muutetaan watit kilowateiksi.

2.5.2 Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus

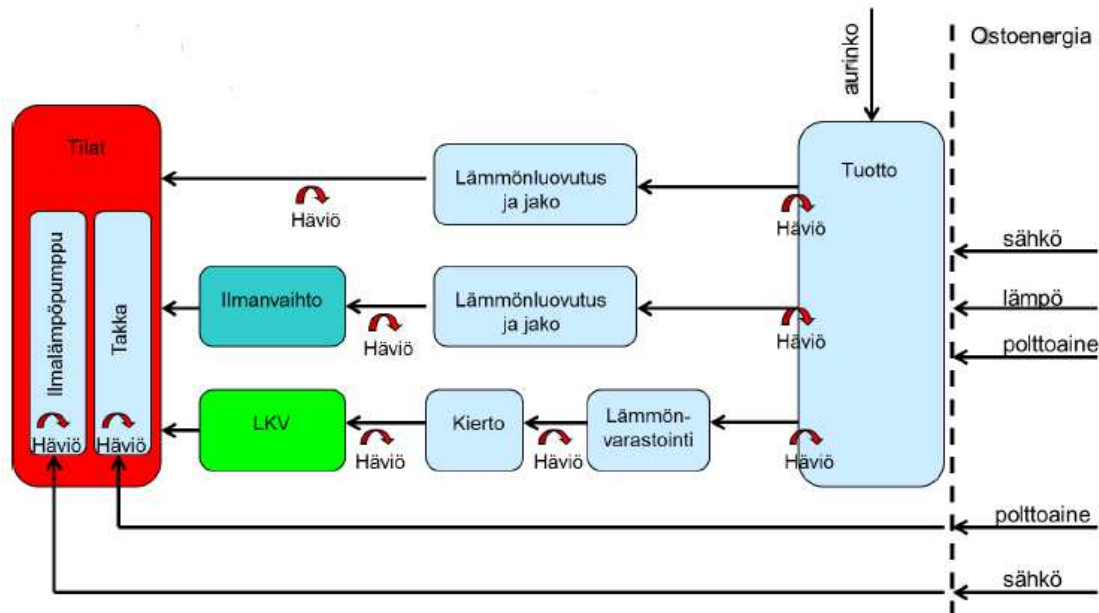
Rakennuksen laitteiden sähköenergian kulutus on laitesähkön yhteenlaskettu kulutus ilman valaistussähkön, ilmanvaihtojärjestelmän sähkön sekä ilman lämmitykseen ja tilojen jäädytykseen käytettyä sähköä. Valaistuksen sähkönkulutuksen osalta voidaan käyttää rakentamismääräyskokoelman osassa D3 esitettyjä arvoja. Jos valaistusjärjestelmä kuitenkin tunnetaan tarkemmin, voidaan valaistuksen sähkönkulutus laskea tilakohtaisesti valaistustarpeen ja valaisinratkaisujen perusteella. [3, s. 27-29]

2.5.3 Lämpökuormat

Lämpökuormat koostuvat henkilöiden, valaistuksen ja sähkölaitteiden, ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergian, lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin, sekä lämpökuormista hyödynnettävistä lämpöenergioista. [3, s. 30-37]

2.5.4 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan tilojen, lämpimän käyttöveden ja ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeista lisäämällä näihin lämmönluovutuksen, lämmön varastoinnin ja lämmönjaon häviöt. Tämän jälkeen lasketaan lämmitysenergian tuoton vaikutus lämmitysjärjestelmän energiankulutukseen hyötysuhteen tai lämpökerroimen avulla. Kuvassa 2.4. on esitetty periaate lämmitysjärjestelmän laskennasta. [3, s. 38-52]



Kuva 2.4. Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen laskenta periaate [3, s. 38]

2.5.5 Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergia koostuu puhaltimien tai ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutuksesta. Sähkönkulutus on konekohtainen ja riippuu ominaissähkötehosta (SFP-luku), ilmavirrasta ja käyntiajasta. [3, s. 53-55]

2.5.6 Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus

Rakennuksen tiloja jäähdytettäessä tuodaan jäähdytysenergia tiloihin joko ilmavirran, vesivirran tai näitä molempia tapoja samanaikaisesti käyttäen. Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus koostuu jäähdytysenergian tuoton energiankulutuksesta sekä apulaitteiden sähkönkulutuksesta. [3, s. 56-59]

2.5.7 Lämmitysteho

Rakennuksen lämmitystehon tarve lasketaan yleensä tilakohtaisesti, jolloin voidaan laskea tilassa tarvittava lämmitysteho sekä valitaan tilakohtaiset lämmityslaitteet. Lämmitystehon tarve riippuu pääasiassa rakenteiden johtumislämpöhäviöistä, ilmavuodoista, ilmanvaihdosta ja käyttöveden lämmityksestä. Lämmitystehontarve lasketaan paikakunnan mitoittavan ulkoilman lämpötilalla. [3, s. 60-66]

2.5.8 Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotto

Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotto on pääasiassa riippuvainen laitteistosta, aurinkosähkökennojen pinta-alasta, suuntauksesta ja kallistuksesta. Rakentamismääräyskoelman osassa D5 esitetty laskentamenetelmä koskee ainoastaan rakennuksessa tai sen välittömässä läheisyydessä sijaitsevan aurinkosähköjärjestelmän energiantuoton laskennallista määrittelyä. Menetelmä ei käsittele sähkön siirtoa, jakelua ja varastointia. Au-

rinkokennojen mahdollisesti tuottamaa lämpöä tai niistä talteen otettavaa lämpöä ei oteta huomioon rakennuksen energiataselaskennassa. [3, s. 67-69]

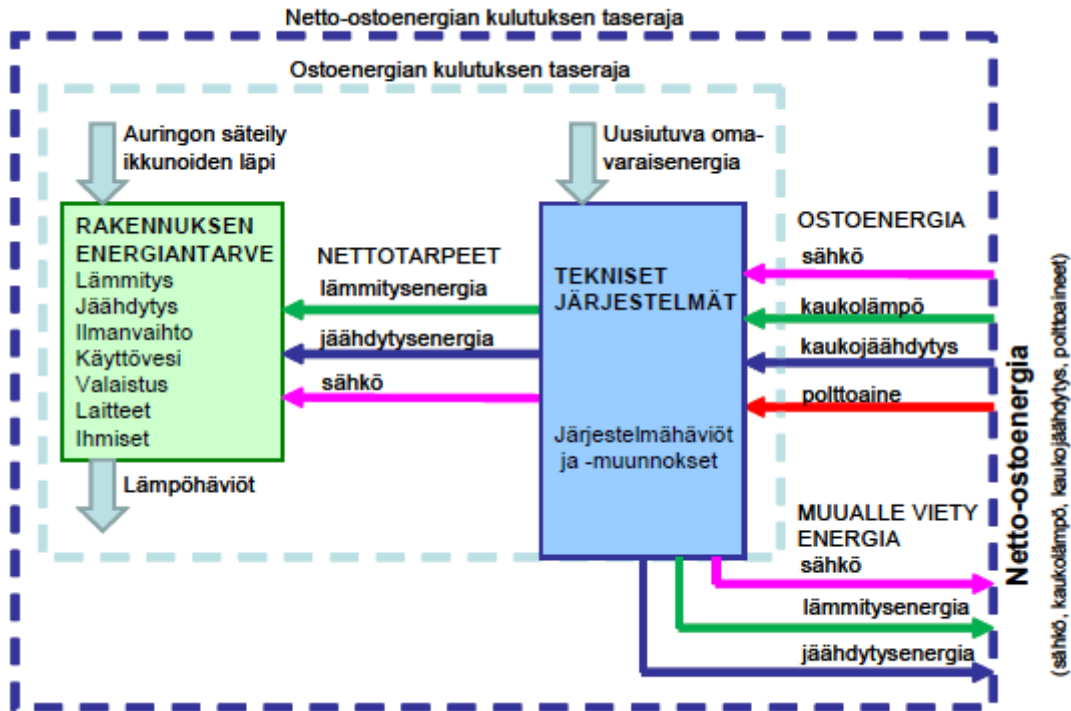
2.6 Uudistukset vuodelle 2012

Uusien 2012 voimaan astuvien rakennusmääräysten uudistamisen tarkoituksena on parantaa uudisrakennusten energiatehokkuutta ja ottaa käyttöön tulevaisuuden nollaenergiarakentamisen vaatimat avoimet laskentamenetelmät ja määritelmät. Määräysten keskeisin muutos energiatehokkuuden kannalta on siirtyminen kokonaisenergiatarkasteluun, jolloin aikaisemmat osakohtaiset vaatimuksen siirtyvät vaatimukseksi lopputuloksen kokonaisuusenergiatehokkuudesta. Tämä mahdollistaa suunnittelun kannalta uusia ja innovatiivisia ratkaisuja.

Kokonaisenergiavaatimusten mukana uutena asiana tulevat lämmitystavat huomioon ottavat energiamuotojen kertoimet, joilla yhteismitallistetaan lämpö- ja sähköenergiat yhdeksi kokonaisenergiavaatimuksen energialuvuksi. Energiamuotojen kertoimilla vältetään sähkölämmityksen kieltämisen tarve. Valitut energiamuotojen kertoimet varmistavat, että säästettyjä investointikustannuksia ei voida siirtää kuluttajien maksettavaksi rakennuksen käytön aikaisena isona sähkölaskuna. Uudet kertoimet ohjaavat rakentamaan lämmitystapojen osalta muuntojoustavia rakennuksia vesikiertoisilla järjestelmillä. Näin mahdollistetaan lämmitystapojen helppo vaihtaminen uusien energiantuottojärjestelmien tai energian hinnan muutosten yhteydessä. Energiamuotojen kertoimien tehtävänä on ohjata energiatehokkuustoimenpiteet kalleimpaan ja suurimmat päästöt aiheuttavan energian säästöön. Tämä on tärkeää, sillä rakennukset ovat pitkäikäisiä ja nyt tehtävät valinnat vaikuttavat rakennuskantaamme tulevaisuudessa. [14, s.3]

2.6.1 Rakennuksen kokonaisenergia vaatimus

Energiaselvityksessä on esitettävä rakennuksen kokonaisenergiankulutus laskennallisena energialukuna, E-lukuna. E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen netto-ostoenergian laskennallinen kulutus rakennustyypin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. (kuva 2.5)



Kuva 2.5 Kokonaisenergiavaatimuksen taseraja [14, s.5]

Energialuku on määritetty käyttötarkoitukseltaan erilaisille rakennuksille yksittäisenä energiamuodolla painotettuna lukuna. Poikkeuksena ovat pientalot, joissa energiatehokkuusluvun vaatimus on funktio pinta-alasta. Pientalon keskimääräisenä pinta-alana käytetään 150 m². Energiatehokkuuden vaatimus kiristyy hiukan, kun rakennuksen pinta-ala on yli 150 m² ja pienenee hiukan, kun pinta-ala on alle 150 m². Tämä siksi, että voidaan ottaa huomioon pienemmän rakennuksen suhteellisen suuren vaikutuksen talon nurkkien osalta. [14, s.5] Taulukossa 2.3 on esitetty käyttötarkoituserät 1-9, sekä niiden E-luku vaatimukset. Asuinkerrostalo kuuluu käyttötarkoituseräluokkaan kaksi ja sen osalta E-luku vaatimus on 130 kWh/(m²a). [15, s.9]

Taulukko 2.3. Uudisrakennuksen E-luku vaatimukset.[15, s.8]

Luokka 1	Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo	Lämmitetty nettoala, A_{netto}	kWh/m ² vuodessa
	Pientalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$372 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130
	Hirsitalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	229
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$397 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$198 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	155
	Rivi- ja ketjutalo		150
Luokka 2	Asuinkerrostalo		130
Luokka 3	Toimistorakennus		170
Luokka 4	Liikerakennus		240
Luokka 5	Majoitusliikerakennus		240
Luokka 6	Opetusrakennus ja päiväkoti		170
Luokka 7	Liikuntahalli pois lukien uima- ja jäähalli		170
Luokka 8	Sairaala		450
Luokka 9	Muut rakennukset ja määräaika- aikaiset rakennukset		E-luku on laskettava, mutta sille ei ole asetettu vaatimusta

2.6.2 Energiamuotojen kertoimet

Suomessa käyttöön tulevien energiamuotojen kertoimien (taulukko 2.4) tausta-aineisto perustuu Kestävä energia KesEn tutkimukseen, Tilastokeskuksen energiatilastoihin ja REHVA:n kansainväliseen selvitykseen. Selvitykset osoittavat, että energiamuotojen kertoimet voidaan määrittellä primäärienergiakertoimina tai ominaispäästökertoimina, joilla on suora yhteys energiatuotannon hiilidioksidipäästöihin. [14, s.8]

Taulukko 2.4. Suomessa käyttöön tulevat energiamuotojen kertoimet [15, s.8]

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

Rakentamisen ohjauksessa käytettävien kertoimien pitäisi kuvata koko rakennuksen elinkaaren aikaista tilannetta. Tätä varten pitäisi tietää kertoimet pitkälle tulevaisuuteen. Tällaiset laskelmat ovat liian riippuvaisia käytettävistä skenaarioista, joten niitä ei voida käyttää tässä vaiheessa kertoimien määrittämisen pohjana. Sen sijaan tulevien kertoimien osalta on tarkasteltu rakentamisen ohjauksen kannalta tärkeää suhdetta sähkön ja kaukolämmön välillä eri laskentatavoilla ja tulevaisuuden energiaratkaisuja kuvaavilla lähtöoletuksilla. Energiamuotojen kertoimien valinnassa otetaan huomioon mahdollisimman hyvin uusiutumattoman energian saatavuus ja sen riittävyys, päästövaikutukset sekä mahdollisimman joustava rakenne, mikäli Suomen energian tuotantorakenne muuttuu. [14, s.8]

2.6.3 Kesäajan huonelämpötilan hallinta

Uusien määräyksien mukaan on rakennus suunniteltava ja rakennettava siten, että tilat eivät lämpene haitallisesti. Tilojen ylikuumenemisen estämiseksi on käytettävä ensisijaisesti rakenteellisia ja muita passiivisia keinoja sekä yöllä tehostettua ilmanvaihtoa. Rakenteellisia ja passiivisia keinoja ovat esimerkiksi auringonsuojauksratkaisut, lasipintojen koko ja suuntaus sekä rakenteiden massoittelevuus. [15, s.9] Kesäajan huonelämpötilan maksimiarvolle on annettu raja-arvo astetunteina, joita ei saa ylittää. Näin yksi yksittäinen lyhytjaksoinen lämpötilahuippu ei ohjaa jäähdytysjärjestelmän käyttämiseen, vaan lämpötilojen pieni liukuminen on hyväksyttävää.

