

Hanna Vihervirta

Korjausrakentamisen energiatehokkuus rintamamiestalokohteessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Rakennusmestari (AMK)
Rakennusalan työnjohto
Mestarityö
27.4.2012

ALKUSANAT

Tämä mestarityö syntyi omasta aloitteesta isovanhempieni vanhaa rintamamiestaloa kunnioittaen. Olen lapsuudestani saakka viettänyt monia ikimuistoisia hetkiä siinä talossa ja toivon saavani viettää niitä siellä vielä monia vuosia eteenpäin.

Kiitän Metropolian ohjaajaa Hannu Hakkarasta luottamuksesta työtäni kohtaan sekä apuohjaajaa Maaria Laukkasta, joka kärsivällisesti auttoi minua laskuissa. Kiitän myös isovanhempiani, puolisoani ja perhettäni, jotka uskoivat minuun ja jaksoivat olla tukenani koko opintojen ja tämänkin työn aikana.

Helsingissä 27.4.2012

Hanna Vihervirta

Tekijä Otsikko	Hanna Vihervirta Korjausrakentamisen energiatehokkuus rintamamiestalo- kohteessa
Sivumäärä Aika	36 sivua + 10 liitettä 27.4.2012
Tutkinto	rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	rakennusalan työjohto
Suuntautumisvaihtoehto	talonrakennustekniikka
Ohjaaja	yliopettaja Hannu Hakkarainen
<p>Tässä opinnäytetyössä selvitettiin korjausrakentamisen energiatehokkuuteen liittyviä asioita ja toimenpiteitä olemassa olevan kohteen avulla. Tärkeintä oli ymmärtää mitä kaikkea energiatehokkuuden käsitteeseen rakentamisessa liittyy. Eivät pelkästään rakenteet, vaan myös rakennuksen talotekniset järjestelmät, rakennuksen sijainti ja käyttäjän asumiskäyttäytyminen vaikuttavat energiatehokkaaseen rakennukseen. Kaiken kaikkiaan energiatehokas rakennusvaippa on yhtenäinen, hyvin tuuletettu ja ilmatiivis. Energiatehokkaan rakennuksen sisäilma on raikas ja ilmanvaihto on toteutettu tehokkaasti.</p> <p>Työssä oli tarkoitus ymmärtää taloteknisten järjestelmien kulkua ja niistä tehtäviä energiataselaskelmia, joita voi hyödyntää tulevaisuudessa työssä suunnittelutoimistossa. Vanhaan puupientaloon kannattaa asentaa painovoimaisen ilmanvaihdon tilalle koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla varustettuna. Myös varaava takka vähentää talvisin muun lämmitysenergiamuodon käyttöä, tässä tapauksessa öljyn.</p> <p>Työssä perehdyttiin myös hankkeen työvoima- ja materiaalikustannuslaskentaan. Kustannuslaskelman näkökohdat rakentamistoimenpiteissä ovat työn järjestys, materiaalien hankinta ja investointikustannukset. Energiatehokkaat ratkaisut eivät useinkaan tarjoa maltillisia investointeja. Tässä kohteessa ulkoseinien sahanpurun vaihto kivivillaan ja lisälämmöneristys sekä yläpohjan lisälämmöneristys ovat kalliita toimenpiteitä, mutta energiatehokkuuden kannalta välttämättömiä.</p> <p>Kokonaisuudessaan korjausrakentamisen energiatehokkaasta parantamisesta voidaan tämän työn perusteella sanoa, että pelkästään energiatehokkuuteen pyrkivässä korjausrakentamisessa kannattaa toimenpiteitä harkita vain sellaisiin rakenteisiin ja materiaaleihin, jotka ovat jo elinkaarensa lopussa. Kun mikä tahansa korjaushanke tulee ajankohtaiseksi, voidaan samalla helposti ja tehokkaasti miettiä myös energiatehokkuuskysymyksiä.</p>	
Avainsanat	energiatehokkuus, U-arvo, korjausrakentaminen, rintamamiestalo, kustannuslaskelma

Author Title	Hanna Vihervirta Energy Efficiency in Renovation of Veteran One-Family House
Number of Pages Date	36 pages + 10 appendices 27 April 2012
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	Building Construction
Instructor	Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer
<p>In this thesis the energy efficiency –related issues in renovation of veteran one-family house were examined. The most important matter was to understand what the concept of energy efficiency really means in renovation. Not only the structures, but also the HVAC technology in the house, location and resident’s behaviour affect energy efficient housing. Energy efficient house and its constructions are continuous, airtight, but also contain air-ing. Indoor air in an energy efficient house is fresh and ventilation is effective.</p> <p>The purpose of this thesis was also to understand the HVAC technics and energy efficient calculations and maybe use them in a design company in the future. This old wooden frame one-family house has at present gravitational ventilation, so it is recommendable to switch to an automatic ingoing and outgoing air ventilation system with heat recovery. In the winter a charging fireplace reduces usage of other heating energy forms, in this case oil.</p> <p>The idea of this thesis was also to familiarize with costing of labour and materials in a renovation project. Costing gives a new aspect to construction: rules of procedure, material procurement and investment costs. Energy efficiency improvements are usually expensive. In this case the improvements in heat insulations are quite expensive, but necessary in terms of energy efficiency.</p> <p>Altogether the energy efficiency improvements in renovation are considered only in structures and materials which are already in the end of their life cycle. When any renovation is topical, solutions of energy efficient improvements are also topical.</p>	
Keywords	energy efficiency, U-value, renovation, veteran one-family house, costing

Sisälllys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Kohdetiedot	1
2.1	Rakenteet	2
2.2	Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät	2
3	Korjausrakentamisen energiatehokkuus	3
3.1	Rakenteiden merkitys	3
3.1.1	Tuuletus ja tuulensuoja	4
3.1.2	Ilmatiiviyys	4
3.1.3	Kastepiste	5
3.1.4	Lämmönjohtavuus	5
3.2	Ilmanvaihdon merkitys	5
3.3	Lämmittämisen merkitys	6
3.4	Asumiskäyttäytymisen merkitys	6
4	Rakenneratkaisut	6
4.1	Ulkoseinä	7
4.1.1	U-arvolaskelmat	8
4.1.2	Työmenetelmät	11
4.1.3	Kustannuslaskelma	12
4.2	Yläpohja	13
4.2.1	U-arvolaskelmat	13
4.2.2	Työmenetelmät	16
4.2.3	Kustannuslaskelma	18
4.3	Ikkunat ja ovet	19
5	Lämmitys- ja ilmanvaihtoratkaisut	19
5.1	Varaava takka	19
5.2	Ilmanvaihto ja lämmöntalteenotto	20
5.2.1	Ilmanvaihtolaitteen mitoitus ja valinta	22
5.2.2	Ilmanvaihtolaitteiden vertailu	24

5.3	Ilmalämpöpumppu	24
6	Rakennuksen energiantarpeen laskenta	25
6.1	Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve	25
6.2	Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus	29
6.3	Rakennuksen energiankulutus	30
6.3.1	Rakennuksen ostoenergiankulutus	30
6.3.2	Rakennuksen kokonaisenergiankulutus	31
6.4	Laskujen johtopäätökset	31
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. Pohjapiirustukset	
	Liite 2. Leikkauspiirustukset	
	Liite 3. Julkisivupiirustukset	
	Liite 4. Alapohjan ja kellarin ulkoseinän rakenteet sekä U-arvot	
	Liite 5. Puisen ulkoseinän lämmöneristämisen sekä puujulkisivun uusimisen työntekijä- ja materiaalikustannuslaskelma	
	Liite 6. Puisen yläpohjan lisälämmöneristämisen sekä tiilikatteen uusimisen työntekijä- ja materiaalikustannuslaskelma	
	Liite 7. Enervent LTR-2 eco EDW -ilmanvaihtokoneen tekniset tiedot	
	Liite 8. Enervent Pingvin eco EDW -ilmanvaihtokoneen tekniset tiedot	
	Liite 9. Rakennuksen energiankulutuksen laskut, tapaus 1	
	Liite 10. Rakennuksen energiankulutuksen laskut, tapaus 2	

Lyhenteet ja käsitteet

U-arvo	Rakenteen lämmönläpäisykerroin eli kuinka paljon rakenne päästää lämpöä läpi.
RT	Rakennustieto, ohjeet ja säännökset.
RaTu	Rakennusalan työturvallisuus, ohjeet ja säännökset.
Rintamamiestalo	Sotien jälkeen 1950-luvulla rakennettu puurakenteinen pientalo.
Rakennusvaippa	Rakennusta ympäröivien rakennusosien kokonaisuus, johon kuuluvat alapohja, ulkoseinät ja yläpohja.
Ilmanvaihtolaite	Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmässä ilmaa kierrättävä laite. Käytetty ja jäteilma kulkee poiston kautta ulos, korvausilma eli raitis ilma kulkee tulon kautta sisälle. Laite voi olla varustettu lämmöntalteenotolla, jonka poistuvasta ja jäteilmasta talteenotettu lämpö lämmittää tuloilmaa.

1 Johdanto

Energiatehokkuus otetaan nykyään huomioon kaikessa rakentamisessa. Korjausrakentamisessa energiatehokkuus voidaan saavuttaa erilaisin keinoin. Energiatehokkaaseen korjausrakentamiseen ei liity pelkästään rakenteiden ehostus vaan tiiviin vaipparakenteen muodostavat rakenteiden lisäksi aukot. Ilmanvaihdolla on suuri merkitys energiatehokkaan rakennuksen luomisessa ja sisäilman laadun parantamisessa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia erään rintamamiestalon rakenteita, niiden energiatehokasta parantamista sekä muita energiatehokkaita muutosratkaisuja vanhaan rakennukseen. Tarkastelu rajataan puiseen ulkoseinään ja yläpohjaan sekä ilmanvaihtolaitteen valintaan. Energiatehokkuuden todentamiseksi tarvitaan energiaselvitystä, joka perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman osioon D5. Tämän työn lopussa esitetyt rakennuksen energiankulutuksen laskut perustuvat edellä mainittuihin määräyksiin. Työn rakennetutkielmia ja laskentataitoja voi myöhemmin hyödyntää työelämässä mm. suunnittelutoimistossa.

2 Kohdetiedot

Kohde on Turussa sijaitseva omakotitalo, jonka rakennusvuosi on 1957. Talo on rintamamiestalo ja sijaitsee sille tyypillisellä isohkolla tontilla. Rakennus on kolmikerroksinen, ja sen keskikerros toimii asuinkerroksena. Yläkerrassa on viileä ullakkotila, jota käytetään osaksi varastotilana ja kesäisin vierastilana. Varastotilat ovat ullakolla kylmää tilaa ja makuutilat ovat puolilämmintä tilaa. Yläpohja on eristetty siis vain puolilämpimien tilojen osalta. Yläkertaan ei myöskään ole vedetty patteriverkostoa, mutta sähköt on. Täten kerros ei täytä asumisviihtyisyyteen vaadittavia ehtoja ja on asumiskelvoton ympärivuotiseen oleiluun. Alakerrassa sijaitsevat tekninen tila, kellarivarastot sekä talon märkätilat. Talon piirustukset ovat liitteissä 1–3 sekä rakennuksen pinta-alalaskelmat on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Rakennuksen pinta-alalaskelmat. Laskettu RT ohjeen mukaan (1).

	KELLARI	KESKIKERROS	ULLAKKO	YHT.
KERROSTASOALA (ktm2)	82.1	84.7	78	244.8
BRUTTOALA (brm2)	82.1	84.7	78	244.8
HUONEALA (hum2)	59.9	61.1	28.4	149.4

2.1 Rakenteet

Rakenteet kohteessa ovat lähes alkuperäiset. Ulkoseinissä on yhä sahanpurua lämmöneristeenä, mutta lisälämmöneristystä on jo jonkin verran (50 mm) tehty sisäpuolelle. Yläpohjaan on kesähuoneen kohdalle lisätty lämmöneristettä. Omakotitaloon on tehty julkisivusaneeraus vuonna 2000, jolloin ulkolaudoitus uusittiin. Samaan aikaan toteutettiin myös ikkunoiden vaihto 3-lasisiin ikkunoihin, joiden karmisyvyys on 150 mm. Vesikaton tiilikate on uusittu vuonna 2005. Julkisivulaudoitus sekä tiilikate ovat tällä hetkellä hyvässä kunnossa.

2.2 Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät

Omakotitalon lämmitysjärjestelmä on öljylämmitys, joka lämmittää vesikiertoista patteriverkostoa sekä alakerran märkätilojen vesikiertoisia lattiakaapeleita. Öljykattilalle on oma tekninen tila alakerrassa. Takkaa ei talossa ole ja nyt sitä kovin toivotaan.

Ilmanvaihtojärjestelmä on painovoimainen. Korvausilma tulee tällä hetkellä vain ikkunoiden ja ovien kautta ja tuuletus tapahtuu läpivedolla sekä liesituulettimen puhaltimella. Omakotitalo on kesäisin erittäin kuuma. Hormiin on alun perin asennettu ilma-aukot, mutta aukot ovat tällä hetkellä ummessa.

Ilmanvuoto aiheuttaa vedontunnetta, ja tällaista ilmiötä asukkaat eivät ole talossa kovin paljoa kokeneet. Tästä voi päätellä, että ilmanvuotokohtia ei runsaimmin määrin löydy tai niihin ei ainakaan ole tarvetta puuttua. Ikkunat ovat uudehkot, mutta niiden 3-lasinen rakenne ei kuitenkaan saavuta nykymääräysten energiatason vaatimuksia. Ovet ovat alkuperäiset, mutta ovat erittäin hyvässä kunnossa.

3 Korjausrakentamisen energiatehokkuus

Pientalon energiatehokkuus syntyy rakenteiden, ilmanvaihdon, lämmitysenergian kulutuksen sekä ympäristön ja asumiskäyttämisen yhteistuloksena. Pelkkä rakenteisiin puuttuminen ei yksinään johda energiatehokkaaseen pientaloon. Huomioon pitää ottaa myös ilmanvaihto- ja lämmityslaitteisto, jotka ovatkin oleellisia osa-alueita energiatehokkuuteen pyrkimisessä.

Energiatehokkuusmääräykset eivät vielä tällä hetkellä koske korjausrakentamista vaan pelkästään uudisrakentamista. Ympäristöministeriön on määrä julkaista heinäkuussa 2012 myös korjausrakentamista koskevat energiatehokkuusmääräykset, jotka astuvat voimaan vuonna 2013 (2). Kyseiset määräykset koskevat kuitenkin vain 1960-luvulla ja sen jälkeen rakennettuja kohteita, joten tällaista 1950-luvulla rakennetun pientalon energiatehokkuutta ei ole pakottavaa tarvetta parantaa, vaan parannushalukkuus lähtee asukkaista itsestään. Taustalla ovatkin useimmiten taloudelliset säästöt, mutta myös ekotehokkuus ja ympäristön tiedostaminen ajavat kyseisiin päätöksiin.

Kun korjausrakentamista koskevat energiatehokkuusmääräykset astuvat voimaan, vaaditaan ennen 1960-luvulla rakennettuihin taloihin kohdekohtainen tarkastelu, esimerkiksi energiankulutusmittaukset ja selvitykset. Rakennusosien parantamiselle suositellaan vain kustannustehokkaita ratkaisuja ja kaikki ratkaisut ovat rakennusluvan varaisia toimenpiteitä. Energiatehokkuustodistus tulee pakolliseksi. (3, s. 12, 16.)

Energiatehokkaat ratkaisut vaativat suuren pääoman. Investointikustannukset voivat olla jopa niin suuret, että ratkaisujen kustannusten säästöt ilmenevät vasta vuosien – jopa kymmenien vuosien päästä. Sen vuoksi tässä opinnäytetyössä tutkitaan investoinneiltaan maltillisia energiatehokkaita ratkaisuja, joita asukkaat itse ovat toivoneet tutkittavan, sekä sellaisia ratkaisuja, jotka ovat välttämättömiä ratkaisuja energiatehokkaaseen rakennukseen pyrkimiseksi.

3.1 Rakenteiden merkitys

Rakenteiden kosteustekninen toimivuus on tärkeää. Kosteusteknisesti oikein toimiva rakenne on tiivis, mutta ilmaraolla varustettu. Koska lämpö pyrkii tasaantumaan eli lämmin ilmassa pyrkii viileän ilmassan puolelle eli lämpöä karkaa ylös- ja ulos-

päin, on rakennusvaipan oltava tiivis. Rakennedetaljit ovat vahvassa asemassa rakennuksen rakenteiden tiiviiden suunnittelemisessa. Rakenteiden tiiviyys rakentamisessa tarkoittaa mm. kylmäsiltojen välttämistä rakenteiden liittymäkohdissa sekä rakennemateriaalien yhteneväisyyttä koko rakenteen pinta-alalta. Turhia materiaalin sisäisiä saumoja pitää välttää, mutta koska saumakohtia joka tapauksessa syntyy, on ne saatava yhdistettyä mahdollisimman tiiviisti.

3.1.1 Tuuletus ja tuulensuoja

Julkisivuvuorauksen tai vesikatteen ja näiden takana olevan tuuletusvälin tai tuuletusraon tarkoituksena on estää sadeveden pääsy rakenteeseen. Tuuletusväli toimii kosteuden poistajana siinä syntyvän riittävän ilmavirtauksen ansiosta. Täten tuuletusvälin pitää olla riittävän suuri ilmavirtausten synnyn ja toimivuuden vuoksi. Katossa tuuletusrako ohjaa vedet vedenpoistoaukkoihin, ja sen tähden tuuletusraon pitää ulottua myös katteen reunoihin saakka. (4, s. 76.)

Tuulensuojan tarkoituksena on rajoittaa haitallisia ilmavirtauksia rakenteeseen ja estää niiden aiheuttamia lämpötekniisten ominaisuuksien heikennyksiä eristekerrokseen. Tuulensuojakerros ei kuitenkaan saa olla liian tiivis, jotta se ei estä kosteuden poistumista rakenteesta. (4, s. 77.) Tämän vuoksi huokoinen rakenne toimii hyvin.

3.1.2 Ilmatiiviyys

Rakenteiden sisäinen konvektio syntyy, kun ilmassa liikkuu rakenteen sisällä. Ilma sisältää vesihöyryä, jonka vuoksi rakenteessa käytetään höyrynsulkua. Höyrynsulku estää vesihöyryn etenemisen rakenteessa. Vesihöyry pyrkii osaltaan tasoittumaan osapaine-eron vuoksi. Osapaine-ero vallitsee eritoten kylmän ja lämpimän ilmassan välillä. Vesihöyryä siirtyy kosteasta kuivaan ilmaan eli se pyrkii tasoittumaan. Koska sisätilat ovat kuivat verrattuna ulkotilan kosteisiin oloihin, ei vesihöyryä saa päästä rakenteen läpi. (4, s. 70–71; 5, s. 481–483; 6.)

Ilma- ja höyrynsulkukerros, yleensä PE-muovikalvo, pysäyttää ilmavirtausten etenemisen rakenteessa sekä sisätiloissa syntyneen haitallisen höyryn kosteuden pääsyn raken-

teeseen (4, s. 77–78). Myös ikkuna-, ovi- ja tekniset aukot on rakennettava ilmatiiviiksi ilmavirtojen kulkemisen estämiseksi läpi rakenteen.

3.1.3 Kastepiste

Kastepiste eli kondensoitumispiste on rakenteen sisällä oleva kohta, jossa vesihöyry tiivistyy vedeksi ja kastelee rakenteen. Ilmiö näkyy kylminä vuodenaikoina huurteena. (5, s. 483.) Tämä kondensoitumiskohta voidaan osoittaa laskennallisesti vesihöyryn kyllästyspisteeksi (7, s. 4).

3.1.4 Lämmönjohtavuus

Rakenteelle lasketaan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo, joka kuvaa rakenteen lämmöneristyskykyä. Mitä pienempi U-arvo rakenteella on, sitä parempi lämmöneristyskyky sillä on. (8, s. 4.) Lämmönläpäisykerroimen laskenta perustuu rakenteen paksuuteen ja lämmönjohtavuuteen. U-arvo on siis näiden verrannon käänteisarvo, mikä lasketaan kaavalla 1 (9, s. 3):

$$U=1 / R_T , \tag{1}$$

$$\text{jossa } R_T=d / \lambda_n \tag{2}$$

U on lämmönläpäisykerroin

R_T on rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön

d on rakenneosan paksuus

λ_n on rakenneosan normaalin lämmönjohtavuus.

