

Pauli Lappalainen

VAPAA-AJANASUNNOSTA VAKITUISEKSI

Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus rakennuksen
lämpöhäviöiden tasauslaskentaan

Opinnäytetyö

Talotekniikan koulutusohjelma

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Pauli Lappalainen	Insinööri (AMK)	Marraskuu 2018
Opinnäytetyön nimi Vapaa-ajanasunnosta vakituiseksi Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskentaan		36 sivua 4 liitesivua
Toimeksiantaja Mervi Muhonen		
Ohjaaja Tuunanen Jarmo		
Tiivistelmä <p>Kasvavien ympäristövaikutusten vuoksi rakentamisen ja rakennusten energiankulutukseen kiinnitetään yhä enemmän huomiota. Euroopan unioni vaatii jäsenmailtaan yhä tarkempaa rakentamisen valvontaa, ja tämän seurauksena Suomen rakentamismääräykset ja ohjeet on uusittu. Kiristyneet rakentamismääräykset ohjaavat myös olemassa olevien rakennusten korjaamista ja käyttötarkoituksen muutoksia. Rakentamisessa pyritään kohti lähes nolla-energiaratkaisuita.</p> <p>Tässä työssä tutkittiin ilmanvaihtojärjestelmän vaikutusta rakennuksen laskennallisiin lämpöhäviöihin. Rakennusluvan saamiseksi rakennuksen lämpöhäviöiden on oltava käyttötarkoituksen mukaan riittävän alhaiset. Tasauslaskentaa käytetään työkaluna tutkittaessa rakennuksen lämpöhäviöitä. Rakennuslain ja sen asetusten mukaan rakennuksessa voi olla osa-alueita tai rakenteita, jotka eivät täytä niille asetettuja vertailuarvoja, jos tämä ero kompensoidaan toisessa rakenteessa. Työn tavoitteena on tutkia tasauslaskennan keinoin, kuinka rakennuksen lämpöhäviöiden kompensointi onnistuu ilmanvaihtojärjestelmää päivittämällä.</p> <p>Tutkittavassa tapauksessa 2003 rakennetun loma-asunnon rakenteellisia lämpöhäviöitä ei saatu kompensoitua riittävästi erilaisilla ilmanvaihtoratkaisulla. Parantamalla ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa voidaan vaadittava lämpöhäviötaso saavuttaa, jos tiiveys osoittautuu mittauksissa laskennassa käytettävää vertailuarvoa pienemmäksi. Ilman tarkempia mittauksia riittävän lämpöhäviötason saavuttaminen vaatii lämmöneristyksen parantamista sekä esimerkiksi ovien ja ikkunoiden uusimisen.</p>		
Asiasanat energiatehokkuus, lämmöntalteenotto, tasauslaskenta		

Author (authors)	Degree	Time
Pauli Lappalainen	Bachelor of Science	November 2018
Thesis Title Holiday house to detached house How ventilation and heat recovery impact to heat loss calculations		36 pages 4 pages of appendices
Commissioned by Mervi Muhonen		
Supervisor Tuunanen Jarmo		
Abstract <p>Because of environmental impacts people must pay attention to energy consumption in building industry. New versions of building construction regulations were released in 1.1.2018 by The Ministry of the Environment. Improving energy efficiency is one of most important intention of these regulations and degrees.</p> <p>In Finland there are a lot of small houses and holiday houses which are in part time use. Converting these buildings for regular use is big challenge if all energy regulations need to be fulfilled.</p> <p>This thesis studies how heat losses can be reduced by using different kind of heat recovery and ventilation systems. When submitting a permit application for new building or renovation, the equalization calculations must meet energy efficiency requirements. Equalization calculation is one way how to compensate poor construction by using better ventilation and heat recovery.</p> <p>Holiday houses built in 2003 were studied. The result of these calculations shows that it is almost impossible to fulfil regulations by using only heat recovery. Additional measurements need to be taken to find out air leak of building. If the air leak level is small enough, heat loss is possible to compensate. Otherwise new doors and windows with better U-value need to be installed and extra insulation need to be added.</p>		
Keywords energy efficiency, heat recovery, heat loss calculation		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	ENERGIATEHOKKUUS	7
2.1	Rakentamista ohjaavat asetukset	7
2.2	Energiamuotokertoimet ja energiatase	8
2.3	Energiatodistus.....	9
2.4	Tasauslaskenta	11
3	RAKENTEELLISET RATKAISUT JA RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUS	13
3.1	Ilmanvaihdon vaikutus energiatehokkuuteen	14
3.1.1	Ilmamäärät.....	14
3.1.2	SFP-luku	15
3.2	Lämmöntalteenotto.....	15
3.3	Lämmitysmuodon vaikutus kokonaisenergiankulutukseen.....	15
3.4	Lämpöpumppuratkaisut	17
3.4.1	Maalämpöpumput	17
3.4.2	Poistoilmalämpöpumput.....	18
3.4.3	Ulkoilmalämpöpumput.....	20
3.5	Tulisijat	21
4	TUTKIMUSKOHDDE JA LASKELMAT	21
4.1	Nykytilanne.....	21
4.1.1	U-arvojen laskenta	22
4.1.2	Rakenteiden lasketut U-arvot	24
4.1.3	Johtopäätökset nykytilanteesta	25
4.2	Lämmöntalteenotolla varustetun tulo- ja poistoilmakoneen vaikutus.....	27
4.2.1	Tulo- ja poistoilmakoneen vaikutus tasauslaskentaan	27

4.3	Lämmöntalteenotto poistoilmalämpöpumpulla	30
4.4	Järjestelmän valinta.....	33
5	YHTEENVETO.....	34
	LÄHTEET	36

LIITTEET

1.1 LIITE 1. POHJAPIIRRUSTUKSET

1 JOHDANTO

Viime vuosien muutos työelämän rakenteessa ja asumisen tarpeissa on lisännyt halukkuutta käyttää hyvin varusteltuja loma-asuntoja vakituiseen asumiseen. Loma-asunnot rakennetaan ja varustellaan yhä suuremmassa määrin vastaamaan jatkuvasti asuttavia asuntoja, tämä ja etätyömahdollisuuksien lisääntyminen herättävät usein mielenkiinnon loma-asunnon käyttötarkoituksen muutokseen.

Rakentamista ja kaavoitusta ohjataan Maankäyttö- ja rakennuslailla, sen asetuksilla ja kuntien omilla rakennusjärjestyksillä. Näiden avulla pyritään saamaan asumisympäristöstä viihtyisä, turvallinen, ekologinen ja kulttuurisesti kestävä kehitystä noudattava. Direktiiveillä, laeilla, asetuksilla ja ohjeistuksilla pyritään saamaan rakentaminen ja rakennusten ominaisuudet EU:n asettamalle tasolle asumerveyden, turvallisuuden ja energiatehokkuuden kannalta.

Uudisrakentamisen ja rakennuskannan saneeraamisen alueilla taloteknisillä ratkaisuilla on suuri vaikutus sekä asumismukavuuteen että energiatehokkuuteen. Yhä tärkeämmäksi on tullut rakennusten energiankulutus, energiatehokkuus ja kasvihuonepäästöjen rajoittaminen. Suomen rakentamiseen liittyvä energiapolitiikka perustuu Euroopan parlamentin ja neuvoston antamaan direktiiviin rakennusten energiatehokkuudesta EPBD 2010/31/EU. Tämän direktiivin ohjeistuksella on määritetty tapa ja menetelmät, joita käytetään rakennusten energiatehokkuuden laskemisessa.

Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuus riippuu suuresti rakennusteknisistä ratkaisuista, materiaaleista ja lämmitystavasta. Uudisrakentamisessa rakennuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa paljon jo suunnitteluvaiheessa, kun taas saneerattavissa kohteissa kokonaistaloudellisuus ja olemassa olevat rakenteet rajaavat tehtäviä toimenpiteitä. Lisälämmöneristys, ovien ja ikkunoiden vaihto, lämmitysjärjestelmän ja ilmanvaihdon muutokset ovat yleensä ne työkalut, joiden avulla saneerattava kohde on saatava vastaamaan tulevaa käyttötarkoitusta.

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana on olemassa olevan loma-asunnon käyttötarkoituksen muutos vakituiseksi asunnoksi. Työssä tutkitaan mahdollisuutta pienentää rakennuksen ostoenergian kulutusta lämmitettyä pinta-alaa kohti taloteknisillä ratkaisuilla ilman, että tarvittaisiin suuria rakenteellisia muutoksia. Toimeksiantajan toive on, että rakennuksen ulkoasuun ei tehdä suuria muutoksia eikä sisätiloissa asenneta mitään laitteistoja näkyviin paikkoihin.

2 ENERGIATEHOKKUUS

Suunniteltaessa uusia rakennuksia ja korjattaessa olemassa olevia on huomioitava rakentamisen, rakennustarvikkeiden valmistamisen ja rakennuksen käytön vaikutus ympäristöön. Rakentamisen ja rakennusten ympäristövaikutukset ovat yksi tärkeä osa-alue maamme energiapolitiikkaa. Energiankulutuksen vähentäminen ja energiataloudellinen rakentaminen vähentävät osaltaan kasvihuonekaasupäästöjä ja näin ollen hillitsevät ilmastonmuutosta. Euroopan unioni on asettanut tavoitteeksi saavuttaa 20 %:n vähennyksen kasvihuonekaasupäästöissä ja nostaa uusiutuvien energialähteiden osuuden 20 %:n tasolle loppukulutuksesta EU:ssa sekä parantaa energiatehokkuutta myös 20 % vuoteen 2020 mennessä. Suomen osalta vaatimus uusiutuvien energiamuotojen käytöstä on huomattavasti suurempi 38 % kokonaisloppukulutuksesta. (Ympäristöministeriö 2017a.)

2.1 Rakentamista ohjaavat asetukset

Rakentamista ohjaava lainsäädäntö on uusiutunut vuoden 2018 alussa. Tämän seurauksena vanhat suunnittelua ja rakentamista ohjaavat rakentamismääräykset on kumottu, ja niiden tilalle on tullut valtioneuvoston asetuksia ja niiden erillisiä ohjeita. Asetus 1010/2017 uuden rakennuksen energiatehokkuudesta käsittelee uuden rakennuksen tai laajennuksen suunnittelua ja rakentamista. Asetuksen päämääränä on ohjata rakentamista mahdollisimman pieneen kokonaisenergiankulutukseen kuitenkin pitämällä olosuhteet rakennuksessa viihtyisinä ja terveellisinä. Rakennuksen sisäilmaston ja ilmanvaihdon suunnittelua ohjataan asetuksella 1009/2017. Tämän asetuksen taustamateriaalissa, ilmanvaihdon mitoituksen perusteet -hankkeen loppuraportin 2018 liitteessä 2, määritellään muun

muassa eri tilojen tulo- ja poistoilmamäärien minimiarvot sekä lämpötilat. Vastavasti asetuksessa 1047/2017 ohjataan vesi ja viemärijärjestelmien suunnittelua. Rakentamismääräyskokoelman ohjeessa, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, on esitetty yksityiskohtaiset ohjeet rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan. Tarvittavaan lämmitystehoon vaikuttaa häviöiden lisäksi rakennukseen kohdistuvat lämpökuormat, jotka vähentävät ostoenergian tarvetta.