2.6.4 Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Rakennuksen ilmanpitävyys on tulevaisuudessa osoitettava mittaamalla. Hyvä ilmanpitävyys on yksi perusedellytys rakenteiden oikeaan rakennusfysikaaliseen toimintaan, hyvään sisäilmaan ja energiatehokkuuteen. [14, s.11] Määräyksien mukaan sekä rakennuksen vaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuoto-kohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Rakennusvaipan alhainen ilmanvuotoluku ei kuitenkaan takaa vaipparakenteiden moitteetonta toimintaa ilmatiiyvien osalta, koska vaipassa voi silti esiintyä paikallisesti merkittäviä ilmanvuotokohdita. Tämän vuoksi ilmansulun kaikkien liitosten ja reikien huolellinen suunnittelu ja tiivistäminen ovat tärkeitä. [15, s.10]

Rakennusvaipan ilmanpitävyydessä on siirrytty n_{50} luvusta q_{50} lukuun, joka ottaa huomioon ilmavuodon vaipan pinta-alaa kohden, kun n_{50} on vuoto tilavuutta kohden. Tämä tarkoittaa sitä, että uusi ilmanpitävyyysluku ottaa huomioon paremmin rakennuksen muodon. Tämä on tärkeää varsinkin suurten rakennusten, kuten asuinkerrostalojen kohdalla. Siirtyminen uuteen ilmanpitävyyyslukuun tarkoittaa myös sitä, että tiiveysvaatimukset ovat kiristyneet varsinkin suurille rakennuksille. [14, s.11]

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku saa olla enintään $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$. Ilmanpitävyyden raja-arvo voidaan kuitenkin ylittää, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat ilmanpitävyyttä merkittävästi. [15, s.10] Asuinkerrostaloissa il-

manpitävyys voidaan osoittaa mittaamalla vähintään 20 % ilmanpitävyyden kannalta kriittisimmistä huoneistoista. Asuntokohtainen mittaus ottaa huomioon asuntojen välisen ilmanpitävyyden, mutta myös koko asuinrakennus voidaan mitata. Arvioiden mukaan kerrostaloissa tiiveyden mittauksen kustannukset ovat 1000 - 2000 euroa, riippuen mittauksen laajuudesta ja kerrostalon koosta. Isoissa rakennuksissa ilmanpitävyyden mittaus voidaan suorittaa rakennuksen omilla ilmanvaihtokoneilla, jolloin enintään 25 % rakennuksen tiloista voidaan rajata pois mittauksesta. [14, s. 11]

2.6.5 Rakennusosien lämmöneristys ja rakennuksen lämpöhäviöt

Rakennusosien lämmöneristysvaatimukset eivät ole muuttuneet. Uutena lisäyksenä lämmönläpäisykertoimien laskemisen osalta on, että rakenteissa olevat säännölliset ja epäsäännölliset kylmäsillat on otettava huomioon. [14, s.11]

Rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöitä rajoitetaan hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Lämpöhäviön määräysten mukaisuus osoitetaan tasauslaskelmalla. [15, s.11] Rakennusosien vertailuarvot eivät ole muuttuneet lämpöhäviöiden tasauslaskelmassa, mutta siitä on poistunut rakennuksen vaipan lämpöhäviöitä koskenut 30 % rajoitus kompensoinnissa. Tämän tarkoituksena on ollut parantaa kustannustehokkuutta ja lisätä suunnittelun vapautta sekä uusien energiatehokkaiden vaihtoehtojen määrää. [14, s.12]

2.6.6 Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus

Ilmanvaihdon energiatehokkuus varmistetaan rakennuksen käytön kannalta tarkoituksen mukaisilla keinoilla tinkimättä terveellisestä, turvallisesta ja viihtyisästä sisäilmasta. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 2,0 kW/(m³/s), kun taas koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 1,0 kW/(m³/s). Poikkeuksellisesti ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho voi olla suurempi kuin 2,0 kW/(m³/s), jos esimerkiksi rakennuksen sisäilmaston hallinta edellyttää tavanomaisesta poikkeavaa ilmastointia. [15, s.14]

Rakennuksessa käytettävän ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton hyötysuhteen vertailuarvo rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelmassa on 45 %. Energia- tehokkaiden ratkaisujen poissulkemisen estämiseksi ei hyötysuhdetta ole sidottu erilliseen maksimi arvoon, vaan rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Tämä tarkoittaa sitä, että vastaavan lämpöenergian tarpeen pienentäminen on mahdollista useilla rakenteellisilla ratkaisuilla tai vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemää lämpömäärää muuten kuin poistoilman lämmöntalteenotolla. [15, s.14]

2.6.7 Uusiutuvat energialähteet

Alun perin vuoden 2012 määräyksissä oli ehdotus uusiutuvien energialähteiden käyttövaatimuksista, minkä mukaan uusiutuvan omavaraisenergian määrän tai uusiutuvilla polttoaineilla tuotetun energian määrän tulee olla vähintään 25 prosenttiyksikköä rakennuksen tilojen ja ilmanvaihdon nettotarpeesta. Uusiutuvaa energiaa oli tarkoitus käyttää hyödyksi missä tahansa rakennuksen järjestelmässä tai sitä voitaisiin viedä muualle. Uusiutuvalla omavaraisenergialla tarkoitetaan kaikkea kiinteistöön kuuluvalla laitteistolla paikallisista uusiutuvista energialähteistä tuotettua uusiutuvaa energiaa, lukuun ottamatta uusiutuvia polttoaineita. Uusiutuvaa omavaraisenergiaa on esimerkiksi paikallinen tuulienergia tai lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia. Uusiutuvat polttoaineet olisi käsitelty osana uusiutuvaa ostoenergiaa. Sähköjakeluverkosta saatava uusiutuvista lähteistä tuotettua sähköä ei otettaisi huomioon uusiutuvana energiana. Ehdotus uusiutuvien energialähteiden käyttövaatimuksesta ei mennyt läpi vuoden 2012 määräyksissä. Ehdotus otetaan esille uudestaan vuonna 2015 uudistuvissa määräyksissä.

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin mukaisesti energiatehokkuuden laskennassa olisi aiheellisissa tapauksissa otettava huomioon yhteistuotannolla tuotetun sähkön ja kauko- ja jäähdytysjärjestelmien myönteinen vaikutus. Suomessa tuotettu kaukolämpö on suurimmaksi osaksi sähkön ja lämmön yhteistuotantoa. Yhteistuotannon lämpö menee hukkaan jos kaukolämpöä ei käytetä sille ominaisella alueella ja vastavasti sähköntuotannon päästöt kasvavat. Tämän vuoksi uusiutuvien energioiden vaatimus ei tule koskemaan kaukolämpöön liitettyjä rakennuksia. [14, s.12-13]

2.7 Energiatehokkuuden mittaus

Rakennuksen energiatehokkaan käytön ja ylläpidon perusedellytyksenä on tieto energiankäytöstä. Tästä johtuen rakennukset varustetaan energiankäytön mittauksella tai mittausvalmiudella siten, että rakennuksen eri energiamäärät voidaan helposti selvittää. Rakennuksesta mitattavia kulutusmääriä ovat:

- rakennuksen koko sähköenergiankulutus
- rakennuksen koko lämpöenergiankulutus
- asuntokohtaisen lämpimän käyttöveden kulutus
- ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus
- jäähdytysjärjestelmän sähkönkulutus
- kiinteän valaistusjärjestelmän sähkönkulutus

Tarvittaessa voidaan mitata lämpimän käyttöveden kiertopiirin paluun vesivirta ja lämpötila. Lisäksi ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaite voidaan varustaa mittauslaitteella, jolla voidaan määrittää talteen otetun energian määrä. [14, s.13]

2.8 Investointilaskelmat

Kun kyseessä on omaperustainen asuntotuotanto, ei ole yksiselitteistä miten mitata rakennuksen tai rakenneosan valinnan arvoa, koska asiakaskunnan arvot ja tarpeet ovat erilaisia. Valmis rakennus on kaikkine ominaisuuksineen referenssi siitä, millaisia asuntoja kyseinen rakentaja tekee. Energiatehokkaiden ratkaisujen kirjo on laaja ja näin ollen kokonaisuuden hallitseminen vaatii ammattitaitoa. Näin ollen asiakas pääsee vaikuttamaan vihreisiin arvoihin yleensä vain ostopäätöksen kautta. Tästä johtuen on rakennusliikkeen itse mitoitettava haluttu energiätehokkuus asiakaskunnan tai omien arvojen mukaisesti. Ennen asuinkerrostalon rakentamista pitää rakennusliikkeellä olla mielessä kenelle rakennus rakennetaan. Asuinkerrostaloja voidaan rakentaa esimerkiksi vuokra käyttöön, osaomistusasunnoiksi tai omistusasunnoiksi. Asuntojen hintatason on lähdettävä liikkeelle alueen hintatasosta ja määritetyn asiakaskunnan potentiaalisesta sijoituskapasiteetista. Toisaalta ne asiat mihin asiakaskunta tai asumismuoto vaikuttavat ovat pääasiassa talon sisäisiä ja esteettisiä valintoja.

Tutkimusta tehdessä syntyi mielenkiintoinen investoinnin mittari E-parannuskustannus, joka kertoo energiätehokkuusluvun parannusprosentin hinnan. Tällainen mittari voi olla tulevaisuudessa tarpeellinen, sillä ei ole määrätty millä tavoin rakennuksesta saadaan energiätehokkuusluvun mukainen tai parempi. Tämän mittarin pitäisi auttaa rakentajaa tekemään valintoja erilaisista vaihtoehdoista.

Rakennetta parannettaessa takaisinmaksukerrat pitoaikana on helposti ymmärrettävissä oleva mittari, joka ei kuitenkaan ota huomioon millään tavalla investoinnin tai säästön suuruutta vaan pikemminkin sen tehoa.

Investoinnin sisäinen korko on yleisimpiä menetelmiä tutkia investoinnin kannattavuutta. Yrity maailmassa sisäiselle korolle voidaan asettaa raja, joka investoinnin täytyy ylittää, jotta investointi koetaan kannattavana.

2.8.1 E-parannuskustannus

Energialuku, eli E-luku, on erittäin selkeä ja helppo tapa mitata rakennuksen energiätehokkuutta. 2012 määräyksen mukaan ei ole määrätty millä tavoin E-luku vaatimus saavutetaan ja näin ollen se mahdollistaa moniin uusiin innovatiivisiin valintoihin. E-luvun ei tarvitse olla minimivaatimus 130 kWh/m²a, jotta E-parannuskustannus voidaan laskea. E-luvulle asetetaan projektin alussa tavoite, jonka jälkeen E-parannuskustannus on helppo laskea kaavalla 5. E-parannuskustannuksen avulla rakentajan on helppo vertailla valintoja, joilla päästään haluttuun lopputulokseen. Lämmitysmuotoa ei tarvitse tässä tapauksessa huomioida, koska se on kaikissa tapauksissa sama.

$$P_h = \frac{H_1 - H_2}{E_1 - E_2} \quad (5)$$

Missä P_h = E-parannuskustannus (€/ yksi prosentti), H_i = rakenteen kustannus (€), E_i = rakenteen vaikutusprosentti E-lukuun (%).

Jotta rakenteen E-luvun prosenttiosuus saadaan laskettua, täytyy ensin laskea lämpöenergian määrä ja jakaa edellä mainittu rakennuksen pinta-alalla. Kaavalla 6 saadaan tämän jälkeen ratkaistua millainen vaikutus kyseisellä rakenneosalla on E-lukuun prosentteina. Kappaleessa 4.5.1 on käyty läpi E-parannuskustannuksen laskentaa.

$$E_i = \frac{E_v}{E_t} * 100\% \quad (6)$$

Missä E_i = rakenteen E-luvun prosenttiosuus (%), E_v = rakenteen vaikutus E-lukuun (kWh/m²a) ja E_t = E-luvun tavoite (kWh/m²a).

2.8.2 Takaisinmaksukerrat pitoaikana

Takaisinmaksukerrat pitoaikana on helposti käsitettävä investoinnin vertailumuoto. Sen avulla on helppo nähdä investoinnin teho tietyssä pitoaikana. Takaisinmaksukerrat pitoaikana voidaan laskea kaavasta 7.

$$T_{kpl} = \frac{T_p}{T_t} * 100\% \quad (7)$$

Missä T_{kpl} = takaisinmaksukerrat pitoaikana, T_p = investoinnin pitoaika ja T_t = investoinnin takaisinmaksuaika.

2.8.3 Investoinnin sisäinen korko

Investoinnin sisäinen korkokanta on se laskentakorko, jolla investoinnin nettonykyarvo on nolla. Mitä suurempi sisäinen korkokanta on, sitä parempi investointi. Investoinnin sisäinen korko voidaan iteroida kaavalla 8. Tässä työssä kaikki sisäiset korot lasketaan kuitenkin suoraan Excel sovellusta hyväksi käyttäen.

$$\sum_{i=1}^n \frac{PVi}{(1+r)^i} = H \quad (8)$$

Missä H = perusinvestointi, n = pitoaika, PV = tuotot ja r = sisäinen korko.

2.8.4 Pitoaika, huoltokustannukset ja jäännösarvo

Tässä työssä tarkasteltavaksi valittujen rakenneteiden käyttöikä on 50 vuotta. Laitteiden ja ikkunoiden käyttöikäksi arvioidaan 30 vuotta. Huoltokustannukset ovat merkittävimmät lämmön talteenottolaitteistojen osalta, mutta niissäkin huoltokustannukset ovat samalla tasolla, joten niitä ei oteta huomioon tämän työn investointilaskelmissa. Normaalissa rakenneratkaisuissa ei ole merkittäviä huoltokustannuksia, joten niitäkään ei oteta huomioon. Laitte- tai rakenneratkaisuilla ei oleteta olevan myöskään jäännösarvoa. Näiden valintojen johdosta investointilaskelmat pysyvät yksinkertaisella ja järkevällä tasolla.

2.9 Energiatodistus

Energiatodistuksen tarkoitus on lisätä mahdollisuuksia vertailla rakennusten energiatehokkuutta. [16, s.8] Energiatodistus kertoo rakennuksen energiatehokkuuden verrattuna muihin vastaavanlaisiin rakennuksiin. Energiatehokkuus määritetään laskennallisesti tai toteutuneen energiankulutuksen perusteella. [16, s.10] Energiatodistus edellytetään pääsääntöisesti kaikilta uudisrakennuksilta rakennuslupamenettelyn yhteydessä. Rakennuslupahakemukseen liitettävässä energiaselvityksessä on oltava pääsuunnittelijan antama energiatodistus. Pääsuunnittelijan on varmennettava energiatodistus ennen rakennuksen käyttöönottoa. Uudisrakennuksen energiatodistus perustuu aina laskennalliseen energiankulutukseen ja se on voimassa neljä vuotta ja pienen uudisrakennuksen kymmenen vuotta. Tämän jälkeen energiatodistus perustuu aina toteutuneeseen energian kulutukseen. [16, s.13] Tällöin energiatodistus on voimassa kymmenen vuotta.

2.9.1 Rakennuksen kokonaisenergiankulutus eli E-luku ja energiatehokkuusluokka

Rakennuksen energiatehokkuus ilmaistaan energiatodistuksessa E-luvun ja sen perusteella määräytyvällä energiatehokkuusluokalla. E-luku saadaan laskemalla yhteen laskennallisen vuotuisen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodittain lämmitettyä nettoalaa kohden. [17, Liite 1 s.1] Energiatehokkuusluokat noudattavat kirjainluokitusta A-G, jossa A on vähän energiaa kuluttava ja G paljon energiaa kuluttava. Uuden asuinkerrostalon osalta, rakennettaessa 2012 normien mukainen talo, kuuluu se energiatehokkuutensa osalta C-luokkaan uuden energiatodistuksen perusteella. Vanhan ja uuden energiatodistuksen vertailu on haastavaa, sillä energiatehokkuuden määrittäminen ja energiatehokkuusluokat ovat muuttuneet. Luokitteluasteikko määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella. Rakennustyyppit ovat:

- Erilliset pientalot
- Rivi- ja ketjutilat
- Asuinkerrostalot
- Toimistorakennukset
- Liikerakennukset
- Majoitusliikerakennukset
- Opetusrakennukset ja päiväkodit
- Liikuntahallit pois lukien uima- ja jäähallit
- Sairaalat. [17, Liite 2]

3 TUTKIMUKSEN PERUSAJATUS

Jotta työssä voidaan tutkia omaperustaisen tuotannon energiatehokasta ajattelua sekä rakentajan, että asiakkaan välistä rajapintaa on määritettävä perusajatus rakennuksen eli tuotteen ympärille. Rakentajan näkökulmasta löytyy neljä tukiprosessia, joiden avulla rakentajan tulisi hallita lopputuotteen onnistuminen energiatehokkuuden ja kokonaisuuden kannalta. Näitä ovat suunnittelunohjaus, laskenta, hankinta ja tuotanto. Projektinjohtajan tulisi jo luonnossuunnitteluvaiheessa kartoittaa yhdessä suunnittelijoiden kanssa, mutta myös laskennan ja hankinnan kanssa, millaisia suunnitteluratkaisuja tullaan projektissa käyttämään. Luonnossuunnitteluvaiheessa tehdään näin ollen ensimmäinen energialaskenta, joka on hyvä tarkastaa ennen rakentamisen aloitusta, jotta varmistutaan ratkaisujen kustannustehokkuudesta. Kokonaisenergiatarkastelu mahdollistaa paljon erilaisia ratkaisuja ja näin ollen on laskenta ja hankinta hyvä ottaa mukaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Näin saadaan paras mahdollinen hintatietous alati muuttuvasta markkinasta. Tuotanto vastaa viimekädessä tuotteen laadullisesta toteuttamisesta.