Normaalisessa lämmönjohtavuudessa λ_n on otettu huomioon rakenteen konvektiomahdollisuus, kun taas lämmönjohtavuuden suunnitteluarvossa λ_{design} sitä ei ole (10, s. 18–19).

3.2 Ilmanvaihdon merkitys

Pientalon lämpöenergian häviöistä suurin osa eli noin 50 % aiheutuu ilmanvaihdosta ja ilmapuodoista. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa voi häviö olla vieläkin suurempi. (8, s. 6–7). Tehokkaan ilmanvaihdon vaikutus on suurin sekä energiatehokkuudessa että

rakennusten kosteuskäyttäytymisessä. Ilmanvaihdon on toimittava oikein ja tehokkaasti, jotta talon sisäinen ilman alipaine pysyy tasaisena. Tämä vaatii ilman vaihtuvan keran kahdessa tunnissa. Mikäli ilmanvaihto on vajavainen, pääsee sisäilmanpaine ko hoamaan, mikä tarkoittaa sitä, että se lähestyy ulkona olevaa ilmanpainetta eli pyrkii tasoittumaan.

3.3 Lämmittämisen merkitys

Sisätilojen tarpeeton lämmittäminen vaikuttaa kohottavasti energiankulutukseen. Jopa 1 °C:n lämpötilan kohotus sisätiloissa merkitsee lämmitysenergiankulutuksen vuosittaisessa määrässä jopa 5 %:n kasvua (11, s. 52). Myös sisäilman laatu on heikompaa mitä lämpimämpää ilma on. Ihminen hengittää ja nukkuu paremmin, mitä matalampi huoneen lämpötila on. Sen tähden huonekohtainen ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmä on tehokkainta, jotta saadaan makuuhuoneen lämpötilaa laskettua alaspäin.

3.4 Asumiskäyttäytymisen merkitys

Energiatehokas talo ei synny pelkästään rakenteita ja lvi-järjestelmiä muuttaen. Vaikka näillä on suurin merkitys energiatehokkuudessa, voivat lisäksi asukkaat itse vaikuttaa energiantehokkuuteen omalla asumiskäyttäytymisellään. Tähän liittyvät mm. jätteiden lajittelu ja kierrätys, säästäväinen valaistuksen ja sähkölaitteiden käyttö sekä asukkaille syntyneen lisälämmöntarpeen normaalista lämpötilasta poikkeava lämmitysenergian kulutus. Asukas siis itse vaikuttaa omilla asumistavoillaan energiankulutukseen ja -säästöön.

4 Rakeneratkaisut

Tässä työssä tutkitaan vain puuvuoratun ulkoseinän sekä yläpohjan rakenteiden energiantehokkuusratkaisuja. Alapohjan sekä kellarin ulkoseinien rakenteet ja U-arvot on esitetty liitteessä 4.

4.1 Ulkoseinä

Pientalon ulkoseinien kautta hukkaan menevän lämpöhäviön suuruus on luokkaa 13 % (8, s. 7). Tämä johtunee ulkoseinän suuresta vaipan pinta-alasta.

Talon ulkoseinärakenteiden nykyiset ja uudet U-arvot on laskettu luvussa 4.1.1. Uuden U-arvon vertailuarvona pidetään normitalon vertaisen U-arvoja, sillä matala- tai passiivien energiatason rakenteiden U-arvot ovat niin alhaiset, että vanhoihin rakenteisiin pitäisi tehdä niin laajoja ja kalliita muutoksia, että niihin ei kannata edes tähdätä. Taulukossa 2 on verrattu Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisia U-arvoja eri rakennuskonsepteissa.

Taulukko 2. Pientalon U-arvojen vertailu eri energiatason rakennuskonsepteissa (12, s. 34).

Rakennusosa	U-arvot (W/m ² K)		
	normitalo	matalaenergiatalo	passiivitalo
alapohja, maanvastainen	0.16	0.12	0.10
ulkoseinä	0.17	0.12	0.08-0.10
yläpohja	0.09	0.08	0.07
ikkunat	1.00	0.80	0.7-0.8
ovet	1.00	0.60	0.50

Rakenteille pitää tehdä kuntotutkimus ennen toimenpiteisiin ryhtymistä. Tutkimuksessa selviää, onko rakenne varmasti sellainen kuin on oletettu, ja ovatko sisärakenteet hyvässä kunnossa niiden säilyttämiseksi. Kuntotutkimuksessa on kuitenkin varottava hyvin tarkkaan, että rakenteiden avaaminen ei aiheuta höyrynsulkumuoviin reikiä tai viiltoja. Pienikin reikä aiheuttaa suuria ilmavirtoja rakenteeseen, jonne saattaa kerääntyä haitallista kosteutta (4, s. 77).

Ulkoseinän uuden U-arvon saavuttaminen vaatii nykyisen sahanpurulämmöneristeen vaihtoa uuteen lämmöneristeeseen sekä ulkoseinän lisälämmöneristämistä. Koska rakennuksen lämmöneriste on löysää sahanpurua, on se luultavasti vuosien saatossa painunut ja täten ei enää nykyään ole jakautunut tasaisesti. Tämän vuoksi kyseinen lämmöneristekerros on vaihdettava uuteen. Pelkkä sahanpurun vaihtaminen uuteen kivivillaan ei kuitenkaan yksinään riitä energiatehokkuuden vaatiman U-arvon saavuttamiseksi, joten sen tähden suoritetaan myös lisälämmöneristys.

4.1.1 U-arvolaskelmat

U-arvo on tällä hetkellä 0,416 W/m²K ja saavutettava U-arvo on 0,17 W/m²K. Taulukossa 3 on esitetty nykyisen rakenteen U-arvo. U-arvon laskemiseen ei oteta mukaan julkisivulaudoitusta ja tuuletusväliä. Kun on kyse lämmöneriste ja koolaus -rakennekerroksesta, on näiden materiaalien laskennallinen osuus rakennekerroksessa määritetty koolauspuiden jaon suhteen. Ulkoseinässä koolauksen k600-jaolla lämmöneristeen prosentuaalinen osuus rakennekerroksessa on 91,7 % ja puukoolauksen osuus 8,3 %. Todellisuudessa puukoolauksen materiaaliosuus on prosentuaalisesti hieman korkeampi kuin laskennallisesti, kun otetaan huomioon mm. ylä- ja alajuoksut sekä aukotukset. (13, s. 18.)

Taulukko 3. Ulkoseinän nykyisen rakenteen U-arvo.

US NYKYINEN		d	λ_n	R	f	$R_j=f/R$	$1/\sum R_j$
RAKENNE	AINE	(m)	(W/mK)	(m ² K/W)	(%/100)	(W/m ² K)	(m ² K/W)
Rsi (lämpövirta vaakaan)				0.130			
lastulevy	puu	0.012	0.14	0.086			
höyrynsulku	muovi	0.002	0.32	0.006			
eristys	kivivilla	0.05	0.06	0.833	0.917	1.1004	0.77
+koolaus	puu	0.05	0.12	0.417	0.083	0.1992	
lauta	puu	0.017	0.12	0.142			
eristys	sahanpuru, löysä	0.1	0.12	0.833	0.917	1.1004	0.83
+koolaus	puu	0.1	0.12	0.833	0.083	0.0996	
lauta	puu	0.017	0.12	0.142			
tuulensuoja	puukuitulevy, huokos	0.014	0.055	0.255			
Rse				0.040			
				R _t =	2.403	m ² K/W	
				U=	0.416	W/m ² K	

Kaikki taulukon 3 normaaliset lämmönjohtavuusarvot (λ_n) ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaiset (9, s. 7–12).

Seuraavissa taulukoissa 4 ja 5 on esitetty uudet rakenneratkaisut U-arvoineen. Taulukoihin 4 ja 5 on lisäksi merkitty tavoiteltavan energiatehokkuuden saavuttavat U-arvot, joihin pitää uusien määräysten mukaan pyrkiä.

Taulukko 4. Ulkoseinän uusi U-arvo: lämmöneristeen uusiminen sekä lisälämmöneristys sisäpuolelta. Lihavoidulla tekstillä merkityt rakenteet ovat uusia.

US UUSI 1: sahanpuru kivivillaksi + lisäeristys sisältä								
RAKENNE	AINE	d (m)	λ_d (W/mK)	λ_n (W/mK)	R (m ² K/W)	f (%/100)	R _j =f/R (W/m ² K)	1/ΣR _j (m ² K/W)
Rsi (lämpövirta vaakaan)					0.130			
lastulevy	puu	0.012		0.14	0.086			
höyrynsulku	muovi	0.002		0.32	0.001			
eristys	kivivilla	0.05	0.036		1.389	0.917	0.66024	1.16
+koolaus	puu	0.05		0.12	0.417	0.083	0.1992	
lauta	puu	0.017		0.12	0.142			
eristys	kivivilla	0.05		0.06	0.833	0.917	1.1004	0.77
+koolaus	puu	0.05		0.12	0.417	0.083	0.1992	
lauta	puu	0.017		0.12	0.142			
eristys	kivivilla	0.1	0.036		2.778	0.917	0.33012	2.33
+koolaus	puu	0.1		0.12	0.833	0.083	0.0996	
lauta	puu	0.017		0.12	0.142			
tuulensuoja	puukuitulevy, huok.	0.014		0.055	0.255			
Rse					0.040			
					R _t =	5.196	m ² K/W	
					U=	0.192	W/m²K	
					U vaatimus=	0.17	W/m ² K	

Rakennusaineille, joille on vaatimusten mukaisesti määritetty lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_{design} , voidaan käyttää sellaisenaan U-arvon laskemiseen. Taulukoissa 4 ja 5 kivivillaeristeen lämmönjohtavuudessa on käytetty valmistajan ilmoittamaa lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa $\lambda_{\text{Declared}}$, joka on paljas arvo arvosta λ_{design} . Tämä tarkoittaa sitä, että arvo $\lambda_{\text{Declared}}$ kerrotaan korjaustekijöillä, joita ovat suunnittelulämpötila 10 °C, kosteuskorjaus sekä vanhenemisen muuntotekijä. Lämmönjohtavuuden arvon $\lambda_{\text{Declared}}$ oikeellisuudesta vastaa valmistaja. (14, s. 6–8.) Paroc kivivillaeristeestä ilmoitetaan lämmönjohtavuuden arvo λ_D , joka on laskettu standardin EN 13162 mukaan. Valmistajan sivuilla todetaan, että $\lambda_{\text{Declared}} = \lambda_{\text{design}}$. Tästä päätellen valmistajan antaman arvon λ_D korjauskertoimet ovat yhteensä 1, jolloin sitä voidaan käyttää suoraan arvona λ_d . (15.)

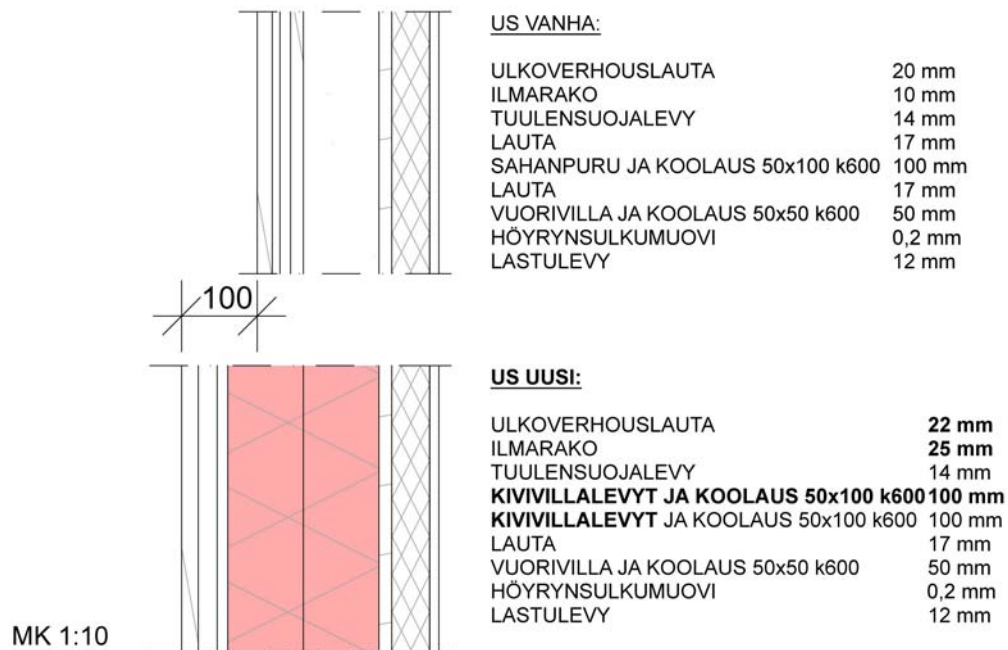
Taulukko 5. Ulkoseinän uusi U-arvo: lämmöneristeen uusiminen sekä lisälämmöneristys ulkopuolelta. Lihavoidulla tekstillä merkityt rakenteet ovat uusia.

US UUSI 2: sahanpuru kivivillaksi + lisäeristys ulkoa								
RAKENNE	AINE	d (m)	λ_d (W/mK)	λ_n (W/mK)	R (m ² K/W)	f (%/100)	R _j =f/R (W/m ² K)	1/ΣR _j (m ² K/W)
Rsi (lämpövirta vaakaan)					0.130			
lastulevy	puu	0.012		0.14	0.086			
höyrynsulku	muovi	0.002		0.32	0.006			
eristys	kivivilla	0.05		0.06	0.833	0.917	1.10	0.77
+koolaus	puu	0.05		0.12	0.417	0.083	0.20	
lauta	puu	0.017		0.12	0.142			
eristys	kivivilla	0.1	0.036		2.778	0.917	0.33	2.33
+koolaus	puu	0.1		0.12	0.833	0.083	0.10	
eristys	kivivilla	0.1	0.036		2.778	0.917	0.33	2.33
+koolaus	puu	0.1		0.12	0.833	0.083	0.10	
tuulensuoja	puukuitulevy, huok.	0.014		0.055	0.255			
Rse					0.040			
Rt=					6.082	m ² K/W		
U=					0.164	W/m²K		
korjauskerroin Δug=					0.0081	W/m ² K		
korjattu U=					0.17	W/m²K		
U vaatimus=					0.17	W/m ² K		

Kuten taulukosta 4 huomataan, sisäpuolisen lisälämmöneristämisen menetelmällä ja rakenteen uudella U-arvolla 0,192 W/m²K ei päästä aivan määräysten mukaiseen U-arvoon 0,17 W/m²K. Jo tämänkin vuoksi ulkopuolinen lisälämmöneristys on kannattavinta. Sisäpuolisessa lämmöneristämisessä piilee lisäksi riski: väliseiniä ja kantavien rakenteiden liittymäkohtia ei saada tarpeeksi tiiviiksi lisälämmöneristämisessä, jolloin syntyy ylimääräisiä kylmäsiltoja. Sisäpuolisessa lämmöneristämisessä ei myöskään päästä käsiksi vaakarakenteiden taakse, joten sahanpurun vaihto uuteen kivivillaan ei ole mahdollista purkamatta sisäpuolisia ulkoseinärakenteita eristykseen saakka. Ulkopuolelta lisälämmöneristämisen etuna on myös se, että työmaa sijaitsee asuinrakennuksen ulkopuolella, ei sisäpuolella ja täten rajoita asuinmukavuutta sisätiloissa, vaikkakin rakennuksen valoaukot ovat tietyn ajan ummessa. Tämä on kuitenkin pienempi ja lyhyempi aikainen ongelma kuin se, että sisätilojen neliöistä joutuu lisälämmöneristeen vuoksi tinkimään.

Ulkoseinän julkisivulaudoituksen takana tuuletusväliä on vain 10 mm ja tarvittava tuuletusväli on vähintään 25 mm (16, s. 6). Kun ulkolaudoitus puretaan, voidaan todeta,

onko liian pieni tuuletusväli aiheuttanut kosteusvaurioita tuulensuojaan tai jopa syvemmälle rakenteeseen.



Kuva 1. Ulkoseinän vanha ja uusi rakenne. Uudet rakenteet on korostettu lihavoidulla tekstillä sekä uudet lämmöneristeet punaisella värillä.

Kuvasta 1 huomataan, että ulkoseinässä vanhan sahanpurun vaihto kivivillaan ja ulkopuolinen lisälämmöneristäminen sekä ilmaraon suurentaminen vahvistavat rakennetta yhteensä 100 mm. Ulkoseinän lämmönläpäisykerroin paranee jopa $0,399 \text{ W/m}^2\text{K}$ eli laskee arvosta $0,416 \text{ W/m}^2\text{K}$ arvoon $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.1.2 Työmenetelmät

Sahanpuru imetään rakenteesta pois ja tilalle asennetaan mineraalivillaa. Mineraalivilaksi valitaan kivivilla sen erinomaisten paloteknisten ominaisuuksien vuoksi. Lasivilla on heikompaa palaessaan kuin kivivilla ja koska rakennus on puurakenteinen, on kivivilla erinomainen vaihtoehto. Eristeet on asennettava mahdollisimman saumattomasti koolausväleihin, villalevyn mittojen ja käsiteltävyyden sallimissa rajoissa. Tällä hetkellä ulkoseinän yläosassa ei ole lainkaan eristettä sivu-ullakoiden kohdalla. Lämmöneristettä asennetaan aivan ylös asti yläpohjaan saakka.

Sisäpuolisessa lisäeristämässä keskikerroksessa puretaan sisäpinnat ja uusitaan ne uuden villan päälle. Tämä tosin aiheuttaa jonkin asteista pinta-alan pienenemistä, mutta mikäli yläkerta otetaan asumiskäyttöön, siitä saadaan lisää asumisneliöitä ja täten keskikerroksen pinta-alan heikennys kompensoituu. Vintin asumisviihtyisyyden lisäämiseksi on myös sivu-ullakkotilojen ulkoseinät lämmöneristettävä tiiviisti.

Vintin asumiseen käyttöönotto vaatii yläkerran lämmittämistä. Asia on kuitenkin niin iso prosessi, etteivät nykyiset asukkaat halua siihen ryhtyä. Talon markkina-arvoon voi kuitenkin vaikuttaa se, että vinttiin ainakin luodaan asumiskelpoisuuden mahdollistaminen, eli vaikka nykyiset asukkaat eivät sitä tällä hetkellä halua asumiskelpoiseksi laajentaa, on sinne vedetty sähköt tulevaisuuden varalle. Patteriverkostoa ei yläkerrassa kuitenkaan ole.

Puisen ulkoseinän lisälämmöneristämisen työvaiheet (16, s. 1):

- 1 Aloittavat työt: suojaus, aloitusedellytysten varmistaminen sekä materiaalien ja työvälineiden siirrot.
- 2 Purkutyöt: puuverhouksen purku, jätteiden siivous ja siirrot.
- 3 Lisälämmöneristys: pohjan kunnostus, puukoolauksen, lämmöneristeen ja tuulensuojalevyn asennus sekä lämmöneristelevyjen asennus.
- 4 Verhous: verhouksen naulausrimoituksen asennus ja verhouksen asennus.
- 5 Lopettavat työt: suojausten poisto, työvälineiden huolto, jätteiden lajittelu ja siivous.
- 6 Ylläpitävät työt: työturvallisuustoimet, materiaalin työnaikaiset siirrot ja työnaikainen siivous.

4.1.3 Kustannuslaskelma

Liitteessä 5 on esitetty kohteen puisen ulkoseinän lämmöneristämisen työntekijä- ja materiaalikustannuslaskelma RaTu-ohjekorttien menekkien ja menetelmien sekä puu-

tavara- ja lämmöneristehinnastojen mukaisesti (17; 18; 19; 20; 21). Liitteessä esitetyt summat ovat ilman arvonlisäveroa, eikä laskelmissa ole otettu huomioon mahdollisia toimitus- ja rahtikuluja.

4.2 Yläpohja

Pientalon yläpohjan kautta hukkaan menevän lämpöhäviön suuruus on luokkaa 8 % (8, s. 7). Tämä johtunee ulkoseinän suurehkosta vaipan pinta-alasta verrattuna yläpohjan pinta-alaan.

Kohteen yläpohjassa on vintin kesähuoneen kohdalle asennettu lämmöneristettä 100 mm. Tämä tehty toimenpide ei kuitenkaan saavuta vielä tarvittavaa lämmönläpäisykerroimen arvoa, joten lisälämmöneristäminen on tässäkin rakenteessa tarpeen. Lisäksi lämmöneristettä pitää jatkaa myös yläpohjan reunoille asti, jotta vältetään sisätiloihin virtaavalta kylmältä ilmalta rakenteiden, kylmäsiltojen ja väliovien kautta. Lisälämmöneristäminen sisältä päin ei ole kovinkaan järkevää, koska se madaltaa sisäkattoa entisestään ja koska on kyseessä harjakatto, on vinttikerroksessa jo entisestään asuineliöitä ja asuinmukavuutta hukkaavaa matalaa ja vinoa huonekorkeutta.

