

Marko Tirkkonen

Lämmitysjärjestelmän saneeraus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

25.10.2017

Tekijä Otsikko	Marko Tirkkonen Lämmitysjärjestelmän saneeraus
Sivumäärä Aika	48 sivua + 1 liitettä 25.10.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja	yliopettaja Aki Valkeapää
<p>Tämän työn tarkoituksena oli selvittää kohdekiinteistön energiankulutus rakentamismääräyskokoelman osan D5/2012 -ohjeita noudattaen sekä määrittää nykytilanteen E-luku ja luokka. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, onko taloudellisesti järkevää yhdistää kiinteistön rakennusten lämpimän käyttöveden tuotanto ja selvittää käytettävissä olevien eri lämmön- tuotantojärjestelmien vaikutukset ostoenergiatarpeeseen ja E-lukuun.</p> <p>Teoriaosaa varten tutustuttiin eri lämmitysjärjestelmiin. Lämmitysjärjestelmien ominaisuuksien lisäksi tutustuttiin niiden yleisyyteen Suomen rakennuskannassa. Tutkimus tehtiin kohdekiinteistöön tutustumalla ja käyttäjiä haastatteleamalla sekä lähtötietojen kartoituksella. Laskelmat suoritettiin rakentamismääräyskokoelman osan D5/2012 -ohjeita noudattaen. Laskennassa käytettiin taulukkolaskentaohjelmaa apuna.</p> <p>Työn osatuloksina selvitettiin rakennusten johtumisenergian kulutus. Tätä laskettaessa saatiin selville, mistä kohtaa rakennuksen vaippaa energia johtuu ulos. Tältä pohjalta pohdittiin eri rakennusteknisiä korjausvaihtoehtoja ja niiden vaikutuksia energian kulutukseen. Lisäksi selvitettiin ilmanvaihdon, vuotoilman ja korvausilmanenergian kulutus eli tilojen lämmitystarve. Käyttöveden lämmitysenergian tarpeen selvitys oli työn yksi tärkeimmistä kohdista. Työssä onnistuttiin selvittämään laskennallisesti kohdekiinteistön rakennusten ostoenergian kulutus ja E-lukuluokka.</p> <p>Työssä laskettiin eri lämmitysjärjestelmävaihtoehdoilla energiankulutustiedot ja kohteelle saatiin omistajia miellyttävä pitkäntähtäimen suunnitelma rakennuksen ja sen lämmitysjärjestelmän saneerausta varten. Lisäksi kohteen rakennusten energiankulutuksesta ja lämpötaseesta saatiin arvokasta tietoa.</p>	
Avainsanat	lämmitysjärjestelmä, saneeraus, E-luku

Author Title	Marko Tirkkonen Renovation of the heating system
Number of Pages Date	48 pages + 1 appendix 25 October 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building services engineering
Professional Major	HVAC Engineering
Instructor	Aki Valkeapää, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to find out the energy consumption of the buildings at a property according to the Finnish National Building Code, Section 5D/2012. Furthermore, the current E value and class of the buildings were to be determined. In addition, the economic feasibility of combining the production of the hot domestic water of the buildings, and the effects of available heat production systems on the demand for purchased energy and the E value were to be established.</p> <p>For this, the characteristics of various heating systems and the use of the heating systems in Finnish buildings was studied. Furthermore, the buildings were surveyed, leakages located, heating capacity established, and source data studied. In addition, the amount of purchased energy and energy for heating up water was established, and the E-class category for the buildings in target properties were defined. The users of the buildings were also interviewed, and the E value for the buildings defined. All calculations were done in a spreadsheet programme, and they followed the regulations of the National Building Code, Section D5/2012.</p> <p>To stop the leakages that were revealed in the study, various building renovation techniques and their effects on energy consumption were discussed in the thesis. On the basis of the calculated energy consumption of the heating systems studied, a long-term renovation plan for the buildings and the heating system was agreed upon. Moreover, the study provided valuable information about the energy consumption and heat balance of the property..</p>	
Keywords	Heat production system, renovate, E-Value

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vertailtavat lämmitysmuodot	4
2.1	Kaukolämpö	4
2.2	Sähkölämmitys	9
2.2.1	Sähkölämmittimet	11
2.2.2	Lämmityskaapelit	11
2.2.3	Lämpöpumput	12
2.2.4	Ilmalämpöpumput	13
2.2.5	Ilma-vesi-lämpöpumput	14
2.2.6	Poistoilmalämpöpumput	14
2.3	Öljylämmitys	15
2.4	Vertailtavat tukilämmitysmuodot	17
2.4.1	Aurinkoenergia	17
2.4.2	Aurinkoenergian käyttökohteet	18
2.4.3	Tulisijat	19
3	Energian kulutus	20
3.1	Rakennukset	20
3.2	Lämmitysenergian nettotarve	21
3.3	Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus	22
3.4	Ostoenergiankulutus	24
3.5	Kokonaisenergiankulutus	26
4	Energiatehokkuuden parantaminen	29
4.1	Lisälämmöneristäminen ja tiiveyden parantaminen	29
4.1.1	Ulkoseinät	29
4.1.2	Alapohja	30
4.1.3	Yläpohja	30
4.1.4	Ikkunat	31
4.1.5	Ovet	32
4.1.6	Rakennuksen vaipan tiivistäminen	32
4.1.7	Tilanne rakennusteknisten muutosten jälkeen	33
4.2	Talotekniset toimenpiteet	34

4.2.1	Kaukolämpö	35
4.2.2	Öljylämmityksen saneeraus	38
4.2.3	Suorasähkö	38
4.2.4	Ilmavesilämpöpumppu	39
4.2.5	Aurinkokeräimet	40
4.2.6	Hybridijärjestelmä – vaihtoehto 1	41
4.2.7	Hybridijärjestelmä – vaihtoehto 2	41
5	Toimenpidesuosituks	42
5.1	Rakennustekniset toimenpidesuosituks	42
5.2	Talotekniset toimenpidesuosituks	43
6	Pohdinta	45
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1. Energian tarve laskelmien kulku D5/2012 mukaan	

1 Johdanto

Kiinteistöosakeyhtiö Lohjan Hietäistenkatu 6:ssa mietitään lämmöntuotantotavan muutosta. Yhtiö koostuu kahdesta erillisestä rakennuksesta. Molemmissa rakennuksissa on erilaiset lämmöntuotantomenetelmät. Tämän työn ensisijaisena tarkoituksena on selvittää, pystytäänkö ne yhtenäistämään taloudellisesti järkevällä tavalla. Tarkastelussa otetaan myös huomioon energian tuotannon ekologisuus, laitteiston helppohoitoisuus ja turvallisuus ja muut vastaavat seikat.

Rakennukset ovat asuintaloja ja sijaitsevat samalla tontilla Lohjan Ristahteen kaupunginosassa, korttelissa 112, osoitteessa Hietäistenkatu 6, 08100 LOHJA.

Rakennuksista vanhemman aihio on tehty hirrestä ja talo on alun perin rakennettu jo 1929. Nykyiselle paikalle se on kasattu 1950. Rakennuksen pinta-alaa on kasvatettu puurungolla ja koko rakennus on remontoitu perusteellisesti vuosina 2012 - 2013. Rakennus on kaksikerroksinen ja pinta-alaa noin 70 neliötä. Tämän rakennuksen lämpö tuotetaan suoralla sähkölämmityksellä. Käyttövettä varten on 100 litran varaaja.

Uudempi rakennus on valmistunut vuonna 1974. Rakennuksen runko ja julkisivu ovat tiiltä ja katto on konesaumapellillä pinnoitettu pulpettikatto. Rakennuksen pinta-ala talousrakennuksineen on 196 neliötä. Rakennuksen lämpö tuotetaan öljyllä. Lämpö siirretään tiloihin vesikiertoisilla pattereilla ja käyttövesi lämpenee kattilassa.

Selvitystyötä varten molempien rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehon tarve selvitettäisiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5/2012 -ohjeiden mukaan. Lämmöntuotantotavan selvittämisen lisäksi työn tavoitteena on saada aikaiseksi molemmille rakennuksille energiatodistus.

Toimeksiantaja miettii lämmöntuotantotavan muutosta lähinnä siitä syystä, että on kokenut öljyllä lämmittämisen ja sen säilömisen tontilla isoksi riskiksi. Rakennukset sijaitsevat ykkösluokan pohjavesialueella ja öljysäiliö on asennettu osittain maan alle. Öljysäiliö on alkuperäinen metallista valmistettu kolmen kuution säiliö, tosin valumaaltaalla varustettu. Edellisestä säiliön tarkastuksesta ei ole tietoa. Muutaman vuoden kuluttua on A-rakennuksessa tehtävä peruskorjausta mm. lämmitysverkoston. Putkis-

to on alkuperäinen ja siis jo yli 40 vuotta vanha. Tämän lisäksi öljykattilakaan ei parane vanhetessaan ja tulee jonkin ajan kuluttua vaihdettavaksi.

Lämmöntuotantotavan valintaa tehtäessä tulee luonnollisesti karsiutui tavat, joita ei ole toteutettavissa. Tämän kiinteistön osalta ei voida toteuttaa geotermisiä menetelmiä. Kiinteistön lähetyvillä ei ole kuumia lähteitä eikä muutakaan lämmintä vulkaanista maaperää. Koska kiinteistö sijaitsee ykkösluokan pohjavesialueella, ei maalämpöjärjestelmän vaatimaa energiakaivoa tai maakeruupiiriä saa kiinteistölle rakentaa.

Toinen tapa, jolla lämmöntuotantotapoja tulee karsituksi, on kiinteistön käyttäjien mielihalut ja energia lähteen edullinen saatavuus. Kyseisen kiinteistön nykyiset omistajat arvostavat helppoutta, ja tästä syystä kaikki pelkästään puuperäiseen lämmittämiseen liittyvät ratkaisut ovat poissuljettuja, kuten puu-, hake- sekä pellettikattilaratkaisut. Tällaiset lämmitysmenetelmät koetaan hankaliksi ja aikaa vieviksi. Tämän lisäksi niukoista talousrakennustiloista ei haluta luovuttaa enempää tilaa energialähteen varastointiin.

Kolmantena ohjaavana tekijänä voidaan kaikeksi mainita valtion ja kuntien kulloinkin myöntämät korjaus- ja energia-avustukset tai niiden perusteet. Pientaloille voidaan myöntää harkinnanvaraista energia-avustusta, jos asunto on ympärivuorokautisessa, omassa asuinkäytössä. Avustusta myönnetään laite- ja materiaali-investointeihin, joilla parannetaan energiataloutta ja vähennetään energian käytöstä aiheutuvia päästöjä sekä lisätään uusiutuvien energiamuotojen käyttöä. Lämmitysjärjestelmistä tällaisia ovat maalämpöpumppujärjestelmä, ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä, pelletti- tai muu puulämmitysjärjestelmä sekä uusiutuvaa energiaa hyödyntävä yhdistelmälämmitysjärjestelmä. Lisäksi tukea voi saada ulkovaipan lisäeristämiseen, ikkunoiden parantamiseen tai uusimiseen sekä lämmitystapamuutoksiin. Avustuksen saamiseen vaikuttaa ruokakunnan tulot, varallisuudella ei ole merkitystä. Avustuksen määrä on enintään 25 % kunnan hyväksymistä kustannuksista. Toimeksiantajan ruokakunnan tämän hetkisillä tuloilla ko. avustuksia ei saa, joten avustukset eivät ole tässä tapauksessa ohjaava tekijä. (1, s. 15–16.)

Nykyään on tiedostettu, että rakennuksen lämmitysenergiantarpeen vähentäminen paremmalla eristämällä ja tiiveydellä on tärkeämpää kuin lämmitysjärjestelmän valintaa. Todennäköisesti energian hinnat tulevaisuudessakin nousevat, ja näin ollen raken-

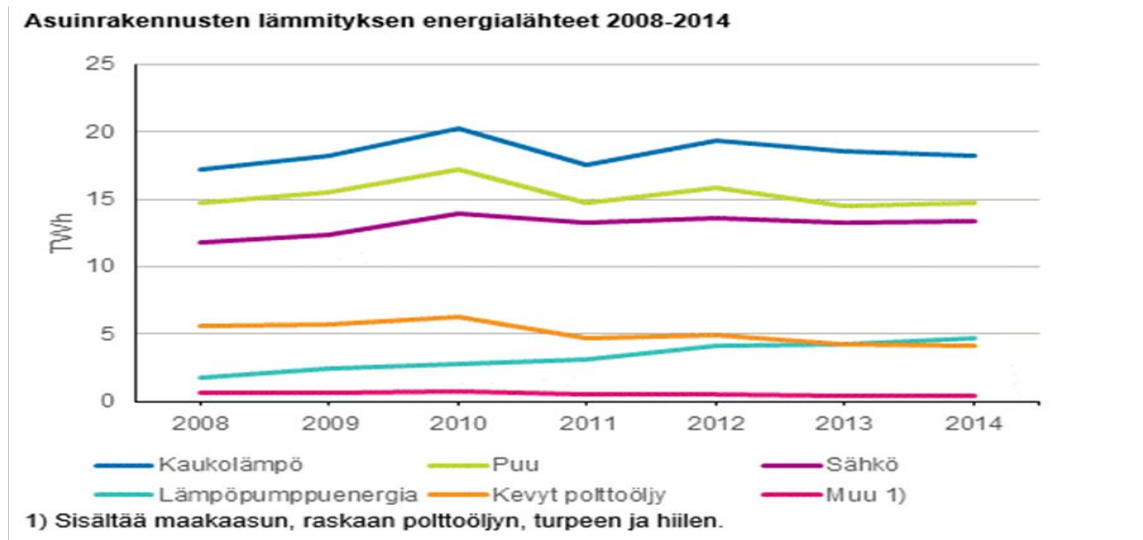
nuksen lämmitystarpeen pienentämiseen pyrkivät hankinnat tulevat aina kannattavamiksi takaisinmaksuaikojen lyhentyessä. (2.)

Lämmitysjärjestelmää saneerattaessa ei lähdetä niin sanotusti puhtaalta pöydältä, vaan on otettava huomioon kaikki aikaisemmin kiinteistöä koskevat rakennerratkaisut. Lämmitysjärjestelmä valitaan pitkäksi aikaa ja kerran valittua järjestelmää ei ole edullista eikä aina helppoakaan myöhemmin vaihtaa. Lämmitystavan valinta ja energiatalouden suunnittelu vaikuttavat suuresti pientalon asumismukavuuteen ja käyttökustannuksiin. Kaikissa asennettavissa olevissa järjestelmissä on sekä hyviä että huonoja puolia, eli ei voida sanoa jonkin lämmitysjärjestelmän olevan paras. Lämmitysjärjestelmän valinnassa yleensä päähuomio kiinnittyy hankinta- ja käyttökustannuksiin, mutta myös muita seikkoja kuten ympäristöystävällisyyttä ja helppokäyttöisyyttä kannattaa miettiä. Lämmitysjärjestelmän valintaprosessissa yhteen sovitetaan omat mieltymykset, taloudelliset lähtökohdat, rakennuspaikan ja rakennuksen antamat mahdollisuudet ja lämmitysjärjestelmän ominaisuudet. Hyvällä suunnittelulla voidaan mahdollistaa käyttövarma ja hyvin toimiva lämmitysjärjestelmä kaikilla tarjolla olevilla lämmitysratkaisuilla. Rakennuksen koko ja energiantarve vaikuttavat lämmitysjärjestelmän valintaan. Yleisohjeena voitaneen todeta, että suureen taloon kannattaa hankkia lämmitysjärjestelmä, joka hyödyntää edullista energiaa, vaikka olisikin hankintakustannuksilta arvokas. (2; 3, s. 4–5.)

Rakennuksen sijainti luo useasti ehtoja lämmitysjärjestelmän valintaan. Öljy-, puu- ja ilmalämpöpumppuratkaisut eivät ole sidoksissa rakennuspaikkaan. Kaukolämpö- ja maakaasujärjestelmiä ei voida toteuttaa, kuin siellä missä on kaukolämpö- tai maakaasuverkko käytettävissä. Aurinkolämpöjärjestelmä edellyttää aurinkoista rakennuspaikkaa ja oikeaan suuntaa rakennettua rakennusta. Maalämpöjärjestelmä vaatii luvan ja muutenkin on varmistettava, että maaperä soveltuu joko vaakaputkistolle tai porakaivolle. (3, s. 4–5.)

Tilastokeskuksen asumisen energiankulutustilaston mukaan asuinrakennusten lämmitykseen kului energiaa 56 TWh vuonna 2014. Lämmityksen eniten käytetty energianlähde oli kaukolämpö, jota kulutettiin 18 TWh. Toiseksi eniten käytettiin puuta (15 TWh) ja sähköä (13 TWh). Kolmen eniten käytetyn energialähteen osuus oli 83 prosenttia asuinrakennusten lämmitysenergian kulutuksesta. Lämmitysenergian lähteiden osuudet on havainnollistettu kuvassa yksi. Kulutuksessa on huomioitu päälämmitysjärjes-

telmän energiankulutus ja sitä täydentävien muiden lämmitysmuotojen energiankulutus mukaan lukien käyttöveden lämmitys ja saunat. (4.)



Kuva 1. Asuinrakennusten lämmityksen energialähteet (4.)

Tilaston mukaan lämpöpumppujen käyttö asuinrakennusten lämmityksessä kasvaa edelleen. Lämpöpumput käyttävät hyväksi maahan, veteen tai ilmaan varastoitunutta energiaa. Maalämpöpumpuilla on laskettu saadun energiaa ympäristöstä talteen 2,2 TWh ja ilmalämpöpumpuilla 2,4 TWh. Ilmalämpöpumpuilla on syrjäytetty pääosin suoraa sähkölämmitystä sekä öljyn ja puun lämmityskäyttöä. Selvimmin tämä näkyy öljyn lämmityskäytön vähenemisenä. Vuonna 2014 lämpöpumppuenergian arvioidaan ohittaneen kevyen polttoöljyn ollen neljänneksi yleisin lämmitysenergian lähde. Tarkemmin ajateltuna lämpöpumppuenergia on lämpöpumppujen tuottaman lämmön ja niiden kuluttaman sähkön välinen erotus. (4.)

2 Vertailtavat lämmitysmuodot

2.1 Kaukolämpö

Rakennusten yleisin lämmitysmuoto Suomessa on kaukolämpö. Kaukolämmön markkinasuosuus on lähes puolet lämmitysenergiasta, vuonna 2012 noin 46 prosenttia. Kaukolämpöverkko löytyy kaikkiaan 166 Suomen kunnasta. Kaukolämpöä tuotetaan sekä yhteistuotantolaitoksissa sähköntuotannon oheistuotteena että erillisissä lämpölaitok-

sisä. Yhteistuotantolaitoksessa otetaan talteen turbiineissa sähköntuotannon yhteydessä syntyvä hukkalämpö. Yhteistuotantotapaa voidaan pitää energiatehokkaana tapana tuottaa energiaa. Kuvan 2 kuvaajasta nähdään, että yhteistuotannon osuus kaukolämmöntuotannosta on kasvanut 80-luvun puolen välin jälkeen merkittävästi. (5.)

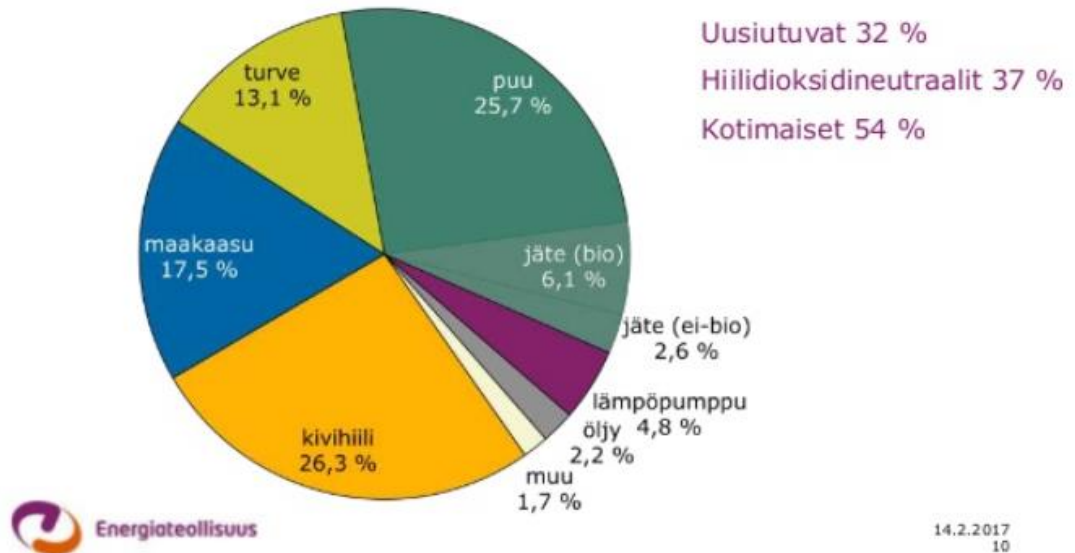


Kuva 2. Lämmön ja sähkön yhteistuotannon sekä lämmön erillistuotannon määrät viime vuosikymmeninä (4.)

Kaukolämmön polttoaineena käytetään kivihiiltä, maakaasua, puuta ja turvetta. Kivihiiltä on käytetty vuonna 2016 eniten (kuva 3). Suurin osa puupolttoaineesta on metsähaketta.

Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytetyt polttoaineet 2016

- polttoaine-energia yhteensä 55,5 TWh



Kuva 3. Kaukolämmön ja siihen liittyvään sähkön tuotantoon käytettyjen polttoaineiden suhteelliset osuudet vuonna 2016 (6.)

Kaukolämmönkin tuotannosta ja siirrosta aiheutuu ympäristövaikutuksia. Näitä syntyy tuotantoketjun eri vaiheissa eli polttoaineiden hankinnassa, jalostuksessa, varastoinnissa ja kuljetuksessa, varsinaisessa energian tuotantoprosessissa sekä jätteiden käsittelyssä. Energian tuotantoprosessin ympäristövaikutukset riippuvat siitä, millaisessa voimalaitoksessa tuotanto tapahtuu ja mitä polttoainetta voimalaitoksessa käytetään. Yhteistuotantolaitokset, joissa tuotetaan sähköä ja lämpöä, toimivat erittäin hyvällä hyötysuhteella. Jos kaukolämpölaitoksen polttoaineena käytetään uusiutuvaa energiaa (puu, hake, pelletti, biokaasu), ympäristövaikutukset vähenevät edelleen. (5; 6.)

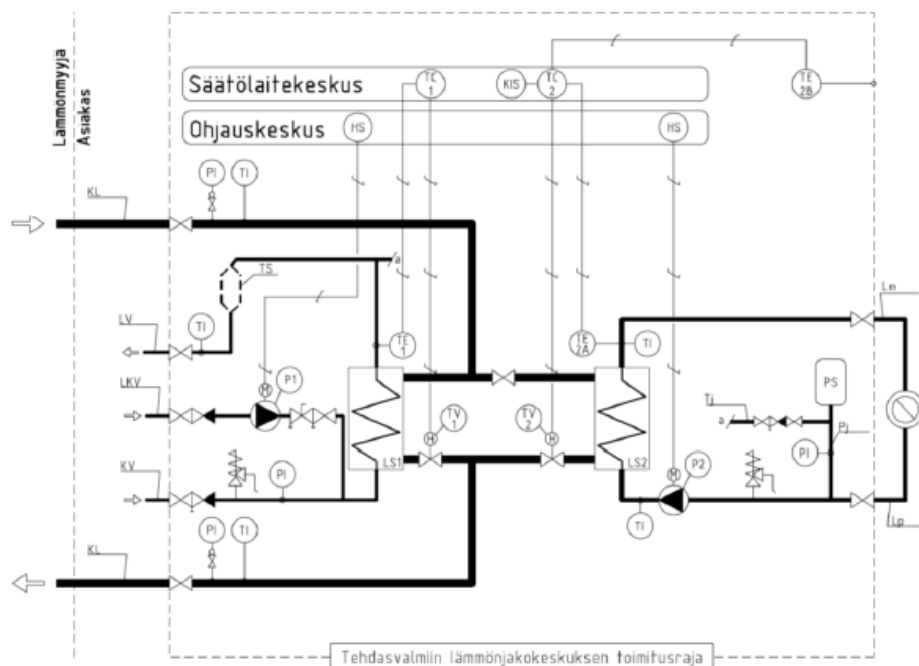
Asuinrakennustenkin yleisin lämmityksen energian lähde on kaukolämpö, jota kulutettiin vuonna 2014 18 TWh. (4.) Noin 2,7 miljoonaa suomalaista asuu kaukolämpötaloissa. Lähes 95 % asuinkerrostaloista on kaukolämmitettyjä ja omakotitaloista kaukolämmitettyjä on runsas 7 % lämmitysenergiasta. Ensimmäiset kaukolämmityskohteet on otettu käyttöön 1950-luvulla. (5; 7.)