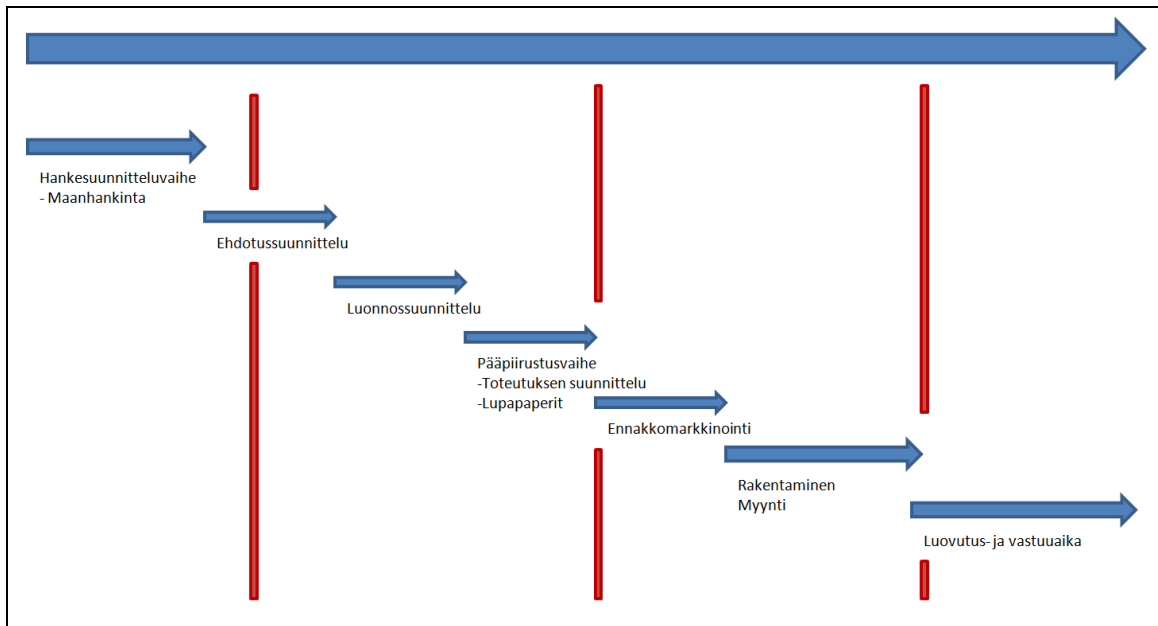
Itse tuote, kaikkine ominaisuuksineen, toimii rakentajan ja asiakkaan välissä heidän määrittämänä välikappaleena. Asiakkaan näkökulma tuodaan esille kuvassa 3.1. hyvin yksinkertaisesti pelkkänä investointina, mihin ei ole sidottu mitään tunneperäisiä asioita. Tätä ajatusta tukevat yrityksen teettämät alueen lopputuotteen asiakaspalautteet, mutta myös rakennusliikkeen alueen johto. Vain pienellä osalla asiakaspalautekyselyyn vastanneilla vihreät arvot olivat vaikuttaneet päätöksen tekoon ja tällöinkin painoarvo oli ollut pieni.



Kuva 3.1. Tuotteen energiatehokkuuden muodostuminen rakentajan ja asiakkaan näkökulmasta.

3.1 Omaperustainen asuntotuotanto ja energialaskenta

Omaperustainen asuntotuotanto voidaan pilkkoa monella tavalla pienempiin osatehtäviin, jotka yhdessä muodostavat ison ja pitkäkestoisen prosessin projektin ympärille. Aika, joka prosessin ympärillä kuluu, on pyritty esittämään kuvan 3.2 mukaisessa kaaviossa, joka kuvaa projektin elinkaarta alusta loppuun.



Kuva 3.2. Kaavio omaperustaisen asuntotuotannon elinkaaresta, missä siniset viivat kuvaavat eri vaiheiden kestoja suurpiirteisesti. Punaiset pystyviivat kertovat ohjeellisesti, koska energialaskenta tulisi suorittaa ja tarkastaa.

Kuvasta 3.2 voidaan huomata, että rakentaminen onkin vain pieni osa yhden hankkeen elinkaaresta. Suurimmissa rakennusliikkeissä omaperustainen asuntotuotanto tukee toiminnan jatkuvuutta ja resurssien hallintaa varsinkin silloin, kun rakennusliikkeellä on paljon omia työntekijöitä. Tällaisessa tapauksessa yhden hankkeen alusta loppuun vie misessä voi kulua useita vuosia maanhankinnasta luovutus- ja vastuuajan loppuun.

Kun hankesuunnitteluvaihe on ohi, niin tiedetään vähintäänkin suurpiirteisesti millainen rakennus ulkomitoiltaan tullaan rakentamaan, mutta myös energiatehokkuus-tavoitteet. Ehdotussuunnitteluvaiheessa tehdään näin ollen ehdotuksia rakennuksen talo-tekniikasta ja rakenteista. Tällöin tehdään ensimmäinen energialaskenta ja tarkastetaan tavoitteet. Ennen rakentamisen aloittamista on syytä suorittaa energialaskennan tarkas-tus ja varmistua suunniteltujen ratkaisujen toimivuudesta, kustannustehokkuudesta ja toteutettavuudesta. Rakentamisen jälkeen tehdään vielä tarkastuslaskelmat ja tarpeelliset mittaukset, kuten tiiviysmittaus.

3.2 Laskenta ja hankinta

Laskenta- ja hankintaprosessiin energiatehokkaat ratkaisut eivät suoranaisesti vaikuta. Laskenta laskee sen mitä suunnitelmissa on ja hankinta hankkii sen mitä laskija on laskenut. Suunnitelmien kautta syntyy kokonaishinta rakennukselle.

Laskennan ja hankinnan haasteeksi tuleekin jatkuvasti kehittyvien tuotteiden hintatietous ja -vertailut, sekä tuotantotavat. Alati kehittyvät tuotteet ja määräykset tuovat epävarmuustekijöitä tuotantoketjuun. Ihannehan olisi, että kaikki työntekijät jotka osallistuvat omaperustaisen tuotannon prosessiin ymmärtävät ja sisäistävät uudet ratkaisut. Tällä hetkellä asioita opitaan yhteistyössä, mutta myös valitettavasti erehdyksen kautta.

Tämän lisäksi omaperustaisen asuntotuotannon prosessissa on erittäin tärkeää, että laskenta- ja hankintaprosessit aloitetaan oikea-aikaisesti. Oikea-aikaisesti aloitettu laskenta ja pyydetyt ennakot mahdollistavat toimivan tavoitearvion, joka tuotannon on hyvä toteuttaa.

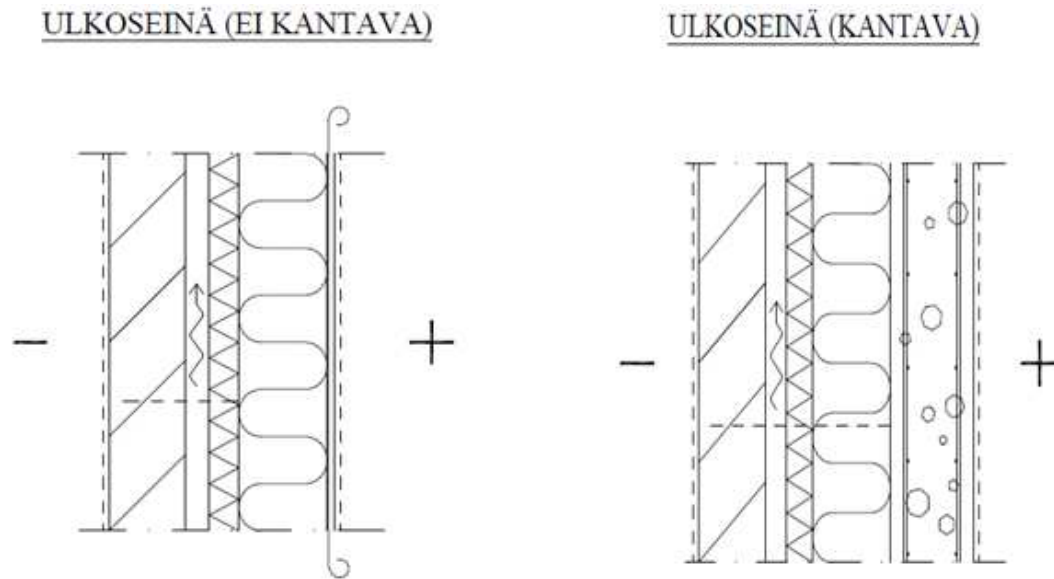
3.3 Suunnitelmat ja tuotanto

Suunnitelmien ja tuotannon näkökulmasta tässä työssä nostetaan esille rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt, vuotoilman lämpenemisen lämpöenergia ja ilmanvaihdosta talteenotettu energia.

Jotta voidaan tutkia edellä mainittuja asioita, on muodostettava kaksi esimerkkikohtetta. Niissä käytetään kahdenlaisia rakenneratkaisuja ylä- ja alapohjassa sekä ulkoseinässä. Lämmön talteenoton kannalta molemmissa esimerkkikohteissa tutkitaan kahta eri hyötysuhteella toimivaa ratkaisua.

3.3.1 Ulkoseinä

Tämän työn ulkoseinärakenteeksi on valittu Peab Oy:n Pohjanmaan yksikön niin sanotuksi perusratkaisuksi muodostunut malli. Julkisivuna Pohjanmaalla käytetään useimmiten muurattua julkisivua. Lämmöneristeenä toimii tuulensuojavilla, joka asennetaan puurunkoon asennetun päävillan päälle. Tässä työssä tutkitaan kahta eritasoista perusratkaisua, joilla on eri U-arvot. US1 materiaalit ulkoa sisälle päin ovat tiilimuuraus, tuuletusrako, tuulensuojavilla 50mm ja runko sekä villa 125mm. US2 poikkeaa US1:stä vain rungon osalta, joka on US2:ssa 150mm. Kuvasta 3.3 nähdään perusratkaisujen rakenneleikkaukset ilman rakennepaksuuksia.

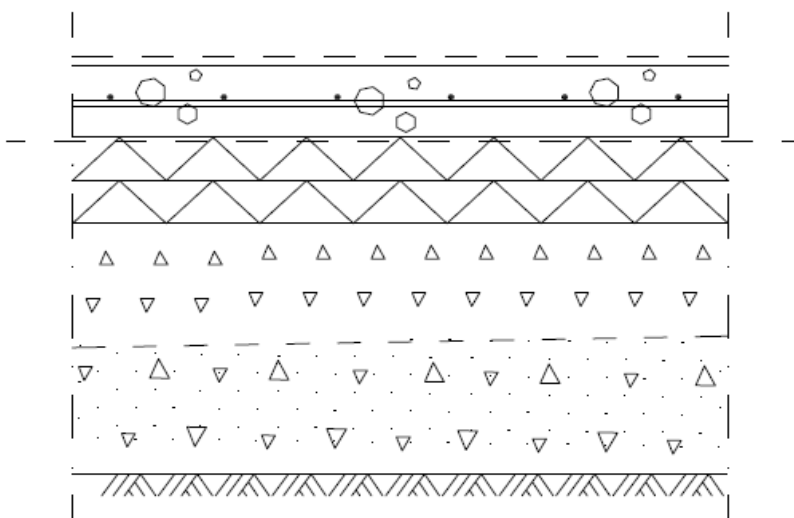


Kuva 3.3. Pohjanmaalla käytettyjen ulkoseinärakenteiden leikkauskuvat [18, 19]

3.3.2 Alapohja

Alapohja on 80 mm paksu maanvarainen betonilaatta, jonka alla on lämmöneriste. AP1 rakenteessa on eristettä 120mm, kun taas AP2:ssa on 150mm. Kuvassa 3.4 nähdään alapohjan rakenneleikkauksen periaate ilman rakennepaksuuksia, jonka rakennesuunnittelija on määrittänyt.

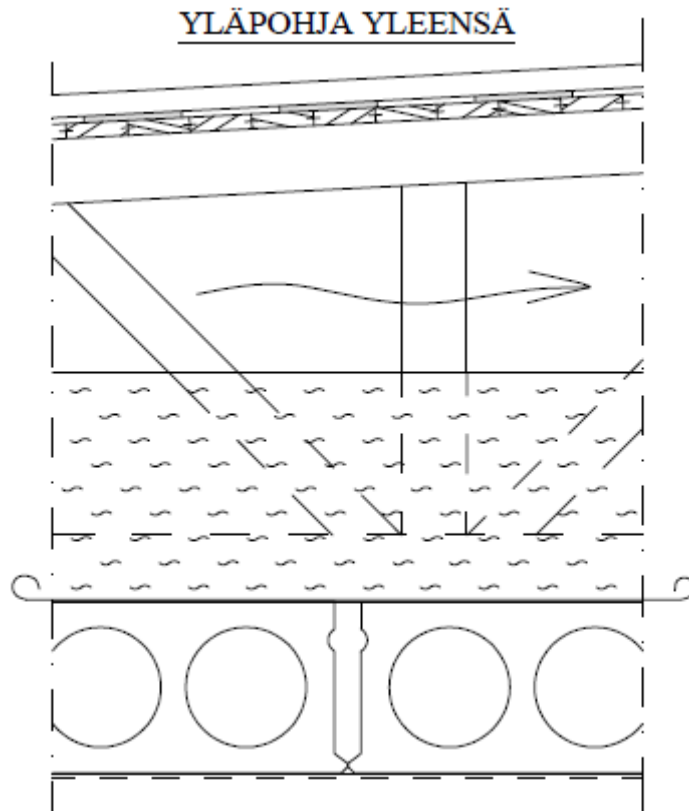
MAANVARAINEN ALAPOHJA



Kuva 3.4. Pohjanmaalla käytetyn alapohjarakenteen leikkauskuva [18, 19]

3.3.3 Yläpohja

Yläpohjaratkaisuna käytetään ontelolaatastoa, jonka päällä on eristeenä puhallusvilla ja tämän päällä puurakenteinen vesikate. Perusratkaisujen U-arvojen ero johtuu puhallusvillan paksuudesta. YP1:ssä on 350mm puhallusvillaa, kun taas YP2:ssa on 450mm. Kuvasta 3.5 voidaan nähdä Pohjanmaalla käytetyn perusratkaisun rakenneleikkaus ilman rakennepaksuuksia.



Kuva 3.5. Pohjanmaalla käytetyn yläpohjarakenteen leikkauskuva [18, 19]

3.3.4 Ikkunat

Ikkunoina tässä työssä käytetään U-arvoltaan 1,4, 1,0 ja 0,7 olevia ikkunoita ja niiden käyttöikäksi on arvioitu 30 vuotta. Molemmissa kohteissa on määritetty olevan 300m² ikkunaa. Ikkunoiden hinnat on kysytty suoraan Fenestralta.

3.3.5 Lämmöntalteenottolaite

Esimerkkikohteissa on valittu käytettäväksi huoneistokohtaista ilmanvaihtoa, joten jokaisessa huoneistossa on oma ilmanvaihtokone. Tässä työssä on valittu käytettäväksi kahta erilaista ilmanvaihtokonetta. Toinen koneista on ristivirtausmenetelmään perustuva perusratkaisu ja toinen on pyöriväkennoinen tehokkaampi ratkaisu. Asennus- ja huoltotoimenpiteet ovat molemmissa ratkaisuisa hyvin samanlaiset, joten niitä ei tässä eritellä. Asennus tehdään kanavatoiden yhteydessä asennettavaan asennuslevyyn, joten

asennus on pelkästään koneen paikalleen nosto. Huoneistokohtaisen lämmöntalteenoton kanssa suositellaan aina erillistä liesituuletinta mallista riippumatta. Koneet on valittu ja tarkastelu suunniteltu Sartekno Oy:n kanssa. Myös hintatietous on peräisin samasta lähteestä. Kannattavuuslaskelmissa koneiden käyttöikäksi on arvioitu 30 vuotta.

Lämmön talteenoton vuosihyötysuhteet on myös määritetty Sartekno Oy:n kanssa yhteistyössä. Vuosihyötysuhde on määritetty huoneistojen keskineliömetrien perusteella ja 45l/s tulolla ja 45l/s poistolla. Paineet molemmissa putkissa on 75Pa.

Jos haluttaisiin säästää huoltokustannuksissa, valittaisiin kerrostaloon keskitetty ilmanvaihto, jonka rakentamisen kustannukset sijoittuisivat pyöriväkennoisen LTO-laitteen ja ristivirtaus LTO-laitteen välimaastoon.

3.3.6 Vuotoilman lämmittäminen

Vuotoilman lämmittämisen tutkimista varten rakennuksesta on määritettävä ilmanvuotoluku q_{50} . Rakennusvaipan ilmanvuotolukua käytetään vuotoilmasta johtuvan lämmitysenergian tarpeen laskennassa. Jos ilmanvuotolukua q_{50} ei ole mitattu, rakennuksesta voidaan käyttää arvoa $4\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Pohjanmaalla on kuitenkin jo mitattu ilmanvuotolukua n_{50} tässä työssä käytetyillä rakenneratkaisuilla, joten toisena vaihtoehtona käytetään käytännöstä mitattua arvoa $0,6 (n_{50})$. Kyseinen luku muutetaan vastaamaan rakennusvaipan ilmanvuotolukua q_{50} ennen laskennan suorittamista, sillä työssä käytetty laskentamenetelmä vaatii sen.

3.3.7 Rakennepaksuudet, rakennusvaipan ilmanvuotoluvut ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet

Seuraavassa taulukossa 3.1 on esitetty numeerisesti rakenteiden eristepaksuudet, ilmanvuotoluvut sekä lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet.

Taulukko 3.1. Esimerkkitalojen rakenne- ja laitevaihtoehtojen tiedot.