4.2.1 U-arvolaskelmat

U-arvo on tällä hetkellä $0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja saavutettava U-arvo on $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tästä huomataan, että U-arvo on jopa yli viisi kertaa yli sallitun rajan. Taulukossa 6 on esitetty yläpohjan nykyisen rakenteen U-arvon muodostuminen. U-arvon laskemiseen ei oteta mukaan tiilikatetta tuuletusrakoon saakka. Yläpohjassa koolauksen k900-jaolla lämmöneristeen prosentuaalinen osuus rakennekerroksessa on 94,5 % ja puukoolauksen osuus 5,5 %.

Taulukko 6. Yläpohjan nykyiset rakenteet sekä U-arvo.

YP NYKYINEN		d	λ_n	R	f	$R_j=f/R$	$1/\Sigma R_j$
RAKENNE	AINE	(m)	(W/mK)	(m ² K/W)	(%/100)	(W/m ² K)	(m ² K/W)
Rsi (lämpövirta ylöspäin)				0.100			
kipsilevy		0.013	0.21	0.062			
harvalaudoitus	puu	0.022	0.12	0.183			
höyrynsulku	muovi	0.002	0.32	0.006			
eristys	vuorivilla	0.1	0.06	1.667	0.945	0.567	1.58
+kannatuskoolaus	puu	0.1	0.12	0.833	0.055	0.066	
Rse				0.040			
				Rt=	1.971 m ² K/W		
				U=	0.507 W/m²K		

Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty uudet rakenneratkaisut U-arvoineen.

Taulukko 7. Yläpohjan uusi U-arvo: lisälämmöneristys sisäpuolelta. Lihavoidulla tekstillä merkityt rakenteet ovat uusia.

YP UUSI 1: lisäeristys sisältä		d	λ_d	λ_n	R	f	$R_j=f/R$	$1/\Sigma R_j$
RAKENNE	AINE	(m)	(W/mK)	(W/mK)	(m ² K/W)	(%/100)	(W/m ² K)	(m ² K/W)
Rsi (lämpövirta ylöspäin)					0.100			
kipsilevy		0.013		0.21	0.062			
harvalaudoitus	puu	0.022		0.12	0.183			
höyrynsulku	muovi	0.002		0.32	0.006			
eristys	kivivilla	0.1	0.036		2.778	0.945	0.3402	2.46
+lisärunkopuu	puu	0.1		0.12	0.833	0.055	0.066	
eristys	vuorivilla	0.1		0.06	1.667	0.945	0.567	1.58
+kannatuskoolaus	puu	0.1		0.12	0.833	0.055	0.066	
Rse					0.040			
				Rt=	4.433 m ² K/W			
				U=	0.226 W/m²K			
				U vaatimus=	0.09 W/m ² K			

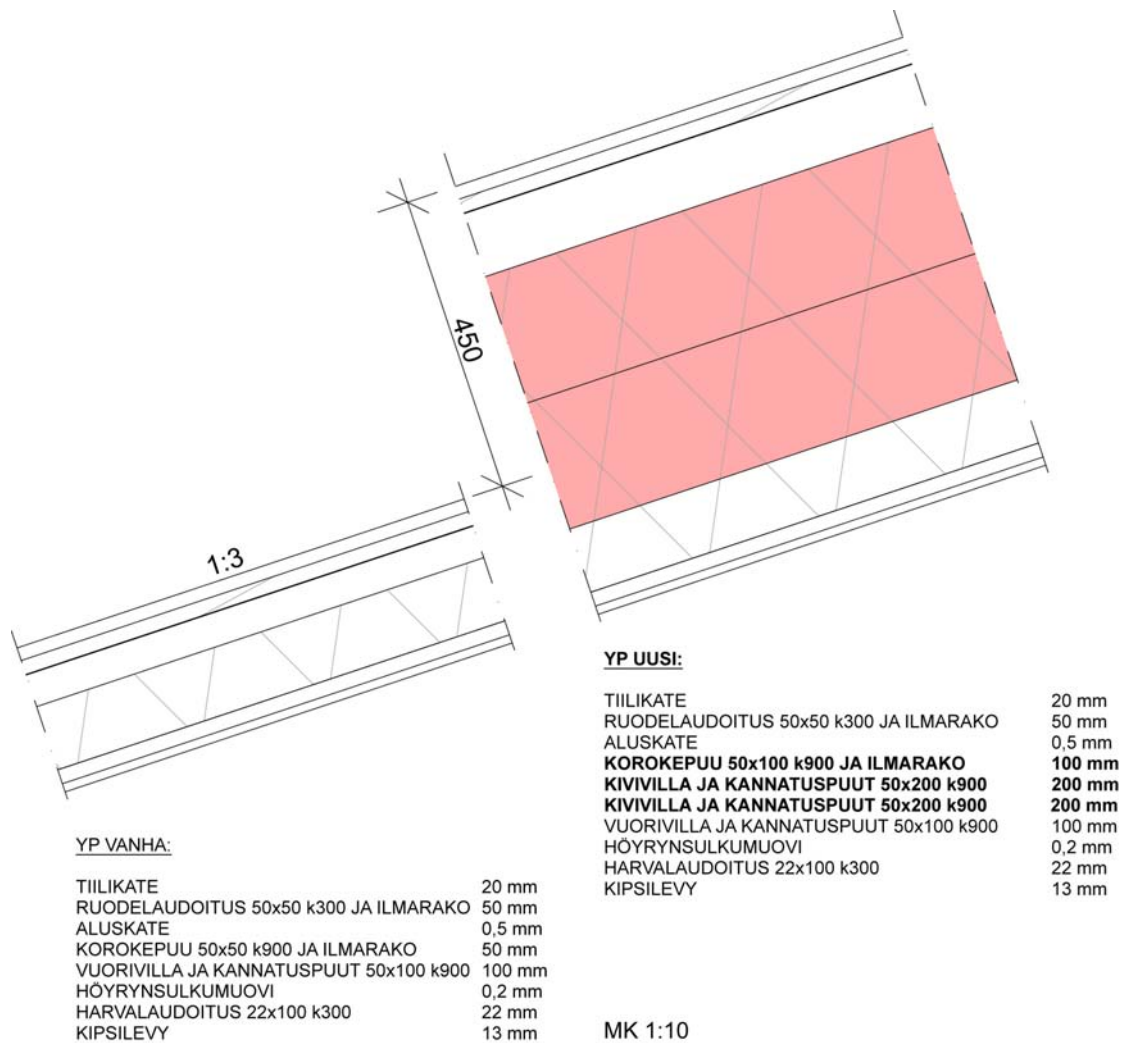
Taulukoihin 7 ja 8 on lisäksi merkitty tavoiteltavan energiatehokkuuden saavuttavat U-arvot, joihin pitää uusien määräysten mukaan pyrkiä.

Taulukko 8. Yläpohjan uusi U-arvo: lisälämmöneristys ulkopuolelta. Lihavoidulla tekstillä merkityt rakenteet ovat uusia.

YP UUSI 2: lisäeristys ulkoa		d	λd	λn	R	f	$R_j=f/R$	$1/\Sigma R_j$
RAKENNE	AINE	(m)	(W/mK)	(W/mK)	(m ² K/W)	(%/100)	(W/m ² K)	(m ² K/W)
Rsi (lämpövirta ylöspäin)					0.100			
kipsilevy		0.013		0.21	0.062			
harvalaudoitus	puu	0.022		0.12	0.183			
höyrynsulku	muovi	0.002		0.32	0.006			
eristys	vuorivilla	0.1		0.06	1.667	0.945	0.567	1.58
+kannatuskoolaus	puu	0.1		0.12	0.833	0.055	0.066	
eristys	kivivilla	0.2	0.036		5.556	0.945	0.1701	4.92
+kannatuskoolaus	kertopuu	0.2		0.12	1.667	0.055	0.033	
eristys	kivivilla	0.2	0.036		5.556	0.945	0.1701	4.92
+kannatuskoolaus	kertopuu	0.2		0.12	1.667	0.055	0.033	
Rse					0.040			
Rt= 11.819 m ² K/W U= 0.085 W/m²K korjauskerroin Δ_{ug} = 0.0091 W/m ² K korjattu U= 0.09 W/m²K U vaatimus= 0.09 W/m ² K								

Yläpohjassa on erittäin heikosti lämmöneristystä, joten lämmöneristettä on lisättävä runsaasti, varsinkin mikäli huoneesta halutaan asumiskuntoinen. Koska yläpohjan lisälämmöneristäminen sisältä käsin ei vielä 50 mm lämmöneristeen paksuudella saavuta tavoitettavaa U-arvoa 0,09 W/m²K ja lisäksi se pienentää huonetilaa yläkerrassa, valitaan lisälämmöneristämistavaksi ulkopuolinen lisälämmöneristäminen. Taulukosta 8 nähdään, että lisälämmöneristettä pitää nykyiseen rakenteeseen lisätä jopa 400 mm, jotta saavutetaan U-arvon sallittu raja-arvo.

Vesikatteen alla oleva tuuletusrako on vain 50 mm ja rakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta tarvittava tuuletusrako on oltava vähintään 100 mm (4, s. 81). Kun tiilikate, ruodelaudoitus ja aluskate puretaan, voidaan todeta, onko liian pieni tuuletusväli aiheuttanut kosteusvaurioita sisäpuoliseen rakenteeseen.



Kuva 2. Yläpohjan vanha ja uusi rakenne. Uudet rakenteet on korostettu lihavoidulla tekstillä sekä uudet lämmöneristeet punaisella värillä.

Kuvasta 2 huomataan, että ulkopuolinen lisälämmöneristäminen sekä ilmaraon korottaminen vahvistavat yläpohjan rakennetta yhteensä 450 mm. Lämmönläpäisykerroin yläpohjassa paranee jopa $0,417 \text{ W/m}^2\text{K}$ eli laskee arvosta $0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ arvoon $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.2.2 Työmenetelmät

Koska yläpohjassa on eristettä vain huoneen kohdalla, eikä ollenkaan katteen reunoilla, pitää olemassa olevaa lämmöneristekerrosta jatkaa sivuille. Näin saadaan yläpohjan vaipparakenteesta mahdollisimman yhtenäinen eivätkä reuna-alueet päästä kylmää ilmaa sisälle. Lämmöneristettä pitää tämän toimenpiteen lisäksi lisätä vielä kaksi ker-

rosta eli yhteensä 400 mm. Koska tämän hetkinen lämmöneristekerros on vajavainen ja vahvuudeltaan hyvin heikko, vain 100 mm, ei yläpohja saavuta lähellekään U-arvon raja-arvoa.

Tiilikatteen purku- ja uusimistyövaiheet (22, s. 1):

- 1 Aloittavat työt: työntekijöiden perehdyttäminen, aloituspalaveri, suunnitelmien läpikäyminen, materiaalien vastaanotto, tarkastus ja välivarastointi.
- 2 Purkutyö: tiilien ja ruodelaudoituksen purku.
- 3 Uusiminen: tiilikatteen asennus.
- 4 Tiilikaton käsittely kyllästeellä: tiilikaton pesu ja kyllästekäsittely.
- 5 Lopettavat työt: työvälineiden huolto, jätteiden lajittelu ja siivous.
- 6 Ylläpitävät työt: työnaikaiset siirrot, suojaus ja siivous.

Puisen vesikattorakenteen purku, uusiminen ja kunnostaminen sekä yläpohjan lisälämmöneristämisen työvaiheet (23, s. 1):

- 1 Aloittavat työt: aloittavat teline- ja kaidetyöt, aloitusedellytysten varmistaminen, materiaalien ja työvälineiden siirrot.
- 2 Uusiminen ja kunnostaminen: rakenteiden uusiminen, räystäiden kunnostaminen ja yläpohjan yläpuolinen lämmöneristäminen.
- 3 Lopettavat työt: suojausten poisto, kaiteiden purku, jätteiden lajittelu ja siivous.
- 4 Ylläpitävät työt: kaidetyöt, materiaalin työnaikaiset siirrot ja työnaikainen siivous.

4.2.3 Kustannuslaskelma

Liitteessä 6 on esitetty kohteen puisen yläpohjan lisälämmöneristämisen sekä tiilikatteen uusimisen työntekijä- ja materiaalikustannuslaskelma RaTu-ohjekorttien menekki- ja menetelmien sekä puutavara- ja lämmöneristehinnastojen mukaisesti (18; 20; 21; 22; 24). Liitteessä esitetyt summat ovat ilman arvonlisäveroa, eikä laskelmissa ole otettu huomioon mahdollisia toimitus- ja rahtikuluja.

Liitteistä 5 ja 6 huomataan, että lämmöneristysprosessi on monien tuhansien eurojen investointi. Taulukossa 9 on esitetty karkea arvio lämmöneristämishankkeen kokonaiskustannuksista tässä kohteessa. Pitää huomioida, että taulukon 9 kustannuksissa ei ole huomioitu hankkeen mahdollistavaa suunnittelua ja rakennuslupaprosessia, työnjohtoa ja viranomaisvalvontaa sekä työvälaineitä, mitkä kaikki osaltaan nostavat kustannuksia yhä edelleen arvioidusta summasta.

Taulukko 9. Kustannusarvio lämmöneristyshankkeen työntekijä- ja materiaalikustannuksista.

	H2		J2	M2	R2	
Rakennusosa	Iunnit, TTH	%	KL1 Työkust.	KL2 Ainekust.	Yhteensä €	%
Vesikatto	127	53.9 %	2151	5352	7502	55.8 %
Ulkoseinät	108	46.1 %	1842	4109	5951	44.2 %
Yhteensä	235	100%	3993	9461	13454	100%
Kustannuslajijakaumat, % ==>			29.7%	70.3%		
					YHTEENSÄ	13454
Yleiskulut rak.tekn. töistä, %=					3.0%	404
Yleiskulut alaurakoista, %=					2.0%	269
Voitto, %=					8.0%	1076
						15202
					alv 23%	3497
						18699

Koska yläpohjan lämmöneristys on tällä hetkellä hyvin heikko ja tästä syystä yläpohjasta virtaa ulos suuri määrä energiahukkaa, on sen lisälämmöneristäminen erittäin tärkeä toimenpide.

4.3 Ikkunat ja ovet

Asukkaat eivät ole kokeneet vedontunnetta ikkunoista, joten uudehkot ikkunat ovat jo hyvin tiiviit, vaikkakaan eivät saavuta U-arvon raja-arvoa. Ainoastaan keskikerroksen väliovista kylmään eteiseen, ullakolle sekä alakertaan, on asukkailla kokemusta vedosta. Koska ovet ovat alkuperäiset, ei kolmen oven vaihdosta synny kohtuuttomia kustannuksia. Ainoa ongelma on se, että oviaukot ovat vanhoilla mitoilla, joita ei enää käytetä uusissa ovissa, ja täten ovet on teetettävä puusepällä, mikä nostaa hankintakustannuksia. Jotta rakennus saadaan kauttaaltaan energiatehokkaaksi, tulee kyseeseen kaikkien ulko-ovien vaihto. Vaikka vanhat massiivipuurakenteiset ovet ovat vahvat ja hyvin toimivat, on rakennuksen tärkeä seikka energiatehokkuuden saavuttamisessa saada mahdollisimman tiivis ja yhtenäinen vaipparakenne ovi- ja ikkuna-aukkoja myöden. Ikkunoiden U-arvo oletetaan luvussa 6 olevissa laskuissa $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja ovien U-arvoksi $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Mikäli ovet vaihdetaan, uusi U-arvo on $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

5 Lämmitys- ja ilmanvaihtoratkaisut

Öljylämmittämisestä pääasiallisena lämmitysmuotona eivät asukkaat halua luopua. Vaikka vankkana vaihtoehtona lämmitykselle ovatkin kaukolämpö tai maalämpö, ei niitä erityisesti toivota tutkittavan tässä mestarityössä. Kaukolämpöverkostoon liittyminen on iso toimenpide, johon ei haluta ryhtyä. Kaukolämpöjakelu ei ole aiemmin ollut alueella mahdollinenkaan, joten asiaa ei ole edes harkittu. Vaikka öljyn hankintahinta on kallista, ei sitä pidetä esteenä kyseisen lämmitysmuodon jatkamiselle. Päinvastoin uuden lämmitysmuodon perustuskustannukset voivat olla niin korkeat, ettei investointi välttämättä edes kannata. Toisaalta voidaan valita sellainen lämmitysmuoto, jonka perustamiskustannukset ovat melko edulliset ja kytkentätoimenpiteet helpohkot eli ilmanvaihtokone lämmöntalteenotolla ja varaava takka. Tällöin öljylämmitystä ei tarvita koko aikaa ja kaikkialla. Öljyn vuosikulutus kohteessa on tällä hetkellä 3000 l.

5.1 Varaava takka

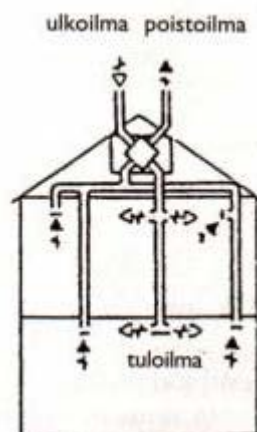
Takan suunnittelu, muuraus ja liittäminen hormistoon tapahtuvat ammattilaisten toimesta. Koska kyseessä on rintamamiestalo, sijaitsee takka hyvin keskeisesti asuinkerroksessa. Tämä mahdollistaa takan lämpöenergian hyödynnettävyyden koko asuinker-

rokseen. Energiatehokkaaksi varaavan takan tekee myös se, että talvisin takan käyttö vähentää öljyn kulutusta lämmittämistä varten, ja täten myös öljylämmittämisen kustannukset laskevat.

5.2 Ilmanvaihto ja lämmöntalteenotto

Paras keino saavuttaa riittävän tehokas ja riittävän usein eli kerran kahdessa tunnissa vaihtuva ilma, on täysin koneellinen ilmanvaihto. Myös osaksi koneellisella ja osaksi painovoimaisella ilmanvaihdolla voidaan saavuttaa tarvittava ilmanvaihto, mikäli ilmanvaihtolaitteessa on tarpeeksi tehoa. Ilmanvaihto parantaa sisäilmaa, mikä luo asukkaille asumismukavuutta. Tehokas ilmanvaihto ei estä myöskään ikkunoiden kautta tuuletusta. Tätä ei kuitenkaan suositella, jotta siitepölyä, melua ja liikennepölyä ei kulkeudu sisätiloihin ja huononna ilmanlaatua. (25.)

Koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon liitetään lisäksi lämmöntalteenotto-ominaisuus, jonka avulla säästetään lämmitysenergiaa. Lämmöntalteenotossa poistoilmasta otetaan lämmönsiirtimellä lämpö talteen, jolla lämmitetään tuloilmaa. Ilmanvaihtolaitteen vuosihyötysuhde eli sen lämmöntalteenottokapasiteetti voi olla jopa 80 %. Tämä tarkoittaa sitä, että 80 % rakennuksen lämmittämiseen tarvittavasta lämpöenergiasta muodostuu ilmanvaihtolaitteen lämmöntalteenoton avulla ja loput 20 % lämpöenergiasta pitää lämmittää muulla tavalla, eli tässä tapauksessa öljylämmityksellä. (26.) Kuvasssa 3 esitetään koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän toimintaperiaate.



Kuva 3. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän toimintaperiaate (27).

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä on hallittu kokonaisuus. Se voidaan asentaa huonekohtaiseksi, jolloin esimerkiksi keittiössä on tehokkaampi ilmanvaihto ja päinvastoin olohuoneessa maltillisempi teho kuin muissa huoneissa. Tämä järjestelmä vaatii huonekohtainen säätöjärjestelmän. (11, s. 61.)

Ilmanvaihtolaitteen kytkentä on mahdollista vesikiertojärjestelmään. Tämä toiminta vaatii patteriverkoston säätimen. Vesikiertoon liitettävän ilmanvaihtolaitteen asennus on teknisesti helppo toteuttaa, mutta laitteen hyöty investoinnin takaisinmaksuajassa voi olla monia vuosia. Ilmanvaihtolaitteen kanavat asennetaan yläpohjaan. Tämä vaatii tilaa yläpohjasta ja huolellista suunnittelua. Puhallusvilla vähentää lämmöneristeen paksuutta yläpohjassa, koska iv-kanavisto saadaan upotettua puhallusvillaan. (26.) Kohteessa on kuitenkin laskettu yläpohjan lisälämmöneristys kivivillalevyillä luvussa 4.2.1.