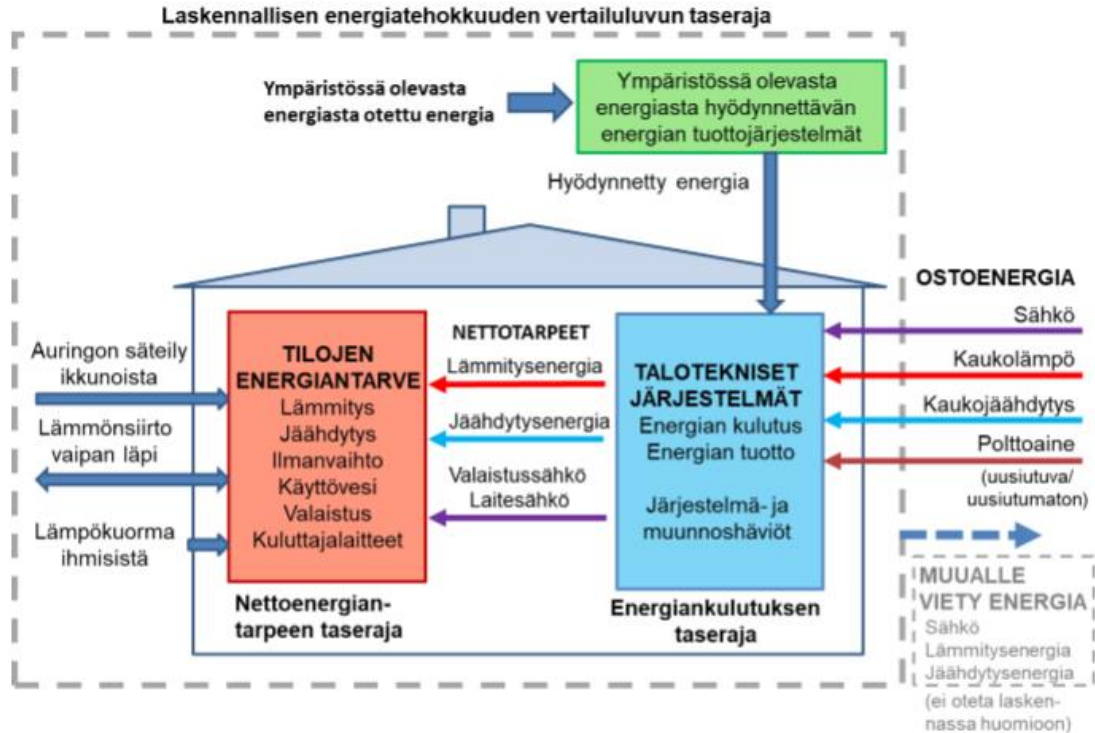
2.2 Energiamuotokertoimet ja energiatase

Maankäyttö- ja rakennuslain (5.02.1999/132, muutokset 958/2012 ja 1151/2016) mukaan on rakennuksessa kulutettavien erilaisten ostoenergioiden määrät muutettava vertailukelpoisiksi keskenään. Energiamuodoille on määrätty vertailuluvut arvioimalla kunkin energiatuotantotavan tehokkuutta, jalostamattoman luonnonenergiankulutusta ja uusiutuvan energian käytön lisäämistä. Nämä kertoimet on vahvistettu valtioneuvoston asetuksessa 788/2017:

- sähkö 1,20
- kaukolämpö 0,50
- kaukojäähdytys 0,28
- fossiiliset polttoaineet 1,00
- rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,50.

Rakennuksen laskettu energiatarve kerrotaan näillä annetuilla kertoimilla laskettaessa kokonaisenergiankulutusta ja sen avulla E-lukua.

Kokonaisenergiankulutus rakennuksessa muodostuu laskemalla sisäilmasto-olosuhteiden aikaansaamiseksi tarvittava lämmitysenergia, ympäristön ja käytön aiheuttamat lämpökuormat ja vähentämällä näiden summasta energiansiirron ja energiantuotannonhäviöt sekä ympäristöstä hyötykäyttöön otettu energia. Kuvassa 1 on esitetty rakennuksen energiakulutuksen taseraja ja erilaiset energiavirrat.



Kuva 1. Rakennuksen energiavirrat (Ympäristöministeriö 2017e)

2.3 Energiatodistus

Rakennusten energiatehokkuuden määrittämiseksi on kehitetty työkalu, jonka antamalla E-luvulla voidaan vertailla erilaisten ja eri paikoissa sijaitsevien rakennusten energiatehokkuutta. Energiatodistukset on otettu käyttöön 2008, ja niitä on uudistettu ajoittain. Määräykset siitä, millaisille rakennuksille energiatodistus on annettava myynnin tai vuokrauksen yhteydessä, ovat kiristyneet useasti. Energiatodistuksen sisällön ja muodon määräävät nykyään laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013 ja ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017. Laissa 170/2013 annetaan määräykset energiatodistuksen laatijan pätevyydestä.

Energiatodistuksessa on oltava näkyvissä rakennuksen eri osien pinta-alat asetuksessa annettujen laskentaohjeiden mukaisesti, näiden lämmönläpäisykertoimet (U-arvo), lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien hyötysuhteet, rakennuksen lämpökuormat ja arvioitu energian kulutus. Kuvassa 2 on esimerkki energiatodistuksen etusivusta. Etusivulla esitetään rakennuskohteen osoite, käyttötarkoitus ja

todistukseen liittyvät tiedot, energiatehokkuusluokka, E-luku sekä todistuksen laatijan tiedot.

ENERGIATODISTUS 2018

Rakennuksen nimi ja osoite:

Pysyvä rakennustunnus:
Rakennuksen valmistumisvuosi:
Rakennuksen käyttötarkoituusluokka:

Todistustunnus:

Energiatodistus on laadittu

Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa
 Uudelle rakennukselle käyttöönottovaiheessa
 Olemassa olevalle rakennukselle, havainnointikäynnin päivämäärä:

	Energiatehokkuusluokka

Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku kWh_E/(m²vuosi)
 Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus ≤

Todistuksen laatija:

Sähköinen allekirjoitus:

Yritys:

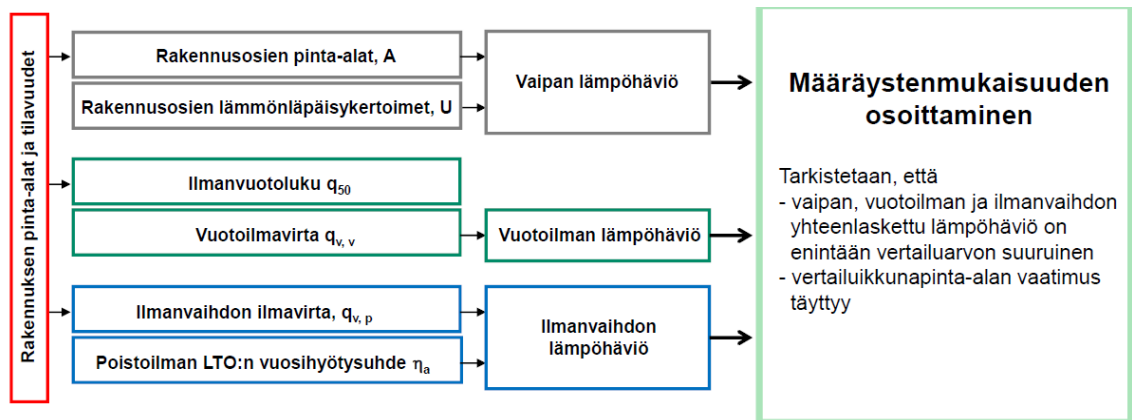
Todistuksen laatimispäivä:

Viimeinen voimassaolopäivä:

Kuva 2. Esimerkki energiatodistuksen etusivusta. (Ympäristöministeriö 2017g)

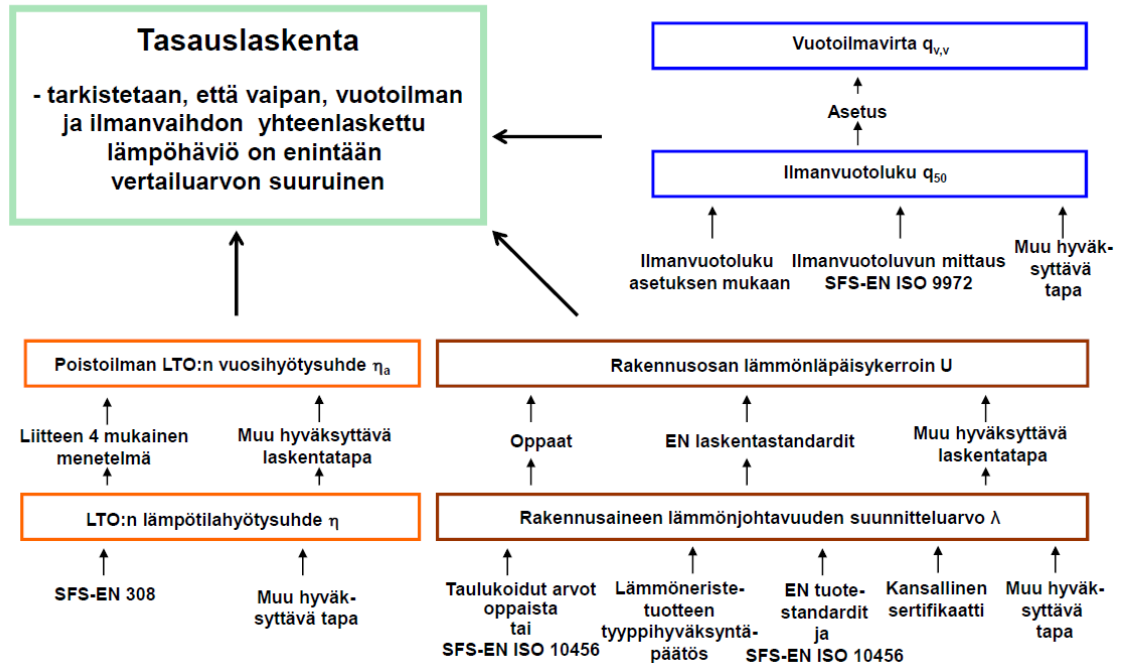
2.4 Tasauslaskenta

Tasauslaskennan tarkoituksena on antaa mahdollisuus erilaisten rakenneratkaisuiden käyttämiseen rakennusta suunniteltaessa. Määräysten mukaan (asetus 1010/2017) saadaan vertailuratkaisu, johon suunnitteluratkaisua verrataan. Suunnitteluratkaisulla pyritään saavuttamaan rakennuksella vertailuratkaisun mukainen tai pienempi E-luku. Tasauslaskennassa rakennuksen lämpöhäviöt jaetaan kolmeen osa-alueeseen: rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöihin. Kuvassa 3 on esitettyä tasauslaskennan kulku, siihen vaikuttavat suureet ja määräystenmukaisuuden osoittaminen.



Kuva 3. Rakennuksen vaipan lämpöhäviöihin vaikuttavat ominaisuudet (Ympäristöministeriö 2017b)

Kunkin osa-alueen lämpöhäviöt lasketaan yhteen ja saatua tulosta verrataan vertailuratkaisun lämpöhäviöön, ja jos joku saatu tulos on huonompi kuin vertailuratkaisussa, se voidaan kompensoida parantamalla muiden ratkaisuiden arvoa. Ympäristöministeriön julkaisussa *Tasauslaskentaopas 2018* annetaan ohjeet tasauslaskennan suorittamiseen, vertailuarvot ja laskentaesimerkkejä erilaisista rakennuksista sekä lämmitys- ja rakenneratkaisuista. Kuva 4 esittää tasauslaskennan lähtöarvojen erilaisia määrittämistapoja: standardit, mittaukset, valmistajan sertifikaatit ja oppaat.



Kuva 4. Lähtötietojen vaihtoehtoisia määrittämistapoja (Ympäristöministeriö 2017b)

Rakennuksenlämpöhäviöitä laskettaessa kaikkia rakenneratkaisuita ei voi käyttää energiankulutuksen tasaukseen vaan niille annetaan vertailuratkaisun mukaiset arvot.

Tasauslaskennassa voidaan valita erilaisia arvoja seuraaville rakenneratkaisuille: lämmöntalteenoton (LTO) laskettu vuosihyötysuhde, rakennuksen laskettu tai mitattu ilmanvuotoluku ja vuotoilmavirta, eri rakennosien lämmönläpäisykertoimet ja ikkunoiden pinta-ala.

Laskentaa suoritettaessa on huomioitavaa joidenkin olemassa olevien määräysten ja ehtojen täytyminen: rakennuksen rakenneosien pinta-alojen on oltava samat sekä suunnittelu- että vertailuratkaisussa, ikkunoiden pinta-ala on oltava alle 50 % rakennuksen julkisivun pinta-alasta, vertailupinta-alana käytetään 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrospinta-aloista. Asuinhuoneissa olevien ikkunoiden pinta-alan tulee olla vähintään 10 % huonepinta-alasta.

Suunnitteluratkaisussa rakenneosien U-arvojen tulee olla asetuksen 1010/2017 mukaisia ja käytettäessä ilmanvuotolukuna q_{50} vertailuratkaisussa olevaa $4.0 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ pienempää arvoa, on siitä esitettävä selvitys tai olemassa oleva mitaustulos. Ilmanvuotoluvulla q_{50} tarkoitetaan rakennuksen vaipan läpi vuotavaa ilmamäärää pinta-alayksikköä kohti tunnissa, kun paine-ero sisä- ja ulkopuolen välillä on 50Pa. Samoin lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä erillinen selvitys. (Ympäristöministeriö 2017b)

3 RAKENTEELLISET RATKAISUT JA RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUS

Eri aikakausina rakentamiskäytännöt ovat vaihdelleet suuresti. Materiaalit, rakenteet, lämmitys ja ilmanvaihto voivat poiketa toisistaan, ja niiden vertaileminen on hankalaa. Tehtäessä peruskorjauksia tai käyttötarkoituksen muuttuessa energiatehokkuusvaatimukset saattavat tehdä projektista täysin kannattamattoman.