Rakennukset on liitetty kaukolämpöön enimmäkseen epäsuoralla kytkennällä. Asiakkaille lämpö siirretään kaukolämpöverkossa kiertävän kuuman veden avulla. Menoveden

kuuma vesi luovuttaa asiakkaan lämmönsiirtimen välityksellä lämpöä talon lämmitys- ja lämpimän käyttöveden verkkoihin. Kauko-lämpövesi ei kierrä talojen lämmitys- ja käyttövesiverkoissa. Energiateollisuus ry (ET) on laatinut ohjeistuksen kuluttajalaitteiden kytkennöistä, ja nämä ohjeet ovat muuttuneet kaikkialla käytänteeksi. Kuvassa 4 on esimerkki kaukolämpöalakeskuksen pientalokytkenästä. Käytettävien laitteiden ja varusteiden tulee olla tyyppitestattuja ja hyväksytyjä kulloinkin voimassa olevien kansainvälisten ja kansallisten lakien, määräysten, asetusten ja standardien sekä ET:n antamien määräysten, suositusten ja ohjeiden mukaisesti. Tarkoituksenmukaisilla laitteilla ja laadunvalvonnalla varmistetaan asiakkaiden ostaman lämmitysenergian korkea laatu ja turvallisuus. Yhtenäiset vaatimukset laitteiden toiminnoille ja varusteille alentavat kustannuksia ja lisäävät kaukolämmityksen kilpailukykyä. (7.)

Energiateollisuus ry
Lämmönkäyttötoimikunta

PIENTALOKYTKENTÄ

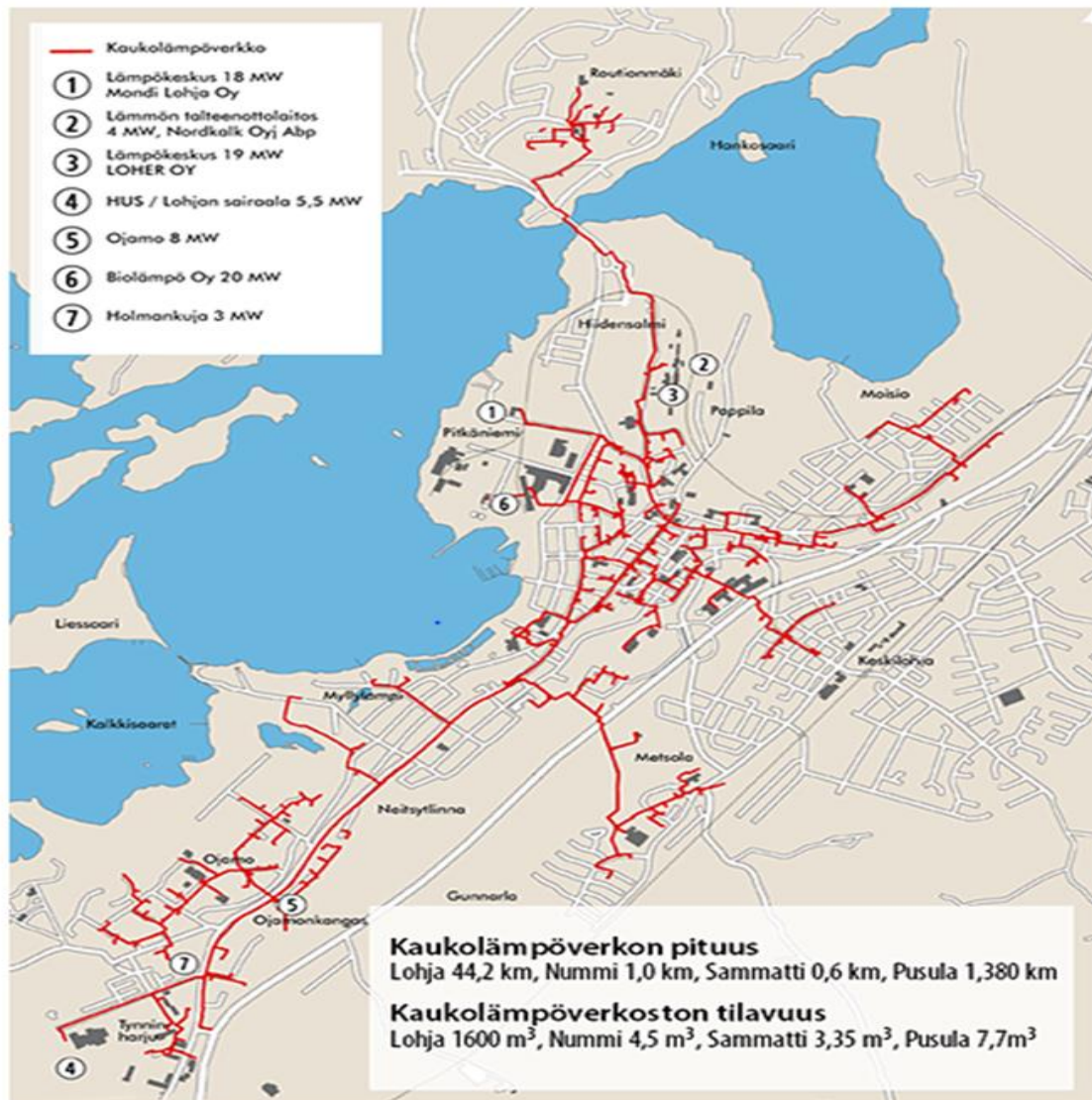


Kuva 4. Kaukolämpöalakeskuksen pientalon kytkentäkaavio (7.)

Lohjalla, rakennusten sijaintipaikalla, toimii kaukolämmön toimittajana Lohjan Energiahuolto Oy Loher. Loher on perustettu yli 30 vuotta sitten ja sen tehtävä on hankkia, tuottaa ja jakaa lämpöenergiaa. Yhtiöllä on kaukolämpöasiakkaita 326 kpl. Yhtiö on

Lohjan kaupungin 100-prosenttisesti omistama. Yhtiön omistustaustalla on pelkästään positiivinen vaikutus toimeksiantajan mielestä. Ajatuksella, että yhtiön tuotto mahdollisesti pitää osaltaan kunnallisveroprosenttia matalampana kuin, jos omistajana olisi esim. ulkomaalaisomisteinen taho. (8.) Loherin kaukolämpöverkon laajuus selviää kuvasta 5.

LOHER:n kaukolämpöverkko



Kuva 5. Loherin kaukolämpöverkko Lohjalla (8.)

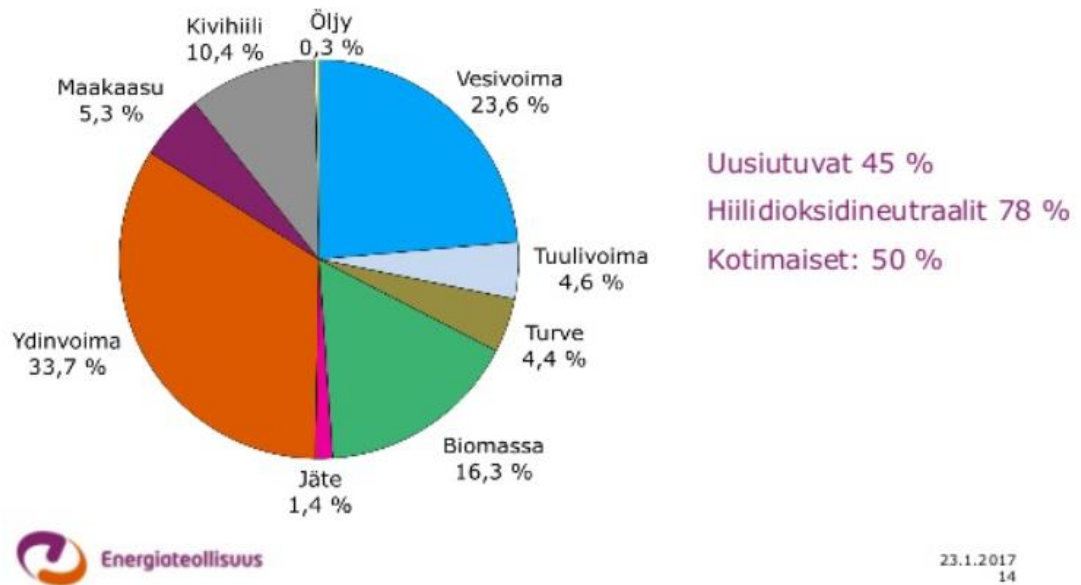
Kaukolämmitystaloissa lämpö jaetaan eri tiloihin joko vesikeskuslämmityksellä tai sitten lattialämmitysjärjestelmällä. Molemmissa tapauksissa lämmönvaihtimessa lämmitetty vesi kierrätetään kiertovesipumpun avulla lämmitysjärjestelmässä. Kaukolämmitysraakennuksen lämmitys voidaan hoitaa myös ilmalämmityksellä. (9.)

Rakennuskantamme yleisin lämmitystapa on vesikeskuslämmitys. Vesikeskuslämmitysjärjestelmässä lämpöenergia välittyy patteriverkoston kautta. Patteri sijoitetaan ikkunoiden alapuolelle. Tällä tavalla estetään ikkunoiden alaspäin suuntautuva konvektiovirtaus, ja myös ikkunan säteilyveto pienenee. (9.)

2.2 Sähkölämmitys

Suomessa tuotetaan sähköä monin tavoin usealla eri energianlähteellä ja tuotantomuodolla. Sähköntuotannon ensisijaiset energialähteet ovat ydinvoima, vesivoima, kivihiili, maakaasu, puupolttoaineet sekä turve (kuva 6). Tuulivoiman osuus on pieni, mutta kasvussa myös Suomessa. Vesivoiman ja sitä kautta fossiilisten polttoaineiden, lähinnä hiilen, osuus sähköntuotannosta vaihtelee reilusti sen mukaan, miten paljon pohjoismaisilla markkinoilla on tarjolla vesivoimaa Norjasta ja Ruotsista. Sähköä tuottaa Suomessa on noin 120 yritystä, ja sitä tuotetaan noin 400 voimalaitoksessa, näistä yli puolet on vesivoimalaitoksia. Suomen sähkön tuotanto on moneen muuhun Euroopan maahan nähden varsin hajautettua. Monipuolinen ja hajautettu sähkön tuotantorakenne lisää sähkön hankinnan varmuutta ja osaltaan pitää sähkön hinnan kilpailtuna. Sähköstä lähes kolmannes tuotetaan yhteistuotantona lämmöntuotannon yhteydessä, jolloin polttoaineen energiasisältö käytetään mahdollisimman tarkkaan hyödyksi. Jopa 90 % polttoaineen energiasta saadaan muutettua sähköksi ja lämmöksi. (10.)

Sähkön­tuotanto energialähteittäin 2016 (66,1 TWh)



Kuva 6. Sähkön­tuotanto energialähteittäin 2016. (11.)

Lämmitysmuoto on sähkölämmitys, kun ostettava lämmitykseen käytettävä energia on sähköä. Sähköllä toimivat lämmitin-, lämmityskaapeli- ja lämmityselementtijärjestelmät luokitellaan sähkölämmitykseksi. Lisäksi ne lämmitysjärjestelmät, joissa lämminvesivaraajan sisälle asennetut sähkövastukset lämmittävät veden, jonka välityksellä rakennuksen lämmitys tapahtuu, luokitellaan sähkölämmitykseksi. Myös eri lämpöpumppuratkaisut kuuluvat sähkölämmityksen piiriin, koska niissäkin vuotuisesta kokonaisenergiämäärästä useimmiten 35–40 prosenttia on sähköä. (12, s. 3.)

Sähkölämmitys on uusissa pientaloissa suosituin lämmitysmuoto. Suomessa on 600 000 suorasähkölämmitystaloa. Sähkölämmitysmuodoista yleisin on suora sähkölämmitys, mutta sen rinnalle on tulossa ja tullut erilaisilla lämpöpumpuilla varustetut sähkölämmitystavat. Lämpöpumpuilla varustetut sähkölämmitystavat korvaavat suoraa sähkölämmitystä säästöjen vuoksi. Kaikilla oikein suunnitelluilla lämpöpumppuratkaisuilla on energian tarvetta vähentävä vaikutus. Yleensä sähköä kuluu lämmitykseen vain kolmannes maalämpöpumppuratkaisuissa, puolet poistoilmalämpöpumpulla ja noin 70 % ilmalämpöpumpulla suoraan sähkölämmitykseen verrattuna. Sähkölämmityksen etuina pidetään helppokäyttöisyyttä, vaivattomuutta ja hyvää hyötysuhdetta. Sähkölämmitys on helposti ohjattava, ja se reagoi nopeasti sisäisiin lämmönvaihtelui-

hin. Sähkölämmityksen alkuinvestoinnit ovat edulliset, ja sähkölämmitysjärjestelmät eivät vaadi työläitä huoltotoimenpiteitä. Sähkön helppoa saatavuuttakin on pidettävä tärkeänä etuna, sähköä on saatavilla lähes joka paikassa. Maakaapeloinnin yleistyessä sähkön saannin varmuuskin paranee ja katkokset jakelussa vähenevät. Nykyaikaiset lämmittimet ja tarkat termostaatit mahdollistavat sen, että tiloissa ei kulu ylimääräistä energiaa. Sähkölämmitys asennetaan mahdollisesti ainoaksi lämmönlähteeksi tai sitten vain jonkun tilan tai alueen lämmönlähteeksi osana muuta lämmitysjärjestelmää. Kun rakennusten energiatehokkuusvaatimukset ovat kasvaneet, on sähkölämmityksestä tullut entistä kilpailukykyisempi ja helpommin perusteltu ratkaisu omakotitalojen lämmitysmuotona. Sähkölämmitysratkaisuihin on tarvittaessa helppo lisätä uusiutuvaan energiaan perustuvia ratkaisuja. (12, s. 1.)

2.2.1 Sähkölämmittimet

Sähkölämmitysmuodoista yleisin vaihtoehto on edelleen toteutettu seinään kiinnitetyillä sähkölämmittimillä. Sähkölämmittimien hyötysuhde on lähes 100 %, joten ne voidaan tarkasti valita huonekohtaisen lämmitystehon tarpeen mukaan. Sähkölämmitin niin kuin vesikiertoinen patterikin on järkevintä sijoittaa ikkunan alapuolelle seinään estämään vedon tunnetta. Valmistajilta löytyy lukuisia erilaisia sähkölämmitinmalleja erilaisiin tiloihin, niin että niitä voidaan käyttää jopa sisustuselementteinä. Sähkölämmittimen etuina voidaan pitää helppoja ohjaus- ja säätötoimenpiteitä, varmatoimisuutta ja edullisuutta. Sähkölämmittimissä ei ole juurikaan huollettavia osia ja tältäkin osin siis helppo käyttää. Useimmiten sähkölämmittimet luetaan suoraksi sähkölämmitykseksi. Sähkölämmittimiä on myös öljytäytteisinä, jotka pystyvät varaamaan pienen määrän lämpöenergiaa. Etuna voidaan pitää myös sitä, että sähkölämmittimestä ei aiheudu vesivaHINGON vaaraa. Toisaalta sähkölaitteisiin liittyy aina tulipalon riski. (12, s. 11.)

2.2.2 Lämmityskaapelit

Lämmityskaapeli asennetaan useimmiten lattiarakenteeseen tai asennetaan ainakin lattian pintamateriaalien alapuolelle. Lämmityskaapeleilla lämmittäminen onnistuu käytännössä kaikkien nykyisin käytössä olevien pintamateriaalien ja lattiarakenteiden kanssa käytettäväksi. Lämmityskaapeleilla lämmittäminen on myös monesti mahdollista toteuttaa peruskorjauskohteissa, joissa lattiapintaa ei voida paljolti korottaa. Sähkö-

lämmitteistä lattialämmitystä on alettu enenevässä määrin käyttämään märkätiloissa, samoin kuin muissakin tiloissa, joissa on laattalattia. (12, s. 12.)

Lämmityskaapeleihin liitetyjä ominaisuuksia ovat niiden helpot ohjaus- ja säätötoimenpiteet, varmatoimisuus ja kustannustehokkuus. Lämmitysjärjestelmä on piilossa lukuun ottamatta termostaattia, joten se ei rajoita sisustamisratkaisuja. Lämmitysjärjestelmää ei tarvitse huoltaa eikä kunnossapitotoimenpiteitä tarvitse tehdä. Lämmityskaapeli lämmitys voidaan tehdä sekä osittain varaavana että suorana sähkölämmityksenä. (12, s. 11.)

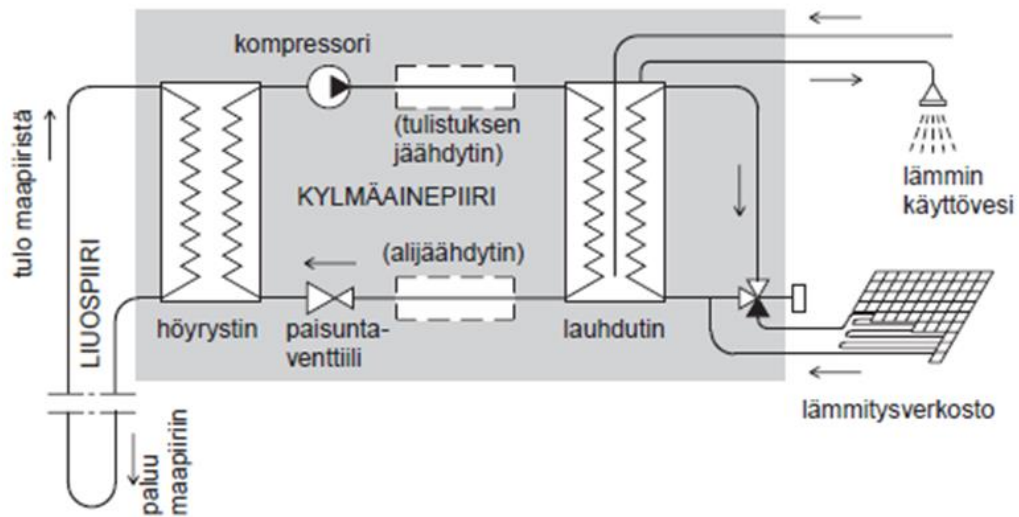
Lattialämmityksen lämmön jakautumista pidetään optimaalisena. Suuren lämmityspinta-alan vuoksi voidaan järjestelmän lämmityskaapelin pintalämpötila pitää matalana verrattuna esimerkiksi radiaattorin pintaan. Lattialämmitys tuo lämmön jaloille ja jakaa sen suurelle lattiapinta-alalle. Tämä tarkoittaa sitä, että lämpö jakautuu huoneessa tasaisesti. Ihminen tuntee olonsa mukavaksi, kun jalat ovat lämpimät ja pää viileä. Keskimäärin ihmiset voivat parhaiten, kun jaloissa on 23–24 astetta ja päänskorkeudella on 18–20 astetta. Lattialämmitys on hyvä keino, millä saadaan lämpö jakautumaan juuri noin. (13, s. 27)

2.2.3 Lämpöpumput

Lämpöpumpputyypistä riippuen lämpöenergiaa otetaan ulkoilmasta, talon ilmanvaihtoputkiston poistoilmasta, vedestä, maasta tai kalliosta ja siirretään rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen. Rakennuksen ulkopuolelta kerättävä lämpö on pääosin peräisin auringosta, lukuun ottamatta kallioperän lämpöä, joka on enimmiltä osin maapallon ytimestä johtuvaa lämpöä. Lämpöpumppujen toimintaperiaate on samantapainen kuin kylmälaitteissa, jotka ottavat lämmön ruokatavaroista ja siirtävät sen kylmälaitteen ulkopuolelle. Lämpöpumppu toimii vastaavalla tavalla kerätessään ilmaan, maaperään tai veteen varastoitunutta lämpöä ja siirtäessään sitä sisälle rakennukseen, eli lämpöenergiaa siirtyy matalasta lämpötilasta korkeampaan. Samoja laitteita voidaan käyttää myös tilojen viilennykseen. (14; 15, s. 7.)

Lämpöenergiaa otetaan talteen lämmönvaihtimen (höyrystimen) avulla lämpöpumpun kylmäainekierto. Lämpöenergiaa siirtyy kylmäaineen mukana kompressorille, joka puristaa kylmäainehöyryä suuressa paineessa, jolloin höyry palautuu nestemäiseen

muotoon ja tässä yhteydessä syntyvä korkea lämpötila hyödynnetään lauhduttimessa. Lämpöpumpun toimintakaavio ja tärkeimmät osat on esitetty kuvassa 7. (14; 16, s. 2.)



Kuva 7. Lämpöpumpun toimintakaavio (16.)

Lämpöpumppujen suosio on viime vuosina ollut jatkuvassa kasvussa (kuva 8). Lämpöpumppuja myytiin vuonna 2016 yli 60 000 kpl. Lähtökohtaisesti lämpöpumppu hankitaan kustannussyistä eli pyritään alentamaan energiakustannuksia hyvän hyötysuhteen ansiolla. Toinen viimeaikoina esille noussut syy hankkia lämpöpumppu on kesäaikainen viilennys. Valtio valta on ratkaisuillaan myös vauhdittanut lämpöpumppujen myyntiä myöntämällä kotitalousvähennyksen. Lämpöpumppuja pidetään varmatoimisinä laitteina, ja niiden huoltotarve on pieni. (14; 15; 16, s. 4; 2.)

2.2.4 Ilmalämpöpumput

Ilmalämpöpumpuilla lämpö tuotetaan ulkoilmasta ulos sijoitetun höyrystinyksikön avulla ja luovutetaan yhden tai useamman lauhdutyksikön puhallinkonvektorin kautta suoraan rakennuksen sisäilmaan. Ulkoyksikön sijoituspaikaksi kannattaa valita mahdollisimman tuuleton ja aurinkoinen paikka, missä puhallinäänät eivät häiritse ja kondenssi-vesien poistuminen on järjestettävissä. Järjestelmän laitteiden taloudellinen käyttöikä on 10–15 vuotta. (14.)

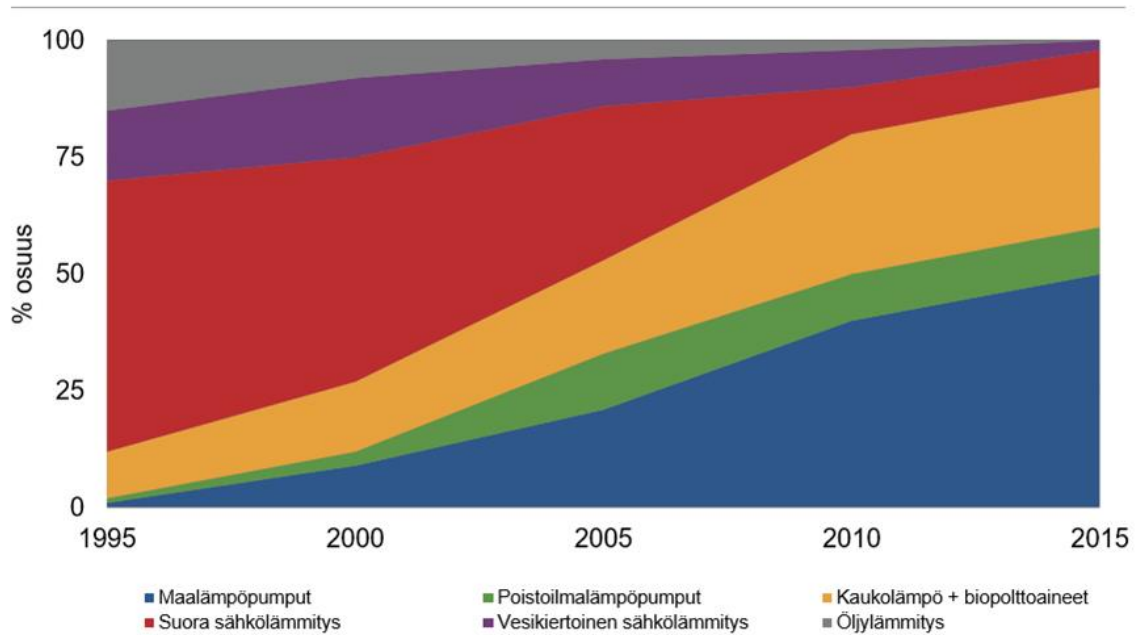
2.2.5 Ilma-vesi-lämpöpumput

Ulkoilma-vesi-lämpöpumpuilla lämpö luovutetaan lauhdutinlämmönsiirtimessä vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään joko käyttöveden esilämmittämiseen ja/tai lämmitysverkoston veteen. Paras vaihtoehto on vesikiertoinen lattialämmitys. Ilma-vesilämpöpumpuilla voidaan hoitaa koko talon lämmitystarve, mutta se tarvitsee kylmimpiä aikoja varten varajärjestelmän. Ilma-vesilämpöpumpuilla saatavan energian määrä laskee ulkolämpötilan laskiessa ja huippupakkasilla, -20 °C tai enemmän, sen tehot eivät riitä koko lämmitystarpeeseen. Tästä syystä tarvitaan varajärjestelmä, joka kattaa lämmönsaatuuden äärimmäisissäkin mitoitusolosuhteissa. Ilma-vesipumpun omat sähkövastukset ovat yleisin varajärjestelmä. Ilma-vesi-lämpöpumpun etuna verrattuna maalämpöpumppuun on sen halvempi hankintahinta sekä parempi asennettavuus. Ilma-vesilämpöpumppu voidaan asentaa vanhan lämmitysjärjestelmän tilalle tai rinnalle. Ilma-vesilämpöpumppu tuottaa 2 kWh lämpöä jokaista käyttämänsä sähkökWh kohti eli sen vuotuinen lämpökerroin on noin 1,7–2,8 ulkolämpötilasta riippuen. (14; 18.)