Kun varaava takka otetaan lämmityskustannusten alentamisessa huomioon, liitetään ilmanvaihtolaitteen säätöjärjestelmäksi sellainen automatiikka, joka mahdollistaa takan tehokkaan käytön. Ilmanvaihtojärjestelmä on usein alipaineinen. Tämä siksi, että rakenteesta pyritään alipaineistamalla imemään kosteutta pois. Jotta takkaa voidaan käyttää oikeaan tarkoitukseen koneellisessa ilmanvaihtorakennuksessa eli sisätilojen lämmittämiseen, pitää sisätila päinvastoin ylipaineistaa takan käytön ajaksi. Mikäli tätä toimenpidettä ei tehdä, takan savut jäävät rakennukseen sisälle. Myös tiivis takkapelti ehkäisee tätä ilmiötä. (26.)

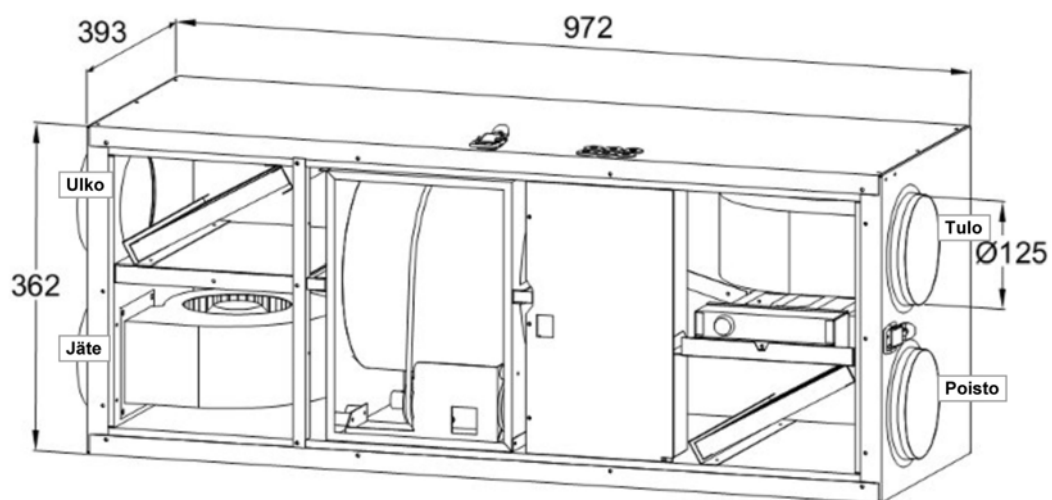
Ilmanvaihtolaite sijoitetaan talossa mahdollisimman keskeisesti, jotta siitä lähtevät kanavistot ovat mahdollisimman lyhyet ja ulottuvat kaikkiin asuttuihin tiloihin. Sen kierto on päästävä esteettömästi kulkemaan. Sijoituspaikka ulkoseinällä tulee olla varjoisa ja pihan puolella estäen liikennepölyn ja ylimääräisen kuumen tuloilman. Laitteen äänentaso voi häiritä asumismukavuutta, mikäli koneen sijoitus on asuinkerroksessa. Sen vuoksi laitteen sijoitus pitää tehdä mahdollisimman kauas makuuhuoneesta, jossa hiljaisuutta arvostetaan. (25.) Laitteiston äänenvaimentimet kerrosten välissä on myös hyvä toteuttaa, sillä ääni kulkeutuu herkästi ilmanvaihtokanavistossa.

5.2.1 Ilmanvaihtolaitteen mitoitus ja valinta

Ilmanvaihtokone kannattaa ylimitoittaa asuineliöihin nähden, jotta sen teho riittää myös silloin, mikäli rakennuksen asuinpinta-alaa laajennetaan eli tässä kohteessa otetaan ullakkotila asuinkäyttöön. Ilmanvaihtokoneen putkistoja ei suunnitella vietäväksi puolilämpimiin tiloihin, sillä energiatehokkuudessa ei ole kyse lämmittää asumattomia tiloja, jolloin lämmitysenergia menee hukkaan kyseisissä tiloissa. Tämä tarkoittaa sitä, että lämmöntalteenottoon ei suunnitellusti kannata johdattaa viileämpää ilmaa kuin lämmitetyissä tiloissa, koska kyseisen ilman lämmitys on hyvin energiaa vievää ja lämmöntalteenoton perimmäinen idea ehtyy. Ilmanvaihtokoneen kapasiteettia ei myöskään aina mitoiteta kosteisiin. Kaikissa ilmanvaihtolaitteissa ei ole lämmöntalteenoton sulatusominaisuutta, jolloin laitteiston elementit saattavat jäätyä talvipakkasissa, mikäli kosteaa ilmaa kertyy laitteistoon. Mikäli laitteessa ei tällaista toimintoa ole, on kosteisiin tiloihin suunniteltava erillinen poistojärjestelmä. Laitteen muotoon ja kokoon vaikuttavat sen sijoituspaikka sekä tulo-, poisto-, ulko- ja jätekanavien koot ja sijoitukset. (26.) Seuraavaksi tarkastellaan kahta ilmanvaihtolaitetta.

Enervent LTR-2 eco EDW

Enervent LTR-2 eco EDW -ilmanvaihtolaitteen ylimitoitusarvo kohteessa on 192 %. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli ullakkokerros otetaan asuinkäyttöön, laitteen kapasiteetti riittää myös näiden lisätilojen ilmanvaihtoon. Kuvassa 4 on laitteen mitoituskuva.

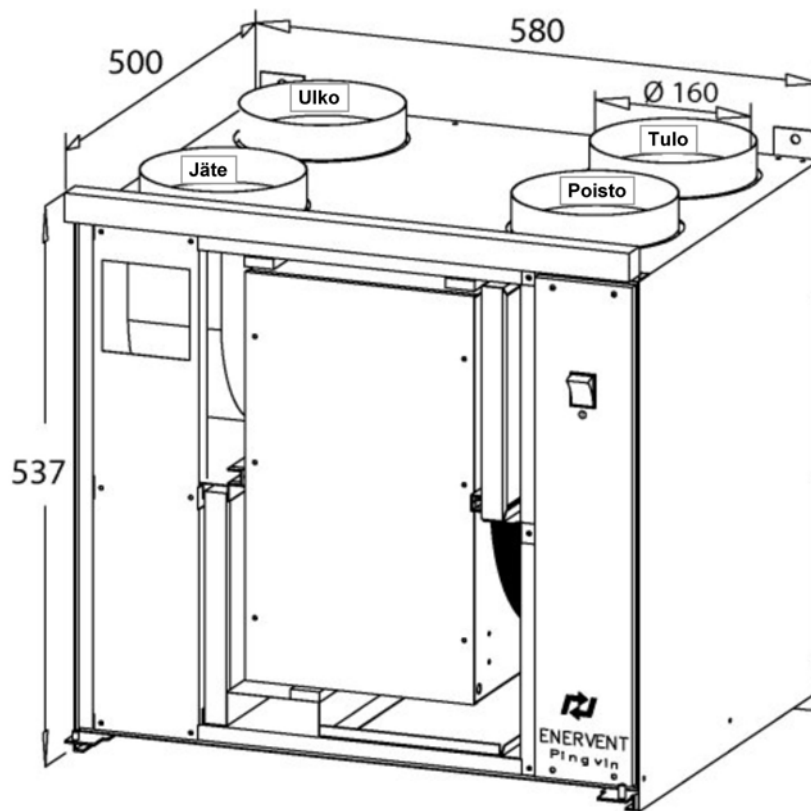


Kuva 4. Enervent LTR-2 eco EDW -ilmanvaihtokone lämmöntalteenotolla (28).

Laite on pyörivällä lämmönsiirtimellä ja lämmöntalteenotolla varustettu kone, jonka hinta on 2600 € (alv 0 %). Laitteen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on jopa 75,3 %. Laitteessa on EDA-automatiikkajärjestelmä, joka kytkee sisäilman ylipaineiseksi varaaavan takan käytön ajaksi sekä tunnistaa sisäilman laadun ja vaihtaa automaattisesti puhallintehoa. Automaatiojärjestelmässä on lisäksi mm. automaattinen kosteustehostus ja lämmöntalteenoton jäätyminenestotoiminto. (27.) Kanavien koko on vain 125 mm, mikä mahdollistaa tässä kohteessa kanaviston mahtumisen mahdollisimman pieneen tilaan. Ilmanvaihtokoneen tekniset tiedot on esitetty liitteessä 7.

Enervent Pingvin eco EDW

Enervent Pingvin eco EDW -ilmanvaihtolaitteen ylimateitusarvo kohteessa on jopa 296 %. Tämä ei kuitenkaan tarkoittaa sitä, että koneen kapasiteetti on liian suuri tilaan, vaan sitä, että se on erittäin tehokas laite. Tehoja ei tietenkään pidetä täysillä koko ajan, vaan EDA-automatiikka säätelee toiminnan oikein. Kuvassa 5 on laitteen mitoitukskuva.



Kuva 5. Enervent Pingvin eco EDW -ilmanvaihtokone lämmöntalteenotolla (29).

Laite on pyörivällä lämmönsiirtimellä ja lämmöntalteenotolla varustettu kone, joka maksaa 3353 € (alv 0 %). Laitteen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on jopa 77,4 %. Tässäkin laitteessa on EDA-automatiikka. (29.) Kanavien koko on 160 mm, jolloin ne vievät enemmän tilaa kuin edellisen laitteen kanavistot. Ilmanvaihtokoneen tekniset tiedot on esitetty liitteessä 8.

5.2.2 Ilmanvaihtolaitteiden vertailu

Vaikka jälkimmäinen laite on hankintakustannuksiltaan 753 € (alv 0 %) kalliimpi kuin edellinen, on se hieman tehokkaampi laite. Kanaviston koko pitää kuitenkin ottaa suunnittelussa huomioon, mikä voikin nousta esteeksi. Jälkimmäinen laite vaatii suuremmat kanavakoot kuin edellinen, joten suunnittelun helpottamiseksi valitaan pienempiin tiloihin mahtuvat kanavakoot eli Enervent LTR-2 eco EDW -malli.

5.3 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumpun lämmityksen ja jäähdytyksen vaikutus on vain huonekohtaista. Mikäli vaikutus halutaan kokonaisvaltaisesti huoneistokohtaiseksi, joudutaan ilmalämpöpumppu liittämään koko lämmönjakojärjestelmään. Ilmalämpöpumpun hankinta tuottaa korjausrakentamisessa paljon uusia putkistohankintoja, joten rintamamiestalossa näiden putkistojen suunnittelu ja sijoitus voi olla ongelma. Ilmanvaihtolaitteeseen joudutaan liittämään kylmäaineputkistot, joita vain ilmalämpöpumppu käyttää. Ilmanvaihtolaitte yhdessä ilmalämpöpumpun kanssa on kallis investointi sekä monimutkainen suunnitella ja asentaa. (26.)

Mikäli kuitenkin ilmalämpöpumpun hankintaa harkitaan, se sijoitetaan kellarikerrokseen lämmönjakohuoneeseen mahdollisimman lähelle ilmanvaihtolaitetta ja maanpintaa eli miltei lattiarajaan ulkoseinälle tai alapohjaan. Tämä mahdollistaa myös maan tuottaman lämmön hyödyntämisen ilmalämpöpumpun toiminnassa, mikä säästää energiaa. (26.)

6 Rakennuksen energiantarpeen laskenta

Rakennus on tarkistusmitattu ja uudelleen piirretty vuonna 2006. Laskelmissa käytetyt arvot ovat laskettu näiden piirustusten perusteella. Piirustukset ovat liitteissä 1-3. Laskelmat perustuvat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 uusiin ohjeisiin vuodelle 2012 (30). Niiltä osin, kuin osion D5 ohjeistus määrää, käytetään apuna Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa D3 (31).

Tarkoituksena on tutkia lisälämmöneristämisen vaikutusta laskentatuloksiin. Laskut on toteutettu ensin pelkällä ilmanvaihdon parantamisella luvussa 5.2.2 valitulla ilmanvaihtokoneella ilman ilmalämpöpumppua sekä varaavalla takalla (tapaus 1), ja seuraavaksi on otettu huomioon lisäksi lisälämmöneristys ulkoseiniin ja yläpohjaan sekä ovien vaihto uusiin (tapaus 2). Laskujen tulokset ovat vuositasolla, ellei toisin mainita. Ilmanvaihtolaitteen lähtötietoina on käytetty liitteen 7 tietoja ja lämpötiloina vuoden keskiarvoja. Tarkemmat laskutulokset ja kaavat ovat esitetty liitteissä 9 ja 10 tapauskohtaisesti.

6.1 Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve

Tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 3 (30, s. 16, 35):

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis. lämpö}} \quad (3)$$

$$\text{jossa } Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv, tuloilma}} + Q_{\text{iv, korvausilma}} \quad (4)$$

$$\text{ja } Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} * Q_{\text{lämpökuorma}} \quad (5)$$

$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$	on tilojen lämmitysenergian nettotarve (kWh/a)
Q_{tila}	on tilojen lämmitysenergian tarve (kWh/a)
$Q_{\text{sis.lämpö}}$	on lämpökuormat, jotka hyödynnetään lämmityksessä (kWh/a)
Q_{joht}	on johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi
$Q_{\text{vuotoilma}}$	on vuotoilman aiheuttama lämpöhäviö
$Q_{\text{iv, tuloilma}}$	on tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve
$Q_{\text{iv, korvausilma}}$	on korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve
$\eta_{\text{lämpö}}$	on lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste
$Q_{\text{lämpökuorma}}$	on rakennuksen lämpökuorma.

Tässä kohteessa lasketut arvot kaavalle 3 tilojen lämmitysenergian nettotarpeelle ovat tapauksessa 1 $Q_{\text{lämmitys, tilat, netto, 1}} = 4670$ kWh/a ja tapauksessa 2 $Q_{\text{lämmitys, tilat, netto, 2}} = 955$ kWh/a, jolloin $\Delta Q_{\text{lämmitys, tilat, netto, 1, 2}} = 3715$ kWh/a.

Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi lasketaan kaavalla 6 (30, s. 17):

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsilat}}, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{jossa } Q_{\text{rak.osa}} = Q_{\text{ulkoseinä}} = Q_{\text{yläpohja}} = Q_{\text{alapohja}} = Q_{\text{ikkuna}} = Q_{\text{ovi}} = Q_{\text{muu}} \\ = \sum U_i * A_i * (T_s - T_u) * \Delta t / 1000 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{ja } Q_{\text{kylmäsilat}} = \sum I_k * \psi_k * (T_s - T_u) * \Delta t / 1000 \quad (8)$$

Q_{joht}	on johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi (kWh/a)
$Q_{\text{rak.osa}}$	on johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi (kWh/a)
$Q_{\text{kylmäsilat}}$	on johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi (kWh/a)
Q_{muu}	on johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta
U_i	on rakennusosan i lämmönläpäisykerroin
A_i	on rakennusosan i pinta-ala
I_k	on viivamaisen kylmäsilan pituus
ψ_k	on viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi
T_s	on sisäilman lämpötila
T_u	on ulkoilman lämpötila
Δt	on ajanjakson pituus
1000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Tässä kohteessa lasketut arvot kaavalle 6 johtumishäviöille rakennusvaipan läpi ovat tapauksessa 1 $Q_{\text{joht, 1}} = 20440$ kWh/a ja tapauksessa 2 $Q_{\text{joht, 2}} = 13290$ kWh/a, jolloin $\Delta Q_{\text{joht, 1, 2}} = 7150$ kWh/a.

Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 9 (30, s. 20):

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \rho_i * C_{\text{pi}} * q_{\text{v, vuotoilma}} * (T_s - T_u) * \Delta t / 1000, \quad (9)$$

$$\text{jossa } q_{\text{v, vuotoilma}} = (q_{50} / 3600 * x) * A_{\text{vaippa}} \quad (10)$$

$Q_{\text{vuotoilma}}$	on vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)
$q_{\text{v, vuotoilma}}$	on vuotoilmavirta (m^3/s)
ρ_i	on ilman tiheys

C_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti
T_s	on sisäilman lämpötila
T_u	on ulkoilman lämpötila
Δt	on ajanjakson pituus
1000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi
q_{50}	on rakennusvaipan ilmanvuotoluku
A_{vaippa}	on rakennusvaipan pinta-ala
x	on kerroin, joka on kolmi- ja neli-kerroksisille rakennuksille 20
3600	on kerroin, joka muuttaa ilmavirran m^3/h yksiköstä m^3/s yksikköön.

Tässä kohteessa lasketut arvot kaavalle 9 vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarpeelle ovat tapauksissa 1 ja 2 $Q_{vuotoilma, 1, 2} = 3135$ kWh/a. Rakennusvaipan ilmanvuotoluvuksi q_{50} oletetaan $4 m^3/hm^2$, koska ilmanpitävyyttä ei tunneta (30, s. 21).

Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 11 (30, s. 24):

$$Q_{iv, tuloilma} = t_d * t_v * \rho_i * C_{pi} * q_{v, tulo} * (T_s - T_{sp}) * \Delta t / 1000 \quad (11)$$

$Q_{iv, tuloilma}$	on tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh/a)
t_d	on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte
t_v	on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte
ρ_i	on ilman tiheys
C_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti
$q_{v, tulo}$	on ilmanvaihtolaitteen tuloilmavirta
T_s	on sisäilman lämpötila
T_{sp}	on sisäänpuhalluslämpötila
Δt	on ajanjakson pituus
1000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Tässä kohteessa lasketut arvot kaavalle 11 tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarpeelle ovat tapauksissa 1 ja 2 $Q_{iv, tuloilma, 1, 2} = 460$ kWh/a.

Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 12 (30, s. 24–25):

$$Q_{iv, korvausilma} = \rho_i * C_{pi} * q_{v, korvausilma} * (T_s - T_u) * \Delta t / 1000 , \quad (12)$$

$$\text{jossa } q_{v, korvausilma} = \sum t_d * t_v * q_{v, poisto} - \sum t_d * t_v * q_{v, tulo} \quad (13)$$

$Q_{iv, korvausilma}$ on korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh/a)

$Q_{v, \text{korvausilma}}$	on korvausilmavirta (m^3/s)
ρ_i	on ilman tiheys
C_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti
T_s	on sisäilman lämpötila
T_u	on ulkoilman lämpötila
Δt	on ajanjakson pituus
1000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi
t_d	on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte
t_v	on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte
$Q_{v, \text{poisto}}$	on ilmanvaihtolaitteen poistoilmavirta
$Q_{v, \text{tulo}}$	on ilmanvaihtolaitteen tuloilmavirta.

Tässä kohteessa lasketut arvot kaavalle 12 korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarpeelle ovat tapauksissa 1 ja 2 $Q_{iv, \text{korvausilma}, 1, 2} = 325 \text{ kWh/a}$.

Rakennuksen lämpökuorma lasketaan kaavalla 14 (30, s. 30–31, 35, 43):

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

$$\text{jossa } Q_{\text{henk}} = k * n * \varphi_{\text{henk}} * \Delta t_{\text{oleskelu}}/1000 \quad (15)$$

$$\text{ja } Q_{\text{säh}} = W_{\text{valaistus}} + W_{\text{kuluttajalaitteet}} \quad (16)$$

$$\text{ja } Q_{\text{aur}} = \sum G_{\text{säteily, pystypinta}} * F_{\text{läpäisy}} * A_{\text{ikk}} * g \quad (17)$$

$$\text{ja } Q_{\text{lkv, kierto}} = (\phi_{\text{lkv, kierto, omin.}} * L_{\text{lkv}} + \phi_{\text{lkv, lämmitys, omin.}} * \eta_{\text{lämmityslaite}}) * (t_{\text{lkv, pumppu}} * 365/1000) \quad (18)$$

$Q_{\text{lämpökuorma}}$	on rakennuksen lämpökuorma (kWh/a)
Q_{henk}	on henkilöiden luovuttama lämpöenergia (kWh/a)
$Q_{\text{säh}}$	on valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma (kWh/a)
Q_{aur}	on ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia (kWh/kk)
$Q_{\text{lkv, kierto}}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviö (kWh/a)
$Q_{\text{lkv, varastointi}}$	on lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tuleva osuus
k	on rakennuksen käytönaikainen käyttöaste, joka kuvaa ihmisten keskimääräistä läsnäoloa rakennuksessa
n	on henkilöiden lukumäärä
φ_{henk}	on yhden henkilön luovuttama keskimääräinen lämpöteho, joka ei sisällä haihtumislämpöä
$\Delta t_{\text{oleskelu}}$	on oleskeluaika

1000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi
$W_{\text{valaistus}}$	on valaistuksen sähköenergian kulutus
$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$	on kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus
$G_{\text{säteily, pystypinta}}$	on pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti
$F_{\text{läpäisy}}$	on säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin
A_{ikk}	on ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen)
g	on ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin
$\phi_{\text{lkv, kierto, omin.}}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho
L_{lkv}	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus
$\phi_{\text{lkv, lämmitys, omin.}}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho
$\eta_{\text{lämmityslaite}}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä
$t_{\text{lkv, pumppu}}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika.