Rakentamistavan selvittäminen ja olemassa olevien rakenteiden kartoittaminen vaativat usein jopa purkamista. Uusien ja vanhojen materiaalien yhdistäminen sekä esimerkiksi lisälämmöneristysten toteuttaminen vaativat suurta huolellisuutta ja hyvää tietämystä rakennusten kosteustieteestä.

Lämmitys- ja ilmanvaihtoratkaisuiden muuttaminen nyky määräykset täyttäväksi tuovat haasteita rakennuksen tiiveyden ja hengittävyuden muuttuessa. Rakennuksen sisäiset paine-erot voivat aikaansaada vanhoissa rakennusmateriaaleissa olevien epäpuhtauksien liikkumista sisäilmaan aiheuttaen erilaisia sisäilmaongelmia.

Uusien lämmönlähteiden ja ilmapuhaltuskoneen sijoittaminen kanavistoihin vanhoihin rakennuksiin voi olla haasteellista tilanpuutteen tai esteettisten syiden takia. Kanavistojen kuljettaminen rakennuksen eri osien kautta saattaa tuoda esiin myös paloturvallisuuden liittyviä haasteita.

Arvioitaessa erilaisten rakenneratkaisuiden vaikutusta energiatehokkuuteen on työkaluna lämpöhäviöiden vähentäminen vaikuttamalla lämmöneristykseen, ilmatiiviyteen ja ilmanvaihtoon. Energiatehokkuutta voidaan tasauslaskennassa parantaa erilaisilla lämpöpumppuratkaisuilla, lämmitysenergian valinnalla ja tulosijoilla.

Rakentamismääräyskokoelman asetuksissa *4/13 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä* ja *2/17 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta* sekä näihin liittyvässä taustamateriaalissa käsitellään rakennusten energiatehokkuuden parantamista korjaustöiden yhteydessä.

3.1 Ilmanvaihdon vaikutus energiatehokkuuteen

Ilmanvaihdon tarkoituksena on luoda rakennukseen terveelliset, turvalliset ja viihtyisät olosuhteet oleskelulle. Valtioneuvoston antamassa asetuksessa 1009/2017 annetaan minimiarvot sekä tulo- että poistoilmamäärille. Uudisrakennuksissa ilmanvaihtojärjestelmät ovat pääsääntöisesti koneellisella tulolla ja poistolla varustettuja, kun taas saneerattavissa rakennuksissa voi olla tällaisen järjestelmän sijaan painovoimainen tai koneellisella poistolla varustettu ilmanvaihto rakentamisaikakaudesta riippuen.

3.1.1 Ilmamäärät

Suunniteltaessa tai laajennettaessa rakennusta on sen huonetilojen ilmanvaihdon ilmamäärien oltava vähintään asetukseen 1009/2017 liittyvän taustamateriaalin, *ilmanvaihdon mitoituksen perusteet -hanke loppuraportti 2018 liite 2*, mukaiset tai pyrittäessä parempaan sisäilmanlaatuun voidaan käyttää sisäilmastoluokitus 2018:n mukaisia arvoja.

Tasauslaskentaa suoritettaessa ilmamäärät vaikuttavat tuloilman lämmityksen lisäksi ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen ja il-

manvaihdon lämpöhäviöihin. Laskettaessa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta käytetään suunnitelmien mukaisia ilmamääriä ja käyttöaikoja ja ilmanvaihdon häviöiden laskentaan saadaan rakennuksen käyttöluokan mukaiset ilmamäärät ja käyttöajat asetuksen 1010/2018 §10 ja §11 mukaisista taulukoista.

3.1.2 SFP-luku

Ilmanvaihdon ilmamäärien lisäksi energiatehokkuuteen vaikuttaa ilmanvaihdon ominaissähköteho, SFP-luku (Specific Fan Power), joka kertoo ilmanvaihtokoneen sähkötehon siirrettyä ilmatilavuutta kohti sekunnissa ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde. Käytettäessä koneellista ilmanvaihtoa tai jos rakennuksessa on erillisiä poistoilmakoneita, saa niiden SFP-luku olla enintään $0,9\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja koneellisella tulo- ja poistoilmakoneella on maksimi SFP-luku $1,8\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. (Asetus 1010/2017.)

3.2 Lämmöntalteenotto

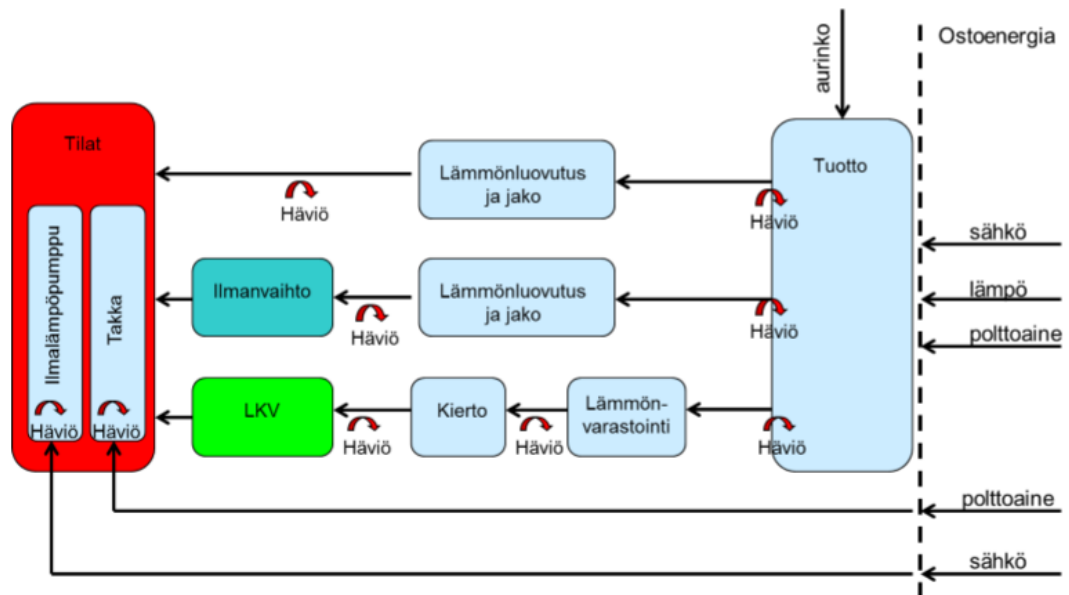
Lämmöntalteenotto on oleellinen elementti pyrittäessä energiatehokkaampaan rakentamiseen. Poistoilma kuljettaa mukanaan suuren määrän siihen sitoutunutta energiaa. Lämmöntalteenotolla on tarkoitus siirtää mahdollisimman paljon tästä energiasta takaisin hyödynnettäväksi. Vertailuratkaisussa käytetään lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena 55 %. Vuosihyötysuhteen laskentatapa on esitetty Tasauslaskentaoppaan 2018 liitteessä IV, ja sen toteuttamisen avuksi on julkaistu erilaisia laskureita ja laskentamalleja. Ympäristöministeriö on julkaissut verkkosivuillaan Excel-mallit LTO-laskin ja PILP-laskin lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämiseksi sekä ohjeet näiden käyttämiselle.

3.3 Lämmitysmuodon vaikutus kokonaisenergiankulutukseen

Rakennuksen erilaisten lämpöhäviöiden kompensoimiseksi on siihen tuotava tilalle energiaa ulkopuolelta. Ostoenergia voi olla polttoaineita, sähköä, lämpöä tai jäähdytysenergiaa. EU-maat ovat yhteisesti sopineet tavoista, joilla pyritään ohjaamaan rakentamista kohti lähes nollaenergiaratkaisuita. Rakennusten energiatehokkuusdirektiiviin (EPBD, 2010/31/EU) perustuen on rakentamismääräyskoelmaa uusittu. Tehdyt muutokset antavat enemmän mahdollisuuksia vaikuttaa

rakennuksen energiatehokkuuteen esim. uusiutuvan energian tuotannolla, aurinkosähkötuotannolla ja lämpökeräimillä.

Pyrittäessä vähentämään laskennallista energiankulutusta ja rakennuksen ympäristövaikutuksia on kannattavaa valita lämmitysenergianlähteeksi ympäristöä mahdollisimman vähän kuormittava ja hiilijalanjäljeltään pieni energiamuoto sekä tämän tueksi uusiutuvista energialähteistä energiansa tuottava järjestelmä esimerkiksi aurinkokeräinjärjestelmä. Lämmitysenergiatarvetta laskettaessa on otettava huomioon lämmitysjärjestelmän ja energiansiirron hyötysuhteet. *Valtioneuvoston asetuksessa rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017*, kohdassa 2.2.7 annetaan ohjearvoja erilaisten lämmitysjärjestelmien vuosihyötysuhteelle, jos sitä ei ole muuten osoitettu esim. laitteiston suunnittelijan toimesta. Kuvassa 5 on esitetty kaaviomuodossa lämmitysenergian siirtyminen rakennukseen ja energian siirrossa syntyvät häviöt.



Kuva 5. Lämmitysjärjestelmän laskenta ja häviöt (Ympäristöministeriö 2012)

3.4 Lämpöpumppuratkaisut

Energiatehokkuuden parantamisvaatimukset ovat kiihdyttäneet viime aikoina erilaisten lämpöpumppuratkaisuiden kehitystä. Lämpöpumpuilla saadaan kustannustehokkaasti siirrettyä matalalämpöisistä lämpöenergiavarastoista; maaperä, vesi ja ilma, energiaa helpommin hyödynnettäviin järjestelmiin. Maalämpö-, ilma-vesi- ja poistoilmalämpöpumput ovat käyttökelpoisia ratkaisuita täyttämään rakennuksen lämmitysenergiantarve kokonaan tai osittain. Osittaisessa mitoituksessa lämpöpumpulla katetaan noin 70 – 80% lämmitysenergiantarpeesta ja loppu energia tuotetaan yleensä sähköllä. Käyttöveden lämmitykseen, jossa veden lämpötila on saatava vähintään 55°C, on kannattavaa käyttää lisälämmitintä lämpöpumppujen apuna, jolloin järjestelmä saadaan toimimaan paremmalla hyötysuhdealueella. Lämpöpumppujen SPF-luku (lämpöpumpun tuottaman energian suhde sen kuluttamaan energiaan) on merkittävä tekijä laskettaessa kokonaisenergiankulutusta ja lämmitysjärjestelmän osuutta rakennuksen sähkönkulutuksesta. Rakentamismääräyskokoelmassa on useita julkaisuita ja ohjeita, jotka käsittelevät lämpöpumppuratkaisuiden energiatehokkuuden ja energiankulutuksen laskentaa.

3.4.1 Maalämpöpumput

Maalämpöpumpuilla siirretään maaperässä olevaa lämpöenergiaa rakennuksen lämmittämiseksi. Maalämpöjärjestelmä koostuu kolmesta pääosasta: keruupiiri, lämpöpumppukoneisto ja lämmönluovuttimet. Keruupiiri on yleensä maaperään upotettu putkisto, jossa kiertää jäätymisenestoaineen ja veden seos. Jäätymisenestoaineina käytetään pääasiassa erilaisia etanoliseoksia noin 30 % seoksina.