Talo 1				Talo 2			
Ratkaisu 1	Paksuus (mm)	U-arvo/ muu	Pinta-ala (m ²)	Ratkaisu 1	Paksuus (mm)	U-arvo/ muu	Pinta-ala (m ²)
US1	175	0,23	1812	US1	175	0,23	1020
YP1	350	0,15	300	YP1	350	0,15	600
AP1	120	0,21	300	AP1	120	0,21	600
ikkuna1		1	300	ikkuna1		1	300
Ilmanvuotoluku q50 vaihtoehto 1		4		Ilmanvuotoluku q50 vaihtoehto 1		4	
LTO:n vuosihyötysuhde vaihtoehto 1		50 %		LTO:n vuosihyötysuhde vaihtoehto 1		50 %	
Kerroskertoimet 8 kerrosta		15		Kerroskertoimet 4 kerrosta		20	
Ratkaisu 2	Paksuus (mm)	U-arvo/ muu	Pinta-ala (m ²)	Ratkaisu 2	Paksuus (mm)	U-arvo/ muu	Pinta-ala (m ²)
US2	200	0,17	1812	US2	200	0,17	1020
YP2	450	0,09	300	YP2	450	0,09	600
AP2	150	0,16	300	AP2	150	0,16	600
ikkuna2		0,8	300	ikkuna2		0,8	300
Ilmanvuotoluku q50 vaihtoehto 2		1,6		Ilmanvuotoluku q50 vaihtoehto 2		1,72	
LTO:n vuosihyötysuhde vaihtoehto 2		79 %		LTO:n vuosihyötysuhde vaihtoehto 2		79 %	
Kerroskertoimet 8 kerrosta		15		Kerroskertoimet 4 kerrosta		20	

3.3.8 Esimerkkikohteet

Tässä työssä tutkitaan kahden erimuotoisen, mutta saman tilavuuden omaavaa ratkaisua, joiden perusmitat ja -tiedot löytyvät seuraavasta taulukosta 3.2. Kohteet on mitoitettu siten, että saadaan selkeitä rakennuksen muodosta johtuvia eroja.

Taulukko 3.2 Esimerkkitalojen geometria.

Mitattava yksikkö:	Talo 1		Talo 2	
pituus	10	m	20	m
leveys	30	m	30	m
brm2	2400	m2	2400	m2
hyöty pinta-ala	2180	m2	2260	m2
tilavuus	7200	m3	7200	m3
US-vaippa ilman ikkunoita	1812	m2	1020	m2
YP pinta-ala	300	m2	600	m2
AP pinta-ala	300	m2	600	m2
Ikkunat (n15% huoneistoalasta)	300	m2	300	m2
kerroskorkeus	3	m	3	m
kerros määrä	8	kpl	4	kpl
Asuntojen määrä	33	kpl	33	kpl

3.3.9 Kustannuslaskenta

Esimerkkikohteiden rakenneosien kustannuslaskenta on suoritettu Peab Oy:n Seinäjoen konttorin laskentapäällikön Matti Lepistön kanssa. Kustannuslaskenta ja -vertailu tehdään paikallisia tapoja noudattaen. Kustannuslaskennassa ja -vertailussa hinnat on laskettu sisältämään sosiaalikulut, mutta materiaalin arvonnalisävero on nolla prosenttia. Kustannuslaji yksi on oman työn hinta, joka määräytyy tuntipalkan ja työvaiheessa käytetyn tuntimäärän tulona. Tuntimäärä taas lasketaan tehon kautta, jossa teho tarkoittaa tuntia per yksikkö. Kustannuslaji kaksi sisältää rakenteen materiaalin ja se määräytyy neliömäärän ja neliöhinnan tulona. Kustannuslaji kolme sisältää materiaalin asennettuna paikalleen, jonka hinta määräytyy neliömäärän ja -hinnan tulona. Seuraavista taulukoista 3.3 ja 3.4 voidaan tarkastella eri rakenneratkaisujen vaikutusta molemmissa esimerkkikohteissa.

Taulukko 3.4. Esimerkkitalon yksi kustannuslaskenta ja -vertailu.

alv 0%, sis .sos.kulut

Littera	Nimike	Määrä	yks	h/yks	h yht	€/h	€ yht	2 €/yks	2 € yht	3 €/yks	3 € yht	YHT €
1	US1 vaippa 50+125+125	1812	m2	0,35	634	30	19026	14	25368		0	44394
2	US2 vaippa 50+150+150	1812	m2	0,40	725	30	21744	16	28992		0	50736
3					0		0		0		0	0
4	AP1 eps 100 60+60	300	m2	0,12	36	30	1080	4	1200		0	2280
5	AP2 eps 100 100+50	300	m2	0,15	45	30	1350	6	1650		0	3000
6					0		0		0		0	0
7	YP1 350 pv	300	m2		0		0		0	7	2100	2100
8	YP2 450 pv	300	m2		0		0		0	9	2700	2700
9					0		0		0		0	0
10	norm. Ikkuna 100 kpl	300	m2	0,40	120	30	3600	180	54000		0	57600
11	erikoisikkuna 100 kpl	300	m2	0,50	150	30	4500	200	60000		0	64500

Taulukko 3.5. Esimerkkitalon kaksi kustannuslaskenta ja -vertailu.

alv 0%, sis .sos.kulut

Littera	Nimike	Määrä	yks	h/yks	h yht	€/h	€ yht	2 €/yks	2 € yht	3 €/yks	3 € yht	YHT €
1	US1 vaippa 50+125+125	1020	m2	0,35	357	30	10710	14	14280		0	24990
2	US2 vaippa 50+150+150	1020	m2	0,40	408	30	12240	16	16320		0	28560
3					0		0		0		0	0
4	AP1 eps 100 60+60	600	m2	0,12	72	30	2160	4	2400		0	4560
5	AP2 eps 100 100+50	600	m2	0,15	90	30	2700	6	3300		0	6000
6					0		0		0		0	0
7	YP1 350 pv	600	m2		0		0		0	7	4200	4200
8	YP2 450 pv	600	m2		0		0		0	9	5400	5400
9					0		0		0		0	0
10	norm. Ikkuna 100 kpl	300	m2	0,40	120	30	3600	175	52500		0	56100
11	erikoisikkuna 100 kpl	300	m2	0,50	150	30	4500	215	64500		0	69000

3.3.10 Energian hinta ja energiansäästölaskelmien periaate

Energian hinta on keskeisessä asemassa, kun määritetään eri rakennratkaisujen ja tuotteiden kannattavuutta. Energian hinnan nousun vaikutus kannattavuuteen sen suuruudesta riippuen voi olla erittäin suuri. Tässä työssä tarkastellaan investointien kannattavuutta kun arvonlisäveroton energian hinta on 5c/kWh, 10c/kWh tai 15 c/kWh.

Energiansäästölaskelmia tehtäessä on käytetty yksinkertaistettua laskentaa, joka antaa kuitenkin oikeat suuruusluokat. Lämmityskauden pituuden määrittäminen ei ole yksinkertaista. Lämmityskauden pituus riippuu lämmön tarpeen ja lämpökuormien välisestä suhteesta. Jokaisen kerrostalon lämmöntarve on erilainen ja riippuu talossa käytetyistä suunnitteluratkaisuista. Mitä energiatehokkaampi talo on, sitä vähemmän sen lämmön tarve on. Lämpökuormat pysyvät verrattain samana vuodesta toiseen. Näin ollen, mitä vähemmän rakennuksen lämmöntarve on, sitä lyhyempi on lämmityskauden pituus.

Tässä työssä lämmityskauden pituudeksi on valittu kahdeksan kuukautta. Valinta perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman testivuoden mukaisesti Jyväskylän säätietoihin olettaen seuraavaa: lämmityskausi loppuu kun vuorokauden keskilämpötila nousee yli 10 asteen ja alkaa kun keskilämpötila laskee alle 12 asteen. Kesä-, heinä ja elokuu ovat suomessa keskimäärin ainoat kuukaudet joiden keskilämpötilat sijoittuvat edellä mainittujen kriteerien väliin kokonaan. Toisaalta osa toukokuusta ja osa syyskuusta täyttää samat kriteerit. Lämmityskauden pituudeksi saadaan näin ollen 243 vuorokautta, mikä on 5832 tuntia. Lämmityskauden aikana sisä- ja ulkolämpötilan ero on noin 20 astetta. Valittaessa lämmityskauden pituus ja lämpötilaero edellä mainitulla tavalla eivät laskujen säästöt ole liian suuria.

4 TULOSTEN ESITTELY

Työn aikana esille nousi neljä selkeää tarkastelukohdetta: ikkunat, rakennuksen vaippa, ilmanvuoto ja lämmöntalteenotto. Tarkastelun alla olevat kohteet on valittu myös sillä perusteella, että niihin on helppo ottaa kantaa omaperustaisen asuntotuotantoprosessin aikana. Lämpöhäviöt on laskettu pohjanmaan alueen sääolosuhteiden mukaisesti. Tässä kappaleessa esitellään edellä mainittujen asioiden vaikutusta energiatehokkuuteen ja tutkitaan investoinnin kannattavuutta. Tällainen tarkastelu on tarpeen vuonna 2012 voimaan astuvien määräyksien kokonaisenergiatarkastelun pohjalta, jonka mukaan kerrostalon E-luvun täytyy olla alle 130 kWh_E/m². Uusien määräysten myötä ei ole määrätty miten kyseinen E-luku saavutetaan.

4.1 Ikkunoiden johtumisesta aiheutuva lämpöhäviö

Ikkunat ovat tässä työssä yksi suurimmista investoinneista sekä rahan, että energiatehokkuuden kannalta. Molemmista esimerkkitaloissa on sama määrä ikkunoita, joten talojen välisiä eroja ikkunoiden osalta ei ole. Ikkunoiden U-arvolla on selvä vaikutus lämmön johtumisesta aiheutuvaan lämpöhäviöön. Perusikkuna on investoinneista halvin, mutta selkeästi paremman U-arvon omaava ikkuna1 on kokonaisinvestointina vain 1500 euroa kalliimpi. Energiatehokkain ja U-arvoltaan 0,7 oleva ikkunatyyppi on investointina selkeästi kallein, mutta toisaalta se on kaksi kertaa niin tehokas ikkuna kuin perusikkuna. Taulukossa 4.1 on esitetty ikkunoiden perustiedot, sekä energian hinnan vaikutustarkastelu.

Taulukko 4.1. Lämmön johtumisesta aiheutuvan lämpöhäviö. (alv 0%)

Rakennusosa	U-arvo	Pinta-ala (m ²)	Lämpöhäviö vuodessa (kWh/a)	Energian kustannus			Ikkunan kustannus paikalleen asennettuna (€)
				5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)	
perusikkuna	1,4	300	48989	2449	4899	7348	54600
ikkuna1	1	300	34992	1750	3499	5249	56100
ikkuna2	0,7	300	24494	1225	2449	3674	69000
Vertailu:							
Perusikkuna - ikkuna1	0,4	0	13997	700	1400	2100	-1500
Perusikkuna - ikkuna2	0,7	0	24494	1225	2449	3674	-14400
ikkuna1 - ikkuna2	0,3	0	10498	525	1050	1575	-12900

4.2 Vaipan rakenteiden lämpöhäviöt

Samalla tavoin kuin ikkunoissa, myös muissa vaipan rakenteissa tapahtuu lämmön johtumista rakenteen läpi. U-arvo on muissa vaipan rakenteissa huomattavasti pienempi kuin ikkunoissa. Ulkoseinä-, yläpohja- ja alapohjarakenne ovat kuitenkin merkittävä tekijä energiatehokkuuden kannalta, sillä rakenteiden pinta-ala on huomattavasti suurempi kuin ikkunoilla. Taulukosta 4.2 ja 4.3 voidaan huomata U-arvon ja energian hinnan merkitys energiatehokkuuden kannalta, mutta vielä tärkeämpänä asiana pinta-alan suuri vaikutus energiatehokkuuteen ja rakenteen hintaan. Esimerkkitalo yksi on selkeästi kustannustehottomampi, sekä energiatehottomampi.

Taulukko 4.2. Lämmön johtumisesta aiheutuva lämpöhäviö esimerkkitalossa yksi. (alv 0%)

Johtumisesta aiheutuva lämpöhäviö talossa 1							
Rakennus osa	U-arvo	Pinta-ala (m ²)	Lämpöhäviö vuodessa (kWh/a)	Energian kustannus			Rakenneosan kustannus paikalleen asennettuna (€)
				5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)	
US1	0,23	1812	48611	2431	4861	7292	44394
US2	0,17	1812	35930	1796	3593	5389	50736
YP1	0,15	300	5249	262	525	787	2100
YP2	0,09	300	3149	157	315	472	2700
AP1	0,21	300	7348	367	735	1102	2280
AP2	0,16	300	5599	280	560	840	3000
Vertailu:							
US1 - US2	0,06	0	12681	634	1268	1902	-6342
YP1 - YP2	0,08	0	2100	105	210	315	-600
AP1 - AP2	0,02	0	1750	87	175	262	-720

Taulukko 4.2. Lämmön johtumisesta aiheutuvan lämpöhäviö esimerkkitalossa kaksi. (alv 0%)

Johtumisesta aiheutuva lämpöhäviö talossa 2							
Rakennus osa	U-arvo	Pinta-ala (m ²)	Lämpöhäviö vuodessa (kWh/a)	Energian kustannus			Rakenneosan kustannus paikalleen asennettuna (€)
				5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)	
US1	0,23	1020	27364	1368	2736	4105	24990
US2	0,17	1020	20225	1011	2023	3034	28560
YP1	0,15	600	10498	525	1050	1575	4200
YP2	0,09	600	6299	315	630	945	5400
AP1	0,21	600	14697	735	1470	2204	4560
AP2	0,16	600	11197	560	1120	1680	6000
Vertailu:							
US1 - US2	0,06	0	7138	357	714	1071	-3570
YP1 - YP2	0,08	0	4199	210	420	630	-1200
AP1 - AP2	0,02	0	3499	175	350	525	-1440

4.3 Vaipan ilmanvuodosta johtuva lämpöhäviö

Rakennuksen vaippaa ei tänä päivänä saada rakennettua täysin ilmaa pitäväksi. Työmailla käydäänkin tällä hetkellä keskustelua rakennuksen ilmanpitävyydestä: onko viisasta rakentaa niin tiiviitä taloja kuin nykypäivänä rakennetaan? Työmaat ovat huolissaan rakenteiden kuivumisesta, sillä rakentamisen aikaista epäedullista kosteutta pääsee rakenteisiin ainakin niin kauan, kunnes rakennetaan täydellisen teltan alla. Tällaiselle huolelle ei ole kuitenkaan aihetta, sillä rakenteiden kuivuminen ja ilmatiiveys ovat kaksi täysin eri asiaa. Kun rakenteet toteutetaan suunnitelmien mukaisesti ja rakentamisen laatua valvotaan, ei ongelmia pääse syntymään.

Alla olevista taulukoista 4.3 ja 4.4 voidaan huomata, että molemmissa taloissa syntyy säästöjä, jos taloista saadaan tiiviitä. Jos rakentaja pystyy todistetusti tiettyyn tiiveyteen, voidaan tiiveyttä käyttää jo E-luvun laskentavaiheessa. Käytännössä kerrostalot eivät koskaan ole niin epätiivitä kuin määräyksien antama raja-arvo (4 m³/(hm²)), jos mittauksia ei suoriteta. Molempien talojen q50 arvot on laskettu Pohjanmaalla toteutuneiden ilman tiiveyksien perusteella. q50 arvot vaihtelevat taloittain, sillä ne sisältävät talon korkeudesta riippuvan kertoimen x. Mittaustilanteessa luodaan 50 Pa paine-ero rakennukseen, kun paine-ero on todellisuudessa noin 5 Pa luokkaa. Edellä mainittu kerroin x ottaa huomioon talon korkeuden lisäksi myös kyseisen paine-eron muunnoksen normaalitilanteeseen.

Taulukko 4.3. Vaipan ilmanvuodosta johtuva lämpöhäviö talossa yksi. Vertailuarvo q50 4 m³/(hm²) ei ole todellinen. (alv 0%)

Ilmanvuodosta johtuva lämpöhäviö talo 1							
Rakennusosa	q50-arvo	Pinta-ala	Lämpöhäviö vuodessa (kWh/a)	Energian kustannus			Tiiveyden mittauksen kustannus (€)
				5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)	
Ei mitattu	4	2712	28118	1406	2812	4218	0
Mitattu	1,6	2712	11247	562	1125	1687	2000
Vertailu:							
Ei mitattu - mitattu	2,4	0	16871	844	1687	2531	-2000

Taulukko 4.4. Vaipan ilmanvuodosta johtuva lämpöhäviö talossa kaksi. (alv 0%)

Ilmanvuodosta johtuva lämpöhäviö talo 2							
Rakennusosa	q50-arvo	Pinta-ala	Lämpöhäviö vuodessa (kWh/a)	Energian kustannus			Tiiveyden mittauksen kustannus (€)
				5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)	
Ei mitattu	4	2520	19596	980	1960	2939	0
Mitattu	1,72	2520	8426	421	843	1264	2000
Vertailu:							
Ei mitattu - mitattu	2,28	0	11169	558	1117	1675	-2000

Taulukossa 4.5 on vertailu esimerkkitaloista. Taulukosta huomaa helposti, että q50-arvoon vaikuttava pinta-alan muutos ei ole niin suuri kuin ulkoseinän vaipan pinta-alan muutos, sillä siinä on mukana myös yläpohjan ja alapohjan pinta-ala. Tästä syystä rakennuksen muodosta johtuva muutos on huomattavasti pienempi kuin lämmönjohtumistarkastelussa. Taulukosta 4.5 voidaan kuitenkin selkeästi huomata, että talossa kaksi tapahtuu vähemmän ilmanvuotoa.