Tässä kohteessa lasketut arvot kaavalle 14 rakennuksen lämpökuormalle ovat tapauksissa 1 ja 2 $Q_{\text{lämpökuorma, 1, 2}} = 26615 \text{ kWh/a}$.

6.2 Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus lasketaan kaavalla 19 (30, s. 45):

$$Q_{\text{lämmitys}} = (Q_{\text{lämmitys, tilat}} + Q_{\text{lämmitys, iv}} + Q_{\text{lämmitys, lkv}}) / \eta_{\text{tuotto}} \quad (19)$$

$Q_{\text{lämmitys}}$	on lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus (kWh/a)
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$	on tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, joka katetaan laskettavalla lämmönjakelujärjestelmällä
$Q_{\text{lämmitys, iv}}$	on ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus
$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	on lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve
η_{tuotto}	on lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä.

Tässä kohteessa lasketut arvot kaavalle 19 lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulukselle ovat tapauksessa 1 $Q_{\text{lämmitys, 1}} = 18650 \text{ kWh/a}$ ja tapauksessa 2 $Q_{\text{lämmitys, 2}} = 13000 \text{ kWh/a}$, jolloin $\Delta Q_{\text{lämmitys, 1, 2}} = 5650 \text{ kWh/a}$. Nykyisellä öljylämmityksen vuosikuluksella 3000 l/a saadaan arvo $Q_{\text{lämmitys, nyk.öljy}} = 24300 \text{ kWh/a}$, jota voidaan pitää vertailuarvona tapauksille 1 ja 2. Täten $\Delta Q_{\text{lämmitys, 1, nyk.öljy}} = 5650 \text{ kWh/a}$ sekä $\Delta Q_{\text{lämmitys, 2, nyk.öljy}} = 11300 \text{ kWh/a}$.

6.3 Rakennuksen energiankulutus

6.3.1 Rakennuksen ostoenergiankulutus

Rakennuksen ostoenergiankulutus lasketaan kaavalla 20 (30, s. 15, 45–46, 53):

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

$$\text{jossa } W_{\text{lämmitys}} = W_{\text{tilat}} + W_{\text{tuotto, apu}} + W_{\text{lkv, pumppu}} + W_{\text{aurinko, pumput}} + W_{\text{LP, lämmitys}} + W_{\text{LP, apu}} \quad (21)$$

$$\text{ja } W_{\text{ilmanvaihto}} = \sum \text{SFP} * q_v * \Delta t + W_{\text{iv, muut}} \quad (22)$$

E_{osto}	on rakennuksen ostoenergiankulutus (kWh/m ² a)
$W_{\text{lämmitys}}$	on lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus (kWh/a)
$W_{\text{ilmanvaihto}}$	on ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus (kWh/a)
$Q_{\text{lämmitys}}$	on lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus
$Q_{\text{jäähdytys}}$	on jäähdytysjärjestelmän lämpöenergian (kaukojäähdytyksen) kulutus
$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$	on kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus
$W_{\text{valaistus}}$	on valaistuksen sähköenergian kulutus
$W_{\text{käytetty omasähkö}}$	on rakennuksessa käytetty omavaraissähköenergia
W_{tilat}	on lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus
$W_{\text{tuotto, apu}}$	on lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus
$W_{\text{lkv, pumppu}}$	on lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus
$W_{\text{aurinko, pumput}}$	on aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergian kulutus
$W_{\text{LP, lämmitys}}$	on lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus
$W_{\text{LP, apu}}$	on lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutus, joka ei sisällä lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin
SFP	on ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho
q_v	on ilmanvaihtokoneen ilmavirta
Δt	on ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla
$W_{\text{iv, muut}}$	on muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus.

Tässä kohteessa lasketut arvot kaavalle 20 rakennuksen vuosittaiselle ostoenergiankulutukselle ovat tapauksessa 1 $E_{\text{osto, 1}} = 233 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ja tapauksessa 2 $E_{\text{osto, 2}} = 174 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, jolloin $\Delta E_{\text{osto, 1, 2}} = 59 \text{ kWh/a}$. Kohteen laskuissa ei huomioida arvoa $Q_{\text{jäähdytys}}$, sillä kohteessa ei ole kaukojäähdytystä. Kohteessa ei myöskään ole omavaraissähkön tuottoa, aurinkokennoja tai ilmalämpöpumppua, eikä näin ollen lämmöntuottojärjestelmän apulaitteita, joten myös arvot $W_{\text{käytetty omasähkö}}$, $W_{\text{tuotto, apu}}$, $W_{\text{aurinko, pumput}}$, $W_{\text{LP, lämmitys}}$ sekä $W_{\text{LP, apu}}$ jätetään pois kohteen laskuista.

6.3.2 Rakennuksen kokonaisenergiankulutus

Rakennuksen kokonaisenergiankulutus lasketaan kaavalla 23 (30, s. 15):

$$E = f_{\text{kaukolämpö}} * Q_{\text{kaukolämpö}} + f_{\text{kaukojäähdytys}} * Q_{\text{kaukojäähdytys}} + \sum f_{\text{polttoaine, i}} * Q_{\text{polttoaine, i}} + f_{\text{sähkö}} * W_{\text{sähkö}} \quad (23)$$

E	on rakennuksen kokonaisenergiankulutus (kWh/m ² a)
f _{kaukolämpö}	on kaukolämmön energiamuodon kerroin
Q _{kaukolämpö}	on kaukolämmön kulutus
f _{kaukojäähdytys}	on kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin
Q _{kaukojäähdytys}	on kaukojäähdytyksen kulutus
f _{polttoaine, i}	on polttoaineen i energiamuodon kerroin
Q _{polttoaine, i}	on polttoaineen i sisältämän energian kulutus
f _{sähkö}	on sähkön energiamuodon kerroin
W _{sähkö}	on rakennuksen sähkön kulutus, josta on vähennetty rakennuksessa käytetty omavaraissähköenergia.

E-lukua tarkastellaan yleensä rakennuslupavaiheessa, joten tälle korjauskohteelle ei kyseistä tarkastelua ole tarpeen tehdä, koska saatu luku ei ole vertailukelpoinen uudisrakennuksen E-lukuun.

6.4 Laskujen johtopäätökset

Laskujen johtopäätöksiä tutkitaan vain tämän kohteen ja tapausten 1 ja 2 kannalta.

Rakennuksen lisälämmöneristäminen, ovien vaihdot, varaava takka sekä koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä kaikki yhdessä vaikuttavat rakennuksen energiankulutukseen eli ostoenergiankulutuksen arvoon E_{osto}. Lisälämmöneristäminen alentaa rakennuksen energiankulutuksen arvoa 59 kWh/a, kuten luvussa 6.3.1 on esitetty.

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt saadaan pienennettyä lisälämmöneristämällä jopa 7150 kWh/a, kuten luvussa 6.1 on esitetty. Tämä osoittaa sen, että rakennuksen tiiviydellä ja lämmöneristyskyvyllä on suuri merkitys. Myös tilojen lämmitysenergian nettotarpeen tuloksista huomataan, että lämmöneristys vähentää energiantarvetta jopa 3715 kWh/a.

Energiantehokkuusparannukset talotekniikassa sekä lämmitysmuodossa vähentävät nykyistä lämmitysenergiankulutusta tapauksessa 1 yli 5000 kWh/a, kuten luvussa 6.2 on esitetty, ja tapauksessa 2 edellä mainittujen parannusten lisäksi lisälämmöneristäminen yhdessä vähentävät nykyistä lämmitysenergiankulutusta jopa yli 10000 kWh/a. Kun nykykäytössä öljynlämmityskulutus on 24300 kWh/a, syntyy tapauksen 1 energiatehokkuusparannuksesta energiasäästöä jo 5650 kWh/a, joka on saman verran kuin lisälämmöneristämisen säästämä energia.

Takaisinmaksuaikaa mietittäessä kustannuksiltaan edullisinta on puuttua vain ilmanvaihtoon ja miettiä ovien vaihtoa sekä varaavan takan muuraamista. Energiatehokkuusinvestointien takaisinmaksuaika lämmitysenergian kustannuksissa voidaan laskea luvussa 6.2 esitetyillä arvoilla $\Delta Q_{\text{lämmitys, 1, nyk.öljy}} = 5650 \text{ kWh/a}$, $\Delta Q_{\text{lämmitys, 2, nyk.öljy}} = 11300 \text{ kWh/a}$ sekä pelkän lisälämmöneristämisen osuudella $\Delta Q_{\text{lämmitys, 1, 2}} = 5650 \text{ kWh/a}$. Öljyn litrahinta on noin 1,1 €/l ja 1 litra öljyä on lämpöarvoltaan 10 kWh, joten öljyn kulutussäästö vuodessa on tapauksessa 1 565 l/a ja tapauksessa 2 1130 l/a. Näin saadaan vuosittaiseksi energiankustannussäästökseksi tapauksessa 1 621,50 €/a ja tapauksessa 2 1243 €/a, josta pelkän lisälämmöneristämisen osuus on 621,50 €/a. Nämä luvut tarkoittavat sitä, että ilmanvaihtolaitteen hankintakustannuksen takaisinmaksuaika luvussa 6.2.1 esitettyyn laitteeseen verrattuna on 5 vuotta, kun alv 23 % on huomioitu hankintahinnassa. Tähän lisätään vielä laitteiston tarvikkeiden ja työn kustannukset, joten takaisinmaksuaika on todellisuudessa pidempi kuin pelkkään hankintahintaan verrattuna. Lisälämmöneristämisen takaisinmaksuaika taulukossa 9 esitettyihin karkeisiin investointikustannuksiin verrattuna on jopa 30 vuotta. Tämäkin on vain karkea kustannusten takaisinmaksuaika, todellisuudessa siis pidempi kuin tässä laskettu, kun otetaan huomioon hankkeen kaikki osatekijät. Tosin alapohjan ja kellarin ulkoseinät ovat kohteen laskuissa yhä lisäeristämättömät sekä ikkunoiden vaihtoa ei ole suunniteltu. Koko vaiipan lisälämmöneristämisen toimenpiteet nostavat jälleen investointikustannuksia, mikä puolestaan kompensoi takaisinmaksuaikaa pysymään suunnilleen samassa kuin edellä laskettu aika.

7 Yhteenveto

Korjausrakentamisen energiatehokkuus on laaja korjausrakentamisen osa-alue. Energiatehokkuuden ja toimivuuden ymmärtäminen vie oman aikansa. Jokaiselle rakennus-

osalle ja -materiaalille sekä itse rakentamiselle aina rakennuksen käytön loppuun saakka on määritetty omat raja-arvot ja määräykset. Energiatehokkuuden käsitettä ei voi paeta millään osa-alueella, koska se on rakentamisessa nykyään niin suuri ja merkityksellinen asia, että sitä ei voi välttää. Sen tähden näiden kaikkien energiatehokkuusasioiden ja -toimenpiteiden ymmärtäminen on ensiarvoisen tärkeää, jotta osaa hahmottaa rakentamisen ja rakennuksen kokonaisuuden.

Tässä opinnäytetyössä yritettiin tutkia edellä mainittuja osa-alueita, mutta tässä oli vain pintaraapaisu siitä kaikesta, mitä korjausrakentamisen energiatehokkuudessa on kyse. Tutkimus oli rajattava osa-alueisiin, jotta työ saatiin pysymään kasassa ja hyvin tehtynä. Valitettavan moni osa-alue jäi työstä pois juuri tämän asian takia.

Yhteenvedona tämän työn rintamamiestalokohteen energiatehokkuuden parantamiselle voidaan pitää sitä, että korjausrakentamisen investointikustannukset ovat aina omaa luokkaansa. Asukas itse päättää pelkkiin energiatehokkuuskorjauksiin ryhtymisestä. Sen tähden kohdekohtainen tarkastelu on aina paikallaan. Energiatehokkuuskorjaukseen uudehkoihin tai toimiviin rakenteisiin ei ole järkevää ryhtyä ja investoida ilman, että siitä saa välittömän hyödyn. Vasta, kun rakenteet kaipaavat korjausta, voidaan miettiä lisäksi energiatehokkuutta.

Toimenpiteistä voidaan ajatella, että pienet teot, joita toteutetaan vähitellen, ovat aina askel eteenpäin. Ovien vaihdot sekä varaavan takan muuraus voivat tässä kohteessa olla ensimmäiset asiat, joista lähdetään liikkeelle. Koneellinen ilmanvaihtolaite voi olla seuraava hankinta, mutta sitten pitääkin jo miettiä yläpohjan rakenteita ilmanvaihtokanaviston suunnittelussa. Ja jotta rakennuksen vaipasta saadaan mahdollisimman yhtenäinen, kannattaa miettiä myös ulkoseinien korjausta. Myöhemmässä vaiheessa tulevat korjattaviksi salaojitus ja vedeneristys, jolloin myös kellarin ulkoseinien ja alapohjan lisälämmöneristäminen voidaan ottaa tarkasteluun. Näihin kaikkiin toimenpiteisiin lisätään vielä ilmalämpöpumpun hankinta ja sen liittäminen ilmanvaihtojärjestelmään sekä aurinkokeräimet katolle tuottamaan energiaa, niin koossa on kokonaisuudessaan hyvinkin energiatehokas rakennus! Mutta kannattaako se vanhassa rintamamiestalokohteessa, on asukkaan oma päätös.

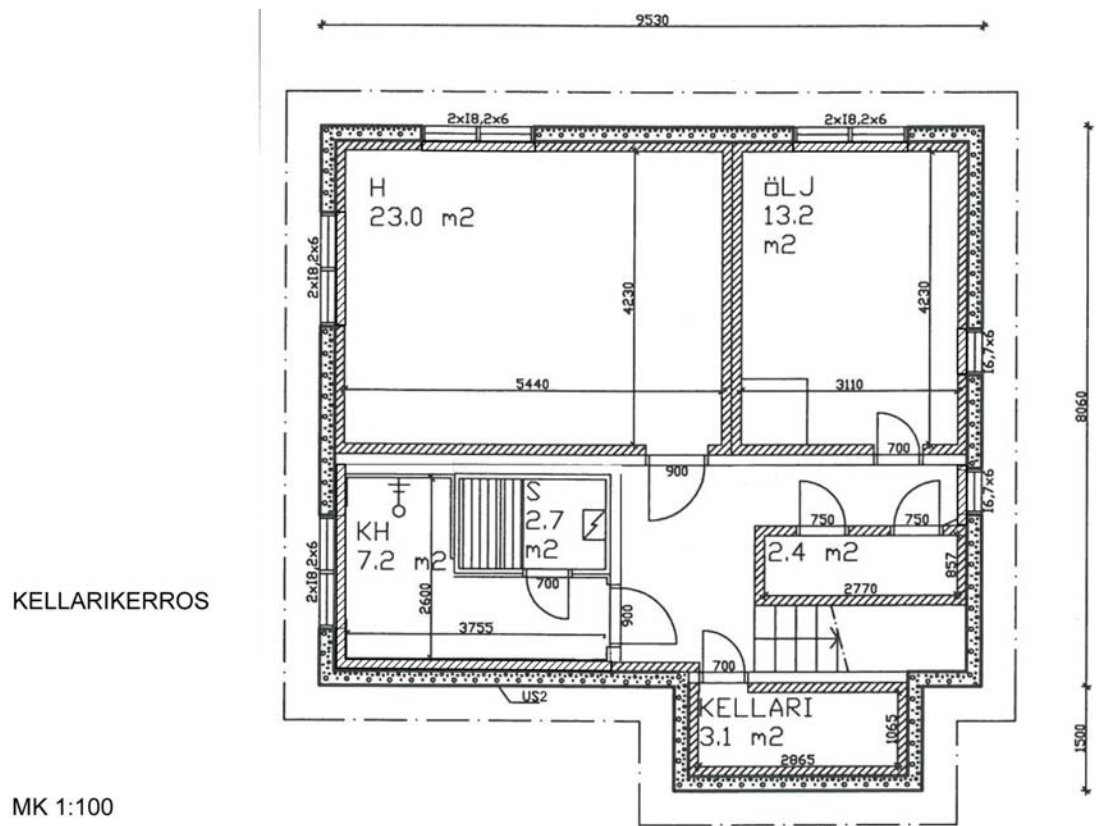
Lähteet

- 1 Rakennuksen pinta-alat SFS 5139. 2011. Rakennustietosäätiö RTS, RT 12-11055. Rakennustieto Oy.
- 2 Maankäytön ja rakentamisen lainsäädäntöhankkeet, korjausrakentamisen energiamääräykset. 2012. Verkkosivu. Ympäristöministeriö. <www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=187948>. Päivitetty 30.3.2012. Luettu 5.4.2012.
- 3 Lindh, Tommi. 2010. Korjausrakentamisen energiamääräykset 2012. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto, elinympäristöryhmä. <www3.jkl.fi/ksmuseo/teema_2010/tommi_lindh.ppt>. 19.10.2010. Luettu 5.4.2012.
- 4 RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. 2011. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry: Saarijärven Offset Oy.
- 5 Kaila, Panu. 2010. Talotohtori, rakentajan pikkujättiläinen. Porvoo: WSOY.
- 6 Tommila, Pekka. 2007. Talorakenteet, rakennusfysiikan osio. Luentomoniste. Stadia Helsingin ammattikorkeakoulu.
- 7 Tutkimusselostus nro VTT-S-10816-08, Lausunto rakenteiden energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksista rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen. 2008. Verkkodokumentti. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. <www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=96145&lan=FI>. 10.12.2008. Luettu 15.3.2012.
- 8 Energiaa säästävä pientalo, suunnitteluohje matalaenergiarakentamiseen. 2006. Verkkodokumentti. Wood Focus Oy. <www.puuinfo.fi/rakentaminen/suunnitteluohjeet/energiaa-saastava-pientalo>. 29.6.2010. Luettu 25.3.2012.
- 9 Lämmöneristys. 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C4. Helsinki: Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.
- 10 Tutkimusselostus nro TRT/1706/2008, Matalaenergiarakenteiden toimivuus. Verkkodokumentti. 2008. Tampereen Teknillinen Yliopisto, rakennustekniikan laitos. <www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=94366>. 31.10.2008. Luettu 15.3.2012.
- 11 Lappalainen, Markku. 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja. Rakennustieto Oy: Tammerprint.

- 12 RIL 249-2009. Matalaenergiarakentaminen, asuinrakennukset. 2009. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry: Saarijärven Offset Oy.
- 13 Nordberg, Kai. 2010. Vuoden 2010 energiatehokkuusmääräysten mukainen rakennustapakäsikirja. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 14 Lämpö, rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2011. Verkkodokumentti. Rafnet-oppimateriaali. <www.oamk.fi/~anttitor/kurssit/Rakennusfysiikka/lampo.pdf>. 31.1.2011. Luettu 3.4.2012.
- 15 Tuotteet ja rakenteet. Verkkosivu. Paroc. <www.paroc.fi/channels/fi/do-it-yourself/products+and+constructions/default.asp>. Luettu 3.4.2012.
- 16 Ulkoseinän ulkoverhouksen purku, uusiminen ja lisälämmöneristys. 2010. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, RaTu F31-0354. Rakennustieto Oy.
- 17 Puurunkotyö, seinät. 2004. Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS, RaTu 51-0256. Rakennustieto Oy.
- 18 Lämmöneristys. 2007. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, RaTu 61-0300. Rakennustieto Oy.
- 19 Puurunkotyö, julkisivuverhous. 2004. Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS, RaTu 51-0259. Rakennustieto Oy.
- 20 Rakennuseristeet, hinnasto-tuoteluettelo 10.8.2011. Verkkodokumentti. Paroc. <www.paroc.fi/channels/fi/building+insulation/price+lists/default.asp>. Luettu 4.4.2012.
- 21 Puutavara. Verkkosivu. Puukeskus. <www.puukeskus.fi/tuotteet/puutavara>. Luettu 4.4.2012.
- 22 Tiilikaton purku ja uusiminen tai kunnostaminen. 2010. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, RaTu F41-0362. Rakennustieto Oy.
- 23 Puisen vesikattorakenteen purku ja uusiminen tai kunnostaminen, yläpohjan lisälämmöneristäminen. 2010. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, RaTu F31-0354. Rakennustieto Oy.
- 24 Puurunkotyö, vesikattorakenteet. 2004. Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS, RaTu 51-0258. Rakennustieto Oy.
- 25 Pientalon hyvä ilmanvaihto. Verkkosivu. Suomen Talotekniikkaportaali Oy. <www.talotekniikka.eu/tate-lehti/fi_FI/ilmanvaihto/>. Luettu 2.4.2012.