2.2.6 Poistoilmalämpöpumput

Poistoilmalämpöpumppu on parhaimmillaan rakennuksen lämpöpumppu, ilmastointikone ja lämminvesivaraaja. Lämpö kerätään höyrystin- tai liuospatterin avulla rakennuksen jäteilmasta ja luovutetaan lauhdutinpatterin avulla rakennuksen ilmalämmitysjärjestelmään, lämmitysverkoston veteen ja/tai käyttöveden lämmittämiseen. Lisälämpöä tuotetaan tarvittaessa sähkövastuksilla. Täysimittaista rinnakkaista lämmitysjärjestelmää ei tarvita, koska poistoilman lämpötila pysyy lähes vakiona ulkolämpötilasta riippumatta. Laite ottaa talteen myös muiden lämmönlähteiden, esimerkiksi varaavan tankan, lieden, saunan, valaistuksen, ilmaan luovuttamaa lämpöä tehokkaasti. Poistoilmalämpöpumpulla voidaan myös viilentää sisäilmaa. Järjestelmä vaatii, että ilmaa vaihdetaan aina riittävästi eli 0,5 kertaa talon ilmatilavuus tunnissa. Poistoilmalämpöpumppu poistaa ilmanvaihtolaitteen tavoin ilmaa myös talon kosteista tiloista. Markkinoilla on erityyppisiä poistoilmalämpöpumppuja. Joissakin poistoilmalämpöpumppuratkaisuissa tuloilma tuodaan taloon huoneissa olevien raitisilmaventtiilien kautta. Tarjolla on myös järjestelmiä, joissa tuloilma esilämmitetään ja jaetaan huoneisiin koneellisesti. Keskimääräinen lämpökerroin vaihtelee järjestelmittäin 2,6–3,8 välillä. Poistoilmalämpöpumpun hankintahinta on selvästi alempi kuin esimerkiksi maa- tai ilma-

vesilämpöpumpuilla. Käyttäjien kannalta laitteistot ovat helppohoitoisia. Poistoilmalämpöpumpun käyttöikä on 15–20 vuotta. (14.)



sulpu

Kuva 8. Lämmitysjärjestelmien suhteelliset osuudet uudiskohteissa (14)

2.3 Öljylämmitys

Öljylämmitysjärjestelmä koostuu öljykattilasta, öljypolttimesta, säätölaitteista ja öljysäiliöstä. Järjestelmä tuottaa sekä huonetilojen että lämpimän käyttöveden tarvitseman energian, joten erillistä lämminvesivaraajaa ei tarvita. Poltin saa polttoaineen öljysäiliöstä ja lämmittää kattilan vesitilan. Öljyn palamisesta tulevat kaasut poistetaan savuhormin kautta ilmaan. Kiertovesipumppu siirtää lämmitetyn veden patteri- tai lattialämmitysverkkoon. Käyttöveden lämmitys tapahtuu lämmönsiirtimen avulla erillään patteriverkostosta. Automatiikka valvoo asunnon lämpötilaa ja säätelee sen ulko-/sisälämpötilan mukaan. Käytössä ovat usein ulko- ja sisälämpötilan anturit, huonekohtaiset termostaatit tai kello-ohjaus. Nykyaikaisten öljylämmityskattiloiden hyötysuhde on erittäin hyvä, noin 90–95 prosenttia, ja palaminen on hyvin puhdasta. Öljyä voidaan pitää hyvänä polttoaineena, sillä öljyn lämpöarvo on korkea n. 10 kWh/l. (20.)

Öljylämmityksen osuus uusissa pientaloissa on tällä hetkellä hyvin pieni, johtuen öljyn hinnan vaihtelusta ja epätrendikkästä maineesta. Öljylämmityksessä nimensä mukaisesti lämpö tuotetaan öljyä polttamalla, jolloin tuotetaan ilmastonmuutosta edistäviä kasvihuonekaasuja. Öljy on fossiilinen polttoaine ja käytännössä uusiutumaton luonnonvara. Öljyvarojen loppumisesta on erilaisia ennusteita, viimeisimpien ennusteiden mukaan öljyä kyllä riittää vielä muutamille sukupolville. Öljylämmitys on tällä hetkellä viidenneksi eniten käytetty lämmitysenergian lähde, kun se 70-luvulla oli suoran sähkölämmityksen ja puukattilan lisäksi tyypillisin lämmitysmuoto. (4.)

Osana ilmastotalkoita Suomessa toimivat öljy-yhtiöt ovat sopineet, että lämmitysöljyyn lisätään biopohjaista polttoöljyä. Bioöljyä valmistetaan esimerkiksi palmuöljystä, rypsin siemenistä, kalanperkeistä (Kuhmon Eko-kala) tai vaikka ruuan kypsennykseen käytetystä paistorasvasta. Moderneimmista öljykattiloissa on mahdollista polttaa kevyen polttoöljyn lisäksi myös bioöljyä. Jos bioöljyä halutaan kattilassa käyttää, on polttimeen tehtävä muutama muutos polttimen valmistajasta riippuen. Polttimen suutin ja palopää tulee vaihtaa ja mahdollisesti säätää tarpeen mukaan. Kustannus näille pienosille on muutamia kymmeniä euroja, ja säätötyö pitää teettää asiaan perehtyneellä öljylämmitysasennusliikkeellä esimerkiksi vuosihuollon yhteydessä. Lämmitys toimii yhtä automaattisesti kuin perinteisellä kevytöljyllä tapahtuva lämmitys.

Lämmityslaitteisto sijoitetaan yleensä erilliseen tekniseen tilaan. Tilan ja lämmityslaitteiston tulee täyttää paloviranomaisten määräykset. Lämmityslaitteiston eteen on syytä varata huoltotila. Tekniseen tilaan voidaan sijoittaa myös enintään 3 m³:n öljysäiliö. Säiliön on oltava vähintään metrin etäisyydellä kattilasta. Polttoainesäiliö voidaan sijoittaa myös maan alle. Polttimen häiriöttömän toiminnan takaamiseksi teknisessä tilassa on oltava laitteiston kokoon nähden riittävän iso palamisilmaventtiili. (18, s. 5.)

Öljylämmitys vaatii säännöllistä vuosittain suoritettavaa huoltoa toimiakseen energiatehokkaasti ja luotettavasti. Osan huoltotoimenpiteistä voi suorittaa itse ja osaan tarvitaan asiantuntijaliikkeen apua. Visuaalista tarkkailua kuten savukaasun värin, kattilan luukkujen tiiveyden ja vesivuotojen toteaminen on kenen tahansa tehtävissä. Myös kattilan puhdistamisen voi suorittaa itse. Perusteellisen vuosihuollon tekee sitten turvatekniikan keskuksen rekisteröimä huoltoliike. Tällöin huolletaan öljypoltin, kattila ja savupiippu. Oikein huollettuna öljylämmityslaitteiston käyttöikä on noin 25–30 vuotta (20.)

2.4 Vertailtavat tukilämmitysmuodot

Ostoenergianmäärää ja lämmityskustannuksia voidaan pienentää täydentävillä lämmitysjärjestelmillä. Täydentäviä lämmitysjärjestelmiä ovat tulisijat, aurinkolämpö ja ilmalämpöpumput. Täydentävillä järjestelmillä ei pystytä takaamaan koko rakennuksen lämmöntarvetta, mutta niillä voidaan pienentää oleellisesti ostettavan energian määrää.

2.4.1 Aurinkoenergia

Aurinko on elinaikanamme ehtymätön energianlähde. Teknologiaa hyväksi käyttämällä voi auringonsäteilyä hyödyntää sekä lämmön että sähkön tuottamiseen. Auringon fuu-siossa vapautuvassa energiasta tulee 20 000 kertaa koko maapallon teollisuuden ja lämmityksen nykyään käyttämä teho. Auringon sähkömagneettisen säteilyn kokonais-teho on 1,35–1,39 kW 1m² pinta-alalle maapallon ilmakehän ulkopuolella. Tämä arvo on aurinkovakio. Se tarkoittaa sitä energiamäärää, joka auringosta tulee yhdessä sekunnissa ilmakehän rajalle olevalle 1 m²:n pinnalle. Maapallon ja auringon etäisyysvaihteluiden takia tämä arvo vaihtelee +/- 3,5 %. Tuosta tehosta heijastuu takaisin avaruuteen ilmakehän vaikutuksesta noin kolmannes, vaikuttamatta maapallon lämpöoloihin. Välitön aurinkovakio tarkoittaa sitä auringosta lähtöisin olevaa energiamäärää, joka ilmakehän vaikutuksen jälkeen kohtaa sekunnissa tietyn pinta-alan maanpinnalla. Se on n. 0,8–1,0 kW/m² keskellä kirkasta päivää. Etelä-Suomessa jokainen neliömetri vastaanottaa vuoden aikana vaakatasossa laskettuna noin 1 000 kWh aurinkosäteilyä. Vain keskitalvella joulutammikuussa, jolloin aurinko on matalalla tai kokonaan horisontin takana, auringon energiaa ei juurikaan saada talteen. Aurinkokeräimillä voidaan säteilyn määrästä muuttaa noin 25–35 prosenttia lämmöksi. (21.)

Ilmakehän vaikutuksen takia maan pinnalle tuleva säteily voidaan jakaa kolmeen ryhmään; suoraan auringonsäteilyyn, haja-auringsäteilyyn sekä ilmakehän vastasäteilyyn. Suora auringonsäteily tarkoittaa suoraan ilmakehän läpi tullutta auringonsäteilyä. Hajasäteily on ilmakehän molekyylien ja pilvien heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastunutta hajasäteilyä. Ilmakehän vastasäteilyä aiheuttavat ilmakehän vesihöyry, hiili-dioksidi ja otsoni, jotka säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle. Tätä kutsutaan ns. kasvihuonevaikutukseksi. Vastasäteily sisällytetään yleensä hajasäteilyyn.

Pilvisinä päivinä 80 % valosta saattaa olla hajasäteilyä, kirkkaana kesäpäivänä sen osuus on noin 20 % vaakasuoralle pinnalle. Suomessa keskimäärin puolet kokonaissäteilystä on hajasäteilyä. (21.)

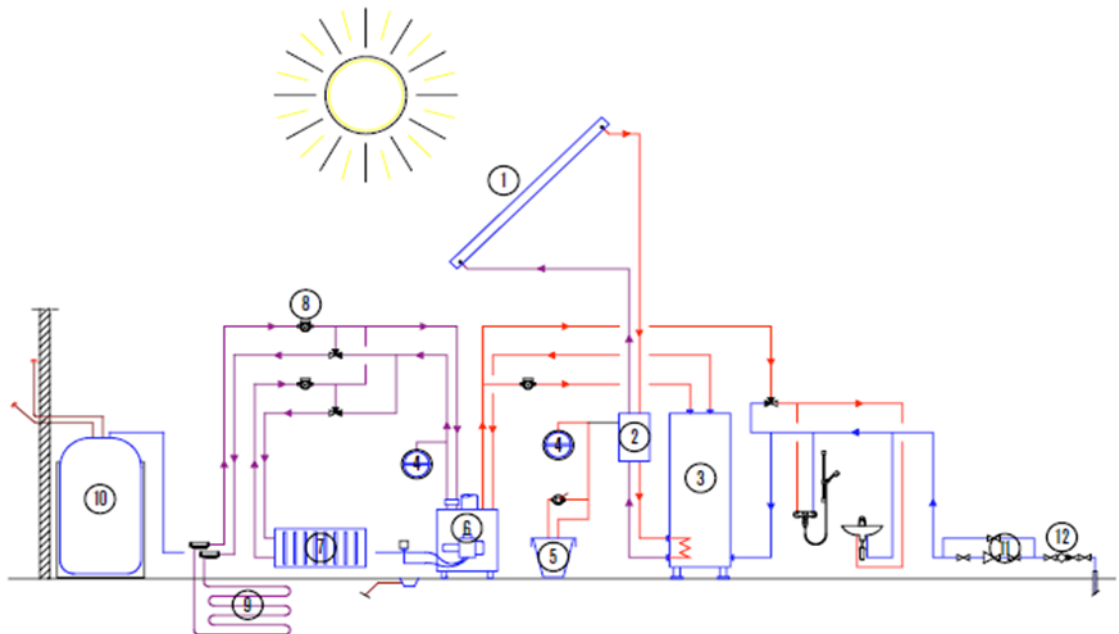
2.4.2 Aurinkoenergian käyttökohteet

Aurinkolämmitysjärjestelmä on liitettävissä kaikkiin päälämmitysmuotoihin. Lämmitysjärjestelmiin missä on vesivaraaja, se soveltuu erityisen hyvin, mutta myös lämpöpumppujärjestelmiin. Öljy- ja aurinkolämmön yhdistämiseksi on kehitetty tarkoitukseen sopiva öljykattila. Sähkölämmitteisessä talossa aurinkosähköllä voidaan lämmittää käyttövesi ja jos talon lämmönjako on vesikiertoinen, voidaan aurinkolämpöä käyttää myös huoneiden lämmittämiseen kytkemällä se lämminvesivaraajaan. Aurinkosähköllä voidaan tuottaa huomattava osa kotitalouksien kuluttamasta sähköstä. (21.)

2.4.2.1 Aurinkolämpö

Aurinkolämpökeräin, usein talon katolle asennettu, ottaa talteen auringonsäteilyn energiaa ja sitoo sen lämmöksi keräimessä kiertävään nesteeseen tai ilmaan. Kulloisenkin väliaineen mukana lämpöenergia kuljetetaan joko varaajaan tai suoraan kulutukseen. Auringonsäteily lämmittää keräimen mustaa absorptiopintaa, joka sitoo itseensä energiaa ja kuumenee. Lämmönsitovuutta tehostetaan asentamalla absorptiopinnalle selektiivinen pinnoite ja se katetaan karkaistulla lasilla tai muovilevyllä. Sekä pinnoite että kate ottavat hyvin sisäänsä säteilyenergiaa auringonsäteilyn aallonpituuksilla, mutta estävät mustan absorptiolevyn lämpösäteilyä vuotamasta ulos. Lämpö siirtyy keräimen sisällä olevissa ohuissa putkissa virtaavaan väliaineeseen. Ympärivuotisessa käytössä väliaineen on oltava jäätymätöntä seosta, esimerkiksi vesi-glykoliseosta. Aurinkolämpöjärjestelmässä pumpulla kierrätetään väliainetta keräimen ja varaajan lämmönsiirtimen välillä. Ohjausyksikön termostaatti säätelee, miten pumppu käynnistyy ja pysähtyy. Termostaatin lämpötila-anturit ovat keräimessä ja lämminvesivaraajassa. Aurinkokeräinpiiriin kuuluvat lisäksi paisuntasäiliö sekä tyhjennysventtiili ja varoventtiili. Lämminvesivaraaja, pumppu ja paisuntasäiliö sijoitetaan talon tekniseen tilaan tai niille varataan erillinen tila. Aurinkolämpöjärjestelmän osat on esitetty tarkemmin kuvassa 9. (21.)

1. Aurinkolämpökeräimet esim. vesikatolla
2. Pumppuryhmä ja säädinyksikkö
3. Aurinko lämpöakku/lämminvesivaraaja, varaaaja täynnä lämmintä käyttövettä
4. Kalvopaisunta-astia
5. Aurinko lämpöpiirin täyttöastia, myrkytön lämmönsiirtoneste
6. Lisälämmönlähde, lämmityskattila tai vastaava
7. Vesikiertoinen patterilämmitys
8. Kiertovesipumppu
9. Vesikiertoinen lattialämmitys
10. Polttoainesäiliö (esim. öljysäiliö)
11. Käyttöveden paineenalennusventtiili oikean vesijohtopaineen säätämiseksi
12. Huoneistokohtainen käyttövedenmittaus



Kuva 9. Aurinkolämpöjärjestelmän osat hybridilämmitysjärjestelmässä (21).

2.4.3 Tulisijat

Tulisijoilla eli takoilla lämmittäminen on perinteiden lämmitystapa. Lähes kaikkiin uusiin pientaloihin rakennetaan tulisija. Tulisijoilla pystytään kattamaan suuri osa lämmitystarpeesta uusissa pientaloissa, joiden lämmitystarve on pienentynyt paremman eristystason ansiosta ja vähenee entisestään rakennusmääräysten tiukentuessa. Tulisija sopii

varalämmönlähteeksi sähkökatkojen tai lämmitysjärjestelmän toimintahäiriöiden aikana. (23; 24.)

Massiivisilla, varaavilla tulisijoilla saavutetaan paras tulos. Niiden rakenteisiin varautuva lämpö siirtyy huonetiloihin pienellä teholla pitkän ajan kuluessa. Tällä tavoin tulisija ei aiheuta liian korkeita sisälämpötiloja. Varaavan takan hyötysuhde voi olla jopa 80–85 prosenttia. Oikein mitoitettulla takalla on mahdollista tuottaa jopa kolmasosa talon lämmitystarpeesta. (23; 24.)

Puun polttaminen on erityisen kannattavaa sähkölämmitteisessä talossa. Sähkölämmityslaitteet reagoivat nopeasti lämpötilanmuutokseen ja ostettuna energiana sähkö on kallista ja näin kannattavaa korvata muulla edullisemmalla energialla. Talvella pakkas-kaudella takan poltto sopii hyvin, lämmitystarve on suuri ja takan tuottama lämpö ei aiheuta sisäilman lämpötilan liiallista nousua. (23; 24.)

Puu uusiutuvana energianlähteenä on ympäristöystävällinen polttoaine, sillä palaessaan se ei lisää kasvihuonepäästöjä. (24.)

3 Energian kulutus

Tässä kohdassa on esitetty ympäristöministeriön esimerkkejä mukailten kohdetalojen vaihtoehtoiset ostoenergiankulutukset ja kokonaisenergiankulutukset sekä E-luvut riippuen lämmitysjärjestelmän saneerauksen laajuudesta. Laskentamenetelmänä tässä työssä käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D5/2012 laskentamenetelmää. Laskennan kulku on esitetty liitteessä 1.

3.1 Rakennukset

Tässä työssä laskennan kohteen on kiinteistö Oy Lohjan Hietaistenkatu 6 rakennukset. Kiinteistössä on kaksi pientaloa. Talo A on yksikerroksinen vuonna 1974 valmistunut tiilitalo. Rakennuksen lämmitetty nettoala on noin 142 m². Rakennuksen käyttövesi lämmitetään öljyllä ja tilat lämmitetään öljyllä. Tiloihin lämpö siirretään vesikeskuslämmityksen avulla patteriverkoston kautta. Öljylämmitysjärjestelmän lisäksi rakennuksessa on varaava tulisija. Rakennuksessa on painovoimainen ilmanvaihto sekä liesituule-

tin. Rakennuksen yksityiskohtaiset tiedot on esitetty taulukoituna liitteen 1 taulukoissa 1–4. Asukkaiden haastattelujen perusteella rakennuksessa on käytetty vuosina 2012–2016 keskimäärin 2 300 litraa öljyä, sähköä 9 100 kWh vuodessa. Varaavassa tulisijassa on vuodessa keskimäärin poltettu 4 irtokuutiometriä sekapuuta.

B-talo on kaksikerroksinen vuonna 1950-luvulla rakennettu hirsirunkoinen pientalo. Tämän rakennuksen nettoala on noin 73 m². Rakennuksen käyttövesi lämmitetään sähköllä ja tilat tilakohtaisilla sähköpattereilla. Lisäksi rakennuksen alakerrassa on varaava tulisija. Rakennuksessa on poistoilmanvaihtokone ilman lämmön talteenottoa. Rakennuksen yksityiskohtaiset tiedot on esitetty taulukoituna liitteessä 1 taulukossa 5–8. B-talon asukkaiden haastattelun perusteella rakennuksessa on käytetty vuonna 2012–2016 keskimäärin 5 500 kWh sähköä. Varaavassa tulisijassa on vuodessa keskimäärin poltettu vuodessa 3 irtokuutiometriä sekapuuta.

3.2 Lämmitysenergian nettotarve

Näiden kohderakennusten lämmitysenergian nettotarve lähtötilanteessa on esitetty kokonaisuutena taulukoissa 1 ja 2. Lämmitysenergian nettotarve on lämpöenergian vähimmäismäärä, joka rakennuksen tilojen, ilmanvaihdon tuloilman ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvitaan lämmitystavasta riippumatta. Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeessa on huomioitu lämpökuormista, kuten valaistuksesta ja aurin gon säteilystä, tilojen lämmitykseen hyödyksi saatu lämpöenergia. Taulukoissa pinta-alaan suhteutetut lukuarvot tarkoittavat energian tarvetta ja kulutusta jaettuna rakennuksen lämmitetyllä nettoalalla. Lukuarvojen rinnalla taulukossa esitetty liitteen 1 osio, jossa kyseinen lukuarvo on laskettu.

Taulukko 1. Talon A lämmitysenergian nettotarve nykytilanteessa

	Lämpö		
	kWh/a	kWh/(m ² a)	Luku
Tilojen lämmitys	32 756	230	4.3.4
Johtuminen	28 320	199	4.3.1
Vuotoilman lämpeneminen tilassa	3 295	23	4.3.2
Tuloilman lämpeneminen tilassa	7 832	55	4.3.3
Lämpökuormista hyödyksi	-6 691	-47	4.4.2
Ilman vaihdon lämmitys	0	0	4.2
Lämpimän käyttöveden lämmitys	4 200	30	4.1.1
Yhteensä	36 956	259	4.4.3

Taulukko 2. Talon B lämmitysenergian nettotarve nykytilanteessa

	Lämpö		
	kWh/a	kWh/(m ² a)	Luku
Tilojen lämmitys	9 184	125	4.3.4
Johtuminen	7 226	99	4.3.1
Vuotoilman lämpeneminen tilassa	1 360	19	4.3.2
Tuloilman lämpeneminen tilassa	3 715	51	4.3.3
Lämpökuormista hyödyksi	-3 117	-43	4.4.2
Ilman vaihdon lämmitys	0	0	4.2
Lämpimän käyttöveden lämmitys	2 565	35	4.1.1
Yhteensä	11 748	160	4.4.3

3.3 Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus

Rakentamismääräyskokoelman osan D3/2012 määritelmässä tästä energiankulutuksesta käytetään nimitystä rakennuksen energiankulutus. Rakennuksen energiankulutus on määritelty D3/2012 kohdan 1.3 määritelmässä. Tämän määritelmän mukaisesti rakennuksen energiankulutus tarkoittaa rakennuksen vuotuista lämmitykseen, sähkölaitteisiin ja jäähdytykseen yhteensä kulutettua energiamäärää, johon ei sisälly eri energiamuotojen kiinteistökohtaisen eikä kiinteistön ulkopuolisen energiantuotannon häviöitä. Energiantuottojärjestelmien, kuten lämpöpumpun, öljylämmityslaitteiston tai kaukolämpökeskuksen, energiankulutus ja häviöt eivät siis sisälly rakennuksen energiankulutukseen.

Taulukko 3. Talon A teknisten järjestelmien energiankulutus

	Sähkö			Lämpö		
	kWh/a	kWh/(m ² a)	Luku	kWh/a	kWh/(m ² a)	Luku
Lämmitysjärjestelmä	285	2		44 054	309	
Tilojen lämmitys	285	2		38 454	270	5.1
Lämmönjakelujärjestelmä				38 454	270	
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	285	2		0	0	
Tuloilman lämmitys (lämmityspatteri)	0	0		0	0	
Käyttöveden lämmitys	0	0		5 600	39	5.2
Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimet	0	0		0	0	
Kuluttajalaitteet ja valaistus	3 244	23		0	0	
Kuluttajalaitteet	2 246	16		0	0	
Valaistus	998	7		0	0	
Yhteensä	3 529	25		44 054	309	

Taulukko 4. Talon B teknisten järjestelmien energiankulutus

	Sähkö			Lämpö		
	kWh/a	kWh/(m ² a)	Luku	kWh/a	kWh/(m ² a)	Luku
Lämmitysjärjestelmä	37	0,50		11 243	153	
Tilojen lämmitys	37	0,50		7 585	104	
Lämmönjakelujärjestelmä				7 096	104	
Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteet	37	0,50		0	0	
Tuloilman lämmitys (lämmityspatteri)	0	0,00		0	0	
Käyttöveden lämmitys	0	0,00		3 65	50	
Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimet	0	0,00		0	0	
Kuluttajalaitteet ja valaistus	1 669	22,78		0	0	
Kuluttajalaitteet	1 155	15,77		0	0	
Valaistus	514	7,01		0	0	
Yhteensä	1 706	23,28		11 243	153	

Teknisten järjestelmien lisäksi rakennusten varaavista tulisijoista saadaan 2 000 kWh/a lämpöenergiaa tilojen lämmitykseen.

3.4 Ostoenergiankulutus

Vakioituja käyttötottumuksia kuvaavilla lähtöarvoilla talo A tarvitsee noin 54 387 kWh öljyllä tuotettua energiaa sekä 3 529 kWh sähköverkosta ostettua sähköenergiaa vuodessa. Lisäksi rakennuksen lämmitykseen tarvitaan 3 333 kWh polttopuita vuodessa. Rakennuksen lämmitetyllä nettoalalla jaettuna energian kulutus on noin 430 kWh/m² vuodessa ja polttopuun kulutus noin 23 kWh/m² vuodessa. Ostoenergian kulutus on esitetty eriteltyinä taulukossa 5.

Taulukko 5. Talon A ostoenergian kulutus

Ostoenergia	Ostoenergian kulutus	
	kWh/a	kWh/(m ² a)
Ostoenergiat yhteensä	61 250	430
Öljy	54 388	382
Tilojen lämmitys	47 474	333
lämmöntuottojärjestelmä	47 474	333
Lämmin käyttövesi	6 914	49
lämmöntuottojärjestelmä	6 914	49
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	0	0
Jakelujärjestelmän apulaitteet	0	0
Sähkö	3 529	25
Tilojen lämmitys	285	2
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	285	2
Tuloilman lämmitys	0	0
Lämmöntuottojärjestelmä		0
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet		0
Ilmanvaihtojärjestelmä	0	0
ilmanvaihtokoneen puhaltimet	0	0
Kuluttajalaitteet ja valaistus	3 244	23
kuluttajalaitteet	2 246	16
Valaistus	998	7
Uusiutuvat polttoaineet	3 333	23
Varaava tulisija	3 333	23

Vakioituja käyttötottumuksia kuvaavilla lähtöarvoilla talo B tarvitsee noin 11 819 kWh sähköllä tuotettua energiaa vuodessa. Lisäksi rakennuksen lämmitykseen tarvitaan 3 333 kWh polttopuita vuodessa. Rakennuksen lämmitetyllä nettoalalla jaettuna energian kulutus on 239 kWh/m² vuodessa ja polttopuun kulutus noin 53 kWh/m² vuodessa. Ostoenergian kulutus on esitetty eriteltyinä taulukossa 6.