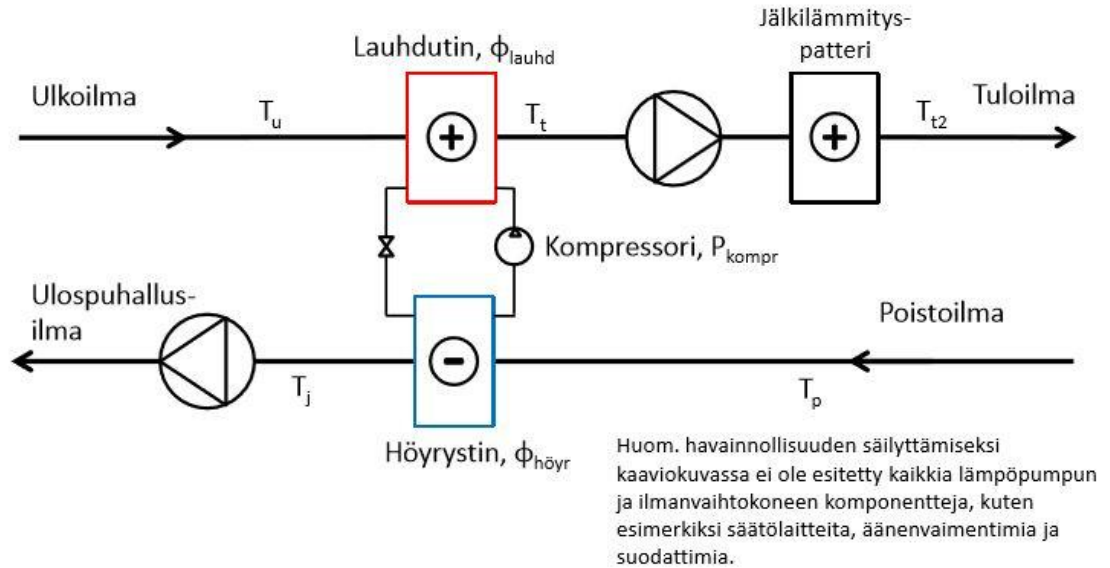
Keruuputkisto voidaan asentaa maaperään tai vesistöön vaakakeruupiirinä yhtenä tai useampana lenkkinä tai maahan porattuun maalämpökaivoon, joka on nykyään yleisin tapa. Pintakerroksista talteen otettu energia on pääosin maaperään varastoitunutta auringon säteilyenergiaa, ja syvissä maalämpökaivoissa osa energiasta tulee maapallon ytimestä tai pohjavesien kuljettamana.

Tasauslaskennassa maalämpöpumpun tuottama lämmitysenergia käsitellään uusiutuvana omavaraisenergiana, joka vähentää ostoenergiatarvetta. Maalämpöpumpusta on selvitettävä sen tuottaman lämpöenergian osuus koko lämmitysenergian tarpeesta, lämpimän käyttöveden tuotosta ja lämpöpumppuratkaisun kuluttaman energia suhde tuotettuun energiamäärään SPF-luku. Rakentamismääräyskokoelman ohjeessa *Energiatohokkuus Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018* taulukossa 7.9 annetaan esimerkkisarvoja maalämpöpumppujen SPF-luvulle. Samassa julkaisussa luvussa 7 annetaan ohjeet SPF-luvun määrittämiseen testaamalla tai laskennallisesti.

Maalämpöpumppuratkaisuiden kokonaishyötysuhteeseen vaikuttaa voimakkaasti lämmönjakotapa ja lämpimän käyttöveden kulutus. Radiaattoreilla toteutettu lämmitysjärjestelmä ja käyttöveden lämmitys vaativat korkeita veden lämpötiloja verrattuna esimerkiksi vesikiertoiseen lattialämmitykseen ja mitä korkeampaan lämpötilaan lämpöpumpulla pyritään, sen epätaloudellisemmaksi sen käyttö muuttuu. Lämpöpumpputeollisuudessa kehitys on nopeaa, SPF-luvut ja järkevästi käytettävät lämpötilat ovat nousseet huomasti verrattuna aiempiin ratkaisuihin.

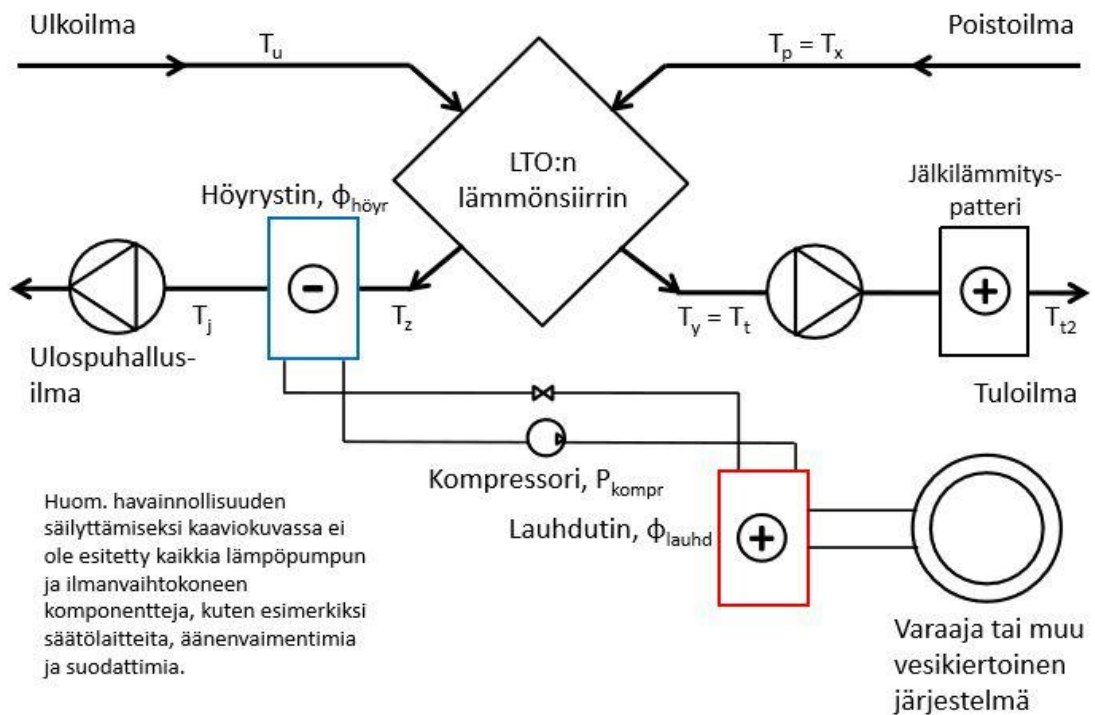
3.4.2 Poistoilmalämpöpumput

Pyrittäessä hyödyntämään paremmin rakennuksen poistoilman sisältämää energiaa on perinteisten lämmönsiirrinjärjestelmien korvaajiksi tai niiden lisäksi tullut erilaisia lämpöpumppuratkaisuita. Kuvissa 6 ja 7 on esitetty periaatteellisesti muutama tapa käyttää lämpöpumppua lämmön talteenotossa rakennuksen poistoilmasta. Kuvan 6 ratkaisussa poistoilmakanavassa sijaitsevalla höyrystimellä otetaan talteen lämpöenergiaa, joka siirretään kompressorin ja kylmäaineen avulla lämmittämään lauhduttimen läpi kulkevaa ulkoilmaa.



Kuva 6. Energiaa tuloilmaan siirtävä poistoilmalämpöpumppu (Rakentamismääräyskokoelma PILP-opas 2018)

Lämpöpumppukoneisto voidaan yhdistää lämmöntalteenottolaitteistoon kuvan 7 mukaisella tavalla, jossa lämmönsiirtimen jälkeen sijaitsevalla höyrystimellä otetaan talteen ulospuhallusilman lämpöenergiaa ja siirretään se vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään.



Kuva 7. Poistoilmalämpöpumppu yhdistettynä lämmönsiirtimeen (Rakentamismääräyskokoelma PILP-opas 2018)

Kuvissa esitettyjen esimerkkien lisäksi poistoilmapumppu voidaan sijoittaa järjestelmässä muihinkin paikkoihin ja sen tuottama energia voidaan siirtää eri tavoilla tarvittaviin kohteisiin lämmönvaihdinten eri väliaineiden avulla.

Laskettaessa poistoilmalämpöpumpun vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on laskettava vastaavalla tavalla kuin muissakin LTO-ratkaisuissa. Tasauslaskennassa PILP-järjestelmien vuosihyötysuhteen vertailuarvona käytetään 55 % ja laskennassa käytetään vakioituja käyttöaikoja ja ilmavirtoja. Järjestelmän vuosihyötysuhteen määrittämisessä käytetään suunnitteluratkaisun mukaisia ilmamääriä tulo- ja poistoilmoille. Ympäristöministeriön julkaisemassa ohjeessa *PILP-opas 2018* annetaan ohjeet poistoilmalämpöpumppujärjestelmien vuosihyötysuhteen laskemiseksi ja PILP-laskurin käytölle.

3.4.3 Ulkoilmalämpöpumput

Pienissä rakennuksissa voidaan osa lämmitysenergiasta tuottaa ulkoilma (ilma-ilma) -lämpöpumppuratkaisuilla, näissä tapauksissa laskennassa voidaan vähentää vuotuista lämmitysenergian tarvetta konekohtaisesti taulukon 1 mukaisesti:

Taulukko 1. Ilma- ilma lämpöpumpun tuottama energia vuodessa (Asetus 1048/2017)

Rakennusluvan vireilletulovuosi	-1985	1985-	10/2003-
Ilma-ilmalämpöpumpun tuottama vuotuinen energia	6000 kWh/laitte, kuitenkin enintään 40 kWh/m ²	5000 kWh/laitte, kuitenkin enintään 35 kWh/m ²	3000 kWh/laitte

Ulkoilmalämpöpumppujen, samoin kuin muidenkin lämpöpumppuratkaisuiden osatoenergiankulutus lasketaan ohjeen *Energiatehokkuus Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018* mukaan.

3.5 Tulisijat

Varaavalla tulisijalla on mahdollista kattaa osa lämmitysenergian tarpeesta, jolloin laskettava energiantuotto on 3000 kWh/tulisija. Rakennuksessa tai rakennuksen osassa, jossa ei ole muuta lämmitysjärjestelmää on tulisijoilla mahdollista kattaa koko energiantarve. Varaavan tulisijan lämmityksen vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 0.6 laskettaessa ostoenergiankulutusta tai laitevalmistajan ilmoittamaa hyötysuhdetta kerrottuna 0.8 (muut lämmityslaitteet/lämmönluvutuksen hyötysuhde). (Asetus 1048/2017.)

4 TUTKIMUSKOHDE JA LASKELMAT

Tutkittavana kohteena on Puumalassa sijaitseva 2000-luvulla rakennettu pyörö-hirsinen n.120 m² rakennus, jonka omistajat työskentelevät ulkomailla pääosan vuodesta. Rakennus halutaan muuttaa vakituisesti asuttavaksi, jotta omistajat voisivat luopua toisesta asunnosta, jossa he ovat kirjoilla.

Tavoitteena on tutkia laskennallisoin keinoin, onko mahdollista kompensoida rakennuksen laskennallista lämpöhäviötä ainoastaan ilmanvaihtotekniikkaa ja lämmitysjärjestelmiä muuttamalla riittävästi, jotta rakennuslupaan vaadittava taso saavutettaisiin.

Rakennuksen nykyinen tilanne, jossa käytössä on painovoimainen ilmanvaihto, erillispoistolla oleva liesituuletin, suora sähkölämmitys ja varaava takka/leivinuuni/puuhellayhdistelmä ei ole riittävän energiatehokas ja nykyiset ratkaisut vaativat päivitystä myös asumismukavuuden kannalta.

4.1 Nykytilanne

Tutkittavan rakennuksen ulkoseinämateriaali on 240 mm pyöröhirsi ilman lisälämmöneristystä. Rakennus on perustettu louhitulle kalliolle 100 mm paksulle betoni-laatalle, jonka päällä on koolaus, 200 mm lasivillaeristettä, höyrysulku ja 28 mm lattialauta. Välipohjarakenteena on vino, paneloitu ja 250 mm lasivillalla eristetty

rakenne, jonka päällä on huopakatto. Taulukossa 2 on esitetty rakennuksen rakennusteknisiä tietoja:

Taulukko 2. Tutkittavan rakennuksen lähtötietoja

Rakennuksen tilavuus	305 m ³
Kerrosala yhteensä	160 m ²
Lämmitetty nettoala	100 m ²
Rakennusluokka	1 erillinen pientalo
Rakennuksen kerrosmäärä	2
Hirren halkaisija keskimäärin	240 mm
Varauksen leveys *	130 mm
Hirren korkeus (nousu/hirsikerta)	200 mm

*) Hirren varauksen leveydellä tarkoitetaan kuvan 8 mukaista mitta d_1

Lämmitysjärjestelmänä rakennuksessa on suorasähkölämmitys ja tämän lisäksi varaava takka, leivinuuni ja puuhella yhdistelmä. Rakennuksen ilmanvuotoluvuksi tasauslaskennassa on annettava $q_{50} = 4.0 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$, koska vuotoilmamäärän mittausta ei ole suoritettu.