- 26 Ilo, Ilkka. 2012. Ilmanvaihtoasiantuntija, Tmi Ilkka Ilo, Helsinki. Puhelinkeskustelut 5.4.2012 ja 26.4.2012.
- 27 Ilmavirtaukset rakennuksessa. 2008. Sisäilmayhdistys ry.
<www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteustekninen_tominta/ilmavirtaukset_rakennuksessa/>. Luettu 11.4.2012.
- 28 Tuotteet. Verkkosivu. Enervent.
<www.enervent.fi/model_selection_page.asp?menuid=20105&langid=1&countryid=100&modelid=18&fanid=38&controlid=5&heatingid=2&coolingid=1>. Luettu 5.4.2012.
- 29 Tuotteet. Verkkosivu. Ensto Enervent.
<www.enervent.fi/model_selection_page.asp?menuid=20105&langid=1&countryid=100&modelid=1&fanid=8&controlid=5&heatingid=2&coolingid=1>. Luettu 5.4.2012.
- 30 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5, luonnos 27.10.2011. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 31 Rakennusten energiatehokkuus. 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3, määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto.

Pohjapiirustus, kellarikerros



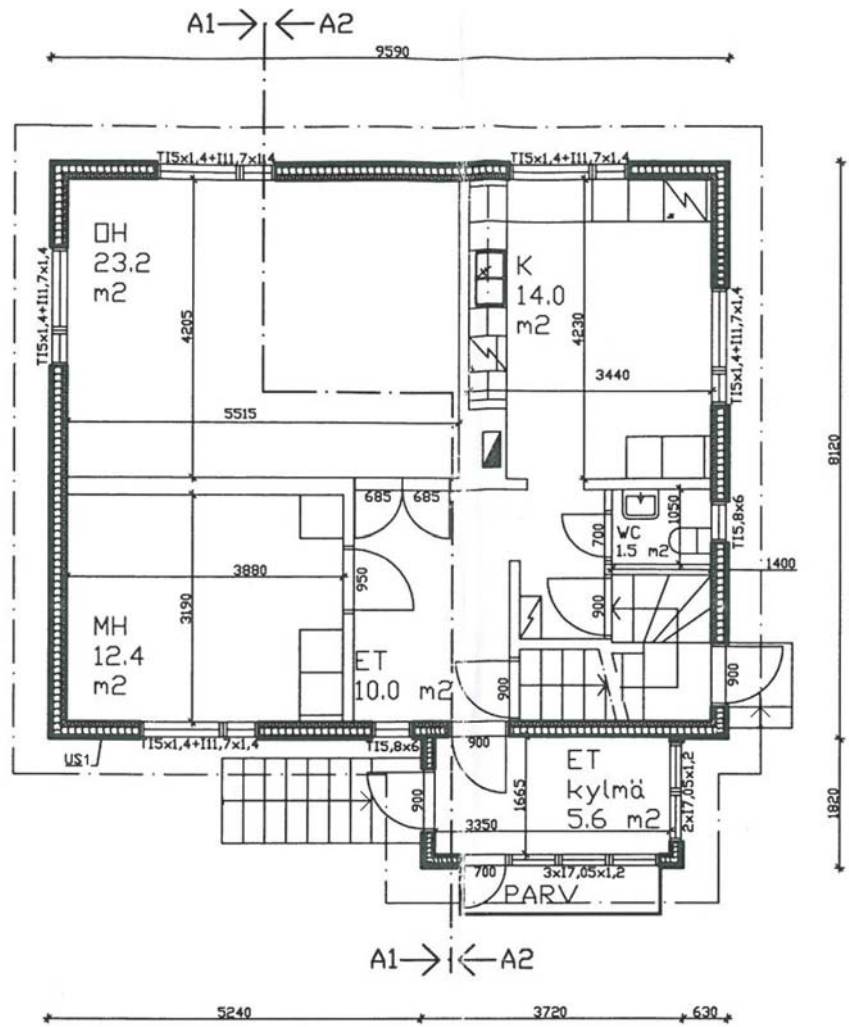
KELLARIKERROS

MK 1:100

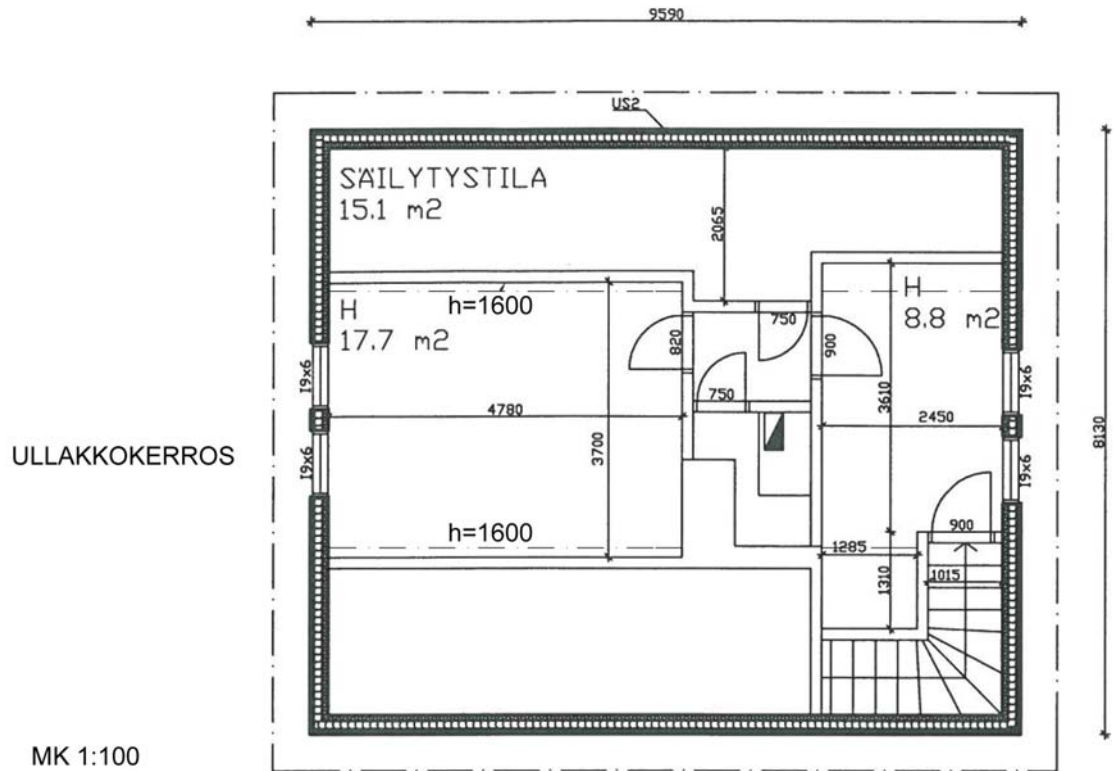
Pohjapiirustus, keskikerros

KESKIKERROS

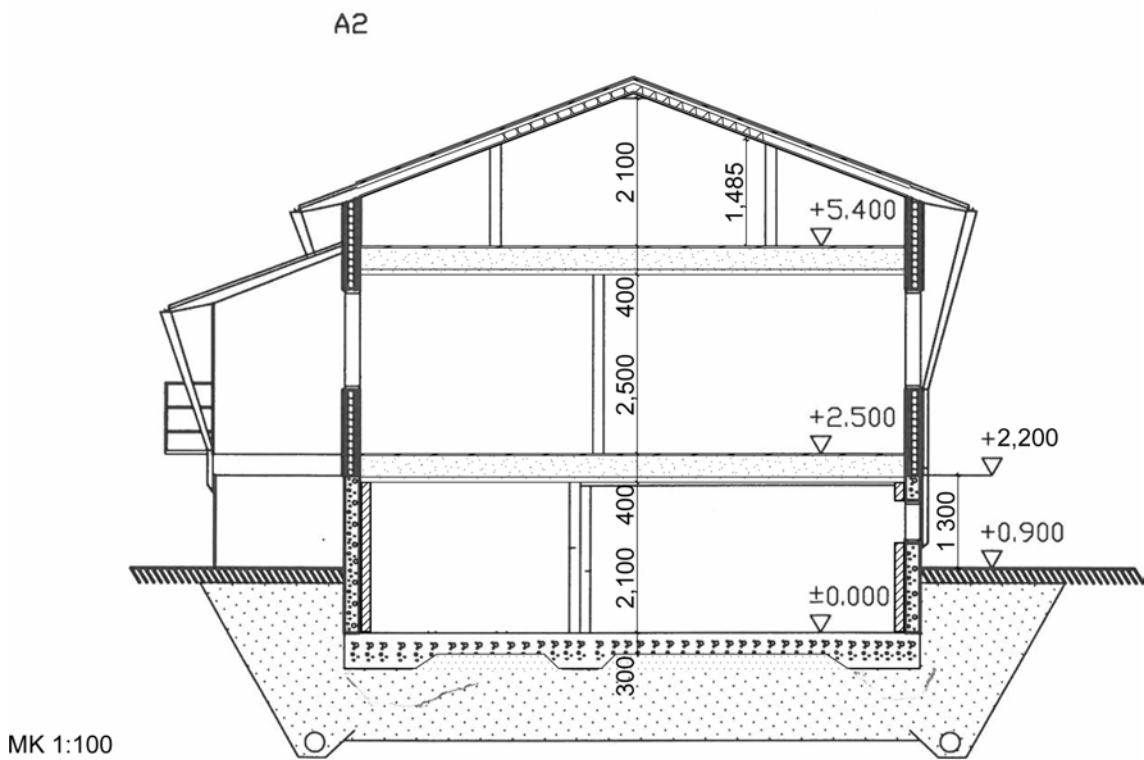
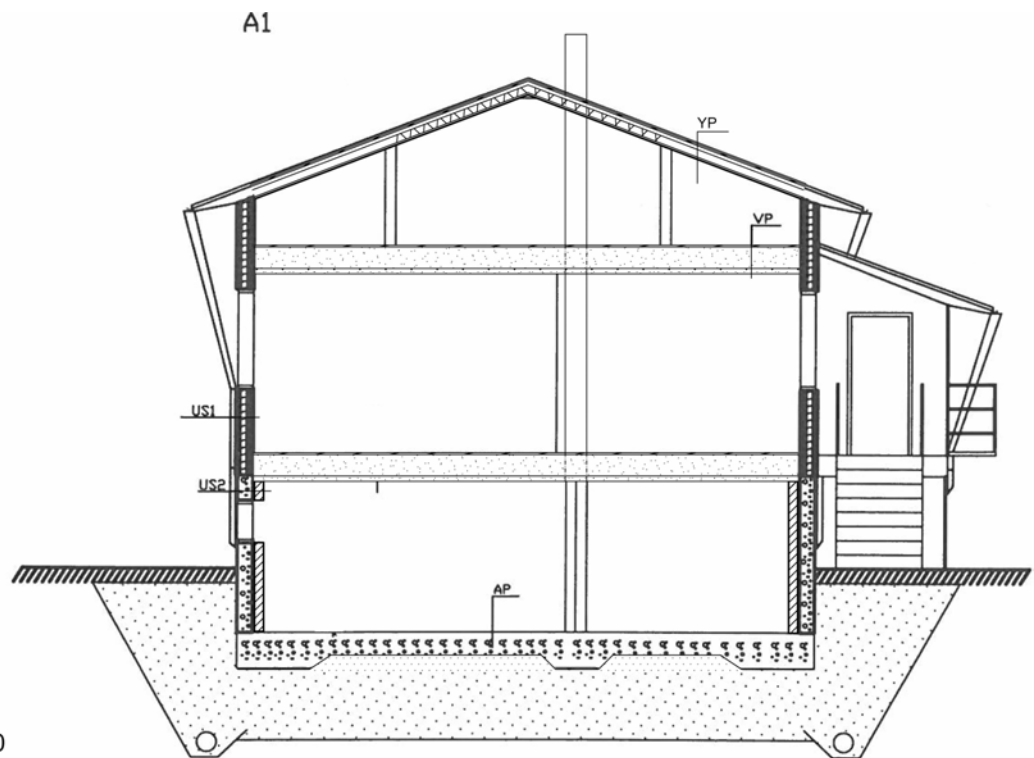
MK 1:100



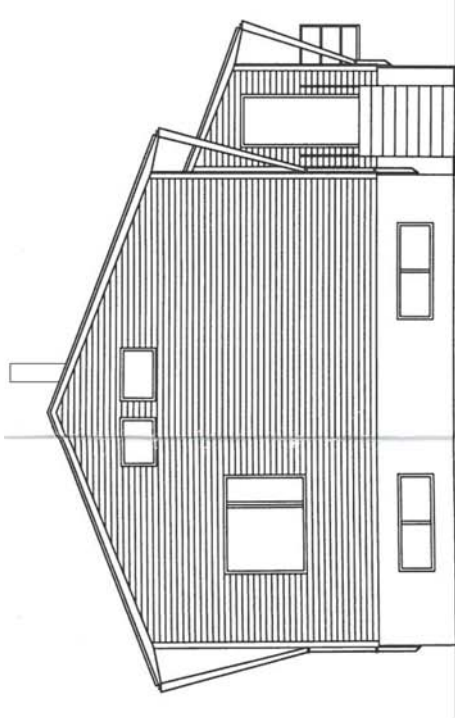
Pohjapiirustus, ullakkokerros



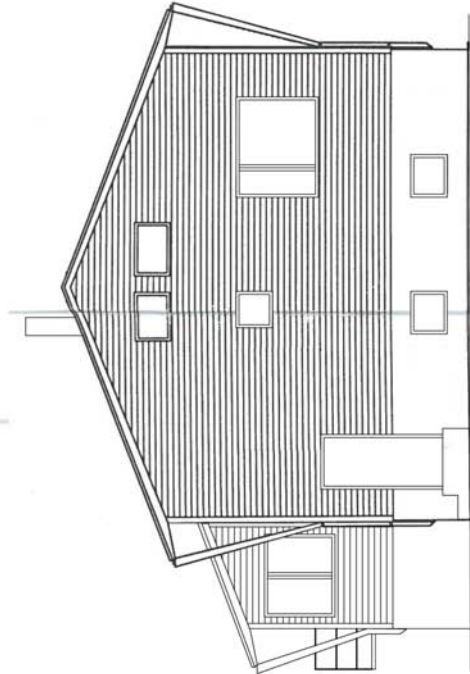
Leikkauspiirustukset



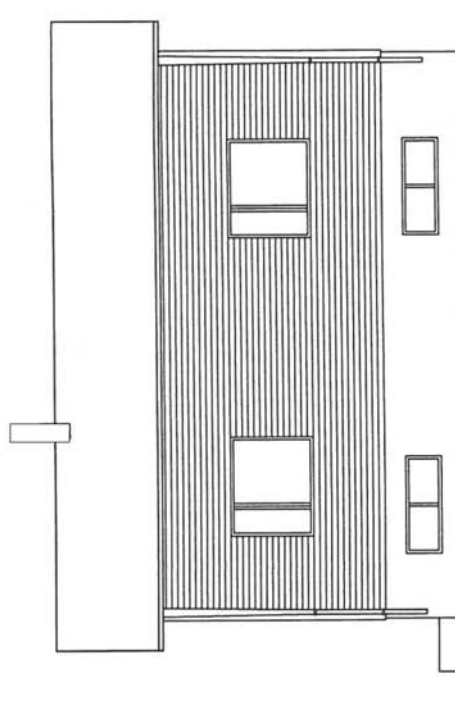
Julkisivupiirustukset



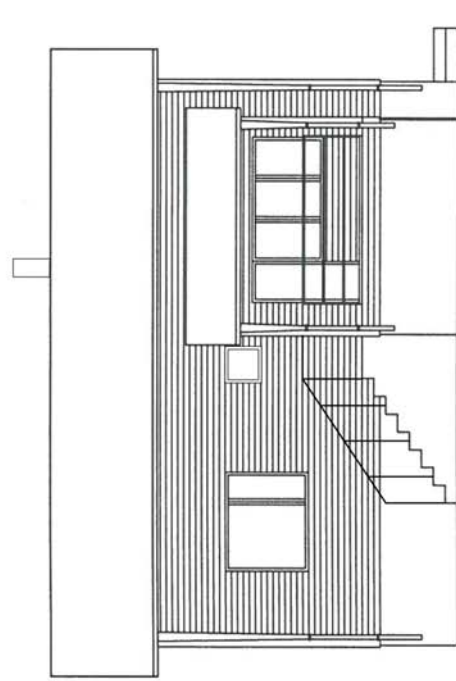
JS LOUNAASEEN



JS KOILLISEEN



JS LUOTEeseen, LINNUNPÄÄNTIELLE



JS KAAKKOON

Alapohjan ja kellarin ulkoseinän rakenteet sekä U-arvot

AP NYKYINEN		d	λ_n	R	
RAKENNE	AINE	(m)	(W/mK)	(m ² K/W)	
Rsi (lämpövirta alaspäin)				0.170	
Reunavahvistettu laatta (reunat 500 mm, keskellä 300 mm)	betoni	0.3	0.1	3.000	
Rse				0.040	
				Rt=	3.210 m ² K/W
				U=1/Rt=	0.312 W/m²K

US KELLARI NYK. maanpinnan yläpuolella		d	λ_n	R	
RAKENNE	AINE	(m)	(W/mK)	(m ² K/W)	
Rsi (lämpövirta vaakaan)				0.130	
Tiilimuuraus	tiili	0.13	0.6	0.217	
Betoni	betoni	0.2	0.14	1.429	
Rappaus	sementtilaasti	0.01	1.2	0.008	
Rse				0.040	
				Rt=	1.824 m ² K/W
				U=	0.548 W/m²K

US KELLARI NYK. maanpinnan alapuolella		d	λ_n	R	
RAKENNE	AINE	(m)	(W/mK)	(m ² K/W)	
Rsi (lämpövirta vaakaan)				0.130	
Tiilimuuraus	tiili	0.13	0.6	0.217	
Betoni	betoni	0.2	0.16	1.250	
Rappaus	sementtilaasti	0.01	1.2	0.008	
Rse				0.040	
				Rt=	1.645 m ² K/W
				U=	0.608 W/m²K

**Puisen ulkoseinän lämmöneristämisen sekä puujulkisivun uusimisen
työntekijä- ja materiaalikustannuslaskelma**

	Tuntipalkka: 17.00		Pvm: 108		1842		4109		5951							
	Summat =>		Työkustannus, KL1		Ainekust., KL2		Alihank., KL3		Yhteensä							
	Määrä	yks	tth/yks	h	e/tth	e/yks	Yht.	huk %	e/yks	Yht.	e/yks	Yht.	e/yks	Yht.	e/yks	Rivi yhteensä
NIMIKE JA SELITYS																
ULKOSEINÄT																
Lämmöneristämisen vanhaan koolaukseen																
	126.00	m ²	0.040	5	17.00	0.68	86								0.68	86
	126.00	m ²						5	9.05	1197					9.50	1197
	Kivivillalevyt: Paroc eXtra 565 x 1320 mm x 100 mm															
Uusi koolaus: Perinteinen puurunkotyö, sis. aukot																
	126.00	m ²	0.340	43	17.00	5.78	728								5.78	728
	126.00	m						15	1.89	274					2.17	274
	Puutavara k600: 052274 CMI SAHATAVARA 50x100, menekki 10 jlm/m2															
Lisälämmöneristys																
	126.00	m ²	0.110	14	17.00	1.87	236								1.87	236
	126.00	m ²						5	9.05	1197					9.50	1197
	Kivivillalevyt: Paroc eXtra 565 x 1320 mm x 100 mm															
Julkisivuverhous																
	126.00	m ²	0.370	47	17.00	6.29	793								6.29	793
	1323.00	m						10	0.99	1441					1.09	1441
	Puutavara: 066590 UTV 20x95, menekki 10.5 jlm/m2															