Taulukko 6. Talon B ostoenergian kulutus

Ostoenergia	Ostoenergian kulutus	
	kWh/a	kWh/(m ² a)
Ostoenergiat yhteensä	16 282	222
Sähkö	12 948	177
Tilojen lämmitys	7 585	104
lämmöntuottojärjestelmä	7 585	104
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	36	0,50
Jakelujärjestelmän apulaitteet	0	0
Lämmin käyttövesi	3 694	50
lämmöntuottojärjestelmä	3 657	50
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	0	0
Jakelujärjestelmän apulaitteet	0	0
Tuloilman lämmitys	0	0
Lämmöntuottojärjestelmä	0	0
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteet	0	0
Ilmanvaihtojärjestelmä	0	0
Ilmanvaihtokoneen puhaltimet	0	0
Kuluttajalaitteet ja valaistus	1 669	23
Kuluttajalaitteet	1 155	16
Valaistus	514	7
Uusiutuvat polttoaineet	3 333	45
Varaava tulisija	3 333	45

3.5 Kokonaisenergiankulutus

Ostoenergiankulutus muunnetaan kokonaisenergian kulutukseksi energiamuotojen kertoimia käyttäen.

Taulukko 7. E-luvun laskennassa käytettävät energiamuotojen kertoimet

Energiamuoto	kerroin
sähkö	1,7
kaukolämpö	0,7
kaukojäähdytys	0,4
fossiiliset polttoaineet	1,0
rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Öljyn kerroin on 1,0. Fossiilisten polttoaineiden (öljy) ostoenergian aiheuttamaksi kokonaisenergiankulutukseksi saadaan näin 382 kWh_E/a kaavalla 1.

$$Q_{E\ddot{o}} = 1 * 382 = 382 \quad (1)$$

$Q_{E\ddot{o}}$ on öljynkulutuksen aiheuttama kokonaisenergiankulutus (kWh_E/a)

1 on öljyn energiamuodon kerroin

382 on öljyenergian ostoenergiankulutus (kWh/a)

Rakennuksen tulisijassa poltetun polttopuun energiamuodon kerroin on 0,5. Polttopuunkäytön aiheuttamaksi kokonaisenergiankulutukseksi saadaan näin 11,70 kWh_E/a kaavalla 2.

$$Q_{E_p} = 0,5 * 23,40 = 11,70 \quad (2)$$

Q_{E_p} on polttopuunkäytön aiheuttama kokonaisenergiankulutus (kWh_E/a)

0,5 on polttopuun energiamuodon kerroin

23,40 on polttopuuenergian ostoenergiankulutus (kWh/a)

Sähköenergian kerroin on 1.7. Sähköenergian aiheuttamaksi kokonaisenergiankulutukseksi saadaan näin noin 42 kWh_E/a kaavalla 3.

$$Q_{Es} = 1,7 * 24,78 = 42,12 \quad (3)$$

Q_{Es} on sähkönkulutuksen aiheuttama kokonaisenergiankulutus (kWh_E/a)

1,7 on sähkön energiamuodon kerroin

24,78 on sähköenergian ostoenergiankulutus (kWh/a)

Rakennuksen kokonaisenergiankulutus eli E-luku määritetään laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain lämmitettyä nettoalaa kohden. Rakennuksessa A kokonaisenergiankulutus on siten öljyn kulutuksen, sähkönkulutuksen sekä polttopuun käytön aiheuttaman kokonaisenergiankulutusten summa on 436 kaavalla 4 laskettuna

$$E - LUKU = 382 + 42,12 + 11,70 \approx 436 \frac{kWh_E}{a} \quad (4)$$

E-luku on rakennuksen kokonaisenergiankulutus

382 on öljynkulutuksen aiheuttama kokonaisenergiankulutus (kWh_E/a)

42,12 on sähkönkulutuksen aiheuttama kokonaisenergiankulutus (kWh_E/a)

11,70 on polttopuunkäytön aiheuttama kokonaisenergiankulutus (kWh_E/a)

Rakennuksen A kokonaisenergiankulutus eli E-luku on siis 436 kWh_E/(m² a). Kokonaisenergian kulutus ja vastaava ostoenergiankulutus on esitetty eriteltynä taulukossa 7.

Taulukko 8. Talon A kokonaisenergiankulutus

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		kerroin	Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		kWh _E /a	kWh _E /(m ² a)
Öljy	54 388	381,83	1	54 388	381,83
tilojen lämmitys	47 474	333,29	1	47 474	333,29
lämmin käyttövesi	6 914	48,54	1	6 914	48,54
Sähkö	3 529	24,78	1,7	5 999	42,12
tilojen lämmitys	285	2,00	1,7	484	3,40
tuloilman lämmitys	0	0,00	1,7	0	0,00
ilmanvaihtojärjestelmä	0	0,00	1,7	0	0,00
kuluttajalaitteet ja valaistus	3 244	22,78	1,7	5 515	38,72
Uusiutuvat polttoaineet	3 333	23,40	0,5	1 667	11,70
varaava tulisija	3 333	23,40	0,5	1 667	11,70
Yhteensä	61 250	430,01		62 054	435,65

Talon B energian kokonaisenergiankulutukseksi saatiin samalla kaavalla laskettuna 323 kWh/(m² a). Talon B kokonaisenergiankulutus on esitetty alla taulukossa 8.

Taulukko 9. Talon B kokonaisenergiankulutus

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		kerroin	Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		kWh _E /a	kWh _E /(m ² a)
Sähkö	12 948	177	1,7	22 012	300
tilojen lämmitys	7 585	104	1,7	12 895	176
lämmin käyttövesi	3694	50	1,7	6 279	86
tuloilman lämmitys	0	0	1,7	0	0
ilmanvaihtojärjestelmä	0	0	1,7	0	0
kuluttajalaitteet ja valaistus	1 669	23	1,7	2 837	39
Uusiutuvat polttoaineet	3 333	45	0,5	1 667	23
varaava tulisija	3 333	45	0,5	1 667	23
Yhteensä	16 281	222		23 679	323

4 Energiätehokkuuden parantaminen

Tässä osiossa on laskettu erilaisten energiätehokkuutta lisäävien toimenpiteiden vaikutusta E-lukuun ja pohdittu niiden toteuttamisen mielekkyyttä. Toimenpiteet on jaettu rakennus- ja taloteknisiin korjaustoimenpiteisiin. Rakennus B on vastikään perusteellisesti remontoitu, ja siihen kohdistuu vain taloteknisiä toimenpidesuosituksia.

4.1 Lisälämmöneristäminen ja tiiveyden parantaminen

4.1.1 Ulkoseinät

A-talon ulkoseinien U-arvo on $0,47 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ja vaipan kautta tapahtuvasta johtumisesta on ulkoseinien osuus noin 31 %. Ulkoseinät eli talon runko on sisältä ulospäin tiili, villa ja tiili. Tiiliseinä ulkoa päin on ikäänsä nähden hyvässä kunnossa ja julkisivun korjaus pelkästään energiasäästötoimenpiteenä ei ole perusteltua. Ulkonäkösivistä julkisivun rappaaminen voisi olla suositeltavaa, mahdollisesti eristerappaus. Eristerapattuna ulkoseinän lämmönvastustus olisi $2,99 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ ja U-arvo olisi $0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Tilojen lämmitysenergian kulutus pienenee $1\,988 \text{ kWh}/\text{a}$ ja kokonaisenergiankulutus pienenee noin $21 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$.

Rakennuksessa A ulkoseinien sisäpinnoissa on havaittu kalusteiden ja muiden tiiviisti seinäpinnoilla kiinni olevien tavaroiden takana pintamateriaalin homehtumista. Tämä on tyypillistä silloin, kun seinäpinta on heikosti eristetty ja ilmanvaihto/kierto on heikkoa. Mainitut pinnat pääsevät kylmenemään niin paljon, että kosteus tiivistyy (kondensoituu) pinnalle ja aiheuttaa yhdessä huonepölyn tai muun materiaalin kanssa homehtumista. Tämän ongelman korjaamiseksi asukkaat ovat pitäneet ulkoseinien sisäpinnat vapaina tai hyvin tuulettuvina. Seinäpinnoille on jätetty vähintään 30 mm tuuletusrakoja. Ongelman korjaamista ulkoseinän eristeitä parantamalla ei ole vakavasti harkittu. Jos asukkaat kokisivat sisäilman laadun ongelmalliseksi ja oirehtisivat, niin silloin suosittelisin ulkoseinä/kuoren eristämätöistä näytteiden ottamista tutkimuksia varten. Jos näytteiden ottoon ryhdyttäisiin ja tulokset viittaisivat ongelmiin, tulisi uloimmaisesta tiiliverhoksen ja eristekerroksen purkaminen silloin harkittavaksi. Tällöin voitaisiin eristekerroksen paksuutta ja materiaalin laatua miettiä vapaammin ja tehdä seinästä nykyrakennusmääräysten mukainen lämmönjohtavuuden suhteen. U-arvo olisi $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ja kokonaisenergiankulutus pienenee noin $47 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$.

Ulkoseinien lisäeristäminen sisäpuolelta esimerkiksi Finnfoamin PIR GYL 40 -levyillä poistaisi varmasti yllä mainitun kondensoitumisongelman. Tällä tavalla kuitenkin menetettäisiin neliöitä, ja tiilen lämpöä varaava ja tasaava ominaisuus menisi hukkaan, rakennuksen tiilikuoresta tulisi kylmä. Lisäksi rakennuksen nykyiset käyttäjät ovat mieltyneet tiiliseinien ulkonäköön.

Kylmien seinän osien kondensointiongelma voisi korjaantua ilmanvaihtoa tehostamalla eli asentamalla koneellinen tulo- ja poistoilman vaihtojärjestelmä. Toisaalta voidaan muuttaa lämmönluovutusmenetelmä seinäradiaattoreista lattialämmitykseen, jolloin lämpö jakautuisi rakenteisiin ja ilmaan tasaisemmin.

4.1.2 Alapohja

Talon A alapohja on maavarainen ja lisäeristäminen purkamatta lattiaa onnistuu vain laatan päälle. Laatan päälle eristämällä menetetään muutenkin niukkoja senttejä huonekorkeudesta, ja tämä ei tule asukkaiden mielestä kyseeseen. Alapohjan kautta johdetaan n. 5 % lämpöenergiasta, joten tämä ei ole energiatehokkuus mielessäkään tärkeä lisäeristyskohde.

Alapohjan purkaminen tulee kyseeseen siinä kohtaa, jos päädytään uusimaan lämmön siirtotapa vesikiertoisista radiaattoreista sähkö- tai vesikiertoiseen lattialämmitykseen. Lattialämmitykseen siirtyminen voisi olla perusteltua parempien sisäilmaolosuhteiden luomisen vuoksi. Toinen syy siirtyä lattialämmitykseen voi olla sisustuksellinen. Seinäpatterit estävät seinäpintojen vapaan käytön. Lisäksi seinäpatterit ovat yksi siivousta hankaloitava ja likaa keräävä kohde. Nykyrakennusmääräysten mukaisella U-arvolla 0,16 W/(m² K) lämmitysenergian kulutus laskisi 3 090 kWh/a ja kokonaisenergiankulutus pienenesi noin 33 kWh_E/(m² a).

4.1.3 Yläpohja

Nykytilanteessa A-talon yläpohjan kautta johtuu noin 18 % energiasta. Katto on muodoltaan pulpettikatto, pinnoitettu pellillä. Pellitys on alkuperäinen, ja se tulisi uusida lähitulevaisuudessa. Samassa yhteydessä kannattaa myös tarkistaa höyrynsulkumuovien kunto ja vaihtaa ja/tai lisätä eritettä. Jos vanhat eristeet ovat kunnossa ja kuivat, voidaan lisäeriste asentaa suoraan vanhan päälle. Eristekerrosta paksunnettaessa tulee

huolehtia, että katteen ja eristyksen väliin jää riittävä ilmatila tuuletukselta varten. Jotta rakenne olisi kosteusteknisesti toimiva, tulee sen harveta sisältä ulospäin tultaessa.

Tässä kohteessa suosittelen, että samassa yhteydessä kuin peltikate korjataan, myös eristys uusitaan kokonaan. Kun yläpohjan eristetään 300 millimetrin paksuudella suula-kepuristetulla polystyreenilevyeristeellä eli XPS -lämpöeristeellä, kauppanimike Finn-foam-levyä, jonka lämmönjohtavuus on $0,030 \text{ W/(m K)}$, ja sen päälle puhallusvillaa 200–300 millimetrin paksuudelta katon kaltevuus ja tuuletusrako huomioiden. Puhallusvillan lämmönjohtavuus on $0,039 \text{ W/(m K)}$ ja koko rakenteen U-arvo $0,06 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. Lämmitysenergian kulutus pienenesi $3\,063 \text{ kWh/a}$ ja kokonaisenergiankulutus pienenesi noin $33 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$. Lisäksi rakennuksen tiiviys paranee eli vuotoilmaluku pienenee, mutta sitä ei ole tässä kohtaa laskelmissa huomioitu.

Vesikaton kunnostus mahdollistaisi myös tukilämmitysmuotojen kuten aurinkokeräimien ja aurinkopaneelien mahdollisen hyödyntämisen.

4.1.4 Ikkunat

Talon A johtumisenergiasta noin 40 % poistuu ikkunoiden kautta. Ikkunat ovat alkupe-
räiset sisään aukeavat kaksipuitteiset ja kaksilasiset ikkunat. Hyvin hoidettujen ikkunoi-
den teknisenä käyttöikä voidaan pitää 50 vuotta (25). Kohteen ikkunoiden vaihtami-
nen on suositeltavaa jo pelkästään energian säästötoimenpiteenä, mutta myös sisäil-
maolosuhteiden parantamisen vuoksi. Nykyiset ikkunat kondensoivat sisemmän lasin
sisäpintaan noin $-10 \text{ }^\circ\text{C}$:n ulko-lämpötilassa. Kun ulkolämpötila laskee $-20 \text{ }^\circ\text{C}$:n kyl-
memmälle puolelle, kertyy sisemmän ikkunalasien sisäpintaan jäätä. Käyttäjien koke-
musten mukaan ikkunat aiheuttavat vedon tunnetta.

Uusia ikkunoita valitessa tulee huomioida tullaanko kohteen painovoimaiselle ilman-
vaihdon tekemään muutoksia. Se, tuleeko ikkunoissa jatkossakin olemaan korvausil-
ma-aukot vai ei, vaikuttaa tietenkin oleellisesti ikkunatyypin valintaan. Koska ikkunat
ovat hyvin huollettuina pitkäikäinen hankinta, ei niiden valinnassa kannattane tinkiä
energiatohokkuudesta. Lisäksi ikkunoiden hintaero käyttövuotta kohden jää pitkän käyt-
töikänsä vuoksi mitättömän pieneksi.

Vanhaa remontoimassa ikkunoiden valinnassa ei tule unohtaa vaikutuksia julkisivun
ulkonäköön ja muutokseen.

Kohteeseen pyydettiin ikkunatarjoukset Lammin ikkunoilta ja Domluxilta. Ikkunoiden hinnat vaihtelivat 5 800 euron ja 9 730 euron välillä. Ikkunoiden U-arvot olivat 0,84–0,62 W/(m² K). Paremman U-arvon ikkunoilla vuosittainen lämmitysenergian säästö verrattuna nykyisiin ikkunoihin on 7 065 kWh/a. Kokonaisenergian kulutus laskisi 77 kWh_E/(m² a). Nykyisellä energian tuotantotavalla ja öljynhinnalla ikkunat maksaisivat itsensä energian säästönä 13 vuodessa. Energiatehokkaiden ikkunoiden hankintakustannus tavallisiin ikkunoihin verrattuna on suhteellisen kova, tässä esimerkissä 68 % korkeampi. Energiatehokkaat ikkunat verrattuna rakennusmääräysten mukaisiin ikkunoihin maksavat itsensä takaisin 30 vuodessa nykyisellä lämmitysmuodolla. Kohteen nykyiset ikkunat ovat vuodelta 1974 eli 43 vuotta palvelleet. Energiatehokkaimpien ikkunoiden ja perusikkunoiden välinen energian kulutuksen ero vuodessa on 1 231 kWh.

4.1.5 Ovet

A-talon pääsisäänkäynnin ovi on nykyaikainen ja hyvässä kunnossa, ja sille ei nähdä korjaus- tai vaihtotarvetta energiatehokkuus- tai muustakaan syystä. Ovea säännöllisesti huoltamalla se toimii vielä pitkään tarkoituksen mukaisesti. Erityisesti tulee kiinnittää huomioita seuraavan viiden vuoden huoltojaksolla tiivisteisiin. Saunatiloista pihalle johtava ovi on hankittu käytettynä. Ovi on jouduttu muokkaamaan nykyiseen aukkoonsa sopivaksi. Ovea on lyhennetty sekä kavennettu ja kätisyys vaihdettu. Tästä syystä ovi ei herätä käyttäjissä luottamusta turvallisuutensa vuoksi. Lisäksi ovi ei ole kaikilta osin riittävän tiivis. Tämä ovi tullaan vaihtamaan energiatehokkaaseen oveen. Olohuoneesta terassille johtava ovi tultaneen ikkunan vaihtoremontin yhteydessä vaihtamaan osin ulkonäkösyistä uuteen. Käytävästä puolikylmään aulaan johtava ovi tullaan vaihtamaan nykyaikaiseen energiatehokkaaseen ulko-oveen. Rakennuksen ovien kautta johtuu energiaa ulos noin 5 % koko johtumisenergian määrästä.

Nykyaikaisilla energiatehokkailla ulko-ovilla päästää U-arvoon 0,59 W/(m² K) ja terassin oven kohdallakin u-arvoon 0,84 W/(m² K) ja yllä kuvatuilla muutoksilla lämmitysenergian kulutus laskisi 427 kWh ja kokonaisenergiankulutus pienenesi noin 5 kWh_E/(m² a).

4.1.6 Rakennuksen vaipan tiivistäminen

Johtumisen lisäksi lämpö poistuu rakennuksesta sen vaipan raoista. Jotta eristeet toimisivat niin kuin on tarkoitettu, tulee rakenteen olla ilmatiivis. Rakennuksen sisältä ei

saisi lämmin ja kostea sisäilma päästä kosketuksiin kylmien rakenteiden kanssa. Vuotokohtat ovat rakenteiden liittymäkohdat, esimerkiksi ikkunalistat, seinän ja lattian sekä katon rajat ja nurkat. Vuotokohtien paikallistamiseen voidaan talviaikaan käyttää lämpökameraa.

Kyseisessä rakennuksessa ulkokuoren sisäseinät ovat tiilimuurattuja ja aikojen saatossa monia kertoja maalattu. Tästä syystä voidaan ajatella, että seinäpinnat ovat tiiviit. Ongelmakohtat rakennuksessa ovat ikkunoiden ja ovien piilien sekä seinien ja katon rajan sekä ulkoseinän sähköasennusten tiiveys. Ulkoseinän ja katon höyrynsulku-
muovin tiiveyden varmistaminen vaatisi sisäpuolisten pinnoitteiden purkamista ja näin ollen pelkästään energian säästötoimenpiteenä se ei tule taloudellisesti kannattavaksi. Toinen vaihtoehto tarkastaa tuo liitoskohdan tiiveys, on tehdä se vesikattoremontin yhteydessä. Sisäkaton pintamateriaali on oleskelutiloissa puupaneeli ja avokeittiössä mdf-paneeli. Kohteen asukkaiden harkinnassa on ollut yhtenäistää ko. sisäkattojen materiaaliksi rapattu kipsilevy. Tämän remontin yhteydessä niiden tilojen kohdalta seinän ja katon rajapinnan tiiveyden tarkastus ja korjaus on syytä varmistaa ja suorittaa.

4.1.7 Tilanne rakennusteknisten muutosten jälkeen

Seuraavassa on laskennallisesti määritelty uusi lähtötilanne taloteknisten muutosten suunnittelun pohjalle. A-rakennuksessa on siis päätetty suurella varmuudella toteuttaa yläpohjan lisäeristäminen tulevan vesikattoremontin yhteydessä. Yläpohjan rakenteen U-arvo on laskelmissa U-arvo $0,06 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Rakennuksen ikkunat tultaneen vaihtamaan energiatehokkaisiin ja laskelmissa käytetään U-arvoa $0,62 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Lisäksi osa ovista vaihdetaan uusiin ja uusittujen ovien U-arvoina käytetään $0,59 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ja $0,84 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Näiden toimenpiteiden jälkeen rakennus vaipan johtumishäviöt jakautuvat niin, että ulkoseinien kautta johtuu noin 59 %, ikkunoiden kautta noin 17 %, ovien kautta noin 6 %, yläpohjan kautta noin 10 % ja alapohjan kautta noin 10 %. Suunnitellut toimenpiteet pienentävät tilojen lämmitysenergian nettotarvetta $10\,044 \text{ kWh/a}$ ja kokonaisenergiankulutus vähenee $109 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$ ollen muutosten jälkeen $327 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$ eli energialuokka vaihtuu F -luokasta yhtä parempaan E -luokkaan.

Taulukko 10. Talon A lämmitysenergian nettotarve rakennusteknisten muutosten jälkeen

	Lämpö		
	kWh/a	kWh/(m ² a)	Luku
Tilojen lämmitys	22 712	159	
Johtuminen	18 261	128	
Vuotoilman lämpeneminen tilassa	3 295	23	
Tuloilman lämpeneminen tilassa	7 832	55	
Lämpökuormista hyödyksi	-6 676	-47	
Ilmanvaihdon lämmitys	0	0	
Lämpimän käyttöveden lämmitys	4 200	29	
Yhteensä	26 912	189	

Taulukko 11. Talon A kokonaisenergiankulutus rakennusteknisten muutosten jälkeen

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		kerroin	Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		kWh _E /a	kWh _E /(m ² a)
Öljy	38 895	273	1	38 895	273
tilojen lämmitys	31 982	225	1	31 982	225
lämmin käyttövesi	6 914	49	1	6 914	49
Sähkö	3 529	25	1,7	5 999	42
tilojen lämmitys	285	2	1,7	484	3,
tuloilman lämmitys	0	0	1,7	0	0
ilmanvaihtojärjestelmä	0	0	1,7	0	0
kuluttajalaitteet ja valaistus	3 244	23	1,7	5 515	39
Uusiutuvat polttoaineet	3 333	23	0,5	1 667	12
varaava tulisija	3 333	23	0,5	1 667	12
Yhteensä	45 758	321		46 562	327

4.2 Talotekniset toimenpiteet

Talon A lämmitysjärjestelmän ikääntyminen ja lämmitysenergian lähde ovat saaneet omistajat miettimään muita lämmitysmuotoja. Samalla on otettu pohdittavaksi, antaako jotain lisäarvoa tuottaa molemmissa rakennuksissa samalla tai osittain samoilla järjestelmillä lämmitys ja tai käyttöveden lämmittämiseen tarvittava lämpö. Tutkittavina vaih-

toehtoina päälämmitysmuotojen osalta on valittu nykyinen öljylämmitys sekä kaukolämmitys ja sähkölämmitys. Tukilämmitysmuotoina tutkitaan ilmavesi- ja ilmalämpöpumppuja sekä aurinkoenergiaa. Lämmitysjärjestelmään tehtävät muutoksen tultaneen toteuttamaan vasta rakennusteknisten muutosten jälkeen. Tästä syystä pohdinnoissa ja laskelmissa otetaan huomioon rakennuksen vaippa sellaisena, kuin se tulee suunniteltujen remonttien jälkeen olemaan.

4.2.1 Kaukolämpö

Kohde on mahdollista liittää kaukolämpöön. Kadulla, jolla rakennukset sijaitsevat, kulkee valmiina kaukolämpöverkko. Asukkailla/kohteen käyttäjillä on kokemusta kaukolämmöstä monien vuosien ajalta kerrostaloasujina. Kaukolämmön varmatoimisuus ja ekologisuus ovat ne tekijät, joita asukkaat arvostavat kaukolämmössä. Kaukolämpöön siirryttäessä myös vanha öljysäiliö voitaisiin poistaa ja tätä kautta varmistua, että luonto ei pilaannu öljystä. Lisäksi säiliön poisto mahdollistaa eteistilan, jonka alla säiliö on, remontoimisen.

Kaukolämpöön siirtymisestä muodostuu kustannuksia seuraavista asioista.

- kaukolämmön alajakokeskuksen suunnittelu
- alajakokeskuksen hankinta ja asentaminen
- lämpöyhtiön liittymismaksu
- vanhojen lämmitysjärjestelmien purku ja jäteasemalle toimittaminen

Kaukolämmön alajakokeskuksen suunnittelu kustannukset ovat ko. kohteelle 500–1 000 euroa. Alajakokeskuksen hankinta ja asennus ko. kohteelle kustantaa 12 818 euroa, jos vain A-talo hyödyntää kaukolämpöä. Jos myös B-talon käyttöveden lämmitys hoidetaan kaukolämmöllä, kustannukset ovat 15 000 euroa. Lisäkustannukset tulevat hieman isommasta lämmönsiirtimestä sekä putkitöistä rakennusten välillä. Lämpöyhtiön liittymismaksun päättää lämpöyhtiö. Liittymismaksulla katetaan liittymän rakentamisesta aiheutuvat kustannukset sekä lämmön mittauslaitteet ja niiden asennus. Liittymismaksu seuraa löyhästi liittymän kokoa ja kaukolämpöjohdon pituutta, liittymäkoon ja lämpöjohdon pituuden kasvaessa myös liittymismaksu kasvaa. Loherin liittymismaksu tässä kohteessa on 7 844 euroa.