4.1.1 U-arvojen laskenta

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelmaa varten on laskettava tai muuten selvitettävä rakennusosien pinta-aloja ja niiden lämmönläpäisykertoimia. Liitteessä 1 on rakennuksen pohja- ja leikkauspiirrokset, joiden perusteella rakenteet ja mitoitukset on laskettu.

Puurakenteiden ja alapohjan lämmönläpäisykertoimien (U-arvo) määrittämiseen on käytetty apuna Puuinfo.fi:n www-sivustolta löytyviä U-arvolaskureita (Puuinfo Oy 2018). Pyöröhirrelle löytyy valmiita U-arvo-taulukoita (taulukko 3), mutta niistä ei suoraan löytynyt kyseiseen rakennukseen käytetyn hirren mitoille laskettuja arvoja.

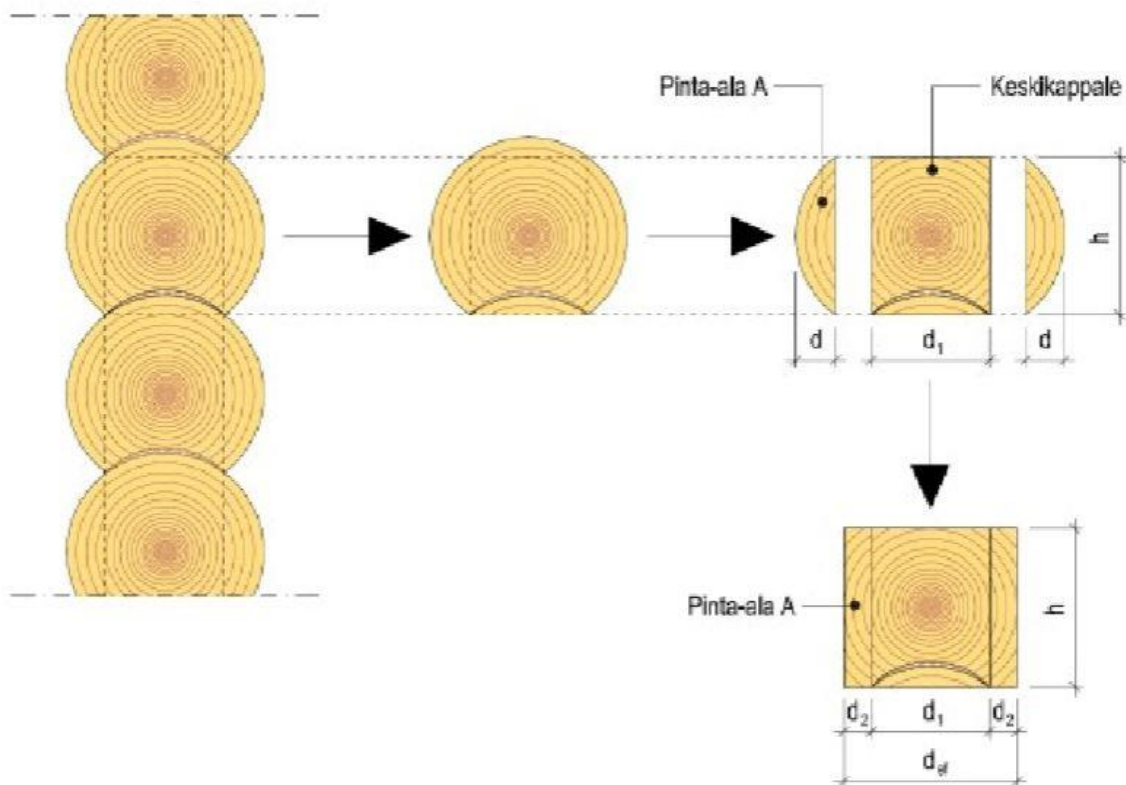
Taulukko 3. Eristämättömän ja lisäeristetyn hirsirakenteen U-arvo (Hirsitaloteollisuus. 2012)

Eristämättömien ja sisäpuolisesti lisälämmöneristettyjen seinärakenteiden ohjeelliset u -arvot ($W/(m^2K)$). (hirsi $\lambda_n = 0,12 W/(mK)$, villa $\lambda_v = 0,037 W/(mK)$).

HH= höylähirsi ja \emptyset =pyöröhirsi

Hirsi mm	Eristys (mm)					
	0	50	75	100	125	150
HH70	1,33	0,48	0,39	0,31	0,26	0,23
HH95	1,04	0,43	0,36	0,29	0,25	0,22
HH110	0,92	0,41	0,35	0,28	0,24	0,21
HH120	0,85	0,4	0,34	0,27	0,23	0,2
HH135	0,77	0,38	0,32	0,26	0,22	0,19
HH180	0,6	0,34	0,27	0,23	0,2	0,18
HH205	0,53	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17
HH270	0,41	0,27	0,24	0,2	0,18	0,16
\emptyset 130	0,89	0,4	0,32	0,26	0,22	0,19
\emptyset 150	0,79	0,38	0,3	0,25	0,22	0,19
\emptyset 170	0,72	0,36	0,29	0,24	0,21	0,18
\emptyset 190	0,64	0,34	0,28	0,23	0,2	0,18
\emptyset 210	0,58	0,33	0,27	0,23	0,2	0,17
\emptyset 230	0,53	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17

Pyöröhirsiseinän U -arvon määrittystä varten on sille laskettava geometrinen ekvivalenttipaksuus. Tämä arvo kertoo, kuinka paksua höylähirsiseinää pyöröhirsi vastaa.



Kuva 8. Pyöröhirren ekvivalentin paksuuden määrittäminen (Hirsiteollisuus ry)

Ympäristöministeriön asetuksessa annetaan massiivipuuseinärakenteelle muihin rakenteisiin verrattuna huomattavasti suurempi lämmönläpäisykyvyn vertailuarvo. Lämpimille tiloille vertailuarvo on $0.40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Syynä tähän on halu turvata perinteistä hirsirakentamista ja puun kyky varastoida hiiltä. (Ympäristöministeriö 2017b).

4.1.2 Rakenteiden lasketut U-arvot

Käytetyn pyöröhirren ekvivalentiksi paksuudeksi saatiin suunnitteluarvojen ja kuvan 8 mukaisen muunnoksen avulla lasketuksi $D_{\text{eq}} = 207 \text{ mm}$. Käyttäen hirren lämmönjohtavuutena arvoa $\lambda_n = 0,12 \text{ W}/(\text{mK})$ saadaan rakennuksen hirsiseinän U-arvoksi $U_{\text{us}} = 0,528 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Alapohjan betonilaatan U-arvoksi saadaan edellä mainitun rakenteen mukaisesti $U_{\text{Laatta}} = 0.31 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Laatan päällä olevalle lattiarakenteelle saadaan $U_{\text{Lattia}} = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Alapohjan U arvoksi tulee näillä arvoilla $U_{\text{ap}} = 0.116 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. (Puuinfo U-arvolaskuri)

Rakennuksen välipohjalle, jonka pinta-ala määritettiin laskemalla lappeiden pituudet yhteen ja kertomalla se rakennuksen sisäpituudella, saatiin U-arvoksi $U_{\text{yp}} = 0.15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. (Puuinfo U-arvolaskuri)

Oville ja ikkunoille on valmistaja antanut U-arvoksi 1.0 ja kattoikkunoille 0,83 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Velux GGL). Taulukossa 4 on listattu eri rakenneosille lasketut lämmönläpäisykertoimet.

Taulukko 4. Lasketut U-arvot

Rakenneosa	U-arvo $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Hirsiseinä	0,528
Alapohja	0,116
Välipohja	0,15

Ovet	1
Ikkunat	1
Kattoikkunat	0,83

4.1.3 Johtopäätökset nykytilanteesta

Näillä lähtöarvoilla rakennus ei täytä rakenteellisen lämpöhäviön vaatimuksia. Kuvassa 9 on esitetty etusivu lämpöhäviön tasauslaskennasta, jossa näkyy rakennuksen rakenteelliset tiedot ja laskennan tulokset vertailuarvoineen.

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, 2018 (voimassa 1.1.2018 alkaen)

Rakennuskohde	
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	Omakotitalo
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	Lappalainen Pauli
Päiväys	17.10.2018
Tulos: Suunnitteluratkaisu	EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA

Rakennuksen laajuustiedot		Laskentatuloksia	
Rakennuslaajuus	305 rak-m ²	Julkisivupinta-ala on 115 m ²	
Maanpäälliset kerrostasot yhteensä	160 m ²	Ikkunapinta-ala on 11 % maanpäällisestä kerrostasosta	
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	100 m ²	Ikkunapinta-ala on 16 % julkisivun pinta-alasta	
Lämmitetty nettoala, puoillämpimät tilat	m ²	Lämpöhäviö on 139 % vertailutasosta (lämpimät tilat)	
Rakennusluokika (1 - 9)	1		
Rakennuksen kerros määrä	2 kerrosta		

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
RAKENNUSOSAT						
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä			0,17		-	-
Massiivipuseinä ¹⁾	89	93	0,40	0,53	35,4	49,3
Yläpohja	78	79	0,09	0,16	7,0	12,6
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,09	0,00	-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)	71		0,16	0,12	11,3	8,3
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	18,9	14,1	1,00	1,00	18,9	14,1
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	7,7		1,00	1,00	7,7	7,7
Kattoikkunat	5,1	3,8	1,00	1,00	5,1	3,8
Katkovalokuvut			1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	268	268			85,4	95,8
Puoillämpimät tilat (ei määräaikaiset rakennukset)						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuseinä ¹⁾			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Katkovalokuvut			1,40		-	-
Puoillämpimät tilat yhteensä						
VAIPAN ILMAVUODOT						
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)		Vuotoilmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _v]		[q _v , v = q _v / 24 · A/3600]		[H _{v,vaip} = 1200 · q _v · v]	
Vuotoilma	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0062	0,0124	7,5	14,9
Puoillämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO						
	Poistilmanvirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _v]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _v , p]		[η _v = 1200 · q _{v, p} · (1 - η _v)]			
Hallittu ilmanvaihto	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
Lämpimät tilat	0,040		55	0	21,6	48,0
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Puoillämpimät tilat				55	-	-
Puoillämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus						
					Ominaislämpöhäviö, W/K	
					[H = H _{ohje} + H _{vaip} + H _v]	
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					114	153
Puoillämpimien tilojen					-	-

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskelma 2016 (versio maaliskuuta 2017)

¹⁾ Massiivipuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

²⁾ Uiko-ovien ja tuuletusluukuihin sisältyvät myös savunpoisto-, ulostähtä- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

Ongelmakohtia ovat pääasiassa ilmanvaihto sekä rakenteista yläpohja, ulkoseinät ja rakennuksen tiiveys. Rakennuksen omistaja ei halua tehdä muutoksia yläpohjarakenteeseen, koska se vaatisi vesikatteen tai sisäpaneloinnin uusimisen. Ulkoseinien ulkopuolinen lisäeristäminen ei myöskään ole mahdollista, koska rakennuksen ulkonäkö muuttuisi omistajan mielestä liikaa ja sisäpuolinen lisälämmöneristys pienentäisi jo ennestään ahtaita sisätiloja.

4.2 Lämmöntalteenotolla varustetun tulo- ja poistoilmakoneen vaikutus

Painovoimainen ilmanvaihto kuljettaa mukanaan paljon lämmitettyä ilmaa ja siihen sitoutunutta energiaa. Muutamalla rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä lämmöntalteenotolla (LTO) varustetuksi koneellisella tulo- ja poistoilmajärjestelmällä varustetuksi saadaan osa tästä hukkaan menevästä energiasta talteen. Tasauslaskentaan on selvitettävä LTO:n vuosihyötysuhde laskennallisesti, mittauksiin perustuen tai valmistajan ilmoituksen mukaan. Rakennuksen ilmanvaihdon ilmamäärät on laskettu asetuksen 1009/2017 taustamateriaalissa liitteenä olevan opas asuinrakennuksen ilmanvaihdon mitoittamiseen mukaan.

4.2.1 Tulo- ja poistoilmakoneen vaikutus tasauslaskentaan

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämiseksi on rakennukselle laskettava asetuksen 1009/2017 mukaiset tulo- ja poistoilmavirrat. Ohjeen mukaisesti laskettuna ilmamääräksi saadaan 78 l/s.