**Puisen yläpohjan lisälämmöneristämisen sekä tiilikatteen uusimisen
työntekijä- ja materiaalikustannuslaskelma**

NIMIKE JA SELITYS	Tuntipaikka: 17.00 Pvm: 94		Kustannustiedot, alv 0%													
	Summat =>		1591				4849				6440					
	Määrä	yks	tth/yks	h	e/th	e/yks	Yht.	Ainekust., KL2	Alihank., KL3	KL4	KL5	Yhteensä				
								huk %	e/yks	Yht.	e/yks	Yht.	e/yks	Yht.	e/yks	Yht.
YLÄPOHJA																
Koolaus: aloittavat työt ja siirrot	70.00	m²	0.070	5	17.00	1.19	83								1.19	83
Kattopalkit k900	24.00	kpl	0.350	13	17.00	9.35	224								9.35	224
Puutavara: palkit: 052107 AB/ST KUUSI 50x200	240.00	m						10	4.28	1130					4.71	1130
Lämmöneristeen täydennys ja lisälämmöneristys	70.00	m²	0.150	11	17.00	2.55	179								2.55	179
Kivivillalevyt: Paroc eXtra 870 x 920 mm x 100 mm	175.00	m²						5	7.05	1295					7.40	1295
2. koolaus: siirrot, räystäät ja katealusta	70.00	m²	0.590	41	17.00	10.03	702								10.03	702
Kattopalkit k900	24.00	kpl	0.550	13	17.00	9.35	224								9.35	224
Puutavara: palkit: 052107 AB/ST KUUSI 50x200	240.00	m						10	4.28	1130					4.71	1130
katealusta k300: 052271 C/VI SAHATAVARA 50x50, menekki 20 j/m/m2	210.00	m						10	0.94	217					1.03	217
räystäät: 052226 C/VI SAHATAVARA 25x100	41.00	m						10	0.89	40					0.98	40
2. lämmöneristys	70.00	m²	0.150	11	17.00	2.55	179								2.55	179
Kivivillalevyt: Paroc eXtra 870 x 920 mm x 100 mm	140.00	m²						5	7.05	1036					7.40	1036
Tiilikate: purku ja uusiminen	70.00	m²	0.470	33	17.00	7.99	559								7.99	559
Kattotiilit: A-Tiilikate kattotiili Aura, menekki 9.5 kpl/m2	665.00	kpl						5	0.72	503					0.76	503

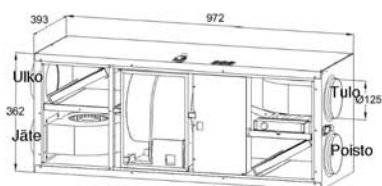
Enervent LTR-2 eco EDW –ilmanvaihtokoneen tekniset tiedot

enervent® Energy Optimizer

Kohde:
Käsittelijä:

Sivu 1
05.04.2012

LTR-2 eco EDW



Laitetiedot: LTR-2 eco EDW	
Kanavalähdöt	O 125 mm
Leveys	972 mm
Korkeus	362 mm
Syvyys	383 mm
Paino	41 kg
Puhaltimen teho	119 W
Pyörivä lämmönsiirrin	
HW - Vesilämmityspatteri (sisäinen)	
Ei jäädytystä	
Asennus kylmään tilaan mahdollinen (vaatii lisäeristyksen)	
Tuotenumero	P11 112 0006
LVI-numero	7935650
Sähkö tiedot: 230 V/50 Hz, 1-vaihe, sulake 10 A nopea	

Äänet:										
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB	dB(A)
Tulo	49	52	51	53	53	51	44	30	59,7	57,2
Poisto	50	45	40	44	38	30	22	17	52,1	43,3
Ulko	45	43	37	41	39	30	23	17	49,0	42,4
Jäte	54	53	52	53	54	52	45	31	60,9	57,8
Kierto	54	46	46	48	48	41	36	22	56,9	51,0

Mitoitusarvot:	Tulo	Poisto
Ilmavirta:	22 l/s	24 l/s
Kanavapaine:	75 Pa	75 Pa
Suodatustaso:	F7	F5
Lämmityspatteri:	35/25 °C	

Tulokset:	Tulo:	Poisto:
Mitoituspisteessä:		
Puhallinnopeus:	58 %	59 %
Ilmavirta:	22 l/s	24 l/s
Kanavapaine:	75 Pa	75 Pa
Ottoteho:	15 W	14 W
SFP:	1,21 kW/(m3/s)	
Huipputeho:		
Ilmavirta:	44 l/s	47 l/s
Kanavapaine:	302 Pa	292 Pa
Tehostusvara:	100 %	97 %

Otsapintanopeuksia:		
Kanavalähtö (Ø125 mm):	1,79 m/s	1,96 m/s
LTO (Ø240 mm):	1,04 m/s	1,13 m/s

Patterit:		
Lämmityspatteri: Vesi 35/25 °C 200 x 105 mm sisäinen		
Otsapintanopeus:	1,05 m/s	
Painehäviö:	7 Pa	

Pyörivä lämmönsiirrin:		
Painehäviö:	44 Pa	48 Pa
Hyötysuhde mitoituspisteessä:	82,5 %	
Tuloilma jälkeen LTO:n:	12,8 °C	
Jälkilämmitystarve mitoituslämpötilassa:	167 W	

Vuosislaskenta: Helsinki, Suomi	
Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia:	2881 kWh
Mitoituslämpötila:	-26 °C
Vuotuinen jälkilämmitystarve:	241 kWh
Tuloilman tavoitelämpötila:	19 °C
Lämpökerroin:	1 kWh sähköä = 7,6 kWh lämpöä
Vuosihyötysuhde: Moniste 122:n mukaisesti	75,3 %

Yllä mainitut arvot koskevat ilmanvaihtolaitetta, ei ilmanvaihtojärjestelmää.

enervent® Energy Optimizer

Kohde:
Käsittelijä:

Sivu 2
05.04.2012

Moniste 122 - ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden taseuslaskennassa

Lähtöarvoja	
Paikkakunta	Helsinki, Suomi
Poistoilman lämpötila	21,0 °C
Jäteilmarajoitus	-10,0 °C
Ilmavirtojen suhde (tulo/poisto)	0,917
Hyötysuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	79,0 %

Temp	Duration	Jäteilma	Tulo LTO	Ss	St
-30	0,011 %	-10,0	3,8	2,0	1,4
-29	0,034 %	-10,0	4,8	4,2	2,8
-28	0,057 %	-10,0	5,8	4,1	2,8
-27	0,137 %	-10,0	6,8	14,0	9,9
-26	0,217 %	-10,0	7,8	13,7	9,9
-25	0,297 %	-10,0	8,8	13,4	9,9
-24	0,365 %	-10,0	9,8	11,2	8,4
-23	0,514 %	-10,0	10,8	23,9	18,4
-22	0,799 %	-10,0	11,8	44,7	35,2
-21	1,164 %	-10,0	12,8	56,0	45,1
-20	1,461 %	-10,0	13,8	44,4	36,6
-19	1,678 %	-9,2	14,0	31,7	26,1
-18	2,203 %	-8,5	14,1	74,7	61,6
-17	2,568 %	-7,7	14,3	50,6	41,7
-16	3,219 %	-6,9	14,5	87,9	72,4
-15	3,79 %	-6,2	14,7	75,0	61,8
-14	4,6 %	-5,4	14,8	103,5	85,2
-13	5,913 %	-4,7	15,0	162,9	134,2
-12	6,963 %	-3,9	15,2	126,5	104,2
-11	7,831 %	-3,2	15,4	101,4	83,5
-10	8,893 %	-2,4	15,5	120,2	99,0
-9	10,22 %	-1,7	15,7	145,3	119,7
-8	11,63 %	-0,9	15,9	149,2	123,0
-7	12,91 %	-0,1	16,1	130,8	107,8
-6	14,74 %	0,6	16,2	180,3	148,6
-5	16,62 %	1,4	16,4	178,4	147,0
-4	18,82 %	2,1	16,6	200,7	165,4
-3	21,35 %	2,9	16,8	221,6	182,6
-2	23,44 %	3,6	16,9	175,5	144,5
-1	27,02 %	4,4	17,1	287,5	236,8
0	32,04 %	5,1	17,3	384,8	317,0
1	38,64 %	5,9	17,5	481,8	396,9
2	43,6 %	6,7	17,7	344,0	283,4
3	47,73 %	7,4	17,8	271,3	223,5
4	51,43 %	8,2	18,0	229,6	189,1
5	54,66 %	8,9	18,2	188,6	155,4
6	57,16 %	9,7	18,4	136,9	112,8
7	59,26 %	10,4	18,5	107,3	88,4
8	61,37 %	11,2	18,7	100,1	82,5
9	64,09 %	11,9	18,9	119,1	98,1
10	66,84 %	12,7	19,1	110,4	91,0
11	69,43 %	13,4	19,2	94,5	77,9
12	72,49 %	14,2	19,4	100,5	82,8
	100 %			5504,7	4524,4

Vuosihyötysuhde: 75,3 %

Moniste 122: [<http://www.environment.fi/download.asp?contentid=9298&lan=fi>]

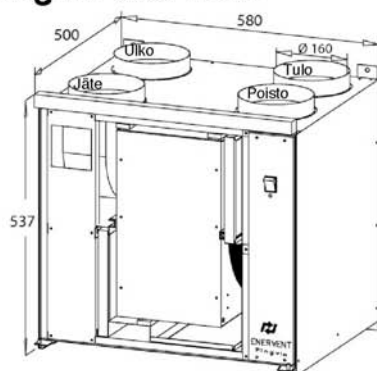
Enervent Pingvin eco EDW -ilmanvaihtokoneen tekniset tiedot

enervent® Energy Optimizer

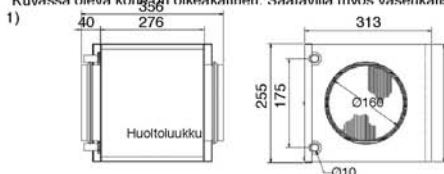
Kohde:
Käsittelijä:

Sivu 1
05.04.2012

Pingvin eco EDW



Kuvassa oleva kone on oikeakätinen. Saatavilla myös vasenkätisenä.



Huomi! Patteri asennetaan tuloilmakanavaan. Patterin saa asentaa myös pystyyn.

Laitetiedot: Pingvin eco EDW	
Kanavalähdöt	Ø 160 mm
Leveys	580 mm
Korkeus	537 mm
Syvyys	500 mm
Paino	50 kg
Puhaltimen teho	119 W
1) HW - Vesilämmityspatteri (kanava-asenteinen)	
Ei jäädytystä	
Asennus lämpimään tilaan	
Tuotenumero	P01 111 0006
LVI-numero	7935500
Sähkö tiedot: 230 V/50 Hz, 1-vaihe, sulake 10 A nopea	

Äänet:										
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB	dB(A)
Tila	52	49	41	38	34	26	19	0	54,4	40,2
Tila: 10 m ² absorptio LpA:										36,2
Tulo	51	53	50	51	52	48	43	30	59,2	55,8
Poisto	42	42	42	41	37	33	25	17	48,2	42,0
Ulko	43	38	37	40	36	30	22	17	46,6	40,3
Jäte	48	51	50	51	52	48	42	29	58,2	55,2

Mitoitusarvot:	Tulo	Poisto
Ilmavirta:	22 l/s	24 l/s
Kanavapaine:	75 Pa	75 Pa
Suodatustaso:	F7	F5
Lämmityspatteri:	35/25 °C	

Tulokset:	Tulo:	Poisto:
Mitoituspisteessä:		
Puhallinnopeus:	55 %	50 %
Ilmavirta:	22 l/s	24 l/s
Kanavapaine:	75 Pa	75 Pa
Ottoteho:	18 W	25 W
SFP:	1,79 kW/(m³/s)	

Huipputeho:		
Ilmavirta:	45 l/s	43 l/s
Kanavapaine:	306 Pa	245 Pa
Tehostusvara:	102 %	81 %

Otsapintanopeuksia:		
Kanavalähtö (Ø160 mm):	1,09 m/s	1,19 m/s
LTO (Ø370 mm):	0,42 m/s	0,46 m/s

Patterit:		
Lämmityspatteri: Vesi 35/25 °C 225 x 198 mm kanava-asenteinen		
Otsapintanopeus:	0,49 m/s	
Painehäviö:	1 Pa	

Pyörivä lämmönsiirrin:		
Painehäviö:	15 Pa	17 Pa
Hyötysuhde mitoitusasteessa:	84,9 %	
Tuloilma jälkeen LTO:n:	13,9 °C	
Jälkilämmitystarve mitoitukslämpötilassa:	137 W	

Vuosisalkenta: Helsinki, Suomi	
Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia:	2963 kWh
Mitoituslämpötila:	-26 °C
Vuotuinen jälkilämmitystarve:	173 kWh
Tuloilman tavoitelämpötila:	19 °C
Lämpökerroin:	1 kWh sähköä = 6,0 kWh lämpöä
Vuosihyötysuhde: Moniste 122:n mukaisesti	77,4 %

Yllä mainitut arvot koskevat ilmanvaihtolaitetta, ei ilmanvaihtojärjestelmää.

enervent® Energy Optimizer

Kohde:
Käsittelijä:

Sivu 2
05.04.2012

Moniste 122 - ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden taseaslaskennassa

Lähtöarvoja	
Paikkakunta	Helsinki, Suomi
Poistoilman lämpötila	21,0 °C
Jäteilmarajoitus	-10,0 °C
Ilmavirtojen suhde (tulo/poisto)	0,917
Hyötysuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	81,2 %

Temp	Duration	Jäteilma	Tulo LTO	Ss	St
-30	0,011 %	-10,0	3,8	2,0	1,4
-29	0,034 %	-10,0	4,8	4,2	2,8
-28	0,057 %	-10,0	5,8	4,1	2,8
-27	0,137 %	-10,0	6,8	14,0	9,9
-26	0,217 %	-10,0	7,8	13,7	9,9
-25	0,297 %	-10,0	8,8	13,4	9,9
-24	0,365 %	-10,0	9,8	11,2	8,4
-23	0,514 %	-10,0	10,8	23,9	18,4
-22	0,799 %	-10,0	11,8	44,7	35,2
-21	1,164 %	-10,0	12,8	56,0	45,1
-20	1,461 %	-10,0	13,8	44,4	36,7
-19	1,678 %	-10,0	14,8	31,7	26,8
-18	2,203 %	-9,3	15,1	74,7	63,4
-17	2,568 %	-8,5	15,2	50,6	42,9
-16	3,219 %	-7,8	15,4	87,9	74,5
-15	3,79 %	-7,0	15,5	75,0	63,6
-14	4,6 %	-6,2	15,7	103,5	87,7
-13	5,913 %	-5,4	15,8	162,9	138,1
-12	6,963 %	-4,6	16,0	126,5	107,2
-11	7,831 %	-3,9	16,1	101,4	85,9
-10	8,893 %	-3,1	16,3	120,2	101,9
-9	10,22 %	-2,3	16,4	145,3	123,2
-8	11,63 %	-1,5	16,6	149,2	126,5
-7	12,91 %	-0,8	16,7	130,8	110,9
-6	14,74 %	0,0	16,9	180,3	152,9
-5	16,62 %	0,8	17,0	178,4	151,2
-4	18,82 %	1,6	17,2	200,7	170,2
-3	21,35 %	2,3	17,3	221,6	187,9
-2	23,44 %	3,1	17,5	175,5	148,7
-1	27,02 %	3,9	17,7	287,5	243,7
0	32,04 %	4,7	17,8	384,8	326,2
1	38,64 %	5,5	18,0	481,8	408,4
2	43,6 %	6,2	18,1	344,0	291,6
3	47,73 %	7,0	18,3	271,3	230,0
4	51,43 %	7,8	18,4	229,6	194,6
5	54,66 %	8,6	18,6	188,6	159,9
6	57,16 %	9,3	18,7	136,9	116,0
7	59,26 %	10,1	18,9	107,3	91,0
8	61,37 %	10,9	19,0	100,1	84,9
9	64,09 %	11,7	19,2	119,1	101,0
10	66,84 %	12,5	19,3	110,4	93,6
11	69,43 %	13,2	19,5	94,5	80,1
12	72,49 %	14,0	19,6	100,5	85,2
	100 %			5504,7	4650,3

Vuosihyötysuhde: 77,4 %

Moniste 122: [<http://www.environment.fi/download.asp?contentid=9298&lan=fi>]

Rakennuksen energiankulutuksen laskut, tapaus 1

TAPAU 1		Laskettu vuoden keskiarvoilla				
JOHTUMISLÄMPÖHÄVIÖT RAKENNUSVAIPAN LÄPI	Q_{rakosa} (kWh/a)	U (W/m ² K)	A (m ²)	T _s (°C)	T _u / Δt _{maa} (°C)	
$Q_{rakosa} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000$						
$\Sigma Q_{ulkoseinä}$	9545.77					
kellari, puolilämmin, maanpinnan alap.	287.88	0.608	31.80	15.0	13.30	
kellari, puolilämmin, maanpinnan yläp.	1630.78	0.548	36.00	15.0	5.57	
kellari, kph+s, maanpinnan alap.	236.18	0.608	5.76	21.0	13.30	
kellari, kph+s, maanpinnan yläp.	687.85	0.548	9.28	21.0	5.57	
keskikerros	6094.38	0.416	108.33	21.0	5.57	
ullakkokerros	608.69	0.416	17.70	15.0	5.57	
$Q_{yläpohja}$	2904.05	0.507	69.30	15.0	5.57	
$\Sigma Q_{alapohja}$	484.90					
kellari, kylmä	277.29	0.312	59.77	15.0	13.30	
kellari, kph+s	207.61	0.312	9.88	21.0	13.30	
ΣQ_{ikkuna}	4021.50					
lämpimät tilat	2248.09	2.0	8.32	21.0	5.57	
puolilämpimät tilat	1773.40	2.0	10.73	15.0	5.57	
ΣQ_{ovi}	1328.88					
lämpimät tilat	681.24	2.8	1.80	21.0	5.57	
puolilämpimät tilat	647.64	2.8	2.80	15.0	5.57	
ΣQ_{muu}	1221.78					
kuisti, kylmä, us	368.48	0.673	6.63	15.0	5.57	
kuisti, kylmä, yp	853.30	1.666	6.20	15.0	5.57	
yht.	19506.87					
$Q_{kylmäsiilit} = \sum I_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000$	$Q_{kylmäsiilit}$ (kWh/a)	l (m)	ψ (W/mK)	T _s (°C)	T _u / Δt _{maa} (°C)	
$Q_{ulkoseinä-yläpohja}$	77.28	18.71	0.05	15.0	5.57	
$Q_{ulkoseinä-yläpohja, keski- ja ullakkokerros}$	452.81	67	0.05	21.0	5.57	
$\Sigma Q_{ulkoseinä-alapohja}$	43.790					
kellari, puolilämpimät tilat	21.36	28.69	0.05	15.0	13.30	
kellari, kph+s	22.43	6.65	0.05	21.0	13.30	
$\Sigma Q_{ulkoseinä-ulkoseinä, ulkonurkka}$	105.052					
kellari, puolilämmin, maanpinnan alap.	1.61	2.7	0.04	15.0	13.30	
kellari, puolilämmin, maanpinnan yläp.	12.89	3.9	0.04	15.0	5.57	
kellari, kph+s, maanpinnan alap.	2.43	0.9	0.04	21.0	13.30	
kellari, kph+s, maanpinnan yläp.	7.03	1.3	0.04	21.0	5.57	
keskikerros	62.72	11.6	0.04	21.0	5.57	
ullakkokerros	18.38	3.4	0.04	21.0	5.57	
$\Sigma Q_{ulkoseinä-ulkoseinä, sisänurkka}$	-108.296					
kellari, puolilämmin, maanpinnan alap.	-1.61	2.7	-0.04	15.0	13.30	
kellari, puolilämmin, maanpinnan yläp.	-12.89	3.9	-0.04	15.0	5.57	
kellari, kph+s, maanpinnan alap.	-2.43	0.9	-0.04	21.0	13.30	
kellari, kph+s, maanpinnan yläp.	-7.03	1.3	-0.04	21.0	5.57	
keskikerros	-62.72	11.6	-0.04	21.0	5.57	
ullakkokerros	-21.63	4	-0.04	21.0	5.57	
$\Sigma Q_{ikkuna-oviliitos, eristeen kohdalla}$	196.901					
ikkunat, puolilämpimät tilat	116.64	35.3	0.04	15.0	5.57	
ikkunat, lämpimät tilat	45.42	8.4	0.04	21.0	5.57	
ovet, puolilämpimät tilat	19.16	5.8	0.04	15.0	5.57	
ovet, lämpimät tilat	15.68	2.9	0.04	21.0	5.57	
$\Sigma Q_{ikkuna-oviliitos, muualla}$	163.642					
kellari ja kuisti, puolilämpimät tilat	122.01	21.1	0.07	15.0	5.57	
kellari, lämpimät tilat	41.63	4.4	0.07	21.0	5.57	
yht.	931.176					
$Q_{joht} = \Sigma Q_{rakosa} + \Sigma Q_{kylmäsiilit}$	20438	kWh/a				