Taulukko 4.5. Ilmanvuodosta johtuvan lämpöhäviön vertailu esimerkkitaloissa. (alv 0%)

Ilmanvuodosta johtuva lämpöhäviö (talovertilu)						
Rakennusosa	q50-arvo	Pinta-ala	Lämpöhäviö vuodessa (kWh/a)	Energian kustannus		
				5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)
Vertailu:						
Ei mitattu:						
Talo 1 - Talo 2	0	192	8522	426	852	1278
Mitattu:						
Talo 1 - Talo 2	-0,12	192	2821	141	282	423

4.4 Ilmastoinnista talteenotettu lämpö

Taulukosta 4.6 voidaan nähdä valittujen LTO-laitteiden vuosihyötysuhteet ja niiden verrannolliset vuosihyötysuhteet. Nyt puhutaan siis poistoilmasta talteen otetusta kokonaisenergian määrästä, joka käytetään hyödyksi. Huomattavaa tässä taulukossa on se, että laitekustannukset ovat ainoita kustannuksia mitä taulukosta löytyy. Vaikkakin laitekustannukset ovat huomattavasti suuremmat pyöriväkennoisessa vähän paremmassa laitteessa, ovat myös säästöt huomattavasti paremmat.

Taulukko 4.6. Kaikkien lämmöntalteenottolaitteiden poistoilmasta talteenotetun energian määrä. (alv 0%)

Poistoilmasta talteenotettu energia								
LTO-laite	Vuosihyötysuhde	Koneiden määrä	Poistoilmasta talteenotetun energian määrä (kWh/a)	Poistoilmasta talteenotetun kokonaisenergian määrä (kWh/a)	Energian kustannus			LTO-laitteen laitekustannus
					5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)	
Ristivirtaus	50 %	33	3800	125400	6270	12540	18810	29700
Pyöriväkennoinen	79 %	33	6000	198000	9900	19800	29700	66000
Vertailu:								
Huonompi - Parempi	-29 %	0	-2200	-72600	-3630	-7260	-10890	-36300

4.5 Rakenneosan valinnan vaikutus E-lukuun

Energiatehokkuusluku on rakentamisen piirissä verrattain uusi termi, eikä tuotannolla ole vielä selvää käsitystä miten tietyt valinnat vaikuttavat energiatehokkuuslukuun. Seuraavissa taulukoissa on esitettyä eri valintojen vaikutus E-lukuun, sekä prosenttiosuus vähimmäisvaatimuksesta. Ikkunoiden, rakenneosien, ilmantiiveysmittausten ja LTO-laitteiden hinnat ovat samoissa taulukoissa mukana muistuttamassa investoinnin suuruudesta.

4.5.1 Ikkunan valinta

Ikkunatyypin valinnalla on merkittävä vaikutus rakennuksen energiatehokkuuslukuun. Energiatehokkaammat ikkunat ovat pääsääntöisesti nelilasisia, kun taas perusikkunat ovat kolmilasisia. Taulukosta 4.7 on helppo nähdä, että pienin U-arvo ja johtumisesta aiheutuva lämpöhäviö on ikkunatyypillä kaksi, joka tulisi valita jos katsotaan pelkästään rakenneosan valinnan vaikutusta E-lukuun. Toisaalta pienen U-arvon omaavien ikkunoiden kanssa on ollut ongelmia. Ikkunan uloin lasi voi huurtua, sillä ulkolasi on normaaliin ikkunaan verrattuna kylmempi.

Jos ajatellaan ikkunaan energiatehokkaana, mutta myös kustannustehokkaana sijoituksena, voidaan taulukosta laskea helposti myös parannusprosentin kustannus eli E-parannuskustannus. Jos parannetaan ikkuna perusikkunasta ikkunatyypin yksi, on prosenttiosuuden erotus 4,5 prosenttia ja ikkunan hinnan erotus paikalleen asennettuna 1500 euroa. E-parannuskustannukseksi tulee tässä tapauksessa vain noin 330 euroa. Vertailun vuoksi: kun parannetaan perusikkunasta ikkunatyypin kaksi, tulee E-parannuskustannukseksi noin 1650 euroa. Tämän perusteella vaihto perusikkunasta ikkunatyypin yksi on kannattavampaa.

Taulukko 4.7. Ikkunavalinnan vaikutus E-lukuun. (alv 0%)

Rakenneosan valinnan vaikutus E-lukuun ennen lämmitysmuodon huomioimista					
Rakennusosa	U-arvo	Lämpöhäviö (kWh/a)	Vaikutus E-lukuun (kWh/m ² a)	%-osuus vaatimuksesta (130kWh/m ² a)	Rakenneosan kustannus paikalleen asennettuna (€)
ikkunat:					
perusikkuna	1,4	48989	20,4	15,7 %	54600
ikkuna1	1,0	34992	14,6	11,2 %	56100
ikkuna2	0,7	24494	10,2	7,9 %	69000

4.5.2 Rakenneosien valinta

Ulkoseinätyyppien osalta taulukosta 4.8 voidaan nähdä sekä U-arvon että tehokkaasti suunnitellun talon merkitys. Esimerkkitalossa yksi on geometria viety tahallaan äärimmäisyyksiin, jotta nähdään muodon vaikutus myös energiatehokkuusvalintana. Talo kaksi on sekä kustannustehokkaampi, että energiatehokkaampi. Esimerkkitalossa kaksi U-arvon merkitys E-lukuun pienenee huomattavasti, kun vaipan pinta-ala pienenee.

Ulkoseinän rakenteiden osalta E-parannuskustannukseksi tulee molemmissa tapauksissa noin 1400 euroa.

Taulukko 4.8. Ulkoseinätyypin valinnan vaikutus E-lukuun. (alv 0%)

Rakenneosan valinnan vaikutus E-lukuun ennen lämmitysmuodon huomioimista					
Rakennusosa	U-arvo	Lämpöhäviö (kWh/a)	Vaikutus E-lukuun (kWh/m ² a)	%-osuus vaatimuksesta (130kWh/m ² a)	Rakenneosan kustannus paikalleen asennettuna (€)
Talo 1:					
US1	0,23	48611	20,3	15,6 %	44394
US2	0,17	35930	15,0	11,5 %	50736
Talo 2:					
US1	0,23	27364	11,4	8,8 %	24990
US2	0,17	20225	8,4	6,5 %	28560

Yläpohjatyypin vaikutus E-lukuun voidaan nähdä taulukosta 4.9. Yläpohjatyypin valinnassa ei ole suurta kustannuspainetta, eikä kyseisen rakenteen osuus kovinkaan suuri E-luvusta. Tämä siksi, että yläpohjan pinta-ala on myös suhteellisen pieni jos verrataan sitä ulkoseinän pinta-alaan. Toisaalta myös U-arvot ovat yläpohjarakenteissa paljon paremmat. Esimerkkitalossa yksi on yläpohjarakenteen pinta-ala puolet pienempi kuin talossa kaksi ja tästä johtuen vaikutus E-lukuun on talossa kaksi kaksinkertainen. Yläpohjarakenteen E-parannuskustannukseksi tulee molemmissa tapauksissa noin 800 euroa.

Taulukko 4.9. Yläpohjatyypin valinnan vaikutus E-lukuun. (alv 0%)

Rakenneosan valinnan vaikutus E-lukuun ennen lämmitysmuodon huomioimista					
Rakennusosa	U-arvo	Lämpöhäviö (kWh/a)	Vaikutus E-lukuun (kWh/m ² a)	%-osuus vaatimuksesta (130kWh/m ² a)	Rakenneosan kustannus paikalleen asennettuna (€)
Talo 1:					
YP1	0,15	5249	2,2	1,7 %	2100
YP2	0,09	3149	1,3	1,0 %	2700
Talo 2:					
YP1	0,15	10498	4,4	3,4 %	4200
YP2	0,09	6299	2,6	2,0 %	5400

Alapohjarakenteen vaikutus E-lukuun on suurempi, kuin yläpohjarakenteella suuremman U-arvon myötä, mikä voidaan nähdä taulukosta 4.10. Kustannukset alapohjarakenteessa eivät ole suuret. E-parannuskustannus on molemmissa tapauksissa noin 1100 euron luokkaa.

Taulukko 4.10. Alapohjatyypin valinnan vaikutus E-lukuun. (alv 0%)

Rakenneosan valinnan vaikutus E-lukuun ennen lämmitysmuodon huomioimista					
Rakennusosa	U-arvo	Lämpöhäviö (kWh/a)	Vaikutus E-lukuun (kWh/m ² a)	%-osuus vaatimuksesta (130kWh/m ² a)	Rakenneosan kustannus paikalleen asennettuna (€)
Talo 1:					
AP1	0,21	7348	3,1	2,4 %	2280
AP2	0,16	5599	2,3	1,8 %	3000
Talo 2:					
AP1	0,21	14697	6,1	4,7 %	4560
AP2	0,16	11197	4,7	3,6 %	6000

4.5.3 Ilmantiiveyden mittaaminen

Ilmantiiveyden mittaamisella ei pitäisi olla suoraa vaikutusta rakennuksen E-lukuun, sillä rakenne ja työtekniikka toteutus pysyvät samana. Käytännössä jo tieto mittauksen suorittamisesta tuo paineita rakentajalle suoriutua mittauksesta hyvin ja näin ollen tiiveyden mittaamisella on varmasti vaikutusta lopputulokseen. Eli mittaamalla rakennuksesta ilmantiiveys saadaan kaksi kärpästä yhdellä iskulla: parempi lopputulos, joka vaikuttaa käyttöajan kustannuksiin, mutta myös todenmukaisempi E-luku.

Taulukosta 4.11 voidaan nähdä mittauksen suorittamisella olleen todella suuri vaikutus E-lukuun. E-parannuskustannus on tässä tapauksessa esimerkkitalossa yksi noin 300 euroa ja talossa kaksi noin 500 euroa.

Taulukko 4.11. Ilmantiiveyden mittauksen valinnan vaikutus E-lukuun. (alv 0%)

Ilmanvuotoluvun mittaamisen vaikutus E-lukuun ennen lämmitysmuodon huomioimista				
Rakennusosa	Lämmitettävän lämpöenergian määrä (kWh/a)	Vaikutus E-lukuun (kWh/m ² a)	%-osuus vaatimuksista (130kWh/m ² a)	Tiiveyden mittaus (€)
Talo 1:				
Ei mitattu	34633	12,8	9,9 %	0
Mitattu	13853	5,1	3,9 %	2000
Talo 2:				
Ei mitattu	24136	8,9	6,9 %	0
Mitattu	10378	3,8	3,0 %	2000

4.5.4 Lämmön talteenoton vaikutus E-lukuun

Lämmön talteenotolla on parantava vaikutus E-lukuun. Vaikutus on molemmissa taloissa samansuuruinen, koska huoneet, ilmamäärät ja paineet ovat samat. Katsottaessa lämmön talteenoton vaikutusta E-lukuun, voidaan siitä helposti huomata, että sen vaikutus on merkittävän suuri. 2012 energiatehokkuusvaatimusten luonteesta johtuen lämmön talteenottolaitteen valinnalla voidaan muuttaa helposti E-lukua suuntaan tai toiseen. Taulukosta 4.12 voidaan laskea, että ristivirtauslaitteen E-parannuskustannus on noin 800 euroa, kun taas pyöriväkennoisen E-parannuskustannus on noin 1200 euroa.

Taulukko 4.12. Lämmöntalteenottolaitteen valinnan vaikutus E-lukuun. (alv 0%)

LTO-laitteen valinnan vaikutus E-lukuun ennen lämmitysmuodon huomioimista				
Rakennusosa	Lämmitettävän lämpöenergian määrä (kWh/a)	Vaikutus E-lukuun (kWh/m ² a)	%-osuus vaatimuksista (130kWh/m ² a)	LTO-laitteen hinta paikalleen asennettuna (€)
LTO-laitte:				
Ristivirta (perus)	-125400	-46,4	-35,7 %	29700
Pyöriväkennoinen	-198000	-73,3	-56,4 %	66000

4.6 Investoinnin kannattavuus

4.6.1 Sisäinen korko

Jokaisen rakenneosan pitoajaksi on valittu 50 vuotta ja jokaisen laitteen ja ikkunan pitoajaksi on valittu 30 vuotta, kun lasketaan sisäistä korkoa. Investoinnin sisäinen korko on laskettu kolmella eri energian hinnalla, jotta nähdään millainen vaikutus energian hinnalla on investoinnin luonteeseen. Taulukon 4.13 mukaan voidaan todeta, että Pohjanmaalla on lähdetty oikeaan suuntaan parannettaessa rakenteita. Tämä siksi, että sisäisen koron tuottovaatimusta voidaan yleisellä tasolla pitää viidessä prosentissa. Lämmöntalteenottolaitteille on määritetty yksittäisen hankinnan sisäinen korko, sillä sen tuoma arvo on pelkkää säästöä E-lukua ajatellen, mutta vertailu paremman ja huonomman laitteen välillä osoittautuu myös sisäisen koron mukaan kannattavaksi investoinniksi. Tiiveyden mittauksen kannattavuutta on mahdoton verrata jos vaihtoehdot ovat joko mitata tiiveys tai jättää mittaamatta. Taulukosta voidaan huomata myös, että sisäinen korko ei huomioi millään tavalla rakenteiden geometriaa.

Sisäisen koron mukaan parhaan tuottoasteen antaa perusikkunan vaihto ikkunatyyppeihin yksi. Valinta ei ole kuitenkaan yksinkertainen. Jos ikkunoilta vaaditaan parempaa energiatehokkuutta, joudumme valitsemaan ikkunatyyppi kakkosen. On kuitenkin huomioitava, että taulukon mukaan jokainen parannus menee yhtä lukuun ottamatta tuottovaatimuksen piiriin.

Taulukko 4.13. Rakenteiden parantamisen sisäiset korkoprosentit sekä lämmöntalteenottolaitteiden sisäiset korot erillisinä sijoituksina. (alv 0%)

Järjestysnumero	Energian kustannus:	Sisäinen korko:		
		5c/kWh	10c/kWh	15c/kWh
1	Perusikkuna - ikkuna1	47 %	93 %	140 %
8	YP1 - YP2 (Talo1)	17 %	35 %	52 %
12	YP1 - YP2 (Talo2)	17 %	35 %	52 %
5	Ristivirtaus	21 %	42 %	63 %
9	AP1 - AP2 (Talo1)	12 %	24 %	36 %
13	AP1 - AP2 (Talo2)	12 %	24 %	36 %
7	US1 - US2 (Talo1)	10 %	20 %	30 %
11	US1 - US2 (Talo2)	10 %	20 %	30 %
6	Pyöriväkennoinen	15 %	30 %	45 %
4	Ristivirtaus - Pyöriväkennoinen	9 %	20 %	30 %
2	Perusikkuna - ikkuna2	8 %	17 %	26 %
3	ikkuna1 - ikkuna 2	3 %	8 %	12 %
10	Tiiveyden mittausta: (Talo1) ei mitata - mitataan			
14	Tiiveyden mittausta: (Talo2) ei mitata - mitataan			

4.6.2 E-parannuskustannus

E-parannuskustannus on tätä työtä varten tehty investointikriteeri. Taulukon 4.14 järjestys ei poikkea juuri ollenkaan sisäisen koron taulukon järjestyksestä. Mittarin heikkoutena tai vahvuutena voidaan huomata kuitenkin sen reagoiminen pinta-alaan ja energiatehokkuuteen. Mittarin tuomien tuloksien avulla voi talokohtaisesti ottaa kantaa millaisilla keinoilla ensisijaisesti kannattaisi parantaa energiatehokkuutta.

Yksi tämän mittarin vahvuus on, sisäiseen korkoon nähden rakentajan mielestä, että vastaus kerrotaan euroissa, ei prosentteina. Tämän mittarin mukaan on mielekästä tutkia millainen investointi on talon tiiveyden mittaaminen tai mittaamatta jättäminen.