Ilmanvaihtokoneeksi valittiin Vallox 145, jolle valmistaja ilmoittaa sertifioiduksi vuosihyötysuhteeksi 75 % ja SFP -luvuksi 0.9 kW/(m³s). Ilmanvaihtokoneen valintaan vaikutti hinnan ja saatavuuden lisäksi sen fyysinen koko ja liityntöjen soveltuvuus suunniteltuun sijoituspaikkaan. Aikaisempiin, D2-julkaisun mukaisiin mitoitusohjeisiin verrattuna asuinhuoneistojen ilmanvaihdon ilmamäärät ovat huomattavasti suurempia ja tämä yhdistettynä ilmanvaihtokoneen kiristyneisiin SFP-luku vaatimukseen aiheuttavat IV-koneen ja kanaviston fyysisen koon kasvamisen ja siten hankaloittavat niiden sijoittamista rakennukseen.

Suunnitelluilla tulo- ja poistoilmavirroilla valmistajan WWW-sivuilla oleva laskuri antaa vuosihyötysuhteeksi 78,3 % ja SFP-luvuksi 0.92 kW/(m³s), jotka ovat taulukon vertailuarvoja paremmat (55 % ja 1.8 kW/(m³s)). (Vallox 2018.)

Rakennuksen lämpöhäviölaskelma osoittaa (kuva 10), että rakennuksen rakenteellisia lämpöhäviöitä on laskennallisesti edelleen liikaa ja tämä on kompensoitava parantamalla energiatehokkuutta jollain muulla ratkaisulla.

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, 2018 (voimassa 1.1.2018 alkaen)

Rakennuskohde	
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	Omakotitalo
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	Lappalainen Pauli
Päiväys	17.10.2018
Tulos: Suunnitteluratkaisu	EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennuslajisuus	305 rak-m ²
Maanpäälliset kerrostasot yhteensä	160 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	100 m ²
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	m ²
Rakennusosuuksia (1 - 9)	1
Rakennuksen kerros määrä	2 kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivupinta-ala on 115 m²
 Ikkunapinta-ala on 11 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 16 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 105 % vertallustasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-ajat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT						
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä			0,17		-	-
Massiivipuseleina ¹⁾	89	93	0,40	0,53	35,4	49,3
Yläpohja	78	79	0,09	0,16	7,0	12,6
Alapohja (ulkomaailmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)		71	0,16	0,12	11,3	8,3
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	18,9	14,1	1,00	1,00	18,9	14,1
Ulkio-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	7,7		1,00	1,00	7,7	7,7
Kattoikkunat	5,1	3,8	1,00	0,83	5,1	3,2
Kattovalokuvut			1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	268	268			85,4	95,2
Puoliämpimät tilat ja määräaikaiset rakennukset						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuseleina ¹⁾			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkomaailmaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Ulkio-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä						
VAIPAN ILMAVUODOT						
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)		Vuotoilmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q ₀]		[q _{v,v} = q ₀ / 24 · A/3600]		[H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0062	0,0124	7,5	14,9
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO						
	Polstoilmavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _{v,p}]		vuosiyhtösuhte, % [η _v]		[H _v = 1200 · q _{v,p} · (1-η _v)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,040		55	78,3	21,6	10,4
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puoliämpimät tilat			55		-	-
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus						
					Ominaislämpöhäviö, W/K	
					[H = H _{ohr} + H _{vuotoilma} + H _v]	
					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					114	121
Puoliämpimien tilojen					-	-

© Ympäristötekniikka, Tasauslaskelma 2018 (versio maaliskuuta 2017)

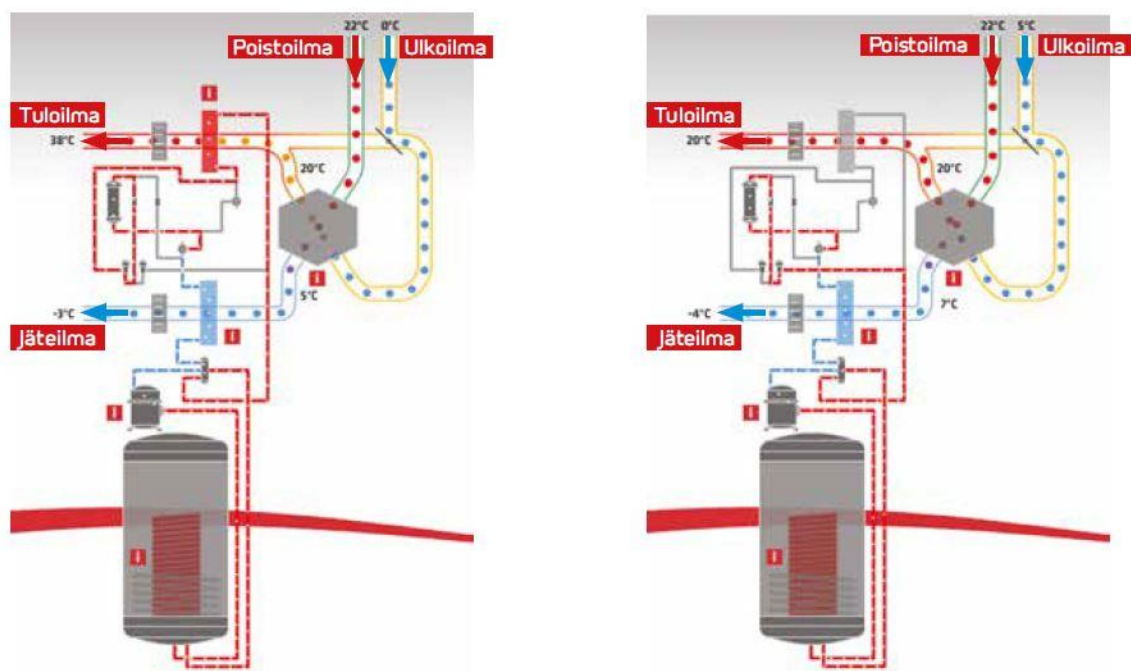
¹⁾ Massiivipuseleina, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

²⁾ Ulkio-ovien ja tuuletusluukuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoaukut sekä muut vastaavat luukut.

Kuva 10. Tasauslaskennan tulos, kun käytössä on LTO:lla varustettu IV-kone

4.3 Lämmöntalteenotto poistoilmalämpöpumpulla

Tutkimuksen kohteena oleva rakennus on suorasähkölämmitteinen ja painovoimaisella ilmanvaihdolla toteutettu. Tämä rajoittaa suunnittelussa laitevalikoimaa, koska suurin osa poistoilmalämpöpumpuista on tarkoitettu vesikiertoisella lämmityksellä varustettuihin rakennuksiin. Laskentaa varten valittiin Nilan Compact P -lämmöntalteenottojärjestelmä, jossa on poistoilmalämpöpumppu yhdistettynä ristivirtalämmönvaihtimeen. Kuvassa 11 kaaviokuva yhdistetyn LTO:n ja poistoilmalämpöpumpun periaatteesta.



Aktiivinen lämmöntalteenotto

Aktiivinen lämmöntalteenotto perustuu lämpöpumpputeknologiaan. Lämpöpumppu hyödyntää loputkin poistoilman lämpöenergiasta ja käyttää sitä tuloilman sekä käyttöveden lämmitykseen.

Käyttövesi

Lämpöpumppu lämmittää käyttövettä poistoilmasta saatavalla lämpöenergialla.

Kuva 11. Ristivirtalämmönvaihdin yhdistettynä poistoilmapumppuun (Nilan Suomi 2018)

Tasauslaskentaa varten laitteesta tarvitaan vuosihyötysuhde, joka voidaan laskea ympäristöministeriön julkaisemalla PILP-laskurilla tai voidaan käyttää valmistajan omaa laskentaohjelmistoa. Valmistajan laskuri antaa laitteistolle kuvan 12 mukaiset arvot.

Tulokset		
HR SHW Applied capacitystandard	LTO Käyttövesi HR according to EN308 COP luft iht. EN14511 COP water referring to PHI "Prüfreglement für Kompaktgeräte"	
Ilmavirtaus		0,08 m ³ /h
SFP		1,66 kW/m ³ /s
Painehäviö		100 Pa
LTO %		88,62 %
Käyttöveden energiantarve		3500,00 kWh/a
Käyttöveden lämpötila		55 °C
LTO:n vuosihyötysuhde	η	0,86
Compact P:n energian kokonaistuotto (ilma/ilma ja käyttövesi)	kW	2602,85
SPF		0,63
Puhaltimien energiankulutus	kWh/a	0,32
Esilämmityksen energiantarve	kWh	0,08
Compact energiankulutus (sis. käyttövesi, tilojen lämmitys)	kW	4149,67

Kuva 12. Nilan Compact P- laskentatulokset. (Nilan Suomi 2018)

Laitteiston kaksinkertaisesta lämmöntalteenotosta johtuen on sen vuosihyötysuhde huomattavasti parempi kuin pelkällä ristivirtalämmönvaihtimella varustetun ilmanvaihtokoneen.

Tasauslaskennan tuloksesta (kuva 13) havaitaan tässäkin tapauksessa, että pelkästään IV-järjestelmää parantamalla ei saavuteta riittävää ominaislämpöhäviön tasoa.

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, 2018 (voimassa 1.1.2018 alkaen)

Rakennuskohde	
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	Omakotitalo
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	Lappalainen Pauli
Päiväys	17.10.2018
Tulos: Suunnitteluratkaisu	EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA

Rakennuksen laajuustiedot		Laskentatuloksia	
Rakennuslaajuus	305 rak-m ²	Julkisivupinta-ala on 115 m ²	
Maanpäälliset kerrostasot yhteensä	160 m ²	Ikkunapinta-ala on 11 % maanpäällisestä kerrostasolasta	
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	100 m ²	Ikkunapinta-ala on 16 % julkisivun pinta-alasta	
Lämmitetty nettoala, puoillämpimät tilat	m ²	Lämpöhäviö on 102 % vertailutasosta (lämpimät tilat)	
Rakennusluokika (1 - 9)	1		
Rakennuksen kerros määrä	2 kerrosta		

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT						
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä			0,17		-	-
Massiivipuuseinä ¹⁾	89	93	0,40	0,53	35,4	49,3
Yläpohja	78	79	0,09	0,16	7,0	12,6
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)	71		0,16	0,12	11,3	8,3
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	18,9	14,1	1,00	1,00	18,9	14,1
Ulkio-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	7,7		1,00	1,00	7,7	7,7
Kattoikkunat	5,1	3,8	1,00	0,83	5,1	3,2
Kattovalokuvut			1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	268	268			85,4	95,2
Puoillämpimät tilat (ei määräaikaiset rakennukset)						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Ulkio-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
Puoillämpimät tilat yhteensä						
VAIPAN ILMAVUODOT						
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)		Vuotoilmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _v]		[q _v , v = q _v / 24 · A/3600]		[H _{v,vaip} = 1200 · q _v · v]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0062	0,0124	7,5	14,9
Puoillämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO						
	Poistotilavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _v , v]		vuosihyötysuhde, % [η _v]		[H _v = 1200 · q _v · v · (1 - η _v)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,040		55	86	21,6	6,7
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puoillämpimät tilat			55		-	-
Puoillämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus						
					Ominaislämpöhäviö, W/K	
					[H = H _{ohje} + H _{vaip} + H _v]	
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					114	117
Puoillämpimien tilojen					-	-

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskelma 2018 (versio maaliskuuta 2017)

¹⁾ Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

²⁾ Ulkio-ovien ja tuuletusluukuihin sisältyvät myös savunpoisto-, ulostähtä- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

4.4 Järjestelmän valinta

Loma-asunnoksi tarkoitetun rakennuksen käyttötarkoituksen muuttaminen vaatii riittävän selvityksen siitä, että rakennus on energiatehokkuudeltaan vakituiseen asumiseen soveltuva. Tehdyistä laskelmista voidaan päätellä, että ilman suuria taloudellisia investointeja tämä muutos ei onnistu. Rakenteelliset muutokset on rajattu ilmanvaihtojärjestelmän rakentamiseen, koska samalla saadaan asumismukavuutta ja viihtyisyyttä parannettua. Lämmöntalteenotolla varustettu tulo- ja poistoilmajärjestelmä tasoittaa uunin, hellan ja takan aikaansaamaa lämpötila-eroa sisätiloissa ja pienentää vedontunnetta.