Kaukolämpöenergian hinta muodostuu kulutus- ja perusmaksusta. Loherin kaukolämpötariffi on tällä hetkellä 65,10 €/MWh. Vuoden perusmaksuksi muodostuu 1 896 euroa kaavalla 5.

$$3,73 * (26,91 + 708,07 * 0,68) = 1\ 896\ € \quad (5)$$

1 896 € on perusmaksu vuodessa

3,73 on kaukolämpölaitoksen kiinteiden kustannusten hintatasosta ja kulutustiheydestä riippuva dimensioton kerroin

26,91 on kaukolämpöyhtiön määrittelemä yhteenlaskettava kyseiselle tilavuusvirralle

708,07 on kaukolämpöyhtiön määrittelemä kerroin kyseiselle tilavuusvirralle

0,68 on tilavuusvirta m³/h

Tehon tarve saadaan alajakokeskuksen suunnitelmista, jonka tietojen perusteella lämpöyhtiö määrittää tilausvesivirran. Kaukolämpöön siirtymisestä aiheutuvat kustannukset olisivat siis kokonaisuudessaan liittymismaksu sekä kaukolämmön alajakokeskuksen asennuskustannukset, joka piti sisällään tuon vanhan öljylämmitysjärjestelmän purkamisen. Nämä tekevät yhteensä 21 162–23 844 euroa. Nykyisin A-talossa on käytetty öljyä 2 100 litraa vuodessa ja tätä vastaava kaukolämmön energiatarve 85 % vuosihyötysuhteella olisi 17,85 MWh kaukolämpöenergiaa. Näin vuosikustannukseksi tulisi perusmaksu $1\ 896 + 17,85 * 65,10 = 3\ 058$ euroa. A-rakennuksessa suunniteltujen rakennusteknisten muutosten jälkeisessä tilanteessa, kaukolämmöllä lämmitysenergia tuotettuna ostoenergian kulutus pienenesi nykyiseen öljyyn verrattuna 5 379 kWh/a. Kokonaisenergian kulutus pienenesi 108 kWh_E/(m² a) ollen 219 kWh_E/(m² a). Energiatodistuksen E-luku muuttuisi kaukolämpöön siirryttäessä luokasta E luokkaan D.

Taulukko 12. Talon A kokonaisenergiankulutus kaukolämmöllä tuotettuna

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		kerroin	Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		kWh _E /a	kWh _E /(m ² a)
Kaukolämpö	33 516	235	0,7	23 461	165
tilojen lämmitys	27 559	193	0,7	19 291	135
lämmin käyttövesi	5 957	42	0,7	4 170	29
Sähkö	3 529	25	1,7	5 999	42
tilojen lämmitys	285	2	1,7	484	3
tuloilman lämmitys	0	0	1,7	0	0
ilmanvaihtojärjestelmä	0	0	1,7	0	0
kuluttajalaitteet ja valaistus	3 244	23	1,7	5 515	39
Uusiutuvat polttoaineet	3 333	23	0,5	1 667	12
varaava tulisija	3 333	23	0,5	1 667	12
Yhteensä	40 379	283		31 128	219

B-rakennuksen ostoenergian kulutus pieneni kaukolämpöön siirryttäessä 357 kWh/a. Muutos johtuu käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöiden sekä lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden kulutuksen poistumisesta. Kokonaisenergian kulutus laskisi 49 kWh_E/(m² a) ollen 266 kWh_E/(m² a). Energiatohokkuusluokka pysyisi E:ssä.

Taulukko 13. Talon B kokonaisenergiankulutus lämminkäyttövesi kaukolämmöllä A talossa tuotettuna

Energiamuoto	Ostoenergiankulutus		kerroin	Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m ² a)		kWh _E /a	kWh _E /(m ² a)
Kaukolämpö	2 609	41	0,7	1 826	29
lämmin käyttövesi	2 609	41	0,7	1 826	29
Sähkö	8 539	135	1,7	14 516	229
tilojen lämmitys	7 096	112	1,7	12 063	190
tuloilman lämmitys	0	0	1,7	0	0
ilmanvaihtojärjestelmä	0	0	1,7	0	0
kuluttajalaitteet ja valaistus	1 443	23	1,7	2 453	39
Uusiutuvat polttoaineet	3 333	53	0,5	1 667	26
varaava tulisija	3 333	53	0,5	1 667	26
Yhteensä	14 481	229		18 009	284

4.2.2 Öljylämmityksen saneeraus

Yhtenä vaihtoehtona on jatkaa nykyisten energian tuotantotapojen kanssa. A-rakennuksen öljylämmitysjärjestelmää ei kannata uusia kokonaisuudessaan. Tässä vaihtoehdossa säilytetään vuodelta 2004 oleva öljykattila. Kattilan keskimääräinen tekninen käyttöikä on noin 25–30 vuotta, joten kohteen kattilalla on vielä järkevää käyttöaikaa jäljellä. Öljypolttimen tekninen käyttöikä on yleensä 12–15 vuotta, joten kohteen 17 vuotta vanhaan polttimeen voi odottaa tulevan käyttöhäiriöitä tiheämpään tahtiin. Tämän lisäksi uudet polttimen ovat energiatehokkaampia. Öljypolttimen kustannus on noin 850 euroa. Tämän lisäksi vanha öljysäiliö maan alta poistettaisiin käytöstä. Uusi öljysäiliö sijoitettaisiin autotalliin. Valuma-altaalla varustettu 1 500 litran öljysäiliö kustantaa noin 1 150 euroa. Kokonaiskustannukset ovat noin 2 000 euroa. Energiatodistuksen E-luku pysyisi luonnollisesti tässä vaihtoehdossa muuttumattomana. B-talo pysyisi tässä ratkaisussa koskemattomana.

4.2.3 Suorasähkö

Suoraa sähkölämmitystä mietittäessä täytyy huomioida pääsulakkeen koko. Sähkölämmityksen myötä kuormitus kasvaa oleellisesti, ja välttämättä pääsulakkeen koko ei riitä. Lisäksi on mahdollista, että liittymiskaapelikin on liian pieni. Sähkökeskukset ovat alkuperäiset, ja sähkölämmitykseen siirryttäessä ne jouduttaisiin uusimaan. Muutostyö ei tarvitse rakennus- tai toimenpidelupaa, mutta sähkösuunnitelma on hyvä olla urakoitsijalle. Lisäksi suunnitelmasta on hyötyä asukkaille itselleen tulevia muutostöitä suunnitellessa. Sähkölämmitys mielletään perustamiskustannuksiltaan pieneksi, mutta lämmitysjärjestelmää saneerattaessa tulee tällekin vaihtoehdolle hintaa.

Jos lämmönsiirtotavaksi valitaan lattialämmitys, tämä tarkoittaa sitä, että pintamateriaalit menevät uusiksi. Tämä vaihtoehto vähentää sähkölämmitykseen siirtymisen mielekkyyttä. Jos sähkölämmityksen perustamiskustannuksetkin nousevat korkeiksi, tämä vie mielekkyyden edes harkita ko. vaihtoehtoa.

Huonekohtaiset seinäpatterit voisivat tulla kohderakennuksessa varteen otettavaksi vaihtoehdoksi. Sähkökaapelit olisi kustannustehokkainta asentaa pinnassa ja osittain jalkalistojen takana. Pattereita tulisi asennettavaksi 14 kappaletta. Kustannuksia tälle vaihtoehdolle tulisi keskuksen muutostöineen noin 15 000 euroa.

Rakennuksen A ostoenergian kulutus laskisi sähkölämmitysjärjestelmällä 11 694 kWh/a ja kokonaisenergiankulutus nousisi 52 kWh_E/(m² a). E-luku nousisi luokkaan F. 12,88 sentin kilowattihinnalla, vuosisäästökseksi tulisi noin 1 506,61 euroa verrattuna nykyiseen öljylämmitykseen. Laskennallisesti sähkölämmitys maksaisi itsensä takaisin noin 10 vuodessa.

4.2.4 Ilmavesilämpöpumppu

Yhtenä lämmöntuotantotapana voitaisiin harkita ilmavesilämpöpumppua. Tässä vaihtoehdossa A-rakennuksen nykyinen öljylämmitysjärjestelmä poistettaisiin ja tilalle asennettaisiin ilma-vesipumppu ja hybridivaraaja. Tällä järjestelmällä lämmitettäisiin molempien rakennusten lämminkäyttövesi ja A-rakennuksen lämmitys. Huoltovarmuussyistä B-rakennukseen jätettäisiin varalle siellä jo olemassa oleva lämminvesivaraaja. Ilmavesilämpöpumppu järjestelmän hankintakustannukset ovat laitteistosta riippuen 5 546 (Oilon AWpro10) – 9 256 euroa (IVT air X90 Air module sisäyksikkö E90). Asennuskustannukset ovat noin 3 200 euroa sisältäen rakennusten välille asennettavan lämpimän käyttöveden liitosputken.

Lämpöpumppu otetaan huomioon lämmityksen sähköenergiankulutusta laskettaessa vain sen ajanjakson osalta, jonka aikana lämpöpumppua käytetään. Lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergiankulutus voidaan laskea D5:n kaavalla 6.17.

$$W_{LP, lämmitys} = Q_{LP, lämmitys, tilat} / SPF_{tilat} + Q_{LP, lämmitys, lkv} / SPF_{lkv} + W_{lisälämmitys} \quad (6)$$

$W_{LP, lämmitys}$ on lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh

$Q_{LP, lämmitys, tilat}$ on lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh

SPF_{tilat} on lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä, -

$Q_{LP, lämmitys, lkv}$ on lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh

SPF_{lkv} on lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä, -

$W_{lisälämmitys}$ on sähköenergian tarve ($Q_{lisälämmitys, tilat} + Q_{lisälämmitys, lkv}$), kWh.

On huomattava, että D5:n taulukkoarvot ovat ns. turvallisella puolella. Laittevalmistajan arvot voi olla huomattavasti parempia kuin D5:n antamat arvot.

Tilojen lämmitysenergiankulutus on 25 905 kWh/a eli 211 kWh/(m² a) ja lämpimän käyttöveden energian kulutus on 8 617 kWh/a. Patterilämmityksen menoveden lämpötila on +60 °C, joten ilmavesilämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmitykselle on D5:n taulukon 6.12 mukaan 2,2 ja käyttöveden lämmitykselle 1,8. Lämpöpumpun teho on 96 % mitoi-

tustehosta, ja kun $Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitys,lkv}} = 25\,905/8\,617 = 3$ D5:n liitteen 2 taulukon L2.2 mukaan lämpöpumpun tuotto-osuudeksi saadaan 0,89.

Näin lämpöpumpun ostoenergiaksi saadaan kaavalla 6.

$$W_{LP,\text{lämmitys}} = 0,89 * (25\,905/2,2) + 0,89 * (8\,617/1,8) + (1 - 0,89) * 31\,205 = 18\,538 \text{ kWh/a}$$

Lisälämmityksen eli sähkövastuksen osuus tästä on $(1-0,89)*34\,522 = 3\,797 \text{ kWh/a}$.

Ilmasta otettu uusiutuva omavaraisenergia on höyrystimen ilmasta ottama energia, joka voidaan laskea esimerkiksi lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian ja käytetyn sähköenergian erotuksena

$$Q_{LP,\text{höyrystin}} = 0,89 * (25\,905 + 8\,617) - (10\,480 + 4\,261) = 15\,984 \text{ kWh/a}$$

A-rakennuksessa suunniteltujen rakennusteknisten muutosten jälkeisessä tilanteessa, ilma-vesilämpöpumpulla lämmitysenergia tuotettuna ostoenergian kulutus pieneni nykyiseen öljyyn verrattuna 22 234 kWh/a. Kokonaisenergian kulutus pieneni 74 kWh_E/(m² a) ollen uudessa tilanteessa 253 kWh_E/(m² a). Energiatodistuksen E-luku pysyisi muuttumattomana ilmavesilämpöpumpuun siirryttäessä, ollen edelleen E. B-rakennuksen ostoenergian määrä laskisi 1 498 kWh/a ja kokonaisenergian kulutus pieneni 35 kWh_E/(m² a) ollen 281 kWh_E/(m² a). B-rakennuksen E-luku vaihtuisi luokasta E luokkaan D.

4.2.5 Aurinkokeräimet

Kohteen käyttäjät toivoisivat, että he voisivat jatkossa käyttää ympäristöystävällisiä lämmön tuottamismuotoja. Tästä syystä yhtenä vaihtoehtona tarkastellaan aurinkokeräimien soveltumista kohteeseen. Aurinkolämpöjärjestelmään kuuluu aurinkokeräimien lisäksi pumppu- ja ohjausyksikkö sekä vesivaraaja. Tämä järjestelmä asennettaisiin A-rakennuksen katolle ja sitä hyödynnettäisiin vain A-rakennuksessa. Kohteeseen voisi soveltua Jäspin Solar 500 Econmy, jossa viiden keräimen yhteispinta-ala on noin 10 m² ja varaajan tilavuus 500 litraa. Päälämmitysjärjestelmänä säilyisi öljylämmitysjärjestelmä.

Laskemalla Aurinko-opas 2012:n menetelmällä aurinkolämmön tuotoksi saatiin 3 060 kWh/a. Lämmön tuotannon kannalta merkittäviä kuukausia ovat maaliskuu-syyskuu. Muina kuukausina tuottoa ei tule, tai se on riittämätöntä lämmöntuotantoon. Ostoenergian kulutus siis pienenee tuon aurinkokeräimen tuoton verran 3 060 kWh/a ja kokonaisenergian kulutus laskee 21 kWh_E/(m² a). E-luvun luokkaan tällä ei ole vaikutusta, kulutus on 305 kWh_E/(m² a).

4.2.6 Hybridijärjestelmä – vaihtoehto 1

Kohdekiinteistön omistajat eivät ole vielä valmiit luopumaan kokonaan öljylämmitysjärjestelmästä. Lämmitysvaihtoehtojen tutkimisen ja laskelmien teon myötä heille on vahvistunut mielipide, että he kunnostavat öljylämmitysjärjestelmän ja asennuttavat sen rinnalle tukilämmitysjärjestelmät. Tukilämmitysjärjestelmät ovat aikaisemmin mainitut ilmavesilämpöpumppu sekä aurinkokeräimet. Kaukolämpöön vaihtaminen on heidän nykyisessä taloudellisessa tilanteessa mahdoton vaihtoehto. Pelkästään Ilmavesilämpöpumpun varaankaan he eivät halua jäädä. Lähipiirin kokemusten perusteella ilmavesilämpöpumppu ei tunnu riittävän luotettavalta järjestelmältä.

Hybridijärjestelmän myötä A-rakennuksen ostoenergian kulutus pienenesi 21 295 kWh/a ja kokonaisenergian kulutus vähenisi 84 kWh_E/(m² a), ollen 243 kWh_E/(m² a). E-luku luokka tulee tällä ratkaisulla olemaan D, jota voitaneen pitää 1974 rakennetulle talolle hyvänä luokkana. Rakennuksen B kokonaisenergian kulutus on 237 kWh_E/(m² a) ja E-luku luokka on D.

4.2.7 Hybridijärjestelmä – vaihtoehto 2

Koska rakennuksessa A on vain painovoimainen/omatoiminen ilmanvaihto, halutaan vielä selvittää, miten lämmön talteenotolla varustettu ilmanvaihto vaikuttaisi energiankulutukseen laskennallisesti. Luvussa 4.1.1 mainittuun ulkoseinien kosteustekniseen ongelman voisi mahdollisesti ratkaista tehokkaalla ilmanvaihdolla. Joka tapauksessa kevään ja syksyn heikkoon ilmanvaihtoon tämä toisi ratkaisun. Rakennuksen B energiankulutukseen tämä ei luonnollisestikaan tuo muutosta. Tämän rakennuksen ilmanvaihto on ajateltu jatkossakin hoitaa koneellisella poistoilman vaihdolla.

Jos rakennus A varustetaan vielä rakennusteknisten muutosten ja hybridilämpöjärjestelmän lisäksi koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla, jossa on lämmön talteenotto, pienenee ostoenergian määrä uuteen lähtötilanteeseen verrattuna 22 988 kWh/a ja nykyiseen tilanteeseen verrattuna 38 480 kWh/a. Kokonaisenergian kulutus pienenee uuteen lähtötilanteeseen verrattuna 100 kWh_E/(m² a) ja nykytilanteeseen verrattuna 208 kWh_E/(m² a) ollen 227 kWh_E/(m² a). Tällä järjestelmällä A-rakennus saavuttaisi E-lukuluokan D nykytilanteen F-luokan sijaan. Lämmitysenergian kokonaistarpeesta rakennuksessa A johtuminen aiheuttaa noin 76 %, vuotoilma noin 14 % ja ilmanvaihto noin 10 %, kun lähtötilanne oli johtuminen noin 72 %, vuotoilma noin 8 % ja korvausilma noin 20 %.

5 Toimenpidesuosituksot

Energiankulutuslaskelmien perusteella ja rakennusten osien kuntoa arvioimalla olen päättänyt suosittelemaan seuraavia energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä Kiinteistö Oy Lohjan Hietaistenkatu 6 rakennuksissa ja niiden lämmitysjärjestelmissä.

5.1 Rakennustekniset toimenpidesuosituksot

Rakennuksen A vesikatto on lähes alkuperäisessä kunnossaan ja on lähitulevaisuudessa remontoitava. Katon pinnoite on konesaumattu pelti, ja se sopii huolellisesti tehtynä kohteen pulpettikatolle. Huolellisuutta korostetaan tässä erityisesti loivan kattokulman takia. Peltikatteesta tulee remontin jälkeen edeltäjäänsä huomattavasti hiljaisempi. Peltipinnoitteen alle asennetaan alushuovat sekä äänieristysnauhat, joiden avulla sisälle kuuluvaa ääntä pyritään vaimentamaan. Tämän lisäksi uusi tiiviimpi eristeros vaimentaa ääniä.

Vesikattoremontoinnin yhteydessä suositellaan seuraavia muutoksia. Yläpohjan eristys suositellaan uusittavan nykyvaativuustasoon u-arvon osalta. Huomioitavaa on, että kyseinen työ on Lohjalla rakennusvalvonnan alaista ja vaatii rakennusluvan. Rakennusvalvonta haluaa erityisesti varmistua, että rakenne hengittää ja tuulettuu oikeista kohdista. Samalla on tarkastettava ja mahdollisesti korjattava höyrynsulkumuovin asennus ja tila. Huolehditaan, että ulkoseinän ja yläpohjan rajapinta on tiivis ja että höyrynsulun läpiviennit, sähköputket, valaisinrasiat ovat kunnollisesti tiivistetyt. Luon-

nollisesti tässä yhteydessä varmistetaan, että kattotuolit yms. rakenteet ovat kunnossa ja tarvittaessa korjataan. Tämä on myös oiva paikka tarkastaa ja parantaa katon kantavuutta tulevaisuudessa katolle mahdollisesti asennettavien aurinkolämmitysjärjestelmien takia.

Rakennuksen A vuodelta 1974 olevat ikkunat suositellaan vaihdettavaksi. Nykyaikaisilla ikkunoilla saavutetaan huomattava energian säästö. Lisäksi sisäilmanolosuhteet paranevat huomattavasti, kun vetoisien ikkunoiden tilalle asennetaan nykyaikaiset energiatehokkaat ikkunat. Huoneilmasta tulee tasalämpoisempää, vedon tunne lakkaa ja käyttäjät ovat tyytyväisiä. Uudet ikkunat vaikuttavat myös sisälle ja sisältä ulos kantautuvaan meluun. Tämäkin seikka parantaa sekä asukkaiden että naapureiden asumismukavuutta. Asennuksen yhteydessä kiinnitetään erityistä huomiota ikkunoiden asennuksen laatuun. Ikkunan karmin ja seinän rajapinta tulee olla oikeaoppisesti ja riittävästi eristetty. Ikkunapellitykset tulee asentaa niin, että ne suojaavat seinärakennetta eivätkä edesvaikuta kostumisvaurion syntymiseen. Samassa yhteydessä kannattaa vaihtaa rakennuksesta muutama ovi sekä energiatehokkuus- että ulkonäkösystejä.

5.2 Talotekniset toimenpidesuosituksiset

Taloteknisinä toimenpiteinä energian tehokkuuden ja käyttövarmuuden vuoksi päädyin suosittelemaan seuraavia muutoksia.

Rakennuksen A öljylämmitysjärjestelmä saneerataan öljypolttimen ja öljysäiliön osalta. Poltin on ylittänyt jo polttimille arvioitun teknisen käyttöiän. Vaikka poltin on toistaiseksi toiminut moitteettomasti, voimme hyvällä syyllä puoltaa sen uusimista lähitulevaisuudessa. Öljysäiliön nykyinen sijainti on aiheuttanut huolta kiinteistön omistajille ja sen käytöstä poistaminen on näin ollen aiheellista. Säiliö on osittain maan alla ja sen kunnon tarkastaminen on erittäin haasteellista ja kallista. Uudelle muovisäiliölle suojaltainen on katsottu paikka autotallista.

Lämmitysjärjestelmään suositellaan liitettäväksi ilmavesilämpöpumppu sekä aurinkokeräimet, tuottamaan lämpöä tilojen että käyttöveden lämmittämiseen. Liitettävä laitteisto sisältää ulkoyksikön, lämpöpumpun sekä hybridivaraajan. Aurinkokeräinjärjestelmä sisältää keräimet ja aurinkolatausautomaatiikan. Tällä kokoonpanolla rakennuksen lämmitys hoidetaan ensisijaisesti aina lämpöpumpulla ja öljylämmityskattila varmistaa riit-

tävän lämmön lämmitysverkostoon tarvittaessa. Keväästä syksyyn järjestelmä hyödyn-
tää aurinkokeräimillä hankittua lämpöä käyttöveden lämmittämiseen molempiin raken-
nuksiin.

Rakennuksen A nykyinen energiatehokkuusluokka on F ja rakennuksen B on E. Muu-
tosten vaikutukset energian kulutukseen on esitetty edellä yksittäin ja oheisessa taulu-
kossa yhdessä. Muutosten takaisinmaksuaikaa tai taloudellista kannattavuutta ei ole
lähdetty tässä työssä tarkemmin laskemaan. Energian hinnan muutoksia ei pystytä
luotettavasti arvioimaan järjestelmien käyttöiän ajalle. Tämän lisäksi osa rakennustek-
nisistä muutoksista on rakennuksen käytettävyyden säilymiseksi pakko tehdä.

Taulukko 14. Rakennusteknisten muutosten vaikutus energian kulutukseen

	Muutos ostoenergian kulutuksessa	Muutos kokonaisenergian kulutuksessa
Toimenpide	kWh/a	kWh/(m ² a)
Yläpohjan lisäeristäminen	3 063	33
Ikkunoiden vaihtaminen	7 065	77
Ovien vaihto	427	5
Ulkoseinän eristerappaus	3 063	33
Alapohjan remontointi	3 090	33

Taulukko 15. Ostoenergian määrä, kokonaisenergiankulutus ja E-lukuluokka eri taloteknisillä
vaihtoehtoilla suunniteltujen rakennusteknisten muutosten jälkeen

Tuottotapa	E-luku A rakennus kWh _E /(m ² a)	E-lukuluokka A rakennus	E-luku B rakennus kWh _E /(m ² a)	E-lukuluokka B rakennus
Kaukolämpö	219	D	284	E
Öljylämmityksen saneeraus	327	E	335	E
Suorasähkö	378	F	335	E
Ilmavesilämpöpumppu	226	D	255	D
Öljy + aurinkokeräimet	305	E	335	E
Öljy + ilmavesilämpöpump- pu + aurinkokeräimet	212	D	255	D
Öljy + ilmavesilämpöpump- pu + aurinkokeräimet sekä LTO	227	D	255	D

6 Pohdinta

Insinööriyössä tutkittiin ja selvitettiin Kiinteistö Oy Lohjan Hietäistenkatu 6 rakennusten nykyrakenteiden ja lämmöntuotantojärjestelmien vaikutusta energian kulutukseen sekä E-lukuun. Tutkimusmateriaali hankittiin tutustumalla sekä rakennusten suunnitelmiin että itse rakennuksiin paikan päällä. Laskennallinen energian kulutus selvitettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman D5/2012 -laskentaohjeilla. Laskennan työkaluna käytettiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaa. Työn tarkoituksena oli selvittää kohteen nykyinen energiankulutus ja E-luku. Toisena tarkoituksena oli selvittää, onko tarkoituksen mukaista yhdistää kiinteistön rakennusten lämmöntuotantojärjestelmiä ja mitä tämä vaikuttaisi rakennusten energiankulutukseen ja E-lukuun. Mielestäni tässä tavoitteessa onnistuttiin.

Työn tuloksena saatiin kohteelle laadittua osia pitkän aikavälin kunnossapitosuunnitelmaan. Tutkimuksen tekemisen aikana ja tulosten perusteella kohteen omistajien kokonaisvaltainen tietämys rakennuksen vaipan rakenteiden ja lämmöntuotantojärjestelmien vaikutuksesta energian kulutukseen parani huomattavasti. Työssä ei otettu kantaa siihen, onko mielekästä käyttää E-lukua rakennusten energiankulutusvertailussa. Lukijan täytyy siis ymmärtää, että rakennuksia voi käyttää energian kulutusmielessä tehotomasti tai tehokkaasti, omasipa rakennus minkä tahansa E-luvun.