Taulukko 4.14. E-Parannuskustannukset järjestyksessä halvimmasta kalleimpaan. (alv 0%)

Järjestysnumero	Energian kustannus:	Parannusprosentin hinta:
		(€/%-osuus E-luvusta)
1	Perusikkuna - ikkuna 1 Tiiveyden mittaus: (Talo1)	333
10	ei mitata - mitataan Tiiveyden mittaus: (Talo2)	370
14	ei mitata - mitataan	556
5	Ristivirtaus	739
8	YP1 - YP2 (Talo1)	857
12	YP1 - YP2 (Talo2)	857
6	Pyöriväkennoinen	1039
9	AP1 - AP2 (Talo1)	1200
13	AP1 - AP2 (Talo2)	1309
7	US1 - US2 (Talo1)	1547
11	US1 - US2 (Talo2)	1552
2	Perusikkuna - ikkuna2	1823
3	ikkuna1 - ikkuna 2	3794
4	Ristivirtaus - Pyöriväkennoinen	

4.6.3 Takaisinmaksukerrat pitoaikana

Tämän yksinkertaisen mittarin mukaan on helppo vertailla eri energiatehokkuusparannusten kokonaisvaikutusta, mutta myös esittää tulos tavalliselle asiakkaalle. Taulukosta 4.15 voidaan huomata, että tälläkään investointilaskentamenetelmällä ei ole kovinkaan suurta vaikutusta parannusten keskinäiseen järjestykseen. Mittarista voidaan huomata myös, että se ei ota kantaa talon geometriaan millään tavalla. Energian hinnalla voidaan taas huomata olevan kertaava vaikutus takaisinmaksukertoihin.

Taulukko 4.15. Takaisinmaksukerrat pitoaikana kannattavuusjärjestyksessä. (alv 0%)

Järjestysnumero	Energian kustannus:	Takaisinmaksukerrat pitoaikana:		
		5c/kWh	10c/kWh	15c/kWh
1	Perusikkuna - ikkuna 1	14,0	28,0	42,0
8	YP1 - YP2 (Talo1)	8,7	17,5	26,2
12	YP1 - YP2 (Talo2)	8,7	17,5	26,2
5	Ristivirtaus	6,3	12,7	19,0
9	AP1 - AP2 (Talo1)	6,1	12,2	18,2
13	AP1 - AP2 (Talo2)	6,1	12,2	18,2
7	US1 - US2 (Talo1)	5,0	10,0	15,0
11	US1 - US2 (Talo2)	5,0	10,0	15,0
6	Pyöriväkennoinen	4,5	9,0	13,5
4	Ristivirtaus - Pyöriväkennoinen	3	6	9
2	Perusikkuna - ikkuna2	2,6	5,1	7,7
3	ikkuna1 - ikkuna 2	1,2	2,4	3,7
	Tiiveyden mittausta: (Talo 1)			
10	ei mitata - mitataan			
	Tiiveyden mittausta: (Talo 2)			
14	ei mitata - mitataan			

5 TULOSTEN ANALYSOINTI

Tämän työn tuloksiin vaikuttavat lähinnä lämpöhäviöt, investointikriteeri ja käyttötottumukset. Lämpöhäviöitä määrittäessä yksi iso haaste oli pitää laskut yksinkertaisina ja samalla luotettavina, että säästöjen tarkastelu olisi helppoa. Kaikki lämpöhäviöt on määriteltä Suomen rakentamismääräyskokoelman periaatteita noudattaen, tehden seuraavalaisia yksinkertaistamisia. Lämpökuormat ja erilliset kylmäsillat, kuten parvekekonsolit on jätetty huomioimatta koko talon osalta, mikä tekee säästöistä hiukan liian suuria. Kyse ei ole kuitenkaan mistään suuresta virheestä. Asia millä on verrattain suuri vaikutus lämpöhäviöiden määrittämisessä, on lämmityskausi. Lämmityskaudelle ei löytynyt selkeää ja hyvää määritelmää, mitä voitaisiin hyödyntää työssä. Näin ollen lämmityskauden pituus on määritetty Suomen rakentamismääräyskokoelman testivuoden perusteella. Tämän perusteella valittiin lämmityskauden pituus kahdeksan kuukautta. Valittu lämmityskausi vaikuttaa suoraan lämpöhäviöiden suuruuteen, mitä pidempi lämmityskausi, sitä suuremmat lämpöhäviöt. Toinen asia mikä vaikuttaa paljon laskennallisten lämpöhäviöiden suuruuteen on lämmitystavasta riippuvat energiamuotokertoimet. Työssä käytetyt lämpöhäviöt on määritetty ilman energiamuotokertoimia. Työn liitteistä löytyy työssä käytetyt taulukot, kun on otettu huomioon kaukolämmön energiamuotokertoimen. Tämä sai aikaan vain yhden muutoksen investointien kannattavuusjärjestyksessä. Pyöriväkennoinen lämmön talteenotto-laite nousi yläpohjan rakenteen parantamisen edelle. Suuremmat lämpöhäviöt saavat investointikriteerit näyttämään paremmilta, kuin ne todellisuudessa ovat.

Investointikriteerien valinnassa on työssä onnistuttu hyvin. Tuloksiin on kuitenkin asennoiduttava varauksella, sillä investoinnin kannattavuuteen vaikuttavat muuttujat ovat herkkiä. Herkästi vaihtelevia muuttujia ovat esimerkiksi hankintahinta, käyttö- tai pitoikä, huolto ja uusiminen ja energian hinta. Kaikki edellä mainitut kriteerit vaikuttavat kannattavuuteen erittäin paljon.

On myös muistettava, että teoria ja käytäntö ovat kaksi eri asiaa. Näin ollen tulevien asukkaiden käyttötottumukset tai laitteiden säätöviat vaikuttavat myös erittäin paljon siihen millaisia säästöjä energiansäästötoimenpiteillä saadaan oikeasti aikaiseksi. Yhtenä esimerkkinä voisi olla huoneiston lämpötilan säätövika. Suomalaisilla kun on tapana pitää ikkunat auki kun on kuuma ja kiinni kun on kylmä. Mikä onkaan parempi tapa tasoittaa asunnon lämpötila kylmällä ulkoilmalla, kuin avata ikkuna ja päästää kylmä ilma sisälle?

Tässä työssä on tarkasteltu lähinnä rakennuksen vaippaa ja lämmön talteenottoa. Tulevaisuudessa taloteknisten ratkaisujen tarkastelu tulee olemaan entistä tärkeämpää. Sähkön kulutus, käyttöveden lämmittäminen ja lämmitystapa tulevat olemaan tarkaste-

lun kannalta keskeisessä asemassa. Rakennusmääräykset muuttuvat Suomessa hyvin nopealla aikataululla. Uudistuksia on luvassa varmasti jo vuonna 2015, jolloin uusiutuvien energianlähteiden käyttöpakko on hyvin mahdollisesti ajankohtainen. Tämä tulee tuskin vaikuttamaan kaukolämpöverkon alueella olevaa rakentamista. Määräysten kehitystä ohjaa rakennusten energiatehokkuusdirektiivi, minkä mukaan uusien julkisten rakennusten tulee olla vuoden 2019 alussa lähes nollaenergiarakennuksia. Uusia asuinrakennuksia vaatimus koskee vuoden 2020 loppuun mennessä. Määräysten kiristymisen aggressiivisuutta selittää jo rakennuskannassa olevien rakennusten suuri energiankulutus, sillä energiatehokkuusdirektiivin tavoitteet koskevat koko rakennuskantaa.

E-parannuskustannus on työhön kehitelty investointimittari, joka avaa energiatehokkaiden valintojen kannattavuutta rakentajan näkökulmasta. Rakentaja voi sen avulla halutessaan optimoida, millä tavoin parantaa energiatehokkuutta tai saavuttaa energiatehokkuus vaatimukset. Rakentajan näkökulmasta mittarilla on kaksi vahvuutta: vastaus on euroina ja laskettaessa E-parannuskustannusta nähdään myös parannuksen prosentuaalinen vaikutus energiatehokkuus tavoitteen saavuttamiseksi. Toisin sanoen nähdään, mitä rahalla saa. Kun verrataan E-parannuskustannus mittarin tuloksia muihin investointimittareihin ei investointien kannattavuuden järjestys juurikaan vaihtelee, mikä kertoo mittarin luotettavuudesta. Tarkasteltaessa mittaria matemaattisesta näkökulmasta on mittarin vahvuutena myös se, että se ei ole kytköksissä energian hintaan. Toisaalta, koska se ei ole kytköksissä energian hintaan ei se ota kantaa myöskään rakenneosan tai materiaalin säästöihin. Sen käyttäminen edellyttää myös lämpöhäviöiden määrittämisen ymmärrystä, mikä ei ole vielä arkipäivää rakentajan arjessa. Lopuksi voidaan kuitenkin todeta, että tämä on hyvä työkalu kustannustehokkuuden näkökulmasta rakentajalle, joka haluaa varmistua suunnittelijoiden tekemien energiatehokkuus valintojen kannattavuudesta.

6 TULOSTEN VAIKUTUS PERUSAJATUKSESSA

Tässä kappaleessa on tarkoitus käydä läpi tulosten vaikutus perusajatuksen näkökulmasta. Seuraavaksi käydäänkin läpi laskelmien tulokset ja niiden vaikutus omaperustaiseen asuntotuotantoon, tuotteeseen eli rakennukseen ja asiakkaaseen.

6.1 Tuotannon tukiprosessit

Jokaisen rakennusyrityksen perusedellytys on kustannustehokas toiminta. Näin ollen voisi kuvitella, että rakennusyritys katsoo pelkästään viivan alle jäävää tulosta. Tämä ei ole kuitenkaan pitkänäköisen yrittäjän mielestä järkevää. Lainatakseni vanhaa sananlaskua ”Sen mitä taaksesi jätät, sen edestäsi löydät.” pitää tässäkin tapauksessa paikkansa. Tyytyväiseksi jäänyt asiakas on paras mainos rakentamisen alalla ja tämän takia on pyrittävä kehittämään oman tuotannon ratkaisuja parempaan ja järkevämpään suuntaan. Tyytyväinen asiakas esittelee vierailleen ylpeänä uutta kotiaan, kun taas tyytymätön asiakas tahraa tuotteen maineen. On myös erittäin tärkeää muistaa, että ilman asiakasta ei ole rakentamista.

6.1.1 Suunnittelunohjaus

Suunnittelunohjaaja on, ja hänen kuuluukin olla, mukana projektin alustaprojektin loppuun asti. Suunnittelunohjaaja on avainasemassa energiatehokkaita valintoja tehtäessä. Energiatehokkaat valinnat ovat luonteeltaan sellaisia, että ne ovat jo valittu ennen asiakkaan mukaan tuloa. Rakentajan, rakennuksen ja asiakkaan kannalta omaperustaisessa tuotannossa on myös kaikkien etu, että näin tapahtuu. Tällöin on mahdollista rakentaa kustannus- ja energiatehokas talo, joka on molempien intressinä.

Tässä työssä esimerkeiksi valittujen talojen kannalta ei jää epäselväksi kumpi ratkaisuista on energia- ja kustannustehokkaampi. Tämä johtuu rakennuksen vaipan pinta-alan ja rakennuksen tilavuuden suhteesta. Talon yksi vaipan pinta-alan ja tilavuuden suhde on 0,38, kun taas talon kaksi vastaava suhdeluku on 0,35. Jos näiden talojen keskinäistä suhdetta verrataan, on siinä seitsemän prosenttiyksikön ero talon yksi hyväksi. Ulkoseinärakenteen kustannuksien eroa kuvaa paremmin ulkoseinärakenteen pinta-alan ja rakennuksen yhteenlaskettujen kerrosalojen neliömetrit. Jälkimmäisen suhteen vertailussa on talo kaksi noin 38 prosenttiyksikköä tehokkaampi.

Työn tuloksista on helppo huomata, että kun tarkastellaan energiatehokkaita valintoja, on ikkunoiden valinnalla tällä hetkellä erittäin suuri vaikutus kokonaisuuden onnistumiseen. Vaikka millä mittarilla tarkasteltaisiin esimerkkirakenteita tai laitteita,

on ikkuna jonka U-arvo on 1,00 selkeästi paras vaihtoehto. Vaikkakin ikkunoiden pinta-ala on rakennuksesta suhteellisen pieni, tekee sen U-arvon suuruus siitä erittäin tärkeän energiatehokkuuden kannalta ja investoinnin suuruus vastaavasti kustannustehokkuuden kannalta.

Valittaessa lämmöntalteenottolaitteita ovat mitoittavina tekijöinä lähinnä hyötysuhde ja laitekustannus. Lämmöntalteenottolaite on ainut tässä työssä käsitelty energiatehokkuuden kannalta vähän suurempia huoltotoimenpiteitä aiheuttava rakennuksen osa. Ristivirtainen lämmöntalteenottolaite on hankintahintansa takia investointilaskelmien mukaan parempi investointi, mutta molemmat laitteet ovat kannattavia investointeja. Varteenotettavana vaihtoehtona huonekohtaiselle lämmöntalteenotolle on keskitetty lämmöntalteenotto. Keskitetyllä lämmöntalteenotolla päästään nykyään noin 60 – 70 prosentin hyötysuhteeseen ja hankintakustannukset ovat jossain ristivirtaustekniikan ja pyöriväkennoisen tekniikan välimaastossa, mutta tuolloin saadaan säästöä huoltotoimenpiteissä. Toinen etu keskitetyssä lämmöntalteenotossa on se, että huolto suoritetaan yhdessä paikassa, eikä se tuolloin ole asukkaan vastuulla.

Ilmavuodosta johtuvan lämpöhäviön takia on suunnittelun ohjaajan hyvä tietää millaisia tuloksia tuotanto pystyy normaaleilla ratkaisuilla toteuttamaan, mutta myös millaiset käytännön toteutusratkaisut auttavat parempaan tulokseen. Suunnitelmaratkaisut ja -ohjeet ovat ensisijassa auttamassa rakentajaa paremman ilmanvuotoluvun saavuttamiseksi. Puurunkoisen ulkoseinärakenteen tärkeimmät asiat ilmanvuodon suhteen ovat: läpivientien tiiveys, tuulensuojateippaukset, höyrynsulkuteippaukset, huoneistojen välisten seinien yliviennin tiiveys, välipohjan yliviennin tiiveys ja parvekekonsolien tiiveys. Yksi tapa vaikuttaa tiiveyteen on se, että suunnitelmissa on mahdollisimman vähän läpivientejä tiivistävässä rakenteessa. Ikkunoiden koot ja sijainti on mietittävä järkevästi, että läpivientejä on mahdollisimman vähän. Toinen vaihtoehto on lisätä 50mm koolaus runkorakenteen lisäksi sisäpuolelle, mihin asennetaan sisäverhouslevy ja sähköasiat. Tulevaisuuden näkökulmasta tällaiset asiat tulisi opastaa suunnitelmissa. Näin varmistettaisiin myös se, mitä suunnittelijat piirtävät. Suunnitelmissa voisi olla myös ohje esimerkiksi rakenteen tiiviiksi saattamisen varmistamiseksi sekä listaus tarkasteltavista asioista. Mitä paremmin suunnitelmat palvelevat työmaata, sitä parempi on lopputulos.

6.1.2 Laskenta ja hankinta

Laskenta ja hankinta ovat omaperustaisen tuotannon prosessissa mukana verrattain pienen hetken. Näissä toiminnoissa on paras hinta- ja markkinatietous, minkä takia laskennan ja hankinnan sekä energiatehokkaiden ratkaisujen valitsijoiden välillä pitäisi olla saumaton yhteistyö kustannus- ja energiatehokkaan lopputuloksen varmistamiseksi. Tämän tutkimuksen perusteella voisi kyseisiin toimintoihin määritellä painopistealueita, jotka pitäisi tarkistaa ennen kuin tapahtuu jotakin peruuttamatonta. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi ikkunoiden hankintakustannuksen tarkistaminen ja vaikutus energiatehokkuuteen sekä lämmöntalteenoton toteutuksen valinta ja hankintakustannuksen tarkastaminen sekä niiden vaikutus energiatehokkuuteen.

Laskennan ja hankinnanvaikutusmahdollisuudet rakennuksen kustannus- ja energiatehokkuuden kannalta ovat kuitenkin rajoitetut ja liitoksissa markkina-alueen tilanteeseen. Jos esimerkiksi talotekniikkaurakoitsijoilla on tarpeeksi töitä, ovat hinnat aina korkeammat kuin silloin jos toimijoilla on hiljaisempi aika. Lisää vaikutusmahdollisuuksia tulisi jos laskenta ja hankinta tekisivät yhteistyötä tarpeeksi aikaisessa vaiheessa ja voisivat konsultoida ja ohjata suunnittelunohjaajaa oikeisiin ratkaisuihin.

6.1.3 Tuotanto

Tuotannon vaikutus kustannus- ja energiatehokkaaseen lopputulokseen muodostuu selkeiden toteutuskelpoisten suunnitelmien, hyvän tuotannon ohjauksen sekä tehtävätason ohjauksen myötä. Vielä tuotannon alkuvaiheessa on mahdollista vaikuttaa joihinkin laitevalintoihin ja hienosäätää kustannus- ja energiatehokkuutta. Mitä kauemmin tuotanto on pyörinyt, sitä vaikeampi on enää vaikuttaa kustannus- ja energiatehokkuuteen.