TAPAUS 1

Laskettu vuoden keskiarvoilla

Rakennusvaipan pinta-ala alapohja mukaan luettuna Avaippa 347.82 m²VUOTOILMAN LÄMPENEMISEN LÄMPÖENERGIAN TARVE $Q_{\text{vuotoilma}}$

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{q_{s0}}{3600 \cdot X} A_{\text{vaippa}} \quad 0.019 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v,\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad 3134.28 \text{ kWh/a}$$

ILMANVAIHDON LÄMMITYSENERGIAN NETTOTARVE Q_{iv}

$$\phi_{lto} = \eta_{a,\text{ivkone}} t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,\text{poisto}} (T_s - T_u) \quad 334.62 \text{ W/kk}$$

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,\text{tulo}}} \quad 18.25 \text{ }^\circ\text{C/kk}$$

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,\text{tulo}} ((T_{sp} - \Delta T_{\text{puhallin}}) - T_{lto}) \Delta t / 1000 \quad 174.59 \text{ kWh/a}$$

ILMANVAIHDOSTA TALTEEN OTETTU ENERGIA Q_{lto}

$$Q_{lto} = \sum t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,\text{tulo}} (T_{lto} - T_u) \Delta t / 1000 \quad 2931.28 \text{ kWh/a}$$

KORVAUSILMAN LÄMPENEMISEN LÄMPÖENERGIAN TARVE $Q_{iv, \text{korvausilma}}$

$$q_{v,\text{korvausilma}} = \sum t_d t_v q_{v,\text{poisto}} - \sum t_d t_v q_{v,\text{tulo}} \quad 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{iv,\text{korvausilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v,\text{korvausilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad 324.40 \text{ kWh/a}$$

TUULOILMAN LÄMPENEMISEN LÄMPÖENERGIAN TARVE $Q_{iv, \text{tuloilma}}$

$$Q_{iv,\text{tuloilma}} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,\text{tulo}} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000 \quad 462.53 \text{ kWh/a}$$

TILOJEN LÄMMITYSENERGIAN TARVE Q_{tila}

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{iv,\text{tuloilma}} + Q_{iv,\text{korvausilma}} \quad 24359 \text{ kWh/a}$$

LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYSENERGIAN NETTOTARVE $Q_{\text{lkv,netto}}$

$$V_{\text{lkv}} = n V_{\text{lkv, omin, henk}} \Delta t / 1000 \quad 36.50 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{lkv,netto}} = \rho_v c_{pv} V_{\text{lkv}} (T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}}) / 3600 - Q_{\text{lkv,LTO}} \quad 2129.17 \text{ kWh/a}$$

Lämmitetty nettoala Anetto 94.58 m²

SÄHKÖENERGIAN KULUTUS

$$W_{\text{kuluttajalaitteet}} \quad 1743 \text{ kWh/a}$$

$$W_{\text{valaistus}} \quad 662.82 \text{ kWh/a}$$

$$\text{yht.} \quad 2405.82 \text{ kWh/a}$$

TAPAUS 1

Laskettu vuoden keskiarvoilla

Lämpökuormat**LÄMPÖKUORMAT HENKILÖISTÄ Q_{henk}**

$$Q_{henk} = k n \varphi_{henk} \Delta t_{oleskelu} / 1000 \quad 735.84 \text{ kWh/a}$$

LÄMPÖKUORMA VALAISTUKSESTA JA SÄHKÖLAITTEISTA $Q_{säh}$

$$Q_{säh} = W_{valaistus} + W_{kuluttaiahitteet} \quad 2405.82 \text{ kWh/a}$$

IKKUNOIDEN KAUTTA TULEVA AURINGON SÄTEILYENERGIA Q_{aur}

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily, pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad g=0.63 \quad 1654.86 \text{ kWh/kk}$$

$$\text{lounas} \quad 614.63 \text{ kWh/kk}$$

$$\text{luode} \quad 408.21 \text{ kWh/kk}$$

$$\text{koillinen} \quad 471.72 \text{ kWh/kk}$$

$$\text{kaakko} \quad 160.29 \text{ kWh/kk}$$

RAKENNUKSEN LÄMPÖKUORMA $Q_{lämpökuorma}$

$$Q_{lkv, kierto} = (\phi_{lkv, kierto, omin} L_{lkv} + \phi_{lkv, lämmitys, omin} \eta_{lämmitys, laite}) \frac{t_{lkv, pumppu}^{365}}{1000} \quad 3177.06 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{lämpökuorma} = Q_{henk} + Q_{säh} + Q_{aur} + Q_{lkv, kierto} + Q_{lkv, varastoint} \quad 26617 \text{ kWh/a}$$

LÄMMITYKSESSÄ HYÖDYNNETTÄVÄ LÄMPÖKUORMA $Q_{sis.lämpö}$

$$\gamma = \frac{Q_{lämpökuorma}}{Q_{tila}} \quad 1.09$$

$$H = \frac{Q_{tila}}{(T_s - T_u) \Delta t} 1000 \quad 180.22 \text{ W/K}$$

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H} \quad C_{rak} = C_{rak, omin} \cdot A_{netto} \quad 36.74 \text{ h}$$

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} \quad 3.45 \text{ h}$$

$$\eta_{lämpö} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad 0.74$$

$$Q_{sis.lämpö} = \eta_{lämpö} Q_{lämpökuorma} \quad 19689 \text{ kWh/a}$$

TILOJEN LÄMMITYSENERGIAN NETTOTARVE $Q_{lämmitys, tilat, netto}$

$$Q_{lämmitys, tilat, netto} = Q_{tila} - Q_{sis.lämpö} \quad 4670.18 \text{ kWh/a}$$

LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN LÄMPÖENERGIAN KULUTUS $Q_{lämmitys}$

$$Q_{lämmitys, tila, varaava takka} \quad 2000 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{lämmitys, tilat} = \frac{Q_{lämmitys, tilat, netto}}{\eta_{lämmitys, tilat}} + Q_{jakelu, ulos} - Q_{omava rais, lämmitys, tilat} \quad 5765.66 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{lämmitys, lkv} = \frac{Q_{lkv, netto}}{\eta_{lkv, siirto}} + Q_{lkv, varastoint} + Q_{lkv, kierto} - Q_{aurinkalqv} - Q_{muu, lkv} \quad 6455.94 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{lämmitys} = \frac{Q_{lämmitys, tilat} + Q_{lämmitys, jv} + Q_{lämmitys, lkv}}{\eta_{tuotto}} \quad 18654 \text{ kWh/a}$$

$$\text{Vertailuarvo nykyinen lämmitysmuoto: öljylämmitys, } Q_{lämmitys} = 24300 \text{ kWh/a}$$

Öljyn kulutus kohteessa: 3000 l/a

Vuosihiötysuhteet:

iv=0.753 takka=0.60 öljy=0.81

TAPAUS 1

Laskettu vuoden keskiarvoilla

LÄMMÖN JAKELUJÄRJESTELMÄN APULAITTEIDEN SÄHKÖENERGIAN KULUTUS W_{tilat}

$W_{tilat} = e_{tilat} A_{netto}$	iv	47.29 kWh/a
	vesikiertoinen lattialämmitys	24.70 kWh/a
	yht.	71.99 kWh/a

LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SÄHKÖENERGIAN KULUTUS $W_{lämmitys}$

$W_{lkv, pumppu} = P_{lkv, pumppu} t_{lkv, pumppu} \frac{365}{1000}$	367.92 kWh/a
$W_{tuotto, apu} = e_{tuotto} A_{netto}$	93.63 kWh/a
$W_{lämmitys} = W_{tilat} + W_{tuotto, apu} + W_{lkv, pumppu}$	534 kWh/a

IV-JÄRJESTELMÄN SÄHKÖENERGIAN KULUTUS $W_{ilmanvaihto}$

$W_{ilmanvaihto} = \sum SFP q_v \Delta t + W_{iv, muut}$	487.58 kWh/a
--	--------------

RAKENNUKSEN OSTOENERGIAN KULUTUS E_{osto}

$E_{osto} = Q_{lämmitys} + W_{lämmitys} + W_{ilmanvaihto} + W_{kuluttajahitteet} + W_{valaistus}$	233 kWh/m2a
---	--------------------

Rakennuksen energiankulutuksen laskut, tapaus 2

TAPAU 2

Laskettu vuoden keskiarvoilla

JOHTUMISLÄMPÖHÄVIÖT RAKENNUSVAIPAN LÄPI	Q_{rakosa} (kWh/a)	U (W/m ² K)	A (m ²)	T _s (°C)	T _u / Δt _{maa} (°C)
$Q_{rakosa} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000$					
$\Sigma Q_{ulkoseinä}$	5621.21				
kellari, puolilämmin, maanpinnan alap.	287.88	0.608	31.80	15.0	13.30
kellari, puolilämmin, maanpinnan yläp.	1630.78	0.548	36.00	15.0	5.57
kellari, kph+s, maanpinnan alap.	236.18	0.608	5.76	21.0	13.30
kellari, kph+s, maanpinnan yläp.	687.85	0.548	9.28	21.0	5.57
keskikerros	2526.20	0.17	108.33	21.0	5.57
ullakkokerros	252.31	0.17	17.70	15.0	5.57
$Q_{yläpohja}$	536.47	0.09	69.30	15.0	5.57
$\Sigma Q_{alapohja}$	484.90				
kellari, kylmä	277.29	0.312	59.77	15.0	13.30
kellari, kph+s	207.61	0.312	9.88	21.0	13.30
ΣQ_{ikkuna}	4021.50				
lämpimät tilat	2248.09	2.0	8.32	21.0	5.57
puolilämpimät tilat	1773.40	2.0	10.73	15.0	5.57
ΣQ_{ovi}	474.60				
lämpimät tilat	243.30	1.0	1.80	21.0	5.57
puolilämpimät tilat	231.30	1.0	2.80	15.0	5.57
ΣQ_{muu}	1221.78				
kuisti, kylmä, us	368.48	0.673	6.63	15.0	5.57
kuisti, kylmä, yp	853.30	1.666	6.20	15.0	5.57
yht.	12360.46				
$Q_{kylmäsiilit} = \sum I_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000$	$Q_{kylmäsiilit}$ (kWh/a)	l (m)	ψ (W/mK)	T _s (°C)	T _u / Δt _{maa} (°C)
$Q_{ulkoseinä-yläpohja}$	77.28	18.71	0.05	15.0	5.57
$Q_{ulkoseinä-yläpohja, keski- ja ullakkokerros}$	452.81	67	0.05	21.0	5.57
$\Sigma Q_{ulkoseinä-alapohja}$	43.790				
kellari, puolilämpimät tilat	21.36	28.69	0.05	15.0	13.30
kellari, kph+s	22.43	6.65	0.05	21.0	13.30
$\Sigma Q_{ulkoseinä-ulkoseinä, ulkonurkka}$	105.052				
kellari, puolilämmin, maanpinnan alap.	1.61	2.7	0.04	15.0	13.30
kellari, puolilämmin, maanpinnan yläp.	12.89	3.9	0.04	15.0	5.57
kellari, kph+s, maanpinnan alap.	2.43	0.9	0.04	21.0	13.30
kellari, kph+s, maanpinnan yläp.	7.03	1.3	0.04	21.0	5.57
keskikerros	62.72	11.6	0.04	21.0	5.57
ullakkokerros	18.38	3.4	0.04	21.0	5.57
$\Sigma Q_{ulkoseinä-ulkoseinä, sisänurkka}$	-108.296				
kellari, puolilämmin, maanpinnan alap.	-1.61	2.7	-0.04	15.0	13.30
kellari, puolilämmin, maanpinnan yläp.	-12.89	3.9	-0.04	15.0	5.57
kellari, kph+s, maanpinnan alap.	-2.43	0.9	-0.04	21.0	13.30
kellari, kph+s, maanpinnan yläp.	-7.03	1.3	-0.04	21.0	5.57
keskikerros	-62.72	11.6	-0.04	21.0	5.57
ullakkokerros	-21.63	4	-0.04	21.0	5.57
$\Sigma Q_{ikkuna-oviliitos, eristeen kohdalla}$	196.901				
ikkunat, puolilämpimät tilat	116.64	35.3	0.04	15.0	5.57
ikkunat, lämpimät tilat	45.42	8.4	0.04	21.0	5.57
ovet, puolilämpimät tilat	19.16	5.8	0.04	15.0	5.57
ovet, lämpimät tilat	15.68	2.9	0.04	21.0	5.57
$\Sigma Q_{ikkuna-oviliitos, muualla}$	163.642				
kellari ja kuisti, puolilämpimät tilat	122.01	21.1	0.07	15.0	5.57
kellari, lämpimät tilat	41.63	4.4	0.07	21.0	5.57
yht.	931.176				

$$Q_{joht} = \Sigma Q_{rakosa} + \Sigma Q_{kylmäsiilit}$$

13292 kWh/a

TAPAUS 2

Laskettu vuoden keskiarvoilla

Rakennusvaipan pinta-ala alapohja mukaan luettuna Avaippa 347.82 m²VUOTOILMAN LÄMPENEMISEN LÄMPÖENERGIAN TARVE $Q_{vuotoilma}$

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot X} A_{vaippa} \quad 0.019 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad 3134.28 \text{ kWh/a}$$

ILMANVAIHDON LÄMMITYSENERGIAN NETTOTARVE Q_{iv}

$$\phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (T_s - T_u) \quad 334.62 \text{ W/kk}$$

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}} \quad 18.25 \text{ °C/kk}$$

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} ((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t / 1000 \quad 174.59 \text{ kWh/a}$$

ILMANVAIHDOSTA TALTEEN OTETTU ENERGIA Q_{lto}

$$Q_{lto} = \sum t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_{lto} - T_u) \Delta t / 1000 \quad 2931.28 \text{ kWh/a}$$

KORVAUSILMAN LÄMPENEMISEN LÄMPÖENERGIAN TARVE $Q_{iv, korvausilma}$

$$q_{v,korvausilma} = \sum t_d t_v q_{v,poisto} - \sum t_d t_v q_{v,tulo} \quad 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{iv,korvausilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,korvausilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad 324.40 \text{ kWh/a}$$

TULOILMAN LÄMPENEMISEN LÄMPÖENERGIAN TARVE $Q_{iv, tuloilma}$

$$Q_{iv,tuloilma} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000 \quad 462.53 \text{ kWh/a}$$

TILOJEN LÄMMITYSENERGIAN TARVE Q_{tila}

$$Q_{tila} = Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv,tuloilma} + Q_{iv,korvausilma} \quad 17213 \text{ kWh/a}$$

LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYSENERGIAN NETTOTARVE $Q_{lkv,netto}$

$$V_{lkv} = n V_{lkv,amin,henk} \Delta t / 1000 \quad 36.50 \text{ m}^3$$

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 - Q_{lkv,LTO} \quad 2129.17 \text{ kWh/a}$$

Lämmitetty nettoala A_{netto} **94.58 m²**

SÄHKÖENERGIAN KULUTUS

 $W_{kuluttajalaitteet}$ 1743 kWh/a $W_{valaistus}$ 662.82 kWh/a

yht. 2405.82 kWh/a

TAPAU 2

Laskettu vuoden keskiarvoilla

LÄMPÖKUORMATLÄMPÖKUORMAT HENKILÖISTÄ Q_{henk}

$$Q_{henk} = k n \varphi_{henk} \Delta t_{oleskelu} / 1000 \quad 735.84 \text{ kWh/a}$$

LÄMPÖKUORMA VALAISTUKSESTA JA SÄHKÖLAITTEISTA $Q_{säh}$

$$Q_{säh} = W_{valaistus} + W_{kuluttaihitteet} \quad 2405.82 \text{ kWh/a}$$

IKKUNOIDEN KAUTTA TULEVA AURINGON SÄTEILYENERGIA Q_{aur}

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily,pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad g=0.63 \quad 1654.86 \text{ kWh/kk}$$

lounas 614.63 kWh/kk

luode 408.21 kWh/kk

koillinen 471.72 kWh/kk

kaakko 160.29 kWh/kk

RAKENNUKSEN LÄMPÖKUORMA $Q_{lämpökuorma}$

$$Q_{lkv,kierto} = \left(\phi_{lkv,kierto,omin} L_{lkv} + \phi_{lkv,lämmitys,omin} n_{lämmityslaite} \right) \frac{t_{lkv,pumppu}^{365}}{1000} \quad 3177.06 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{lämpökuorma} = Q_{henk} + Q_{säh} + Q_{aur} + Q_{lkv,kierto} + Q_{lkv,varastointi} \quad 26617 \text{ kWh/a}$$

LÄMMITYKSESSÄ HYÖDYNNETTÄVÄ LÄMPÖKUORMA $Q_{sis.lämpö}$

$$\gamma = \frac{Q_{lämpökuorma}}{Q_{tila}} \quad 1.55$$

$$H = \frac{Q_{tila}}{(T_s - T_u) \Delta t} 1000 \quad 127.35 \text{ W/K}$$

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H} \quad Crak = Crak,omin \cdot A_{netto} \quad 51.99 \text{ h}$$

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} \quad 4.47 \text{ h}$$

$$\eta_{lämpö} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad 0.61$$

$$Q_{sis.lämpö} = \eta_{lämpö} Q_{lämpökuorma} \quad 16256 \text{ kWh/a}$$

TILOJEN LÄMMITYSENERGIAN NETTOTARVE $Q_{lämmitys, tilat, netto}$

$$Q_{lämmitys,tilat,netto} = Q_{tila} - Q_{sis.lämpö} \quad 956.41 \text{ kWh/a}$$

LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN LÄMPÖENERGIAN KULUTUS $Q_{lämmitys}$

$$Q_{lämmitys, tila, varaava takka} \quad 2000 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{lämmitys,tilat} = \frac{Q_{lämmitys,tilat,netto}}{\eta_{lämmitys,tilat}} + Q_{jakelu,uulos} - Q_{omava rais,lämmitys,tilat} \quad 1180.75 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{lämmitys, lkv} = \frac{Q_{lkv,netto} + Q_{lkv,varastointi} + Q_{lkv,kierto} - Q_{aurinkalqv} - Q_{muu,lkv}}{\eta_{lkv,siirto}} \quad 6455.94 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{lämmitys} = \frac{Q_{lämmitys,tilat} + Q_{lämmitys,iv} + Q_{lämmitys,lkv}}{\eta_{tuotto}} \quad 12993 \text{ kWh/a}$$

Vertailuarvo nykyinen lämmitysmuoto: öljylämmitys, $Q_{lämmitys} = 24300 \text{ kWh/a}$

Öljyn kulutus kohteessa: 3000 l/a

Vuosihiyötysuhteet:

iv=0.753 takka=0.60 öljy=0.81

TAPAUS 2

Laskettu vuoden keskiarvoilla

LÄMMÖN JAKELUJÄRJESTELMÄN APULAITTEIDEN SÄHKÖENERGIAN KULUTUS W_{tilat}

$W_{tilat} = e_{tilat} A_{netto}$	iv	47.29 kWh/a
	vesikiertoinen lattialämmitys	24.70 kWh/a
	yht.	71.99 kWh/a

LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SÄHKÖENERGIAN KULUTUS $W_{lämmitys}$

$W_{lkv,pumppu} = P_{lkv,pumppu} t_{lkv,pumppu} \frac{365}{1000}$	367.92 kWh/a
$W_{tuotto,apu} = e_{tuotto} A_{netto}$	93.63 kWh/a
$W_{lämmitys} = W_{tilat} + W_{tuotto,apu} + W_{lkv,pumppu}$	534 kWh/a

IV-JÄRJESTELMÄN SÄHKÖENERGIAN KULUTUS $W_{ilmanvaihto}$

$W_{ilmanvaihto} = \sum SFP q_v \Delta t + W_{iv,muut}$	487.58 kWh/a
---	--------------

RAKENNUKSEN OSTOENERGIAN KULUTUS E_{osto}

$E_{osto} = Q_{lämmitys} + W_{lämmitys} + W_{ilmanvaihto} + W_{kuluttajabitteet} + W_{valaistus}$	174 kWh/m2a
---	--------------------