Lähteet

- 1 Korjaus- ja energia-avustusohje 2016. Verkkojulkaisu. ARA, Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus 28.1.2016. <<http://www.ara.fi/download/noname/%7B77FDAC80-FE30-4194-8E94-847E3426D85F%7D/115972>>. Luettu 10.10.2016
- 2 Seuna, Sami 2017. Lämmitysjärjestelmän valinta. Verkkodokumentti. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta>. Luettu 11.11.2016
- 3 Pientalon lämmitysjärjestelmät. Opas. Verkkodokumentti. Motiva Oy 2012. <https://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu 10.10.2016
- 4 Asumisen energiankulutus .Suomen virallinen tilasto (SVT). Tilastokeskus. Verkkojulkaisu < http://tilastokeskus.fi/til/asen/2014/asen_2014_2015-11-20_tie_001_fi.html>. Luettu 11.11.2016.
- 5 Kaukolämpö. Verkkodokumentti. Motiva. < <http://www.motiva.fi/kaukolampo>>. Luettu 11.10.2016
- 6 Energiavuosi 2016 – Kaukolämpö.. 14.02.2017. Verkkojulkaisu. Energiateollisuus ry <http://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/tilastot/kaukolampotilastot>. Luettu 29.04.2017
- 7 Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet julkaisu K1/2013. Energiateollisuus Ry.
- 8 Lohjan energiahuolto Oy Loher. 2016. Verkkodokumentti. < <http://www.loher.fi/yritys.asp>>. Luettu 11.10.2016
- 9 Vesikiertoinen patterilämmitys. Verkkodokumentti. Motiva. <http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilan_teeseen_tutustuminen/vesikiertoinen_patterilammitys>. Luettu 11.10.2016
- 10 Sähköntuotanto. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. < <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/sahkontuotanto>>. Luettu 10.10.2016
- 11 Energiavuosi 2016 – sähkö. Energiateollisuus. 23.01.2017. Verkkodokumentti. <http://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2016_-_sahko.html#material-view>. Luettu 29.04.2017
- 12 Opas sähkölämmityksen valintaan. n.d. Verkkodokumentti. Sähkölämmitysfoorumi ry. Sähköinfo Oy. <<http://www.lamminkoti.fi/doc/Sahkolammitysopas.pdf>>. Luettu 11.10.2016

- 13 Sähkölämmitysratkaisut, uudisrakentamiseen ja saneeraukseen. Ensto Finland Oy. 2016. Verkkodokumentti. Esa Print.
<<https://www.ensto.com/globalassets/brochures/heating/finnish/sahkolammitysratkaisut.pdf>> . Luettu 11.10.2016
- 14 Lämpöpumput. 2016. Verkkodokumentti. Sulpu Ry. Verkkodokumentti.
<<http://www.sulpu.fi/lampopumput>>. Luettu 12.11.2016
- 15 Lämpöpumppujen myynti kiihtyy. Sulputiedottaa. Sulpu Ry. Verkkodokumentti.
<http://www.sulpu.fi/-/lampopumppujen-myynti-kiihtyy?redirect=http%3A%2F%2Fwww.sulpu.fi%2Fhome%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_WAsJkplJYlg7%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3D_118_INSTANCE_F80iMVThU0Yx__column-1%26p_p_col_count%3D1>. Luettu 8.5.2017
- 16 Rakennusten lämmitys. 2006. LVI 11-10397. Rakennustietosäätiö RTS.
- 17 Lämpöpumput. 2002. LVI 11-10332. Rakennustietosäätiö RTS.
- 18 Öljylämmityslaitteisto. Öljysäiliön, lämmityskattilan ja keskuslämmitysyksikön sijoitus. 1988. LVI 11-1009.1 Rakennustietosäätiö RTS.
- 19 Ilma-vesilämpöpumpun ostajan opas. Robert Bosch Oy/Bosch Termotekniikka. 20.3.2015
- 20 Öljylämmitys. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/oljyllumitys> Luettu 13.10.2016
- 21 Auringosta lämpöä ja sähköä. Verkkodokumentti. Motiva.
<[www.motiva.fi/files/10585/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_\(2014\).pdf](http://www.motiva.fi/files/10585/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_(2014).pdf)>. Luettu 13.10.2016
- 22 Innanen Seppo. 2014. Aurinkoenergia. Energiatuotanto. Metropolia kurssimateriaali. 18.08.2014.
- 23 Kodin tulisijat. Verkkodokumentti. Motiva.
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/puulammitys_kiinteist_oissa/kodin_tulisijat>. Luettu 13.11.2016
- 24 Alakangas Eija, Erkkilä Ari, Oravainen Heikki. Tehokas ja ympäristöä säästävä tulisijalämmitys Polttopuun tuotanto ja käyttö. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Jyväskylä 2008. Verkkojulkaisu.
<https://www.motiva.fi/files/8619/Tehokas_ja_ymparistoa_saastava_tulisijalammitys_Polttopuun_tuotanto_ja_kaytto.pdf>. Luettu 13.11.2016

- 25 Ikkunat. Verkkodokumentti. Motiva.
<<http://www.eneuvonta.fi/remontoi/ikkunat#234>>. Luettu 13.11.2016
- 26 Esimerkki poistoilma ja ilma-vesilämpöpumpun D5:n mukaisesta laskennasta. 2016. Verkkodokumentti. Opas. Ympäristöministeriö.
<<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BA6F54B63-84A3-4E34-BDCA-802AF6BFA579%7D/122494>>. Luettu 13.11.2016.
- 27 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Asunto- ja rakennusosasto. Ympäristöministeriön moniste 122. Helsinki 2003
- 28 Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi – laskentaopas. Järjestelmien lämpöhäviöiden laskenta ja hyötysuhteiden määrittäminen. 2011. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BCA99FFCB-627B-48C8-8EB0-607F36B178A5%7D/30751>>. Luettu 14.11.2016.
- 29 Energiatodistuksen kokonaisenergiankulutuksen (E-luvun) määrittäminen. Ympäristöministeriön asetus 176. 2013. liite 1.
- 30 Energiatodistuksen laadintaesimerkki omakotitalo vuodelta 2000. 2013. Verkkodokumentti. Energiatodistusoppaan 2013 liite. Ympäristöministeriö.
<<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B7914FF3C-FC90-4592-B700-756808469561%7D/92655>>. Luettu 13.11.2016.
- 31 Energiatodistuksen laadintaesimerkki Uudispientalo. 2013. Verkkodokumentti. Energiatodistusoppaan 2013 liite. Ympäristöministeriö.
<<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B12A384F1-CA13-4586-8DFC-5BC1626E1CF5%7D/91510>>. Luettu 16.11.2016.
- 32 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. Ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto.
- 33 Heinonen Ismo. 2011. Aurinko-opas 2012. Aurinkolämmön ja -sähkön energiantuoton laskennan opas.

1 Energian tarve laskelmien kulku D5/2012 mukaan

Laskennan kulku ja tulokset on esitetty tässä työssä taulukkoina ja yhtälöinä. Taulukoissa on esitetty eriteltynä vuoden kaikkien kuukausien laskentatulokset ja yhtälöinä yhden tai useamman esimerkkikuukauden laskentatulokset sekä koko vuotta koskevat laskentatulokset. Yhtälöissä käytetyt merkinnät noudattavat rakentamismääräyskokoelman osan D5/2012 merkintöjä. Laskelmien esimerkki kuukautena käytetään pääasiallisesti tammikuuta. Jos kuukauden laskennan kulku poikkeaa tammikuusta, on se myös esitetty yhtälömuodossa.

2 Rakennuksen A tiedot

2.1 Perustiedot rakennus A

Taulukko 1. Perustiedot rakennus A

Perustiedot		Lähde
Sijaintipaikkakunta	Lohja	
Rakennusluvan vireilletulovuosi	1972	rakennuksen asiakirjat
Valmistumisvuosi	1974	rakennuksen asiakirjat
Laskennan säävyöhyke	D3/2012 vyöhyke I (Helsinki-Vantaa)	YM asetus 176/2013, liite 1, kohta 2.1
Käyttötarkoitukseluokka	erilliset pientalot, yhden asunnon talot	suunnitteluratkaisu, YM asetus 176/2013, liite 2
Kerrosten lukumäärä	yksi	rakennuksen asiakirjat, havainnointi paikanpäällä
Alapohjan tyyppi	maanvarainen betonilaatta	rakennuksen asiakirjat, havainnointi paikanpäällä
Rakennetyyppi	D5/2012 taulukko 5.6: pientalot, raskasrakenteine	rakennuksen asiakirjat, havainnointi paikanpäällä

Taulukko 2. Tilojen lämmitysjärjestelmä rakennus A

Tilojen lämmitysjärjestelmä		Lähde
Lämmöntuottojärjestelmä	Öljykattila	rakennuksen asiakirjat, havainnointi paikanpäällä
Lämmönjakojärjestelmä	vesikiertoinen patterilämmitys	rakennuksen asiakirjat, havainnointi paikanpäällä
Patterilämmityksen meno- ja paluuveden mitoitus- lämpötila	menovesi 70 °C paluuvesi 40 °C	havainnointi paikanpäällä
Lämmitysjärjestelmän puskurivaraajan tilavuus	ei varaajaa	havainnointi paikanpäällä

Taulukko 3. Käyttövesijärjestelmä rakennus A

Käyttövesijärjestelmä		Lähde
Lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmä	Öljykattila	suunnitteluratkaisu
Lämpimän käyttöveden varaaja	ei varaajaa	suunnitteluratkaisu
Lämpimän käyttöveden kierto	ei ole	havainnointi paikanpäällä
Lämpimän käyttöveden kierron lämmityslaitteet	ei ole	havainnointi paikanpäällä
Lämpimän käyttöveden siirtoputkien eristys	YM asetus 176/2013 liite 1 taulukko 5: ei kiertoa, eristämätön	havainnointi paikanpäällä

Taulukko 4. Ilmanvaihtojärjestelmä rakennus A

Ilmanvaihtojärjestelmä		Lähde
Ilmanvaihtojärjestelmä	painovoimainen	havainnointi paikanpäällä

2.2 Laskentasuureet

Taulukko 5. Perussuureet rakennus A

Suure	Arvo	Yksikkö	Lähde	Merkintä
Lämmitetty nettoala	142,44	m ²	mitattu	A _{netto}
Sisälämpötila	21,0	°C	D3/2012 taulukko 2 (Eri- nen pientalo sekä rivi- ja ket- jutalo)	T _s
Alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero	5,0	°C	D5/2012 kohta 3.2.4	ΔT _{maa,vuosi}
Rakennusvaipan ilmanvuotoluku	4,0	m ³ /(h m ²)	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 4	q ₅₀
Ilmanvuotoluvun yhtälön kerroin	35	-	D3/2012 kaava 5 (D5/2012 kaava 3.9)	x
Rakennuksen tehollisen lämpökapasiteetin ominai- sarvo	110	Wh/(m ² K)	D5/2012 taulukko 5.6: pientalot, keskiraskas I	C _{rak,omn}

Taulukko 6. Rakennusosat rakennus A

RAKENNUSOSAT	U W/(m ² °C)	A m ²	T_u °C	UA W/°C
Ulkoseinä ulkoilmaan	0,47	105,94	Ulkolämpötila	49,79
Ulkoseinä puolilämpimään tilaan	0,47	5,61	Puolilämmin tila	2,64
Yläpohja	0,22	142,44	Ulkolämpötila	31,34
Alapohja	0,40	142,44	Maaperä	56,98
Ikkunat	2,80	24,00	Ulkolämpötila	67,20
Ovet	1,00	7,75	Ulkolämpötila	7,75
Yhteensä (= rakennusvaipan pinta-ala)		428,18		

Pinta-alat perustuvat sisämittoihin.

Taulukko 7. Kylmäsillat rakennus A

KYLMÄSILLAT	L m	ψ W/(m °C)	T_u °C	$L\psi$ W/°C
Ulkoseinän ja yläpohjan liitos	53,84	0,04	Ulkolämpötila	2,15
Ulkoseinän ja alapohjan liitos	53,84	0,17	Ulkolämpötila	9,15
Ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	10,00	0,05	Ulkolämpötila	0,50
Ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	0	-0,04	Ulkolämpötila	0,00
Ikkunaliitos	59,44	0,04	Ulkolämpötila	2,38
Oviliitos	24,14	0,04	Ulkolämpötila	0,97
Yhteensä				15,15

Taulukko 8. Lämmitysjärjestelmä rakennus A

Suure	Arvo	Yksikkö	Lähde	Merkintä
Lämmönjakojärjestelmän vuosihyötysuhde	0,80	-	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 9: vesiradiaattori 70/40 °C, jakojohdot eristämätön	$\eta_{\text{lämmitys, tilat}}$
Lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus	2,0	kWh/(m ² a)	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 9: vesiradiaattori 70/40 °C, jakojohdot eristämätön	e_{tilat}

Taulukko 9. Käyttövesijärjestelmä rakennus A

Suure	Arvo	Yksikkö	Lähde	Merkintä
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve	35	kWh/(m ² a)	D3/2012 taulukko 5, YM asetus 5/13 huomioiden	
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeen yläraja	4200	kWh/a	D3/2012 taulukko 5, YM asetus 5/13 huomioiden	
Lämpimän käyttöveden varastoinnin vuotuinen lämpöhäviö	0	kWh/a	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 8	Q _{lkv, varastointi}
Lämpimän käyttöveden jakelun (siirron) hyötysuhde	0,75	-	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 5: erillinen pientalo sekä rivija ketjutalot: ei kiertoa, eristämätön	η _{lkv, siirto}
Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviö	0	kWh/a	ei kiertajohtoa	Q _{lkv, kierto}

Taulukko 10. Ilmanvaihtojärjestelmä rakennus A

Suure	Arvo	Yksikkö	Lähde	Merkintä
Ilmanvaihtokoneen lämmön talteenoton poistoilman vuosihyötysuhde	0,71	-	Valmistajan ilmoittama arvo (YM Monisteen 122 mukaisesti lasketuna)	η _{a, ivkone}
Ilmanvaihdon poistoilmavirta (E-luvun laskennassa)	57,0	L/s	D3/2012 taulukko 2	q _{v, poisto}
Ilmanvaihdon tuloilmavirta (E-luvun laskennassa)	57,0	L/s	D3/2012 luku 3.2 (tulo- ja poistoilmavirrat yhtä suurina)	q _{v, tulo}
Ilmanvaihtokoneen sähköteho käytönajan tehostamattomilla ilmavirroilla	134	W	valmistajan ilmoittama arvo	
Ilmanvaihdon käytönajan tehostamaton poistoilmavirta (SFP-luvun laskennassa)	67	L/s	suunnitteluratkaisu	q _{v, poisto}
Ilmanvaihdon käytönajan tehostamaton tuloilmavirta (SFP-luvun laskennassa)	62	L/s	suunnitteluratkaisu	q _{v, tulo}
Tuloilman sisänpuhalluslämpötila	17	°C	suunnitteluratkaisu	T _{sp}
Lämpötilan nousu tuloilmapuhaltimessa	0,5	°C	D5/2012 luku 3.4	ΔT _{puhallin}
Ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käyntiaikasuhde h/(24 h)	1,0	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	t _d
Ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde vrk/(7 vrk)	1,0	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	t _v

Taulukko 11. Kuluttajalaitteet, valaistus ja lämpökuormat rakennus A

Suure	Arvo	Yksikkö	Lähde	Merkintä
Rakennuksen viikoittainen käyttöaikasuhte h/(24 h)	1,0	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-
Rakennuksen kuukausittainen käyttöaikasuhte vrk/(7 vrk)	1,0	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-
Kuluttajalaitteiden ominaisteho	3	W/m ²	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-
Kuluttajalaitteiden käyttöaste	0,6	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-
Valaistuksen ominaisteho	8	W/m ²	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-
Valaistuksen käyttöaste	0,1	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-
Lämpökuorma ihmisistä	2	W/m ²	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-

Taulukko 12. Ikkunat rakennus A

Suure	Yksikkö	Po	It	Et	Lä	Lähde	Merkintä
Pinta-ala (puite- ja karmirakenteineen)	m ²	2,55	10,1	1,85	9,5	havainnointi paikalla	A_{ikk}
Valoaukon auringon säteilyn kokonaisläpäisykerroin	-	0,675	0,675	0,675	0,675	havainnointi paikalla.	g
Kehäkerroin	-	0,75	0,75	0,75	0,75	D5/2012 kohta 5.3.4 oletusarvo	$F_{kehä}$
Verhokerroin	-	0,30	0,30	0,30	0,30	havainnointi paikalla.	F_{verho}
Yläpuolisten varjostuksen korjauskerroin	-	1	1	1	1	havainnointi paikalla. ei yläpuolista varjostusta	$F_{ylävarjostus}$
Sivubarjostuksen korjauskerroin	-	1	1	1	1	havainnointi paikalla: ei sivubarjostusta	$F_{sivubarjostus}$
Ympäristökerroin	-	D5/2012 taulukko 5.3 kulmalla 15°				havainnointi paikalla	$F_{ympäristö}$

3 Rakennuksen B tiedot

3.1 Perustiedot rakennus B

Taulukko 13. Perustiedot rakennus B

Perustiedot		Lähde
Sijaintipaikkakunta	Lohja	
Rakennusluvan vireilletulovuosi	1929, siirretty nykyiselle paikalle 1950 alussa. Remontoitu täysin 2013	rakennuksen asiakirjat, käyttäjien haastattelu
Valmistumisvuosi	1929/1950/2013	rakennuksen asiakirjat
Laskennan säävyöhyke	D3/2012 vyöhyke I (Helsinki-Vantaa)	YM asetus 176/2013, liite 1, kohta 2.1
Käyttötarkoitusluokka	erilliset pientalot, yhden asunnon talot	suunnitteluratkaisu, YM asetus 176/2013, liite 2
Kerrosten lukumäärä	kaksi	rakennuksen asiakirjat, havainnointi paikalla
Alapohjan tyyppi	Tuuletettu puurakenteinen ns. rossipohja	rakennuksen asiakirjat, havainnointi paikalla
Rakennetyyppi	D5/2012 taulukko 5.6: pientalot, keskiraskas I	rakennuksen asiakirjat, havainnointi paikalla

Taulukko 14. Tilojen lämmitysjärjestelmä rakennus B

Tilojen lämmitysjärjestelmä		Lähde
Lämmöntuottojärjestelmä	Suorasähkölämmitys	rakennuksen asiakirjat, havainnointi paikanpäällä
Lämmönjakojärjestelmä	Huonekohtaiset patterit	rakennuksen asiakirjat, havainnointi paikanpäällä

Taulukko 15. Käyttövesijärjestelmä rakennus B

Käyttövesijärjestelmä		Lähde
Lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmä	Lämminvesivaraaja	suunnitteluratkaisu
Lämpimän käyttöveden varaaja	100 L (50 mm eristys)	suunnitteluratkaisu
Lämpimän käyttöveden kierto	ei ole	havainnointi paikanpäällä
Lämpimän käyttöveden kierron lämmityslaitteet	ei ole	havainnointi paikanpäällä
Lämpimän käyttöveden siirtoputkien eristys	YM asetus 176/2013 liite 1 taulukko 5: ei kiertoa, suojaputkessa	havainnointi paikanpäällä

Taulukko 16. Ilmanvaihtojärjestelmä rakennus B

Ilmanvaihtojärjestelmä		Lähde
Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen poistoilmanvaihto	havainnointi paikanpäällä

3.2 Laskentasuureet

Taulukko 17. Perussuureet rakennus B

Suure	Arvo	Yksikkö	Lähde	Merkintä
Lämmitetty nettoala	73,27	m ²	mitattu	A _{netto}
Sisälämpötila	21,0	°C	D3/2012 taulukko 2 (Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo)	T _s
Alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero	5,0	°C	D5/2012 kohta 3.2.4	ΔT _{maa,vuosi}
Rakennusvaipan ilmanvuotoluku	4,0	m ³ /(h m ²)	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 4	q ₅₀
Ilmanvuotoluvun yhtälön kerroin	24	-	D3/2012 kaava 5 (D5/2012 kaava 3.9)	x
Rakennuksen tehollisen lämpökapasiteetin ominaisarvo	110	Wh/(m ² K)	D5/2012 taulukko 5.6: pientalot, keskiraskas II	C _{rak,omn}

Taulukko 18. Rakennusosat rakennus B

Rakennusosat	U W/(m ² °C)	A m ²	T_u °C	UA W/°C
Ulkoseinä ulkoilmaan	0,25	96,13	Ulkolämpötila	24,30
Yläpohja	0,16	38,26	Ulkolämpötila	6,12
Alapohja	0,14	27,36	Maaperä	3,83
Alapohja, sauna ja pesutilat	0,21	7,56	Maaperä	1,59
Ikkunat	1,00	10,56	Ulkolämpötila	10,56
Ovet	1,00	1,89	Ulkolämpötila	1,89
Yhteensä (= rakennusvaipan pinta-ala)		181,76		48,02

Pinta-alat perustuvat sisämittoihin.

Taulukko 19. Kylmäsiilat rakennus B

Kylmäsiilat	L m	Ψ W/(m °C)	T_u °C	$L\Psi$ W/°C
Ulkoseinän ja yläpohjan liitos	25,44	0,04	Ulkolämpötila	1,0175
Ulkoseinän ja alapohjan liitos	15,74	0,09	Ulkolämpötila	1,4166
Ulkoseinän ja alapohjan liitos, sauna ja pesuhuone	9,74	0,28	Ulkolämpötila	2,7272
Ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	18,80	0,05	Ulkolämpötila	0,9400
Ikkunaliitos	33,69	0,04	Ulkolämpötila	1,3476
Oviliitos	6,04	0,04	Ulkolämpötila	0,2416
Yhteensä				7,6905

Taulukko 20. Lämmitysjärjestelmä rakennus B

Suure	Arvo	Yksikkö	Lähde	Merkintä
Lämmönjakojärjestelmän vuosihyötysuhde	0,80	-	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 9: vesiradiaattori 70/40 °C, jakojohdot eristämätön	$\eta_{\text{lämmitys, tilat}}$
Lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus	2,0	kWh/(m ² a)	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 9: vesiradiaattori 70/40 °C, jakojohdot eristämätön	e_{tilat}

Taulukko 21. Käyttövesi rakennus B

Suure	Arvo	Yksikkö	Lähde	Merkintä
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve	35	kWh/(m ² a)	D3/2012 taulukko 5, YM asetus 5/13 huomioiden	
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve	2 217,60	kWh/a	D3/2012 taulukko 5, YM asetus 5/13 huomioiden	
Lämpimän käyttöveden varastoinnin vuotuinen lämpöhäviö	640	kWh/a	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 8	Q _{lqv,varastointi}
Lämpimän käyttöveden jakelun (siirron) hyötysuhde	0,85	-	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 5: erillinen pientalo sekä rivija ketjutalot: ei kiertoa, suojaputkessa	η _{lqv, siirto}
Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviö	0	kWh/a	ei kiertojohtoa	Q _{lqv, kierto}

Taulukko 22. Kuluttajalaitteet, valaistus ja lämpökuormat rakennus B

Suure	Arvo	Yksikkö	Lähde	Merkintä
Rakennuksen viikoittainen käyttöaikasuhde h/(24 h)	1,0	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-
Rakennuksen kuukausittainen käyttöaikasuhde vrk/(7 vrk)	1,0	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-
Kuluttajalaitteiden ominaisteho	3,0	W/m ²	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-
Kuluttajalaitteiden käyttöaste	0,6	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-
Valaistuksen ominaisteho	8,0	W/m ²	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-
Valaistuksen käyttöaste	0,1	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-
Lämpökuorma ihmisistä	2	W/m ²	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3	-

Taulukko 23 Ikkunat rakennus B

Suure	Yksikkö	Po	It	Et	Lä	Lähde	Merkintä
Pinta-ala (puite- ja karmirakenteeseen)	m ²	1,02	6,99	1,08	1,51	havainnointi paikanpäällä	A_{ikk}
Valoaukon auringon säteilyn kokonaisläpäisykerroin	-	0,585	0,585	0,585	0,585	havainnointi paikanpäällä.	g
Kehäkerroin	-	0,75	0,75	0,75	0,75	D5/2012 kohta 5.3.4 oletusarvo	$F_{kehä}$
Verhokerroin	-	0,30	0,30	0,30	0,30	havainnointi paikanpäällä.	F_{verho}
Yläpuolisten varjostuksen korjauskerroin	-	1,0	1,0	1,0	1,0	havainnointi paikanpäällä. ei yläpuolista varjostusta	$F_{ylävarjostus}$
Sivubarjostuksen korjauskerroin	-	1,0	1,0	1,0	1,0	havainnointi paikanpäällä: ei sivubarjostusta	$F_{sivubarjostus}$
Ympäristökerroin	-	D5/2012 taulukko 5.3 kulmalla 15°				havainnointi paikanpäällä	$F_{ympäristö}$

4 Kuluttajalaitteiden, valaistuksen ja ilmanvaihdon puhaltimien sähkönkulutus

Kuluttajalaitteiden, valaistuksen ja ilmanvaihdon puhaltimien aiheuttamaa lämpökuormaa tarvitaan tilojen lämmitysenergian tarpeen laskennassa, siksi niiden sähkönkulutuksen laskenta esitetään tässä luvussa ennen lämmitysenergian tarpeen ja -järjestelmien laskentaa.