Työssä valittujen tarkastelukohteiden perusteella esille nousee ulkoseinärakenteen, yläpohjarakenteen ja alapohjarakenteen suunnitelmien toteutuskelpoisuus. Näiden osalta tuotantoon ei tule sellaisia suunnitelmia, jotka auttaisivat ohjeiden valossa rakentajaa suoriutumaan tehtävästä hyvin. Ohjeiden pitäisi olla nimenomaan suunnitelmissa, eikä liitteissä tai RATU-viitteinä piilossa. Suunnitelmissa tulisi olla yksinkertaiset ohjeet esimerkiksi höyrynsulun asentamisesta, tuulensuojavillan teippauksista, läpivientien tekemisestä, ikkuna-asennuksista sekä parvekekonsolien tiivistämisestä ja lämmöneristyksistä. Tuotannon ohjauksen ja tehtävätason ohjauksen tulisi ottaa kantaa ja varmistaa, että työtekniset asiat suoritetaan oikein. Tuotannolta on nykypäivänä vaadittava näyttöä myös laadun varmistuksesta, tällöin tehtävät tulee tehtyä laadukkaammin. Sama pätee esimerkiksi ilmantiiveyden mittauksen osalta. Jos päätetään mitata talosta ilman tiiveys, pitää tuotanto kunnia-asiana tehdä talosta tiivis. Tällöin päästään varmasti parempaan lopputulokseen kuin silloin, jos mittauksia ei tehtäisi. Tämän lisäksi, jos mittaus suoritetaan, voidaan käyttää kokonaisenergiatarkastelussa parempaa ilmanpitävyysarvoa jo suunnitteluvaiheessa, jonka kautta tulee energiasäästöjä.

6.2 Tuote

Rakennus on kaikkien kustannus- ja energiatehokkuusvalintojen summa, jonka tarve lähtee asiakkaasta. Kun puhutaan omaperustaisesta asuntotuotannosta, puhutaan usein kerrostalosta. Kerrostalo on iso kokonaisuus, joka sisältää lukuisan määrän valintoja. Valintojen määrä korostuu, haasteet kasvavat ja mahdollisuudet lisääntyvät vuoden 2012 määräyksien myötä. Tämän jälkeen rakentajalla on periaatteessa vapaat kädet luoda energiatehokkuusluvun vaatimusten mukainen talo.

Tarkasteltaessa tässä työssä valittuja rakenneosia tai laitteita voidaan huomata, että hankintahinnalla on erittäin suuri rooli investoinnin kannattavuuden suhteen. Hankintahinnat taas vaihtelevat erittäin paljon ja näin ollen on hyvä, että rakentajalla on varaa valita millaisilla keinoilla rakennuksesta saadaan energiatehokas. Jotta tällaiset valinnat saadaan tehtyä järkevästi ja kustannukset saadaan minimoitua, on ammattilai-

sen oltava asialla. On sekä asiakkaan, että rakentajan edun mukaista, että rakentamisen kustannukset saadaan mahdollisimman pieniksi. Tällä on suora vaikutus asunnon hintaan.

Myös rakennuksen toimivuuden kannalta on tärkeää, että energiatehokkaista ratkaisuista päättää ammattilainen. Voimme vain kuvitella millaista olisi toteuttaa kerrostalo, jossa jokaisella asukkaalla olisi oma mielipide siitä, miten talo heidän asunnon osalta rakennettaisiin. Jo pelkästään asukasmuutostyöt, joissa valitaan esteettisiä asioita, luovat kirjavan kirjaston, jota on haastava hallita. Jos mukaan otettaisiin vielä vapaan käden mukaiset tekniset valinnat, olisi kokonaisuutta mahdoton hallita.

6.3 Asiakkaan päävalintakriteerit

Omaperustaisen asuntotuotannon energiavalintoihin ei asiakas pääse suoraan vaikuttamaan. Välillisesti vaikutus tapahtuu markkinaselvityksessä tai -suunnitelmassa määrätyn kohderyhmäksi kuvatun asiakkaan mukaisesti. Päätös siitä, millainen rakennus rakennetaan energiatehokkuuden kannalta, lepää oikeastaan täysin rakentajan harteilla. Rakentajan on rakennettava sellaisia taloja joille on kysyntää.

Toisaalta nykypäivänä suurimmilla rakennusliikkeillä on jo tarjota energiatehokkuusluokiltaan erilaisia paketti-vaihtoehtoja, joista asunnonostaja voi valita mieleisensä. Rakennuksen sijaintiin asunnonostaja ei voi kuitenkaan vaikuttaa. Tällöin on kyse tuotteistamisesta, joka on tällä hetkellä erittäin suosittua rakennusalalla. Tuotteistamisesta voidaan puhua myös silloin, kun asiakas pääsee tekemään asukasvalintoja esimerkiksi kolmesta eri laatuluokasta. Asukasvalinnat keskittyvät selkeästi sisävalmistusvaiheen tapahtumiin eli esimerkiksi kalusteisiin, tapetteihin, maaleihin ja parkettiin. Rakenteelliset muutokset ovat mahdollisia lähinnä kantamattomissa puu- tai metallirunkoisissa kevytväliseinissä.

On erittäin vaikea arvioida tarkasti miten energiatehokkuus- ja ympäristöarvot kehittyvät Suomessa asiakkaiden ja rakennusliikkeiden keskuudessa. Tekniikka kehittyy ja asioista tiedetään päivä päivältä enemmän. Tämä tukee ajatusta siitä, että rakennusliike rakentaisi aina mahdollisimman järkevän rakennuksen energiatehokkuuden ja ympäristön kannalta. On kuitenkin muistettava, että rakennuksen on myös mentävä kaupaksi ja tässä vaiheessa kuvioon astuvat raha ja kustannustehokkuus.

Asiakas, joka haluaa pitkäaikaisen asunnon itselleen, saa paremman tuoton energiatehokkaista ratkaisuista kuin väliaikaisen asunnon ostaja. Näin ollen valveutunut asiakas, joka ostaa väliaikaisen asunnon, suosii kustannustehokkaita ratkaisuja ja ostaa mieluiten talon halvalla. Pitkäaikaisen asunnon ostaja voi antaa painoarvoa energiatehokkaille ratkaisuille, sillä hän pääsee hyötymään niistä. Tämä raha-asia on otettava huomioon rakennettaessa asuntoa ja ostettaessa asuntoa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 2012 määräyksien vaikutus omaperustaiseen asuntotuotantoon ja sen ohjaukseen

Rakennusliikkeen kannalta Suomen rakentamismääräyskokoelman uusiutuminen vuonna 2012 on nähtävä työn perusajatuksen mukaisten pohdintojen perusteella hyvänä mahdollisuutena. Kokonaisenergiatarkasteluun siirtyminen tuo mukanaan mahdollisuuden vaikuttaa siihen, millä tavoin energiatehokas rakennus toteutetaan omaperustaisessa asuntotuotannossa. Suurin riski omaperustaisessa asuntotuotannossa on sen luonteen takia tuotteiden, rakennusosien ja talotekniikan hankintahinta sekä varsinkin hankintahinnan muutokset.

Uusien määräyksien myötä syntyy mahdollisuus hallita hankintahinnan tuomaa riskiä. Ennen kuin edellä mainittua mahdollisuutta voidaan käyttää hyväksi, on kuitenkin sisäistettävä erilaisten energiatehokkuusratkaisujen mitoittavat tekijät. Mitoittavien tekijöiden perusteella voidaan määrittää toimintatapoja ja työkaluja, joilla riskiä on mahdollisuus hallita. Hankintahinta ja sen suhteellinen suuruus hankkeessa on aina yksi mitoittava tekijä, näin ollen hankintahinnaltaan suurien investointien energiatehokkuus ja hinnan muutos olisi aina hyvä tarkistaa. Yksi tärkeimmistä investoinneista ovat ikkunat. Ikkunat ovat hankintahinnaltaan suuri kokonaisuus, joiden mitoittavina tekijöinä ovat hankintahinta ja U-arvo. Näin ollen ikkunoiden hankintahintaa ja U-arvoa tulisi seurata.

LVISA-osaaminen tulee näyttelemään isoa roolia tulevaisuudessa. Jos rakennusliikkeellä ei ole itsessään sisällä edellä mainitun tekniikan osaamista, on erittäin suositeltavaa luoda yhteistyökumppanuuksia, joissa yhteistyö toimii suunnitteluvaiheessa. Kyseisen osaaminen tai osaamattomuus voi vaikuttaa paljon hankkeen taloudelliseen onnistumiseen. Suunnittelun kustannus- ja energiatehokkuutta ei voida sysätä pelkästään suunnittelijoiden harteille. On valitettava tosiasia, että keskikokoisella rakentajalla ei ole talotekniikan ammattiosaamista. Konsulttitoimintaa voi näin ollen syntyä tulevaisuudessa, jos sille on kysyntää. Tarkasteltaessa tätä ongelmaa vielä toiminnallisemmalla tasolla, näyttää tulevaisuus onko energiatehokkaiden ratkaisujen ympärille omaperustaisessa tuotannossa perustettava oma tukiprosessi.

Energia- ja kustannustehokkaissa hankinnoissa piilee tasapainon kautta onnistumisen avaimet. Vuoden 2012 määräyksien ja laskentatapojen selkeytymisen pohjalta syntyy mahdollisuus paremmalle ymmärrykselle. Näin ollen tulemmme tulevaisuudessa näkemään erilaisia laskentatyökaluja, joilla voidaan hallita kokonaisuuden kannalta energiatehokkaita hankintoja, eikä pelkästään yksittäisiä investointeja.

7.2 Tulevaisuus tuotannon ja suunnitelmien osalta

Tuotannon kannalta suurimmaksi haasteeksi 2012 määräyksien pohjalta nousee tulevaisuudessa selkeästi rakenteiden suunnittelun ja toteutuksen oikeellisuus. Tehtävätason suunnittelu, hallinta ja ohjaus tulevat olemaan suuressa roolissa. Vanhoja työtapoja on uudistettava aina projektin johtajasta työmieheen saakka. Parhaana esimerkkinä voidaan nostaa esille rakennuksen ilman vuodosta aiheutuva lämpöhäviö. Rakennuksen ilman-tiiveyden ympärille on rakennettava systematiikka, jolla tiiveydestä voidaan varmistua.

Suunnitelmien kautta on helpointa vaikuttaa siihen, mitä työmaalla tapahtuu. Suunnittelijoilta tulisi vaatia tulevaisuudessa, että suunnitelmissa on selkeät ohjeet siitä, miten esimerkiksi talon ilmantiiveys varmistetaan rakennusvaiheessa. Tällöin suunnittelijat joutuvat suunnittelemaan tiiveyden toteuttamisen, laatimaan siitä yleisohjeen ja piirtämään hankalimmista kohdista detaljit yksilöityine ohjeineen. Suunnittelijat osaavat usein suunnitella mitä vain ja usein kyse on siitä, ettei rakentaja osaa vaatia tai pyytää oikeita asioita tekemisen helpottamiseksi.

Jotta suunnitelmat saadaan palvelemaan työmaata paremmin, on suositeltavaa tarkastella tuotantopäällikön ja suunnittelunohjaajan yhteistyötä. He ovat avainasemassa, kun halutaan vaikuttaa suunnitelmiin.

7.3 Asiakkaan vaikutus rakentamiseen

Asiakaspalaute ja sen analysointi ovat ensiarvoisen tärkeässä asemassa, sillä palautteen ja analysoinnin perusteella selviää, miten aikaisemmissa projekteissa on onnistuttu. Edellä mainitut tehtävät on otettava huomioon tehtäessä markkinointistrategiaa ja markkinaselvitystä. Markkinointistrategia ja markkinaselvitys määräävät asiakaspalautteen analysoinnin avulla selkeät suuntaviivat ja tavoitteet syntyvälle tuotteelle. Tästä syystä asiakaspalautteen saamisesta on pidettävä erityistä huolta. Yksin palautteen saaminen ei vielä riitä, vaan saatua palautetta täytyy käyttää hyväksi. Tämän ketjun toimiessa on mahdollista saada mahdollisimman hyvä rakennus energiatehokkuuden kannalta, mutta vielä tärkeämpää on saada erittäin tyytyväinen asiakas.

Asiakas on se, joka päättää millainen koti hänelle rakennetaan. Kun rakennetaan kerrostaloa, on asiakkaita paljon ja sen takia asiakasmassasta on määritettävä keskiarvo. Näin menettelemällä saavutetaan mahdollisimman suuri mahdollisten asiakkaiden joukko. Rakennusmääräyksien kautta rakennuksista tehdään jo hyvin energiatehokkaita ja ympäristön huomioon ottavia rakennuksia. Haluttaessa vielä parempaa, on asiakkaiden viettävä energiatehokas rakentaminen omaperustaisessa asuntotuotannossa seuraavalle tasolle vaatimuksien kautta.

Työssä tehtyjen investointilaskelmien mukaan kaikki energiatehokkaat parannukset ovat kannattavia pitkässä juoksussa valitusta energian hinnasta riippumatta. Energian hinnan nousu tekee investoinneista kannattavampia, mutta ei matematiikan takia vaikuta suoraan niiden kannattavuusjärjestykseen. Kannattavuuteen vaikuttaa ensisijaisesti energiatehokkaan valinnan osalta sen hankintahinta ja vaikutus energiatehok-

kuuteen, jonka taas määrittelee rakennuksen olemus. On muistettava, että tässä työssä tehdyt investointilaskelmat ovat suuntaa-antavia ja niihin on siksi suhtauduttava varauksella. Kannattavuudella tulevat myös rajat vastaan.

Lopuksi on todettava, että määräyksien olemassaolo on yhteiskunnalle hyväksi. Perusteluna tälle on se, että alalla käytettävät energiatehokkaat ratkaisut kehittyvät koko ajan, joten sekä rakentajan, että yhteiskunnan on vaikea pysyä mukana. Suuntaviivat ovat tämän takia tervetulleita.

7.4 Tarkastelutapa

Tutkimuksen rakennetta ja kulkua muokkaamalla saisi työstä enemmän tutkimuksen muotin mukaisen. Toisaalta tutkimuksessa on käyty läpi ne asiat mitä on todella haluttu. Tarkasteltavat asiat, eli rakenteet, ikkunat ja lämmöntalteenotto, on pyritty valitsemaan rakentajan kannalta siten, että rakentaja on vastuussa tarkasteltavasta asiasta läpi koko rakentamisen prosessin. Toisaalta myös niin, että tarkasteltavat asiat pysyvät mahdollisimman yksinkertaisina. Tarkasteltavien asioiden valinnassa onnistuttiin hyvin edellä mainittujen kriteerien valossa. Rakennuksen vaipan avulla energiatehokkuuden parantamisen kannattavuutta on kuitenkin kyseenalaistettava, sillä vaipan kehitys on tullut jokseenkin tiensä päähän. Jos olisi haluttu valita sellaisia tarkasteltavia asioita joiden avulla tulevaisuudessa on kannattavaa parantaa energiatehokkuutta, olisi pitänyt keskittyä taloteknisiin asioihin. Toisaalta ei ole tärkeää, mikä on tarkasteltava asia, vaan miten kannattavuutta pitäisi ja kannattaa tutkia rakentajan kannalta. Työssä on onnistuttu lähestymään energiatehokkuuden parantamista rakentajan näkökulmasta, mutta sitä on myös pohdittu tuotteen ja asiakkaan näkökulmasta. Kannattavuuden tutkimisen näkökulmasta mittareiden valinnassa, jopa mittarin tekemisessä, on onnistuttu. E-parannuskustannus mittari on varmasti käytännöllinen tapa tarkastella energiatehokkaita valintoja rakentajalle ja sen toimivuus on pystytty osoittamaan muiden mittareiden avulla.

LÄHTEET

[1] www.passiivi.info. 2011. Passiivitalon määritelmä. [www]. [viitattu: 10.10.2010] Saatavissa: http://www.passiivi.info/download/passiivitalon_maaritelma.pdf

[2] www.energia.fi. 2011. Primäärienergia ja kaukolämmön kilpailukyky. Loppuraportti 27.9.2010. GaiaConsulting Oy. [www]. Saatavissa: http://www.energia.fi/sites/default/files/primaarienergia_ja_kaukolammon_kilpailukyky_gaia.pdf

[3] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2012. Luonnos 27.10.2011. Ympäristöministeriö. 74 s.

[4] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2010. Helsinki 2008. Ympäristöministeriö. 14s.

[5] Nieminen J. Kouhia I. Matalaenergiatalo. Powerpoint-esitys. VTT. 20 s.

[6] Nieminen J. Passiivitalon suunnittelu. Powerpoint-esitys. VTT. 27 s.

[7] Zero-energy Building. 2011. Zero-energy building definitions. [www]. [viitattu: 10.10.2010]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Zero-energy_building#Definitions

[8] Nollaenergiatalo. 2011. Nollaenergiatalon määritelmä. [www]. [viitattu: 10.10.2010]. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Nollaenergiatalo#Eri_m.C3.A4.C3.A4ritelmi.C3.A4

[9] Nearly Zero Energy Buildings in Europe. Perspectives and paths to 2020, A Brainstorming Workshop. Brussels 2010. Intelligent Energy Europe. 10 s.