Asiakkaan antamien rakenteellisten toiveiden ja rajausten ohjaamana muutostyö voidaan toteuttaa joko lämmöntalteenotolla varustetulla tulo- ja poistoilmakoneella tai poistoilmalämpöpumppuratkaisulla. Molemmissa tapauksissa asiakkaan kannattaa teettää vuotoilmamittaus rakennuksen tiiveyden toteutukseksi. Ilmavuotolukuna laskelmissa on jouduttu käyttämään asetuksen mukaista arvoa $q_{50} = 4.0 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ koska tiiveyttä ei ole muuten todettu. Jos rakennuksen ilmanvuotoluku olisi pienempi kuin $2.2 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$, lämpöhäviömääräykset täytyisivät nykyisellä rakenteella ja uudella ilmanvaihtojärjestelmällä, joten tiiveyden mittaaminen voisi olla suositeltava ratkaisu. Mittauksen hinta säästetään helposti järjestelmää hankittaessa.

Toteutustavaltaan molemmat järjestelmät ovat ilmanvaihdon kannalta samankaltaiset sekä vaativat kanavoinnin ja päätelaitteet, jotka mitoitetaan laskettujen ilmavirtojen mukaisesti. Itse laitteistot tarvitsevat sähkönsyötön, joka tässä tapauksessa on helppo järjestää. PILP-laitteisto on kytkettävä lisäksi käyttövesijärjestelmään, jotta lämmin käyttövesi saadaan lämmitettyä poistoilman lämpöenergian avulla. Lämpimän käyttöveden kytkentä voidaan tehdä poistamalla entinen lämminvesivaraaja käytöstä tai kytkemällä PILP syöttämään esilämmitettyä vettä vanhaan varajaan. Tässä tapauksessa voidaan lämpöpumpun tuottaman käyttöveden lämpötilaa laskea alle suositellun 55°C ja saada laitteisto toimimaan paremmalla hyötysuhdealueella.

Hankintakustannuksiltaan nämä ratkaisut eroavat toisistaan suuresti. Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä on hinnaltaan noin 3-kertainen LTO:lla varustettuun tulo- ja poistoilmakoneeseen verrattuna. Kanavistojen ja asennustyön kustannus on saman suuruinen molemmissa järjestelmissä, ja PILP-ratkaisussa lisäksi tulee kustannukset käyttövesijärjestelmän muutoksesta.

PILP-järjestelmä etuna voidaan pitää lämpimän käyttöveden tuottoa myös kesäaikaan ja laskelmissa olleen laitteiston käyttömahdollisuutta kesäaikaiseen viilenykseen. Epävarmuustekijänä on laitteiston monimutkaisempi rakenne, joka saattaa johtaa yllättäviin huolto- ja korjauskuluihin.

Rakenteellisesti mahdollisia muutoksia rakennukseen on ovien vaihtaminen paremman U-arvon saavuttamiseksi ja mahdollisesti ikkunoiden korvaaminen uusilla. Nykyiset ovi- ja ikkunaratkaisut ovat ilmoitetulta lämmöneristävyydeltä huomattavasti parempia kuin rakennuksen valmistuessa markkinoilla olleet. Ovi- ja ikkunasaneerauksen seurauksena saadaan rakennuksen ilmatiiveyttä parannettua ja mahdollisia lämpövuotoja pienennettyä.

Näistä lähtökohdista kokonaistaloudellisin järjestelmä asiakkaan kannalta näyttäisi olevan poistoilmalämpöpumppujärjestelmä, jonka korkeampaa hankintahintaa kompensoi rakenteellisten muutosten vähäisempi tarve ja mahdollisuus tuottaa lämmintä käyttövettä.

5 YHTEENVETO

Asuinympäristömme muuttuminen ja ihmisten tarpeet asumiselle ovat muuttuneet viime vuosina kiihtyvästi. Halu käyttää olemassa olevaa rakennuskantaa tehokkaammin on luonut tarpeen rakennusten käyttötarkoituksen muutokselle. Suunniteltaessa vanhan, toisessa käyttötarkoituksessa olleen rakennuksen muuttamista asuinkäyttöön on selvitettävä, onko rakennuksen energiatehokkuus riittävällä tasolla. Ympäristön lämpenemisen mukanaan tuomat päästörajoitukset ja energian säästön tarve ohjaavat lainsäädäntöä ja sitä kautta rakentamiseen liittyvää lainsäädäntöä. Pyrkimys kohti nollaenergiaratkaisuita tuo mukanaan kiristykseen olemassa olevien rakennusten saneerausten toteutukseen.

Työssäni tutkin olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuutta ja ilmanvaihtojärjestelmän vaikutusta laskennalliseen E-lukuun. Rakennusluvan saamiseksi käyttötarkoituksen muutosta varten on tehtävä laskelmat rakennuksen lämpöhäviöistä, jotta voidaan osoittaa suunniteltujen rakenneratkaisuiden riittävä energiatehokkuus.

2000-luvun alussa rakennettu pyöröhirsirakennus ei ole nykymääräysten mukaan kovinkaan energiatehokas. Hirsirakennetta käsitellään lainsäädännössä poikkeavalla tavalla puun hiilensitomiskyvyn takia ja rakennusperinteen ylläpitämiseksi. Lämmöneristeiden määrät ja rakennustapa asettavat suurten lämpöhäviöiden takia kovat vaatimukset rakennuksen muille komponenteille. Ovien ja ikkunoiden on oltava lämmöneristävyydeltään riittäviä ja ilmanvaihtojärjestelmän hyötysuhteen lämmöntalteenottolaitteistoinen on toimittava erittäin tehokkaasti ja pienellä sähkönkulutuksella.

Laitteistovalmistajat ovat vastanneet kiristyviin vaatimuksiin kehittämällä järjestelmiä, joiden kyky ottaa talteen hukkaan menevää lämpöenergiaa on erittäin korkealla tasolla. Erilaisten lämpöpumppuratkaisuiden hyväksikäyttö sellaisenaan tai liitettynä muihin järjestelmiin parantaa järjestelmien kokonaishyötysuhdetta entisestään.

Tutkimuksen kohteena olevan rakennuksen energiatehokkuutta ei helposti saada vaatimusten mukaiseksi. Yhden osa-alueen parantaminen ei riitä, vaan vaaditaan muutoksia useisiin rakennuksen elementteihin ja rakennuksen ominaisuuksien tarkempaa mittaamista. Lisälämmöneristys, ovet ja ikkunat, tiiveys sekä ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmät luovat kokonaisuuden, jolla on mahdollista saavuttaa riittävä energiatehokkuus. Korvaamalla painovoimainen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla varustetulla järjestelmällä parannetaan rakennuksen laskennallista energiatehokkuutta. Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus rakennuksen lämpöhäviöiden kompensoinnissa ja E-lukulaskennassa on kuitenkin rajallinen, eikä ainoastaan sillä saavuteta riittävää rakenteellista energiatehokkuutta.

LÄHTEET

Hirsitaloteollisuus htt ry. 2012. Hirsitalon suunnitteluperusteet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.aihkitalot.fi/wp-content/uploads/2016/05/HirsitalonSuunnitteluperusteet.pdf> [viitattu 15.10.2018].

Puuinfo Oy. 2018. Laskentaohjelma puurakenteen U-arvon määrittäminen. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://puuinfo.fi/mitoitusohjelmat/puurakenteen-u-arvon-maarittaminen> [viitattu 17.10.2018].

Nilan Suomi Oy. 2018. Tuote-esite Compact C. WWW-dokumentti. Päivitetty 15.08.2018. Saatavissa: <https://www.nilan.fi/oppaat-ja-ohjeet/esitteet-ja-kayttoohjeet/> [viitattu 18.10.2018].

Vallox Oy. 2013. Tuotesertifikaatti Nro VTT-C-10046-13. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.vallox.com/files/153/Vallox_145SE_VTT_C_10046_13.pdf [viitattu 17.10.2018].

Ympäristöministeriö. 2017a. Perustelumistio ympäristöministeriön asetukseen uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 19.12.2017

Ympäristöministeriö. 2017b. Tasauslaskentaopas 2018 Rakennuksen lämpöhäviön määräyksen mukaisuuden osoittaminen. 31.3.2017

Ympäristöministeriö. Suomen säädöskokoelma 2017c. 1010/2017 asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 27.12.2017

Ympäristöministeriö. 2017d. 2/17 asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. 12.5.2017

Ympäristöministeriö. 2017e. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohje. 30.3.2011.

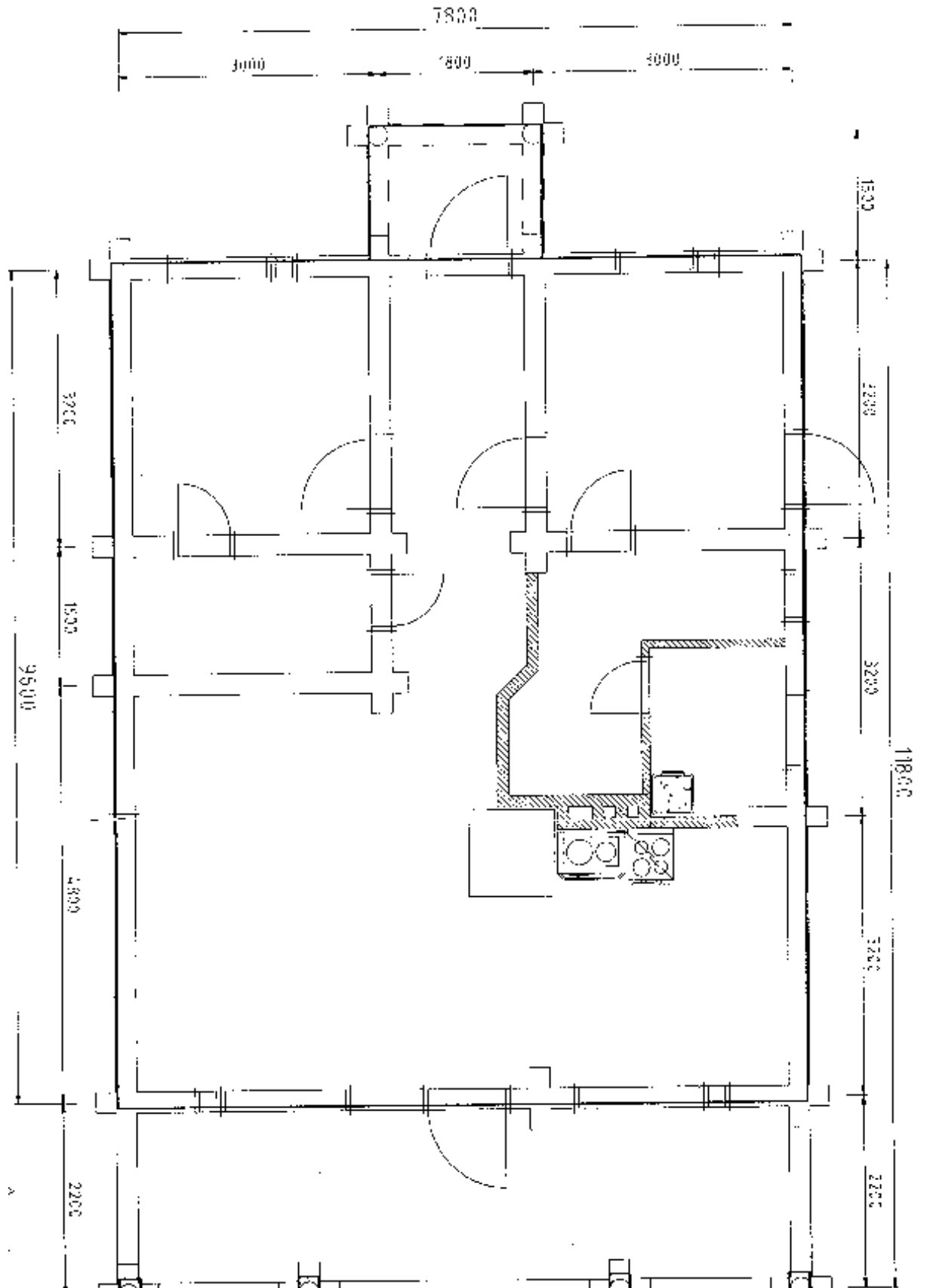
Ympäristöministeriö Suomen säädöskokoelma 2017f. 788/2017 asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimista. 4.12.2017.