Kuluttajalaitteiden, valaistuksen ja ilmanvaihdon puhaltimien laskennassa noudatetaan rakentamismääräyskokoelman osan D3/2012 luvussa 3 annettuja määräyksiä. Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutuksen laskennassa käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D3/2012 taulukossa 3 annettuja lämmitettyyn nettoalaan suhteutettuja ominaisarvoja. Laskennassa huomioidaan lisäksi D3/2012 taulukossa 3 esitetty käyttöaika ja käyttöaste. Käyttöaika kertoo, kuinka monta tuntia vuorokaudessa ja kuinka monta päivää viikossa rakennusta käytetään. Näiden tulona saadaan edelleen kuukausittainen käyttöaika eli käyttöajan osuus kuukauden tuntien kokonaismäärästä. Pientalon käyttöaika on 24 tuntia vuorokaudessa seitsemänä päivänä viikossa. Käyttötuntien osuudeksi kuukauden tunneista saadaan siis

D3/2012 taulukosta 3

$$\begin{pmatrix} \text{käyttötuntien} \\ \text{osuus} \\ \text{kuukauden} \\ \text{tunneista} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{käyttötuntien} \\ \text{osuus} \\ \text{vuorokauden} \\ \text{tunneista} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{käyttöpäivien} \\ \text{osuus} \\ \text{viikon} \\ \text{päivistä} \end{pmatrix}$$

koko vuosi

$$\begin{pmatrix} \text{käyttötuntien} \\ \text{osuus} \\ \text{kuukauden} \\ \text{tunneista} \end{pmatrix} = \frac{24 \text{ h}}{24 \text{ h}} * \frac{7 \text{ vrk}}{7 \text{ vrk}} = 1 = 100\%$$

Rakennus on siis käytössä kuukauden jokaisena tuntina. Käyttöaste on se osuus rakennuksen kuukausittaisesta käyttöajasta, jona laitteet ja valaistus ovat päällä. Rakennuksen laitteiden käyttöaste on 0,6 eli laitteiden oletetaan olevan päällä 60 % rakennuksen käyttöajasta (60 % kuukauden tunneista). Rakennuksen valaistuksen käyttöaste on 0,1, eli valaistuksen oletetaan olevan päällä 10 % rakennuksen käyttöajasta (10 % kuukauden tunneista).

4.1 Kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus

Kuluttajalaitteiden sähköenergiankulutuksen laskennassa käytetään D3/2012 taulukossa 3 annettua lämmitettyyn nettoalaan suhteutettua kuluttajalaitteiden ominaissähkötehoa. Taulukosta ominaissähkö tehoksi saadaan 3 W/m². Rakennuksen lämmitetty nettoala on talossa A 142,44 m², joten kuluttajalaitteiden tehoksi saadaan

D3/2012 taulukosta 3

$$\begin{pmatrix} \text{laitteiden} \\ \text{teho} \end{pmatrix} = 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * A_{\text{netto}}$$

teho

$$\begin{pmatrix} \text{laitteiden} \\ \text{teho} \end{pmatrix} = 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 142,44 \text{ m}^2 = 427,32 \text{ W}$$

Tällä teholla kuluttajalaitteiden siis oletetaan kuluttavan sähköenergiaa ja lämmittävän rakennuksen tiloja silloin, kun ne ovat päällä D3/2012 taulukossa 3 esitetynä käyttöaikana. Sähköenergian laskennassa huomioidaan käyttöaika (käyttötuntien osuus kuukauden tunneista) ja käyttöaste. Kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutukseksi saadaan A taloon näin tammikuussa

D3/2012 taulukon
3 arvo jaettuna
kuukausittain

$$W_{\text{kuluttajalaitteet}} = \frac{\left(\begin{smallmatrix} \text{laitteiden} \\ \text{teho} \end{smallmatrix}\right)}{1000} * \left(\begin{smallmatrix} \text{käyttötuntien} \\ \text{osuus} \\ \text{kuukauden} \\ \text{tunneista} \end{smallmatrix}\right) * \left(\begin{smallmatrix} \text{laitteiden} \\ \text{käyttöaste} \end{smallmatrix}\right) * \left(\begin{smallmatrix} \text{kuukauden} \\ \text{tuntien} \\ \text{lukumäärä} \end{smallmatrix}\right)$$

tammikuu $W_{\text{kuluttajalaitteet}} = \frac{(427,32)}{1000} * 1 * 0,6 * 744 = 190,76 \text{ kWh}$

4.2 Valaistuksen sähköenergian kulutus

Valaistuksen sähkönkulutuksen laskennassa käytetään D3/2012 taulukossa 3 annettua lämmitettyyn nettoalaan suhteutettua valaistuksen ominaissähkötehoa. Taulukosta ominaissähkötehoksi saadaan 8 W/m^2 . Rakennuksen A lämmitetty nettoala on $142,44 \text{ m}^2$, joten valaistuksen tehoksi saadaan

D3/2012 taulukosta 3

$$\left(\begin{smallmatrix} \text{valaistuksen} \\ \text{teho} \end{smallmatrix}\right) = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * A_{\text{netto}}$$

$$\left(\begin{smallmatrix} \text{valaistuksen} \\ \text{teho} \end{smallmatrix}\right) = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 142,44 \text{ m}^2 = 1139,52 \text{ W}$$

Tällä teholla valaistuksen siis oletetaan kuluttavan sähköenergiaa ja lämmittävän rakennuksen tiloja silloin, kun valaistus on päällä D3/2012 taulukossa 3 esitettyinä käyttöaikana. Sähköenergian laskennassa huomioidaan käyttöaika (käyttötuntien osuus kuukauden tunneista) ja käyttöaste. Valaistuksen sähköenergian kulutukseksi saadaan näin tammikuussa

D3/2012 taulukosta 3

$$W_{\text{valaistus}} = \frac{\left(\frac{\text{valaistuksen teho}}{1000}\right) * \left(\frac{\text{käyttötuntien osuus kuukauden tunneista}}{\text{kuukauden tunneista}}\right) * \left(\frac{\text{valaistuksen käyttöaste}}{\text{käyttöaste}}\right) * \left(\frac{\text{kuukauden tuntien lukumäärä}}{\text{tuntien lukumäärä}}\right)$$

tammikuu

$$W_{\text{valaistus}} = \frac{1139,52}{1000} * 1 * 0,1 * 744 = 84,78 \text{ kWh}$$

4.3 Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien sähköenergian kulutus

Ilmanvaihtojärjestelmän sähkökulutus lasketaan D5/2012 kaavalla 7.1. Kaavassa tarvittava ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho (SFP-luku) lasketaan D5/2012 kaavalla 7.2. Ominaissähköteho lasketaan rakennuksen käytönajan tehostamattomilla suunnitteluilmavirroilla, vaikka muuten E-luvun laskennassa käytetäänkin rakentamismääräyskokoelman osassa D3/2012 määriteltäviä ilmavirtoja. Kummassakaan kohde rakennuksessa ei ole lähtötilanteessa lämpökuormaa rakennukseen tuottavaa ilmanvaihtojärjestelmää. Talo A on varustettu painovoimaisella ilmanvaihdolla ja talo B on varustettu poisto ilmanvaihtokoneella, joten alkutilanteesta ei ole laskelmaa tehty. Saneerausvaihtoehtoja vertaillen on nämä laskelmat tehty.

Ilmanvaihtokoneen valmistajan ilmoittama sähköteho on 134 W suunnitelluilla käyttöajan tehostamattomilla ilmavirroilla ja painetasoilla. Rakennuksen suunniteltu käyttöajan tehostamaton poistoilmavirta on 0,0485 m³/s. SFP-luvuksi saadaan näin

D5/2012 kaava 7.2

$$SFP = \frac{P_{\text{puh}}}{q_{v,\text{poisto}}}$$

kokovuosi

$$SFP = \frac{0,134}{0,0485} = 2,76 \text{ kW}/\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$$

Ilmanvaihtojärjestelmän sähkökulutuksen laskennassa käytetään rakentamismääräyskokoelman osassa D3/2012 määriteltäviä ilmavirtoja ja käyntiaikoja. Tämän rakennustyyppin ilmanvaihto on aina päällä. Sähkökulutukseksi saadaan näin

D5/2012 kaava 7.1

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = SFP * q_{v,poisto} \Delta t$$

koko vuosi

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = 2,76 * 0,0570 * 8760 = 1379,55 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmässä ei ole muuta sähkönkulutusta.

4.4 Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus yhteensä

Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähköenergian kulutukset on esitetty taulukossa 14. Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönenergian kulutus lämmittävät huoneilmaa. Tämä huomioidaan luvussa 4.4.1 lämpökuormien laskennassa.

Taulukko 24. Rakennus A kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus

Talo A	Kuluttajalaitteet	Valaistus	Yhteensä
Kuukausi	<i>W</i> kuluttajalaitteet kWh	<i>W</i> valaistus kWh	kWh
Tammikuu	190,76	84,78	275,54
Helmikuu	172,30	76,58	248,87
Maaliskuu	190,76	84,78	275,54
Huhtikuu	184,60	82,05	266,65
Toukokuu	190,76	84,78	275,54
Kesäkuu	184,60	82,05	266,65
Heinäkuu	190,76	84,78	275,54
Elokuu	190,76	84,78	275,54
Syyskuu	184,60	82,05	266,65
Lokakuu	190,76	84,78	275,54
Marraskuu	184,60	82,05	266,65
Joulukuu	190,76	84,78	275,54
Koko vuosi	2 245,99	998,22	3 244,21

Taulukko 25. Rakennus B kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus

Talo B Kuukausi	Kuluttajalaitteet	Valaistus	Yhteensä
	<i>W</i> kuluttajalaitteet kWh	<i>W</i> valaistus kWh	kWh
Tammikuu	84,85	37,71	122,56
Helmikuu	76,64	34,06	110,70
Maaliskuu	84,85	37,71	122,56
Huhtikuu	82,11	36,50	118,61
Toukokuu	84,85	37,71	122,56
Kesäkuu	82,11	36,50	118,61
Heinäkuu	84,85	37,71	122,56
Elokuu	84,85	37,71	122,56
Syyskuu	82,11	36,50	118,61
Lokakuu	84,85	37,71	122,56
Marraskuu	82,11	36,50	118,61
Joulukuu	84,85	37,71	122,56
Koko vuosi	999,06	444,3	1 443,09

5 Lämmitysenergian tarve

5.1 Lämmin käyttövesi

5.1.1 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D3/2012 taulukon 5 arvoja käyttäen. Taulukossa esitetään rakennuksen nettoalaan suhteutettu lämpimän käyttöveden nettoenergiantarve vuodessa. Taulukosta energiantarpeeksi saadaan 35 kWh/(m² a). Talon A lämmitetty nettoala on 142,44 m², joten lämpimän käyttöveden nettoenergiantarpeeksi saadaan vuodessa yhteensä

D3/2012 taulukosta 5

$$Q_{lkv,netto} = 35 \frac{kWh}{m^2 a} * A_{netto}$$

Koko vuosi

$$Q_{lkv,netto} = 35 \frac{kWh}{m^2 a} * 142,44 m^2 = 4 985,40 \frac{kWh}{a}$$

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve ylittää nyt rakentamismääräyskokoelman osan D3/2012 kohdassa 3.4.1 esitetyn rakennusluokkakohtaisen ylärajan 4200 kWh/a (YM asetus 5/13)³. Käyttöveden lämmitysenergian nettotarve asetetaan siten yhtä suureksi, kuin lämmitysenergian rakennusluokkakohtainen yläraja

$$D3/2012 \text{ kohta } 3.4.1 \quad Q_{lkv,netto} = 4200 \frac{kWh}{a}$$

Talon B lämmitetty nettoala on 73,27 m², joten lämpimän käyttöveden nettoenergian tarpeeksi saadaan vuodessa yhteensä

$$D3/2012 \text{ taulukosta } 5 \quad Q_{lkv,netto} = 35 \frac{kWh}{m^2 a} * A_{netto}$$

$$Koko \text{ vuosi} \quad Q_{lkv,netto} = 35 \frac{kWh}{m^2 a} * 73,27 \text{ m}^2 = 2\,564,58 \frac{kWh}{a}$$

³ D3:n muutos, ympäristöministeriön asetus 5/2013 (annettu 27.2.2013, astuu voimaan 1.6.2013).

5.1.2 Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpöhäviöt

5.1.2.1 Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöt

Rakennuksissa ei ole lämpimän käyttöveden kiertojohtoja, joten kiertojohtoon lämpöhäviöitä ei ole.

$$Q_{lkv,kierto} = 0 \frac{kWh}{a}$$

5.1.2.2 Lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöt

Lämpimän käyttöveden varastoinnin häviöt saadaan energiatodistusasetuksen (YM asetus 176/2013) liitteen 1 taulukosta 8. Talo A:ssa on öljykattilassa vesitila mutta ei varsinaista varaa-jaa. Talo B käyttövesivaraajan tilavuus on 100 dm³ ja siinä on 40 mm eriste. Lämpimän käyttöveden varastoinnin häviöksi saadaan siten arvo 640 kWh/a

YM asetuksen 176/2013

liitteen 1 taulukosta 8

$$Q_{lkv,varastointi} = 640 \frac{kWh}{a}$$

Lämpimän käyttöveden varastoinnin häviöt voidaan jakaa kuukausittaisiksi häviöiksi kuukausien pituuden perusteella. Käyttöveden varastoinnin häviöiksi saadaan siten esimerkiksi tammikuussa

YM asetuksen 176/2013 liitteen 1 taulukosta 8

$$Q_{lkv,varastointi} = \left(\frac{\text{tunteja kuukaudessa}}{\text{tunteja vuodessa}} \right) * \left(\frac{\text{käyttöveden varastointihäviöt}}{\text{vuodessa}} \right)$$

Tammikuu

$$Q_{lkv,varastointi} = \frac{744}{8760} * 640 = 54,36 kWh$$

5.2 Ilmanvaihto

Koneellisissa poistoilmavaihdon ja painovoimaisen ilmanvaihdon järjestelmissä kaikki tuloilma tulee tilaan korvausilmana. Korvausilman lämmittäminen tapahtuu tilassa, jolloin se lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D5/2012 kohdan 3.5 mukaan kaavalla 3.15. Talo A

kaava D5/2012 kohta 3.5 kaava 3.15 $q_{iv,korvausilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,korvausilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000$

tammikuu $q_{iv,korvausilma} = 1,2 * 1000 * 0,0485 * (21 - (-3,97)) * \frac{744}{1000} = 1080,78 kWh$

Taulukko 26 Talo A Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve

Talo A	Korvausilma	Sisäilman lämpötila	Lämmitysenergian tarve
kuukausi	T_u °C	T °C	Q_{iv} kWh
Tammikuu	-3,97	21	1 080,78
Helmikuu	-4,50	21	996,91
Maaliskuu	-2,58	21	1 020,62
Huhtikuu	4,50	21	691,13
Toukokuu	10,76	21	443,22
Kesäkuu	14,23	21	283,57
Heinäkuu	17,30	21	160,15
Elokuu	16,05	21	214,25
Syyskuu	10,53	21	438,56
Lokakuu	6,20	21	640,59
Marraskuu	0,50	21	858,68
Joulukuu	-2,19	21	1 003,74
Koko vuosi			7 832,19

Taulukko 27 Talo B ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve

Talo B	Korvausilma	Sisäilman lämpötila	Lämmitysenergian tarve
kuukausi	T_u °C	T °C	Q_{iv} kWh
Tammikuu	-3,97	21	430,97
Helmikuu	-4,50	21	397,52
Maaliskuu	-2,58	21	406,98
Huhtikuu	4,50	21	275,59
Toukokuu	10,76	21	176,74
Kesäkuu	14,23	21	113,08
Heinäkuu	17,30	21	63,86
Elokuu	16,05	21	85,43
Syyskuu	10,53	21	174,88
Lokakuu	6,20	21	255,44
Marraskuu	0,50	21	342,40
Joulukuu	-2,19	21	400,24
Koko vuosi			3 123,13

5.2.1 Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila

Kohde taloissa ei ole lähtötilanteessa tuloilmakoneita eikä lämmöntalteenotolla varustettua ilmanvaihtokonetta. Vertailulaskelmissa nämä vaihtoehdot on huomioitu.

Energiatodistuksen laskennassa ilmanvaihdon ilmavirtoina käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D3/2012 taulukossa 2 esitettyjä ilmavirtoja. Kokonaistulo- ja poistoilmavirrat ovat laskennassa yhtä suuria. Ilmanvaihdon käyttöaikoina käytetään vastaavasti D3/2012 taulukossa 3 esitettyjä käyttöaikoja D3/2012 kohta 3.3.7 huomioiden. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi on tässä rakennuksessa määritetty laitetietojen mukaisia lämpötilasuhteita ja ympäristöministeriön monistetta 122⁴ käyttäen arvo 0,71.

Tämän rakennuksen ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotto kytkeytyy automaattisesti pois päältä tuloilman sisäänpuhalluslämpötilan asetusarvon ylittyessä. Sisäänpuhalluslämpötilan asetusarvoksi on tässä rakennuksessa valittu 17 °C. Lämmöntalteenoton poiskytkentälämpötilassa on huomioitu tuloilmapuhaltimen ilmavirtaa lämmittävä vaikutus. Tässä laskelmassa ilmavirran lämpenee tuloilmapuhaltimen vaikutuksesta 0,5 °C D5/2012 kohdan 3.4.1 mukaisesti. Lämmöntalteenoton poiskytkentälämpötila on siten 16,5 °C. Lämmöntalteenotto on lisäksi tässä rakennuksessa kytketty kokonaan pois päältä heinä- ja elokuun ajaksi. Lämmöntalteenoton ja puhaltimen vaikutus tuloilman lämpötilaan on esitetty kuukausikohtaisesti taulukossa 28. Taulukossa on esitetty tuloilman lämpötila myös siinä tapauksessa, että lämmöntalteenotto olisi aina päällä eikä poiskytkentä olisi käytössä.

Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila lasketaan D5/2012 kaavalla 3.12. Kaavaan voidaan ensin sijoittaa D5/2012 kaava 3.13 laskennan yksinkertaistamiseksi. Näin saadaan seuraava yhtälö

$$D5/2012 \text{ kaava } 3.12 \text{ D5/2012 } 3.13 \text{ sijoitettuna} \quad T_{lto} = T_u + \frac{\eta_{a,ivkone} q_{v,poisto} (T_s - T_u)}{q_{v,poisto}}$$

Tulo- ja poistoilmavirrat ovat nyt tässä laskelmassa yhtä suuret, jolloin kaavalle (13) saadaan seuraava muoto

⁴ Päivitetty YM:n moniste 122 löytyy ympäristöministeriön verkkosivuilta osana "Tasauslaskenta 2012"-opasta.

D5/2012 kaava 3.12 muokattuna

$$T_{lto} = T_u + \eta_a, ivkone(T_s - T_u)$$

5.2.1.1 Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila tammikuussa

Lämmöntalteenoton jälkeiseksi kuukauden keskimääräiseksi tuloilman lämpötilaksi saadaan tammikuussa

kaava (14)

$$T_{lto} = T_u + \eta_a, ivkone(T_s - T_u)$$

tammikuu

$$T_{lto} = -3,97 + 0,71 * (21 - (-3,97)) = 13,759^{\circ}C$$

Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila on siis noin 13,8 °C. Lämmöntalteenoton jälkeen tuloilmakanavassa on puhallin, jossa tuloilman lämpötila nousee vielä 0,5 °C. Lämmöntalteenoton ja puhaltimen jälkeen tuloilman lämpötila on siten noin 14,3 °C.

5.2.1.2 Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila toukokuussa

Lämmöntalteenoton jälkeiseksi kuukauden keskimääräiseksi tuloilman lämpötilaksi saadaan toukokuussa

kaava (14)

$$T_{lto} = T_u + \eta_a, ivkone(T_s - T_u)$$

toukokuu

$$T_{lto} = 10,76 + 0,71 * (21 - 10,76) = 18,030^{\circ}C$$

Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila olisi noin 18,0 °C. Lämmöntalteenoton jälkeen tuloilma-kanavassa on puhallin, joka lämmittää tuloilmaa vielä 0,5 °C. Lämmöntalteenoton ja puhaltimen jälkeen tuloilman lämpötila olisi siten noin 18,5 °C. Lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila ylittää nyt sisäänpuhalluslämpötilan asetusarvon 17 °C. Ilmanvaihtokoneessa on lämmöntalteenoton poiskytkentä asetusarvon ylityksessä. Poiskytkentätoiminto pitää sisäänpuhalluslämpötilan asetusarvossaan. Lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila on siten 16,5 °C

LTO poiskytkentäraja

$$T_{lto} = T_{sp} - \Delta T_{puhallin}$$

toukokuu

$$T_{lto} = 17,0 - 0,5 = 16,50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5.2.1.3 Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila heinäkuussa

Heinäkuussa lämmöntalteenotto on kytketty pois päältä. Huonetilaan tuodaan nyt suoraan ulkoilmaa, joka lämpenee hieman tuloilmapuhaltimessa. Ulkoilman keskilämpötila on heinäkuussa 17,3 °C (taulukko 33). Ulkoilma lämpenee vielä tuloilmapuhaltimessa 0,5 °C, jolloin sisäänpuhalluslämpötila on 17,8 °C.

Taulukko 28. Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila

Kuukausi	<i>Tlto</i> aina päällä °C	<i>Tlto</i> + $\Delta T_{puhallin}$ aina päällä °C	<i>Tlto</i> aina päällä (poiskytkennällä) °C	<i>Tlto</i> aikataululla*) ja poiskytkennällä °C	<i>Tlto</i> + $\Delta T_{puhallin}$ aikataululla ja poiskytkennällä °C
Tammikuu	13,76	14,26	13,76	13,76	14,26
Helmikuu	13,61	14,11	13,61	13,61	14,11
Maaliskuu	14,16	14,66	14,16	14,16	14,66
Huhtikuu	16,22	16,72	16,22	16,22	16,72
Toukokuu	18,03	18,53	16,50	16,50	17,00
Kesäkuu	19,04	19,54	16,50	16,50	17,00
Heinäkuu	19,93	20,43	16,50	17,30	17,80
Elokuu	19,56	20,06	16,50	16,05	16,55
Syyskuu	17,96	18,46	16,50	16,50	17,00
Lokakuu	16,71	17,21	16,50	16,50	17,00
Marraskuu	15,06	15,56	15,06	15,06	15,56
Joulukuu	14,27	14,77	14,27	14,27	14,77

*) Aikataulu tarkoittaa lämmöntalteenoton mahdollista poiskytkentää kalenterikuukauden mukaan.

5.2.2 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve lasketaan D5/2012 kaavalla 3.11. Puhaltimen vaikutus on huomioitu valmiiksi D5/2012 kaavassa 3.11, jossa siten käytetään lämmöntalteenoton jälkeistä lämpötilaa. Lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila on laskettu luvussa 4.2.1. Tämän rakennuksen ilmanvaihtokoneessa on jälkilämmitys, joka lämmittää tuloilman lämmöntalteenoton jälkeisestä lämpötilasta sisäänpuhalluslämpötilaan. Sisäänpuhalluslämpötilan asetusarvo on tässä

rakennuksessa laskelmassa 17 °C. Sisäänpuhalluslämpötila (jätkilämmityksen jälkeinen tuloilman lämpötila), lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila (tuloilman lämpötila ennen jätkilämmitystä ja puhallinta) ja ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve on esitetty taulukossa 16. Lämmöntalteenotto ja tuloilman jätkilämmitys on kytketty pois päältä heinä- ja elokuun ajaksi.

5.2.2.1 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve tammikuussa

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeeksi saadaan D5/2012 kaavasta 3.11 tammikuussa

<i>D5/2012 kaava 3.11</i>	$Q_{iv} = \frac{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_v t_{ulo} (T_{sp} - \Delta T_{puhallin} - T_{lto}) \Delta t}{1000}$
<i>tammikuu</i>	$Q_{iv} = \frac{1 * 1 * 1,2 * 1000 * 0,057 * (17 - 0,5 - 13,759) * 744}{1000} = 139,38 \text{ kWh}$

5.2.2.2 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve toukokuussa

Toukokuussa lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila ylittää sisäänpuhalluslämpötilan asetusarvon 17 °C. Ilmanvaihtokoneessa on lämmöntalteenoton poiskytkentä asetusarvon ylittyessä. Poiskytkentätoiminto pitää sisäänpuhalluslämpötilan asetusarvossaan. Lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila on siten 16,5 °C. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeeksi saadaan nyt D5/2012 kaavasta 3.11 toukokuussa

<i>D5/2012 kaava 3.11</i>	$Q_{iv} = \frac{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_v t_{ulo} (T_{sp} - \Delta T_{puhallin} - T_{lto}) \Delta t}{1000}$
<i>toukokuu</i>	$Q_{iv} = \frac{1 * 1 * 1,2 * 1000 * 0,057 * (17 - 0,5 - 16,5) * 744}{1000} = 0 \text{ kWh}$

Toukokuussa tässä rakennuksessa ei siis ole tarvetta lämmittää tuloilmaa lämmöntalteenoton jälkeen, koska tuloilman lämpötila on lämmöntalteenoton jälkeen 16,5 °C ja lämpenee tuloilmapuhaltimen vaikutuksesta vielä 0,5 °C saavuttaen näin sisäänpuhalluslämpötilan asetusarvon 17 °C ilman jätkilämmitystä. Taulukoista 15 ja 16 nähdään, että sama tilanne on tässä rakennuksessa myös kesä-, syys- ja lokakuussa.