[10] Plusenergiatalo. 2011. Plusenergiatalon määritelmä. [www]. [viitattu: 10.10.2010] Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Plusenergiatalo>

[11] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C3. Rakennusten lämmöneristys, määräykset 2010. Helsinki 2008. Ympäristöministeriö. 10 s.

[12] Ympäristöministeriön moniste 122. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Helsinki 2003, Ympäristöministeriö asunto ja rakennusosasto. 35 s.

- [13] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2007. Helsinki 2007. Ympäristöministeriö. 72 s.
- [14] Kalliomäki P. Energiapaketti 2012, taustamuistio. Helsinki 2010. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 18 s.
- [15] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki 2011. Ympäristöministeriö. 35 s.
- [16] Energiatodistusopas 2007. Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen. Helsinki 2009. Ympäristöministeriö. 147 s.
- [17] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Helsinki 2013. Ympäristöministeriö. 36 s.
- [18] Vuorenmaa R. Rakennetyypit. Koy Vaasan Kustaanportti. Vaasa 2009. Contria. 25 s.
- [19] Vuorenmaa R. Rakennetyypit. Kiinteistö Oy Vaasan Kustaanportti 2. Vaasa 2010. Contria. 8 s.

LIITTEET

1. Talojen muodosta aiheutuvien lämpöhäviöiden vertailutaulukko
2. Lämmityskauden määrittämiseen käytetty taulukko.
3. Kaikki investointilaskelmien tulokset samassa taulukossa
4. Johtumisesta aiheutuvien lämpöhäviöiden taulukot, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.
5. Ilmanvuodosta johtuvien lämpöhäviöiden taulukot, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.
6. Taulukko ikkuna valinnan vaikutuksesta E-lukuun, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.
7. Taulukot rakenneosien valinnan vaikutuksesta E-lukuun, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.
8. Taulukko ilmantiiveyden mittauksen valinnan vaikutuksesta E-lukuun, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.
9. Taulukko lämmön talteenoton vaikutuksesta E-lukuun, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.
10. Investoinnin kannattavuus taulukko sisäisen koron mukaan, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.
11. Investoinnin kannattavuus taulukko parannusprosentin kustannuksen mukaan, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.
12. Investoinnin kannattavuus taulukko takaisinmaksukerrat pitoaikana mukaan, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.

Liite 1. Talojen muodosta aiheutuvien erojen vertailutaulukko

Esimerkkitalo:	Ratkaisu:	Lämmittämiseen tarvittavan energian kustannus euroina, kun energia 5c/kWh (€)	Lämmittämiseen tarvittavan energian kustannus euroina, kun energia 10c/kWh (€)	Lämmittämiseen tarvittavan energian kustannus euroina, kun energia 15c/kWh (€)	Rakentamisen kustannukset (€)
Talo 1	ratkaisu 1	7782,978512	15565,95702	23348,93554	106374
Talo 2	ratkaisu 1	6944,29728	13888,59456	20832,89184	91350
	Talo 1 - Talo 2	838,681232	1677,362464	2516,043696	15024
Talo 1	ratkaisu 2	5264,78336	10529,56672	15794,35008	120936
Talo 2	ratkaisu 2	4798,886381	9597,772762	14396,65914	104460
	Talo 1 - Talo 2	465,8969792	931,7939584	1397,690938	16476

Liite 2. Lämmityskauden määrittämiseen käytetty taulukko

Kuukausi	Kuukauden keskilämpötila [°C]	Kuukauden lämmityskauden lämpötilat [°C]
tammikuu	-8,0	-8,0
helmikuu	-7,2	-7,2
maaliskuu	-3,5	-3,5
huhtikuu	2,4	2,4
toukokuu	8,8	8,8
kesäkuu	13,4	Ei lämmitetä
heinäkuu	15,8	Ei lämmitetä
elokuu	13,8	Ei lämmitetä
syyskuu	9,2	9,2
lokakuu	4,1	4,1
marraskuu	-1,7	-1,7
joulukuu	-5,9	-5,9
Lämmityskauden keskilämpötila		-0,2

Liite 3. Kaikki investointilaskelmien tulokset samassa taulukossa

Järjestys-numero	Energian kustannus:	Sisäinen korko:			Parannusprosentin hinta: (€/%-osuus E-luvusta)	Takaisinmaksukerrat pitoaikana:		
		5c/kWh	10c/kWh	15c/kWh		5c/kWh	10c/kWh	15c/kWh
1	Perusikkuna - ikkuna1	47 %	93 %	140 %	333	14,0	28,0	42,0
8	YP1 - YP2 (Talo1)	17,00 %	35,00 %	52,00 %	857	8,7	17,5	26,2
12	YP1 - YP2 (Talo2)	17,00 %	35,00 %	52,00 %	857	8,7	17,5	26,2
5	Ristiv irtaus	21,00 %	42,00 %	63,00 %	739	6,3	12,7	19,0
9	AP1 - AP2 (Talo1)	12,00 %	24,00 %	36,00 %	1200	6,1	12,2	18,2
13	AP1 - AP2 (Talo2)	12,00 %	24,00 %	36,00 %	1309	6,1	12,2	18,2
7	US1 - US2 (Talo1)	10,00 %	20,00 %	30,00 %	1547	5,0	10,0	15,0
11	US1 - US2 (Talo2)	10,00 %	20,00 %	30,00 %	1552	5,0	10,0	15,0
6	Pyöriväkennoinen	15,00 %	30,00 %	45,00 %	1039	4,5	9,0	13,5
4	Ristiv irtaus - Pyöriväkennoinen	9 %	20 %	30 %		3	6	9
2	Perusikkuna - ikkuna2	8 %	17 %	26 %	1823	2,6	5,1	7,7
3	ikkuna1 - ikkuna 2	3 %	8 %	12 %	3794	1,2	2,4	3,7
	Tiiveyden mittaust (Talo1)							
10	ei mitata - mitataan				370			
	Tiiveyden mittaust (Talo2)							
14	ei mitata - mitataan				556			

Liite 4. Johtumisesta aiheutuvien lämpöhäviöiden taulukot, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.

Johtumisesta aiheutuva lämpöhäviö							
Rakennusosa	U-arvo	Pinta-ala (m ²)	Lämpöhäviö vuodessa (kWh/a)	Energian kustannus			Ikkunan kustannus paikalleen asennettuna (€)
				5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)	
perusikkuna	1,4	300	34292	1715	3429	5144	54600
ikkuna1	1	300	24494	1225	2449	3674	56100
ikkuna2	0,7	300	17146	857	1715	2572	69000
Vertailu:							
Perusikkuna - ikkuna1	0,4	0	9798	490	980	1470	-1500
Perusikkuna - ikkuna2	0,7	0	17146	857	1715	2572	-14400
ikkuna1 - ikkuna2	0,3	0	7348	367	735	1102	-12900

Johtumisesta aiheutuva lämpöhäviö talossa 1							
Rakennusosa	U-arvo	Pinta-ala (m ²)	Lämpöhäviö vuodessa (kWh/a)	Energian kustannus			Rakenneosan kustannus paikalleen asennettuna (€)
				5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)	
US1	0,23	1812	34028	1701	3403	5104	44394
US2	0,17	1812	25151	1258	2515	3773	50736
YP1	0,15	300	3674	184	367	551	2100
YP2	0,09	300	2204	110	220	331	2700
AP1	0,21	300	5144	257	514	772	2280
AP2	0,16	300	3919	196	392	588	3000
Vertailu:							
US1 - US2	0,06	0	8877	444	888	1332	-6342
YP1 - YP2	0,08	0	1470	73	147	220	-600
AP1 - AP2	0,02	0	1225	61	122	184	-720

Johtumisesta aiheutuva lämpöhäviö talossa 2							
Rakennusosa	U-arvo	Pinta-ala (m ²)	Lämpöhäviö vuodessa (kWh/a)	Energian kustannus			Rakenneosan kustannus paikalleen asennettuna (€)
				5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)	
US1	0,23	1020	19155	958	1915	2873	24990
US2	0,17	1020	14158	708	1416	2124	28560
YP1	0,15	600	7348	367	735	1102	4200
YP2	0,09	600	4409	220	441	661	5400
AP1	0,21	600	10288	514	1029	1543	4560
AP2	0,16	600	7838	392	784	1176	6000
Vertailu:							
US1 - US2	0,06	0	4997	250	500	750	-3570
YP1 - YP2	0,08	0	2939	147	294	441	-1200
AP1 - AP2	0,02	0	2449	122	245	367	-1440

Liite 5. Ilmanvuodosta johtuvien lämpöhäviöiden taulukot, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.

Ilmanvuodosta johtuva lämpöhäviö talo 1							
Rakennusosa	q50-arvo	Pinta-ala	Lämpöhäviö vuodessa (kWh/a)	Energian kustannus			Tiiveyden mittauksen kustannus (€)
				5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)	
Ei mitattu	4	2712	19683	984	1968	2952	0
Mitattu	1,6	2712	7873	394	787	1181	2000
Vertailu: Ei mitattu - mitattu	2,4	0	11810	590	1181	1771	-2000

Ilmanvuodosta johtuva lämpöhäviö talo 2							
Rakennusosa	q50-arvo	Pinta-ala	Lämpöhäviö vuodessa (kWh/a)	Energian kustannus			Tiiveyden mittauksen kustannus (€)
				5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)	
Ei mitattu	4	2520	13717	686	1372	2058	0
Mitattu	1,72	2520	5898	295	590	885	2000
Vertailu: Ei mitattu - mitattu	2,28	0	7819	391	782	1173	-2000

Ilmanvuodosta johtuva lämpöhäviö (taloverailu)						
Rakennusosa	q50-arvo	Pinta-ala	Lämpöhäviö vuodessa (kWh/a)	Energian kustannus		
				5c/kWh (€)	10c/kWh (€)	15c/kWh (€)
Vertailu: Ei mitattu:						
Talo 1 - Talo 2	0	192	5966	298	597	895
Mitattu: Talo 1 - Talo 2	-0,12	192	1975	99	197	296

Liite 6. Taulukko ikkuna valinnan vaikutuksesta E-lukuun, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.

Rakenneosan valinnan vaikutus E-lukuun						
Rakennusosa	U-arvo	Pinta-ala	Lämpöhäviö (kWh)	Vaikutus E-lukuun	%-osuus vaatimuksesta (130kWh/m ²)	Ikkunan kustannus paikalleen asennettuna (€)
perusikkuna	1,4	300	34292	14,3	11,0 %	54600
ikkuna1	1	300	24494	10,2	7,9 %	56100
ikkuna2	0,7	300	17146	7,1	5,5 %	69000

Liite 7. Taulukot rakenneosien valinnan vaikutuksesta E-lukuun, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.

Rakenneosan valinnan vaikutus E-lukuun					
Rakennusosa	U-arvo	Lämpöhäviö (kWh/a)	Vaikutus E-lukuun (kWh/m2a)	%-osuus vaatimuksesta (130kWh/m2a)	Rakenneosan kustannus paikalleen asennettuna (€)
Talo 1:					
US1	0,23	34028	14,2	10,9 %	44394
US2	0,17	25151	10,5	8,1 %	50736
Talo 2:					
US1	0,23	19155	8,0	6,1 %	24990
US2	0,17	14158	5,9	4,5 %	28560

Rakenneosan valinnan vaikutus E-lukuun					
Rakennusosa	U-arvo	Lämpöhäviö (kWh/a)	Vaikutus E-lukuun (kWh/m2a)	%-osuus vaatimuksesta (130kWh/m2a)	Rakenneosan kustannus paikalleen asennettuna (€)
Talo 1:					
YP1	0,15	3674	1,5	1,2 %	2100
YP2	0,09	2204	0,9	0,7 %	2700
Talo 2:					
YP1	0,15	7348	3,1	2,4 %	4200
YP2	0,09	4409	1,8	1,4 %	5400

Rakenneosan valinnan vaikutus E-lukuun					
Rakennusosa	U-arvo	Lämpöhäviö (kWh/a)	Vaikutus E-lukuun (kWh/m2a)	%-osuus vaatimuksesta (130kWh/m2a)	Rakenneosan kustannus paikalleen asennettuna (€)
Talo 1:					
AP1	0,21	5144	2,1	1,6 %	2280
AP2	0,16	3919	1,6	1,3 %	3000
Talo 2:					
AP1	0,21	10288	4,3	3,3 %	4560
AP2	0,16	7838	3,3	2,5 %	6000

Liite 8. Taulukko ilmantiiveyden mittauksen valinnan vaikutuksesta E-lukuun, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.

Ilmanvuotoluvun mittaamisen vaikutus E-lukuun				
Rakennusosa	Lämpöhäviö (kWh/a)	Vaikutus E-lukuun (kWh/m ² a)	%-osuus vaatimuksesta (130kWh/m ² a)	Tiiveyden mittaus (€)
Talo 1:				
Ei mitattu	19683	8,2	6,3 %	0
mitattu	7873	3,3	2,5 %	2000
Talo 2:				
Ei mitattu	13717	5,7	4,4 %	0
mitattu	5898	2,5	1,9 %	2000

Liite 9. Investoinnin kannattavuus taulukko sisäisen koron mukaan, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.

Järjestysnumero	Energian kustannus:	Sisäinen korko:		
		5c/kWh	10c/kWh	15c/kWh
1	Perusikkuna - ikkuna1	33 %	65 %	98 %
5	Ristivirtaus	21,00 %	42,00 %	63,00 %
6	Pyöriväkennoinen	15,00 %	30,00 %	45,00 %
8	YP1 - YP2 (Talo1)	12,00 %	24,00 %	37,00 %
12	YP1 - YP2 (Talo2)	12,00 %	24,00 %	37,00 %
4	Ristivirtaus - Pyöriväkennoinen	9 %	20 %	30 %
9	AP1 - AP2 (Talo1)	8,00 %	17,00 %	22,00 %
13	AP1 - AP2 (Talo2)	8,00 %	17,00 %	22,00 %
7	US1 - US2 (Talo1)	7,00 %	14,00 %	21,00 %
11	US1 - US2 (Talo2)	7,00 %	14,00 %	21,00 %
2	Perusikkuna - ikkuna2	4 %	11 %	18 %
3	ikkuna1 - ikkuna 2	-1 %	4 %	8 %
	Tiiveyden mittaus: (Talo1)			
10	ei mitata - mitataan			
	Tiiveyden mittaus: (Talo2)			
14	ei mitata - mitataan			

Liite 10. Investoinnin kannattavuus taulukko parannusprosentin kustannuksen mukaan, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.

Järjestysnumero	Energian kustannus:	Parannusprosentin hinta:
		(€/%-osuus E-luvusta)
1	Perusikkuna - ikkuna1	484
5	Ristivirtaus	739
6	Pyöriväkennoinen	1039
8	YP1 - YP2 (Talo1)	1200
12	YP1 - YP2 (Talo2)	1200
4	Ristivirtaus - Pyöriväkennoinen	
9	AP1 - AP2 (Talo1)	1800
13	AP1 - AP2 (Talo2)	1800
7	US1 - US2 (Talo1)	2265
11	US1 - US2 (Talo2)	2231
2	Perusikkuna - ikkuna2	2618
3	ikkuna1 - ikkuna 2	5375
	Tiiveyden mittaus: (Talo1)	
10	ei mitata - mitataan	526
	Tiiveyden mittaus: (Talo2)	
14	ei mitata - mitataan	800

Liite 11. Investoinnin kannattavuus taulukko takaisinmaksukerrat pitoaikana mukaan, kun otetaan huomioon kaukolämmön energiamuotokerroin suunnitteluvaiheessa.

Järjestys- numero	Energian kustannus:	Takaisinmaksukerrat pitoaikana:		
		5c/kWh	10c/kWh	15c/kWh
1	Perusikkuna - ikkuna1	9,8	19,6	29,2
5	Ristivirtaus	6,3	12,7	19,0
6	Pyöriväkennoinen	4,5	9,0	13,5
8	YP1 - YP2 (Talo1)	6,1	12,2	18,4
12	YP1 - YP2 (Talo2)	6,1	12,2	18,4
4	Ristivirtaus - Pyöriväkennoinen	3	6	9
9	AP1 - AP2 (Talo1)	4,3	8,5	12,8
13	AP1 - AP2 (Talo2)	4,3	8,5	12,8
7	US1 - US2 (Talo1)	3,5	7,0	10,5
11	US1 - US2 (Talo2)	3,5	7,0	10,5
2	Perusikkuna - ikkuna2	1,8	3,6	5,4
3	ikkuna1 - ikkuna 2	0,8	1,7	2,6
	Tiiveyden mittaus: (Talo1)			
10	ei mitata - mitataan			
	Tiiveyden mittaus: (Talo2)			
14	ei mitata - mitataan			