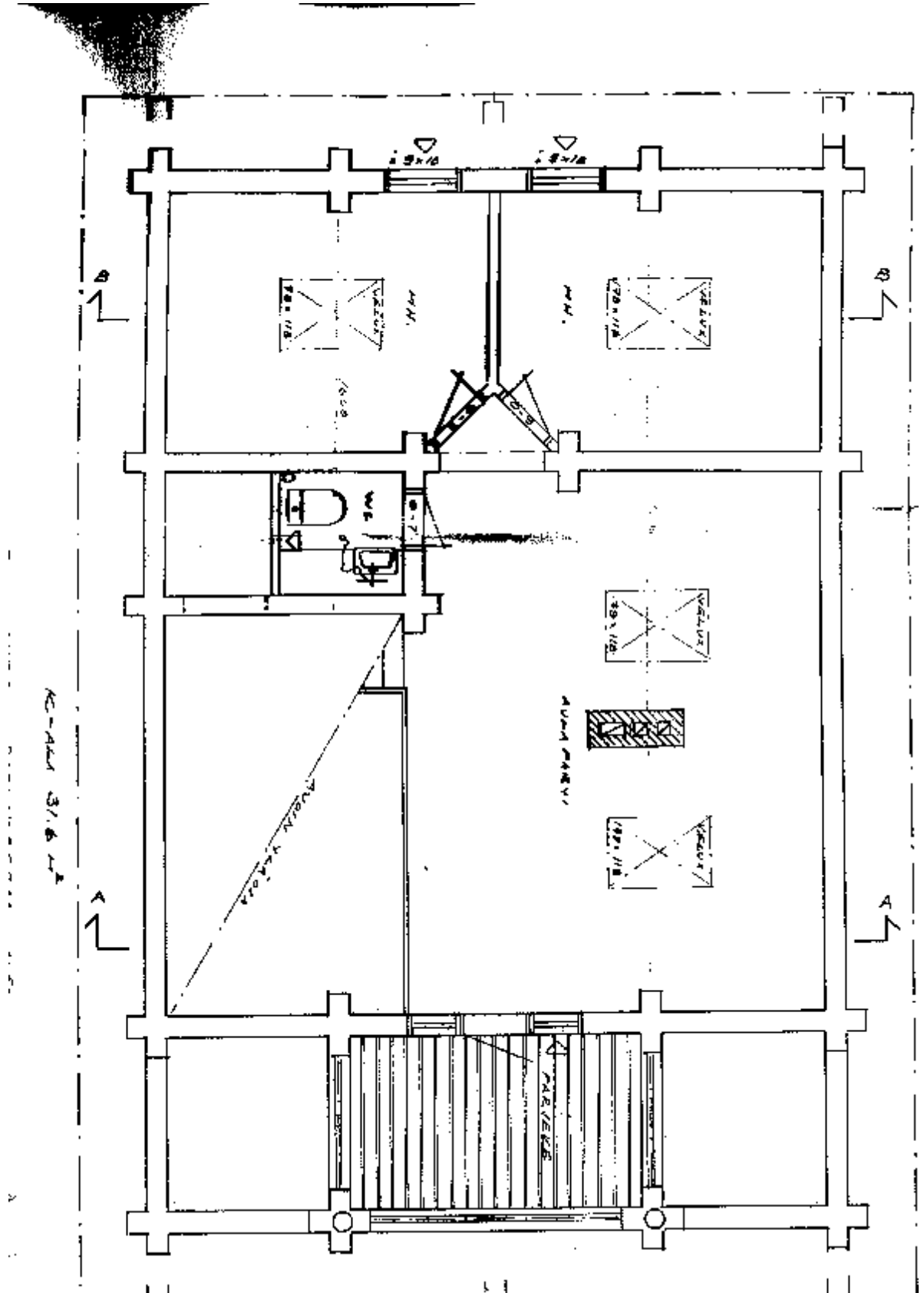
Ympäristöministeriö Suomen säädöskokoelma 2017g. 1048/2017 asetus rakennuksen energiatodistuksesta. 28.12.2017.

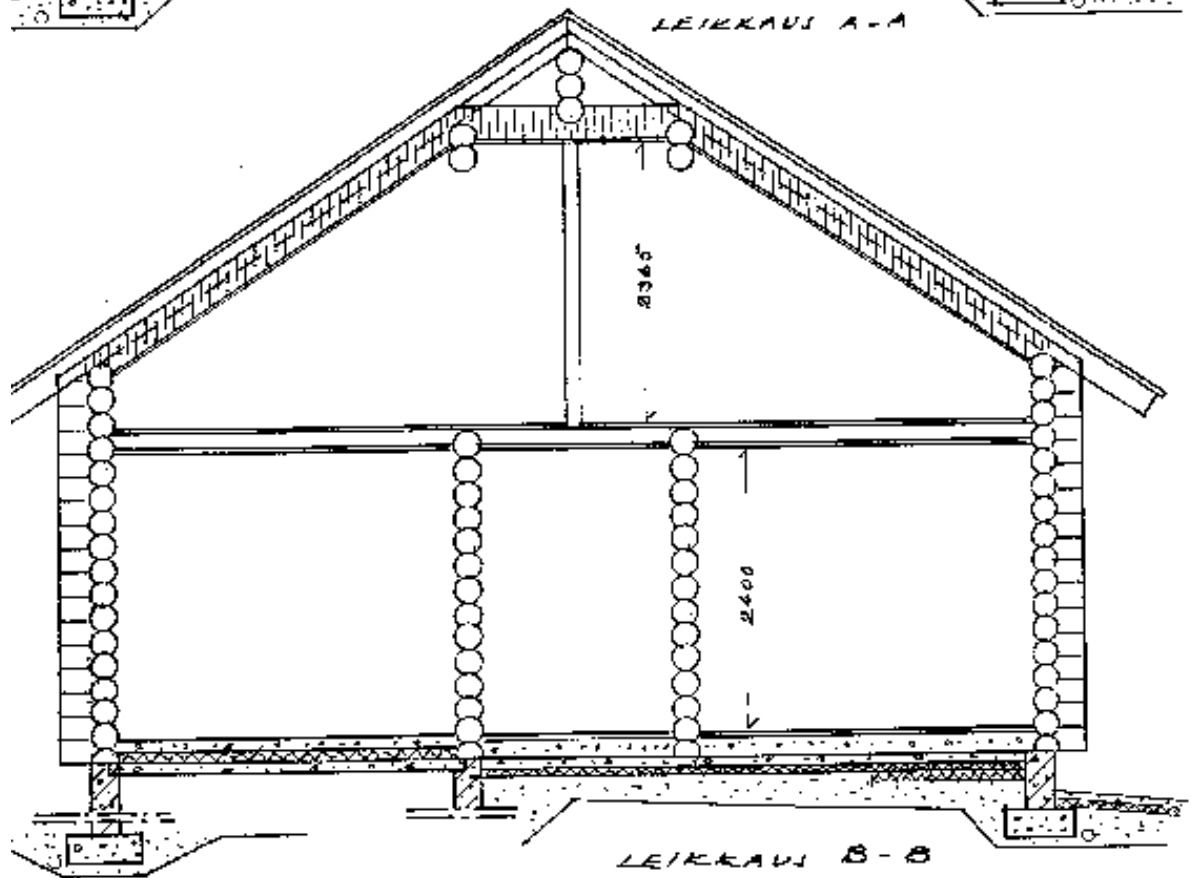
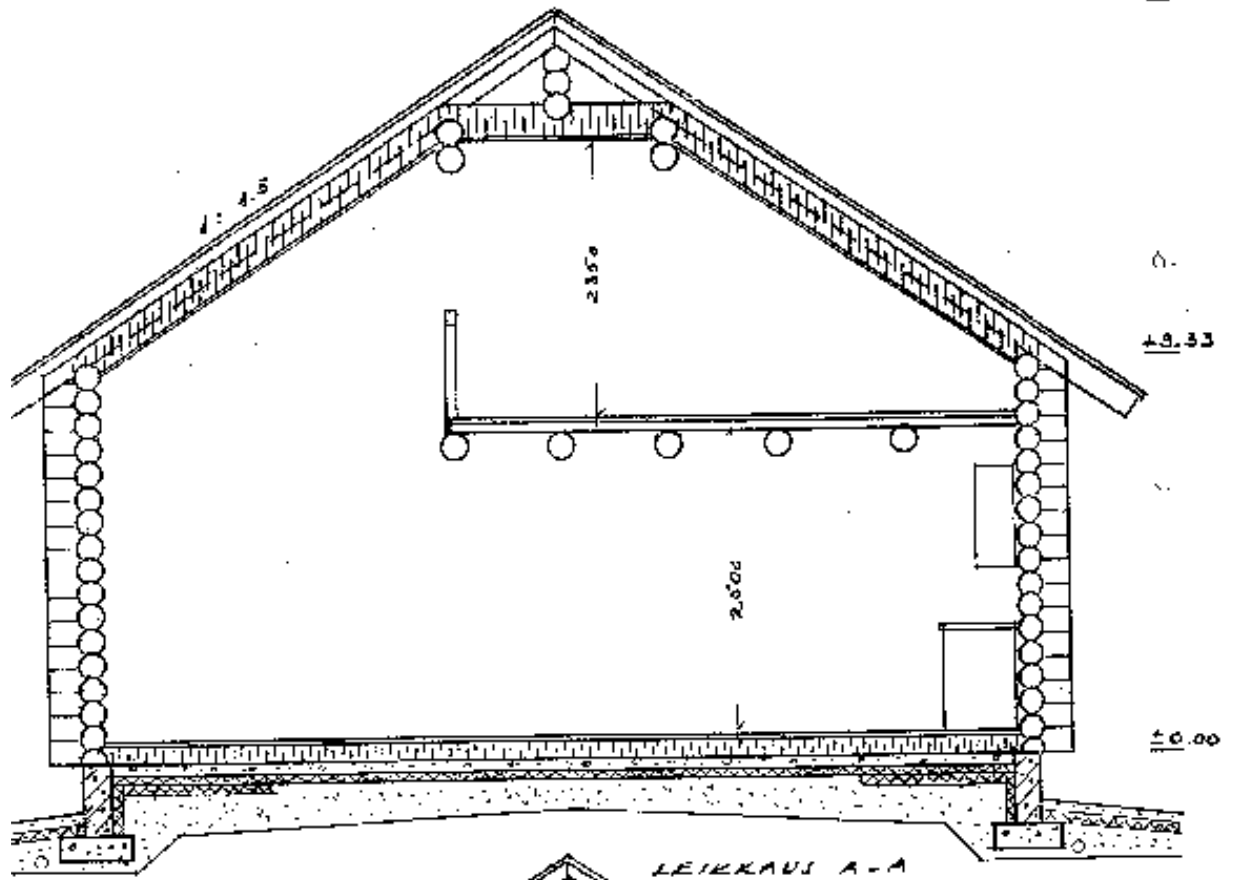
Ympäristöministeriö. 2017h. PILP-opas 2018. Poistoilmalämpöpumpun (PILP) lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen lämpöhäviöiden tasauslaskentaa varten. 31.3.2017

Ympäristöministeriö. 2012. Laskentaopas. Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesijärjestelmien lämpöhäviöiden laskenta ja hyötysuhteiden määrittäminen. 15.9.2011

Ympäristöministeriö. 2013. 4/13 asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta. 27.2.2013



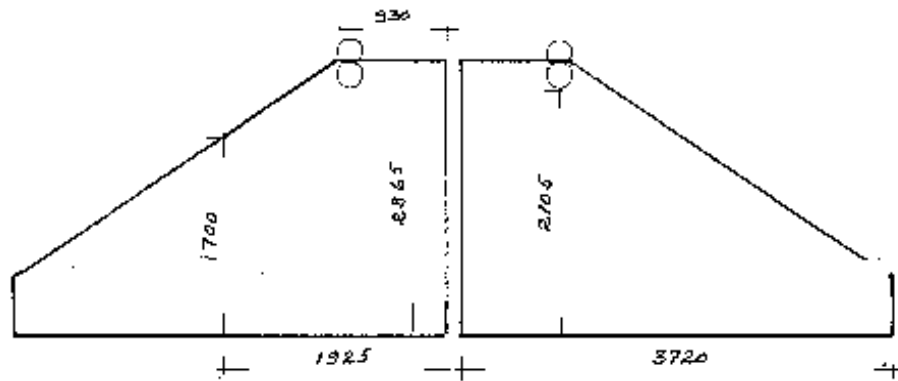




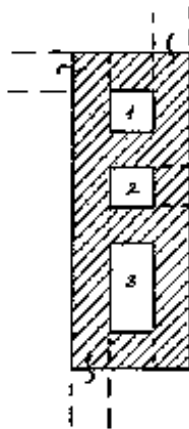
1:5.33

0.00

1:81



PARVEN MÄ-7 TILAMITTOITUS 1:50



HORMIT 1:20

1. SAUNA, SAUNAKORHI
2. LIESI "
3. TARKKA/LEVYVUUNI "