5.2.2.3 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve heinä- ja elokuussa

Heinäkuussa lämmöntalteenotto ja tuloilman jälkilämmityspatteri ovat pois päältä (taulukko 5). Huonetilaan tuodaan nyt suoraan ulkoilmaa, joka lämpenee hieman tuloilmapuhaltimessa. Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve on 0 kWh.

Taulukko 29. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve ja tuloilman lämpötila

Kuukausi	Tuloilma Ito;n jälkeen	Sisäänpuhalluslämpötila	Lämmitysenergian nettotarve
	T_{Ito}	T_{sp}	Q_{iv}
	°C	°C	kWh
Tammikuu	13,76	17,00	139,38
Helmikuu	13,61	17,00	132,78
Maaliskuu	14,16	17,00	119,03
Huhtikuu	16,22	17,00	13,78
Toukokuu	16,50	17,00	0,00
Kesäkuu	16,50	17,00	0,00
Heinäkuu	17,30	17,80	0,00
Elokuu	16,05	16,55	0,00
Syyskuu	16,50	17,00	0,00
Lokakuu	16,50	17,00	0,00
Marraskuu	15,06	17,00	70,89
Joulukuu	14,27	17,00	113,44
Koko vuosi			589,30

5.3 Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve

5.3.1 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt muodostuvat ulkoseinien, yläpohjan, alapohjan, ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöistä sekä viivamaisten kylmäsiltojen aiheuttamista lämpöhäviöistä. Näiden lisäksi lämpöhäviöitä voi olla rakennusta ympäröiviin puolilämpimiin tiloihin. Kohde rakennuksissa tällaisia puolilämpimiä tiloja ovat Talo A yhtä ulkoseinää vasten oleva puolilämmin veranta ja Talo B kylpyhuoneen ja sauna alapuolinen puolilämmin kellaritila. Ulkoseinien, yläpohjan, alapohjan, ikkunoiden ja ovien johtumislämpöhäviöt lasketaan D5/2012 kaavalla 3.4 ja viivamais-

ten kylmäsiltojen aiheuttamat lämpöhäviöt D5/2012 kaavalla 3.5. Edellä mainitut johtumislämpöhäviöiden osat Rakennuksen A osalta on esitetty eriteltyinä taulukossa 32.

5.3.1.1 Johtumislämpöhäviöt ulkoilmaa vasten olevan ulkoseinän läpi

Rakennuksen kaikkien ulkoseinien lämmönläpäisykerroin on yhtä suuri. Pinta-alana voidaan näin käyttää rakennuksen kaikkien ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien yhteenlaskettua pinta-alaa. Jos rakennuksessa on lämmönläpäisykerroimeltaan toisistaan poikkeavia ulkoseiniä, laskeaan kunkin lämmönläpäisykerroimeltaan samanlaisen osan johtumislämpöhäviöt erikseen D5/2012 kaavalla 3.4 ennen ulkoseinien johtumislämpöhäviöiden yhteen laskemista. A talossa on lisäksi yksi puolilämpimään verantaan rajoittuva ulkoseinä. Sen johtumislämpöhäviöt lasketaan erikseen kohdassa 5.3.1.6).

Johtumislämpöhäviöt ulkoilmaa vasten olevan ulkoseinän läpi ovat talo A :ssa tammikuussa

<i>D5/2012 kaava 3.4</i>	$Q_{ulkoseinät} = \frac{UA(T_s - T_u)\Delta t}{1000}$
<i>tammikuu</i>	$Q_{ulkoseinät} = \frac{0,47 \cdot 102,35 \cdot (21 - (-3,97)) \cdot 744}{1000} = 892,54 kWh$

5.3.1.2 Johtumislämpöhäviöt yläpohjan läpi

Yläpohjan johtumislämpöhäviöt lasketaan samalla tavalla kuin edellä lasketut ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien lämpöhäviöt. Talo A johtumislämpöhäviöt yläpohjan läpi ovat tammikuussa

<i>D5/2012 kaava 3.4</i>	$Q_{yläpohja} = \frac{UA(T_s - T_u)\Delta t}{1000}$
<i>tammikuu</i>	$Q_{yläpohja} = \frac{0,22 \cdot 142,44 \cdot (21 - (-3,97)) \cdot 744}{1000} = 582,17 kWh$

5.3.1.3 Johtumislämpöhäviöt alapohjan läpi

Alapohjan lämpöhäviöiden laskennassa käytettävä ulkolämpötila riippuu alapohjan toteutustavasta. A Talossa on maanvarainen alapohja, jolloin ulkolämpötilana käytetään alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa. Maan kuukausittainen keskilämpötila lasketaan D5/2012 kaavalla 3.7. Kaavassa tarvittava maan vuosittainen keskilämpötila lasketaan D5/2012 kaavalla 3.6.

D5/2012 kaavassa 3.6 tarvittava ulkolämpötilan vuotuinen keskilämpötila on 5,57 °C. Tämä arvo saadaan D3/2012 taulukosta L2.2. Kaavassa tarvitaan lisäksi alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero. Tämän eron arvona voidaan käyttää D5/2012 luvun 3.2.4 ohjearvoa 5 °C. Edellä esitetyn perusteella alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila on

$$D5/2012 \text{ kaava } 3.6 \quad Q_{maa,vuosi} = T_{u,vuosi} + \Delta T_{maa,vuosi}$$

$$koko \text{ vuosi} \quad T_{maavuosi} = 5,57 + 5 = 10,57 \text{ } ^\circ C$$

Maan kuukausittainen keskilämpötila lasketaan D5/2012 kaavalla 3.7. Kaavassa tarvittava alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero saadaan D5/2012 taulukosta 3.4. Nämä molemmat edellä mainitut arvot on esitetty taulukossa 17. Tammikuussa vuosi- ja kuukausikeskilämpötilojen ero on 0 °C. Alapohjan alapuolisen maan keskilämpötila on siten tammikuussa

$$D5/2012 \text{ kaava } 3.7 \quad Q_{maa,kuukausi} = T_{maa,vuosi} + \Delta T_{maa,kuukausi}$$

$$tammikuu \quad T_{maa,kuukausi} = 10,57 + 0 = 10,57 \text{ } ^\circ C$$

Johtumislämpöhäviö alapohjan läpi voidaan nyt laskea D5/2012 kaavalla 3.4 käyttämällä ulkolämpötilana edellä laskettua maan kuukausittaista keskilämpötilaa. Talon A:n Johtumislämpöhäviöksi saadaan näin tammikuussa

D5/2012 kaava 3.4

$$Q_{alapohja} = \frac{UA(T_s - T_u)\Delta t}{1000}$$

tammikuu

$$Q_{alapohja} = \frac{0,4 \cdot 142,44 \cdot (21 - 10,57) \cdot 744}{1000} = 441,32 \text{ kWh}$$

Taulukko 30. Alapohjan alapuolisen maan lämpötila

Kuukausi	Alapohjan alapuolisen maan lämpötila	Maan vuosi- ja kuukausilämpötilan erotus
	$T_{maa, kuukausi}$ °C	$\Delta T_{maa, kuukausi}$ °C
Tammikuu	10,57	0,0
Helmikuu	9,57	-1,0
Maaliskuu	8,57	-2,0
Huhtikuu	7,57	-3,0
Toukokuu	7,57	-3,0
Kesäkuu	8,57	-2,0
Heinäkuu	10,57	0,0
Elokuu	11,57	1,0
Syyskuu	12,57	2,0
Lokakuu	13,57	3,0
Marraskuu	13,57	3,0
Joulukuu	12,57	2,0
koko vuosi	10,57	0,0

B talon alapohjasta osa rajoittuu puolilämpimään tekniseen tilaan/kellariin. Tämän lattian osan johtumislämpöhäviöt lasketaan käyttämällä D5/2012 kaavassa 3.4 puolilämpimän tilan lämpötilan sisälämpötilaa. Sisälämpötila on tässä tapauksessa 15 °C. Talon B saunan ja pesutilan alapohjan johtumishäviöt lattian läpi ovat

D5/2012 kaava 3.4

$$Q_{alapohja, muu} = \frac{UA(T_s - T_u)\Delta t}{1000}$$

tammikuu

$$Q_{alapohja, muu} = \frac{0,21 \cdot 7,56 \cdot (21 - 15) \cdot 744}{1000} = 7,09 \text{ kWh}$$

5.3.1.4 Johtumislämpöhäviöt ikkunoiden läpi

Johtumislämpöhäviöt ikkunoiden läpi lasketaan samalla tavalla kuin edellä lasketut ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien lämpöhäviöt. Talon A Johtumislämpöhäviöt ikkunoiden läpi ovat tammikuussa

D5/2012 kaava 3.4

$$Q_{ikkunat} = \frac{UA(T_s - T_u)\Delta t}{1000}$$

tammikuu

$$Q_{ikkunat} = \frac{2,80 * 24,10 * (21 - (-3,97)) * 744}{1000} = 1\,253,62 \text{ kWh}$$

5.3.1.5 Johtumislämpöhäviöt ovien läpi

Johtumislämpöhäviöt ovien läpi lasketaan samalla tavalla kuin edellä lasketut ulkoilmaan rajoittuvien ukoseinien lämpöhäviöt. Talon A Johtumislämpöhäviöt ovien läpi ovat tammikuussa

D5/2012 kaava 3.4

$$Q_{ovet} = \frac{UA(T_s - T_u)\Delta t}{1000}$$

tammikuu

$$Q_{ovet} = \frac{1 * 7,75 * (21 - (-3,97)) * 744}{100} = 143,98 \text{ kWh}$$

5.3.1.6 Johtumislämpöhäviöt puolilämmintä tilaa vasten olevan ulkoseinän läpi

Yksi talon A ulkoseinistä rajoittuu puolilämpimään verantaan. Tämän seinän johtumislämpöhäviöt lasketaan käyttämällä D5/2012 kaavassa 3.4 ulkolämpötilana puolilämpimän tilan sisälämpötilaa. Sisälämpötila on tässä tapauksessa lämmityskaudella 10 °C. Johtumislämpöhäviöt puolilämmintä tilaa vasten olevan ulkoseinän läpi ovat edellä esitetyn perusteella tammikuussa

D5/2012 kaava 3.4

$$Q_{muu} = \frac{UA(T_s - T_u)\Delta t}{1000}$$

tammikuu

$$Q_{muu} = \frac{0,47 * 9,20 * (21 - (10)) * 744}{1000} = 35,39 \text{ kWh}$$

5.3.1.7 Johtumislämpöhäviöt kylmäsilloista

Johtumislämpöhäviö viivamaisista kylmäsilloista lasketaan D5/2012 kaavalla 3.5. Ulkoseinien ja puolilämpimän verannan välinen kylmäsilta oletetaan tässä esimerkissä merkitykseltään vähäiseksi ja jätetään siksi huomioimatta. Edellä mainitun oletuksen puitteissa kaikki rakennuksen kylmäsilat ovat yhteydessä ulkoilmaan, joten kylmäsiltojen konduktanssien ja pituuksien tulot voidaan laskea yhteen ja käyttää tätä summaa D5/2012 kaavassa 3.5. Tämä summa on esitetty taulukossa 31. Johtumislämpöhäviöt kylmäsilloista ovat edellä esitetyn perusteella tammikuussa yhteensä

D5/2012 kaava 3.5

$$Q_{\text{kylmäsilat}} = \frac{(\sum l_k \Psi_k) * (T_s - T_u) \Delta t}{1000}$$

tammikuu

$$Q_{\text{kylmäsilat}} = \frac{15,15 * (21 - (-3,97)) * 744}{1000} = 281,44 \text{ kWh}$$

Viivamaisten kylmäsiltojen aiheuttamat johtumislämpöhäviöt on esitetty taulukossa 31.

Taulukko 31. Johtumislämpöhäviöt kylmäsilloista

Kuukausi	US-YP kWh	US-AP kWh	US-US (ulkonurkka) kWh	US-US (sisänurkka) kWh	Ikkunat kWh	Ovet kWh	Yhteensä Q _{kylmäsilat} kWh
Tammikuu	40,01	170,04	9,29	0	44,17	17,94	281,44
Helmikuu	36,90	156,84	8,57	0	40,74	16,55	259,60
Maaliskuu	37,78	160,57	8,77	0	41,71	16,94	265,78
Huhtikuu	25,58	108,74	5,94	0	28,25	11,47	179,98
Toukokuu	16,41	69,73	3,81	0	18,11	7,36	115,42
Kesäkuu	10,50	44,61	2,44	0	11,59	4,71	73,85
Heinäkuu	5,93	25,20	1,38	0	6,55	2,66	41,70
Elokuu	7,93	33,71	1,84	0	8,76	3,56	55,79
Syyskuu	16,23	69,00	3,77	0	17,92	7,28	114,20
Lokakuu	23,71	100,78	5,51	0	26,18	10,63	166,82
Marraskuu	31,79	135,10	7,38	0	35,09	14,25	223,61
Joulukuu	37,16	157,92	8,63	0	41,02	16,66	261,38
Koko vuosi	289,94	1 232,23	67,31	0	320,09	130,00	2 039,57

Taulukossa US tarkoittaa ulkoseiniä, YP yläpohjaa ja AP alapohjaa.

5.3.1.8 Johtumislämpöhäviöiden summa

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöiden summa lasketaan D5/2012 kaavalla 3.3. Johtumislämpöhäviöiden summa on tammikuussa

$$D5/2012 \text{ kaava } 3.3 \quad Q_{joht} = Q_{ulkoseinät} + Q_{yläpohja} + Q_{alapohja} + Q_{ikkunat} + Q_{ovet} + Q_{kylmäsillat} + Q_{muu}$$

$$tammikuu \quad Q_{joht} = 892,54 + 570,74 + 441,32 + 1253,72 + 143,93 + 281,44 + 80,23 = 3663,92 \text{ kWh}$$

Johtumislämpöhäviöt vuoden kaikkina kuukausina on esitetty taulukossa 32.

Taulukko 32. Rakennusvaipan johtumishäviöt Rakennus A

Kuukausi	Ulkoseinät $Q_{ulkoseinät}$ kWh	Yläpohja $Q_{yläpohja}$ kWh	Alapohja $Q_{alapohja}$ kWh	Ikkunat $Q_{ikkunat}$ kWh	Ovet Q_{ovet} kWh	Puolilämpimääntilaan Q_{muu} kWh	Kylmäsillat $Q_{kylmäsillat}$ kWh	Yhteensä Q_{joht} kWh
Tammikuu	892,54	570,74	441,32	1 253,72	143,93	35,34	281,44	3 619,04
Helmikuu	823,28	526,45	436,83	1 156,42	132,76	31,92	259,60	3 367,27
Maaliskuu	842,86	538,97	525,95	1 183,93	135,91	35,34	265,78	3 528,74
Huhtikuu	570,76	364,98	549,93	801,72	92,04	34,20	179,98	2 593,61
Toukokuu	366,02	234,06	568,26	514,14	59,02	32,90	115,42	1 889,82
Kesäkuu	234,18	149,75	508,98	328,95	37,76	21,05	73,85	1 354,53
Heinäkuu	132,25	84,57	441,32	185,77	21,33	11,89	41,70	918,84
Elokuu	176,94	113,14	399,01	248,53	28,53	15,90	55,79	1 037,85
Syyskuu	362,17	231,59	345,19	508,73	58,40	32,55	114,20	1 652,85
Lokakuu	529,02	338,29	314,38	743,09	85,31	35,34	166,82	2 212,25
Marraskuu	709,13	453,46	304,24	996,08	114,35	34,20	223,61	2 835,06
Joulukuu	828,92	530,06	356,70	1 164,34	133,67	35,34	261,38	3 310,40
Koko vuosi	6 468,07	4 136,05	5 192,13	9 085,42	1 043,01	356,00	2 039,57	28 320,25

5.3.2 Vuotoilman lämpeneminen tilassa

Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan D5/2012 kaavalla 3.8. Kaavassa tarvittava vuotoilmavirta lasketaan D3/2012 kaavalla 5 (D5/2012 kaava 3.9). Rakennuksessa on yksi kerros, joten kaavassa tarvittavan kertoimen x arvo on 35. Rakennusvaipan ilmanvuotoluvusta ei ole tehty erillistä selvitystä, joten rakennusvaipan ilmanvuotolukuna (q_{50}) käytetään energiatodistusasetuksen (YM asetus 176/2013) liitteen 1 taulukon 4 mukaisesti arvoa $6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Tätä ar-

voa käytetään, jos rakennuslupa on laitettu vireille vuonna 1969-1975. Rakennusvaipan pinta-ala saadaan taulukosta 7. Vuotoilmavirraksi saadaan edellä esitetyillä arvoilla vuoden jokaisena kuukautena

$$D3/2012 \text{ kaava } 5 \text{ (D5/2012 kaava } 3.9) \quad q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50A_vaippa}}{3600x}$$

$$\text{kaikki kuukaudet} \quad q_{v,vuotoilma} = \frac{6 \cdot 428,18}{3600 \cdot 35} = 0,02039 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarpeeksi saadaan tammikuussa

$$D5/2012 \text{ kaava } 3.8 \quad Q_{vuotoilma} = \frac{\rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t}{1000}$$

$$\text{tammikuu} \quad Q_{vuotoilma} = \frac{1,2 \cdot 1000 \cdot 0,02039 \cdot (21 - (-3,97)) \cdot 744}{1000} = 454,55 \text{ kWh}$$

Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve on esitetty kuukausikohtaisesti eriteltynä taulukossa 33.

5.3.3 Tuloilman lämpeneminen tilassa

Kohde rakennuksissa on nykytilanteessa koneellisen poiston ja painovoimaisen ilmanvaihdon ilmanvaihto järjestelmät. Näissä järjestelmissä ilmanvaihdon lämmittäminen tapahtuu tilassa, jolloin sen käyttämä energiantarve lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D5/2012 kohdan 3.5 mukaan. Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve on siten tammikuussa

$$\text{kaava } D5/2012 \text{ kaava } 3.15 \quad Q_{iv,korvausilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,korvausilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$\text{tammikuu} \quad Q_{iv,korvausilma} = \frac{1,2 \cdot 1000 \cdot 0,0485 \cdot (21 - (-3,97)) \cdot 744}{1000} = 1080,78$$

Vaihtoehtoisesti kohde rakennuksiin voidaan rakentaa tulo ja poistoilmanvaihto jolloin tuloilman lämpeneminen tilassa lasketaan D5/2012 kaavalla 3.14. Kaavassa käytetty sisäänpuhalluslämpötila on esitetty taulukossa 16. Tuloilman lämmitysenergian tarve on esitetty kuukausikohtaisesti

eriteltynä taulukossa 33. Ilmanvaihdon ilmavirtoina käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D3/2012 taulukossa 2 esitettyjä ilmavirtoja. Kokonaistulo- ja poistoilmavirrat ovat laskennassa yhtä suuria. Ilmanvaihdon käyttö- aikoina käytetään vastaavasti D3/2012 taulukossa 3 esitettyjä käyttö-aikoja D3/2012 kohta 3.3.7 huomioiden.

5.3.3.1 Tuloilman lämpeneminen tilassa tammikuussa

Tammikuussa ilmanvaihdon lämmöntalteenotto ja tuloilman jälkilämmitys ovat käytössä, jolloin sisäänpuhalluslämpötila 17 °C. Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve on siten tammikuussa

kaava D5/2012 kaava 3.14
$$Q_{iv,tuloilma} = \frac{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t}{1000}$$

tammikuu
$$Q_{iv,tuloilma} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 0,57 (21 - 17) \cdot 744}{1000} = 203,47 \text{ kWh}$$

5.3.3.2 Tuloilman lämpeneminen tilassa heinäkuussa

Heinäkuussa ilmanvaihdon lämmöntalteenotto ja tuloilman jälkilämmitys ovat pois päältä, jolloin huonetilaan tuodaan suoraan ulkoilmaa, jota tuloilmapuhallin on hieman lämmittänyt. Ulkoilman keskilämpötila on heinäkuussa 17,3 °C (taulukko 33). Ulkoilma lämpenee vielä tuloilmapuhaltimessa 0,5 °C, jolloin sisäänpuhalluslämpötila on 17,8 °C. Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve on siten heinäkuussa

D5/2012 kaava 3.14
$$Q_{iv,tuloilma} = \frac{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{vtulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t}{1000}$$

heinäkuu
$$Q_{iv,tuloilma} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 0,57 (21 - 17,8) \cdot 744}{1000} = 162,78 \text{ kWh}$$

5.3.3.3 Tuloilman lämpeneminen tilassa elokuussa

Elokuussa ilmanvaihdon lämmöntalteenotto on pois päältä, jolloin huonetilaan tuodaan suoraan ulkoilmaa, jota tuloilmapuhallin on hieman lämmittänyt. Ulkoilman keskilämpötila on elokuussa 16,05 °C (taulukko 33). Ulkoilma lämpenee vielä tuloilmapuhaltimessa 0,5 °C, jolloin sisäänpuhalluslämpötila on 16,55 °C. Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve on siten elokuussa

<i>D5/2012 kaava 3.14</i>	$Q_{iv,tuloilma} = \frac{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{vtulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t}{1000}$
<i>elokuu</i>	$Q_{iv,tuloilma} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 0,57 \cdot (21 - 16,55) \cdot 744}{1000} = 226,36 \text{ kWh}$

5.3.4 Lämmitysenergian kokonaistarve yhteensä

Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve lasketaan kuukausikohtaisesti D5/2012 kaavalla 3.2. Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve muodostuu johtumislämpöhäviöistä sekä vuotoilman, ilmanvaihdon tuloilman ja ilmanvaihdon korvausilman lämpenemisestä tilassa⁵. Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve ja sen muodostavat osat on esitetty kuukausikohtaisesti taulukossa 33. Kokonaisenergiatarkasteluissa tulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtäsuuret, joten korvausilmavirtaa ei ole.

Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve on tammikuussa

<i>D5 / 2012 kaava 3.2</i>	$Q_{tila} = Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv,tuloilma} + Q_{iv,korjausilma}$
<i>tammikuu</i>	$Q_{tila} = 3663,92 + 454,55 + 0 + 1080,78 = 5\,199,25 \text{ kWh}$

⁵ Tuloilman lämmittäminen sisäänpuhalluslämpötilaan lasketaan kohdassa 5.3 osana lämmitysjärjestelmän energiantarvetta, kohdassa 0. lasketun ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeen avulla.

Taulukko 33. Talon A tilojen lämmitysenergian kokonaistarve

Kuukausi	Johtuminen Q_{joht} kWh	Vuotoilma $Q_{vuotoilma}$ kWh	Tuloilma $Q_{iv,tuloilma}$ kWh	Korvausilma $Q_{iv,korvausilma}$ kWh	Yhteensä Q_{tila} kWh
Tammikuu	3619,04	454,55	0	1080,78	5199,25
Helmikuu	3367,27	419,27	0	996,91	4825,53
Maaliskuu	3528,74	429,24	0	1020,62	5019,02
Huhtikuu	2593,61	290,67	0	691,13	3592,51
Toukokuu	1889,92	186,41	0	443,22	2519,45
Kesäkuu	1354,53	119,26	0	283,57	1757,36
Heinäkuu	918,84	67,35	0	160,15	1146,34
Elokuu	1037,85	90,11	0	214,25	1342,21
Syyskuu	1652,85	184,45	0	438,56	2275,85
Lokakuu	2212,25	269,42	0	640,59	3134,46
Marraskuu	2835,06	361,14	0	858,68	4084,42
Joulukuu	3310,40	422,15	0	1003,74	4775,45
Koko vuosi	28320,25	3291,02	0	7832,19	39671,86

Taulukko 34. Talon A tilojen lämmitysenergian kokonaistarve lämmitettyä nettoalaan kohden

Kuukausi	Johtuminen Q_{joht} kWh/m ²	Vuotoilma $Q_{vuotoilma}$ kWh/m ²	Tuloilma $Q_{iv,tuloilma}$ kWh/m ²	Korvausilma $Q_{iv,korvausilma}$ kWh/m ²	Yhteensä Q_{tila} kWh/m ²
Tammikuu	25,72	3,19	0	7,59	36,50
Helmikuu	23,94	2,94	0	7,00	33,88
Maaliskuu	25,06	3,01	0	7,17	35,24
Huhtikuu	18,33	2,04	0	4,85	25,22
Toukokuu	13,27	1,31	0	3,11	17,69
Kesäkuu	9,51	0,84	0	1,99	12,34
Heinäkuu	6,45	0,47	0	1,12	8,05
Elokuu	7,29	0,63	0	1,50	9,42
Syyskuu	11,60	1,29	0	3,08	15,98
Lokakuu	15,62	1,89	0	4,50	22,01
Marraskuu	20,11	2,54	0	6,03	28,68
Joulukuu	23,52	2,96	0	7,05	33,53
Koko vuosi	200,41	23,13	0	54,99	278,52

Taulukko 35 Talon A tilojen lämmitysenergian kokonaistarve rakennusteknisten muutosten jälkeen LTO:n kanssa

Kuukausi	Johtuminen Q_{joht} kWh	Vuotoilma $Q_{vuotoilma}$ kWh	Tuloilma $Q_{iv,tuloilma}$ kWh	Korvausilma $Q_{iv,korvausilma}$ kWh	Yhteensä Q_{tila} kWh
Tammikuu	2 230,96	454,55	203,47	0,00	2 889,08
Helmikuu	2 086,91	419,27	183,78	0,00	2 690,05
Maaliskuu	2 217,93	429,34	203,47	0,00	2 850,74
Huhtikuu	1 705,96	290,74	196,91	0,00	2 193,61
Toukokuu	1 320,58	186,45	203,47	0,00	1 710,50
Kesäkuu	990,32	119,96	196,91	0,00	1 306,52
Heinäkuu	713,16	67,75	162,78	0,00	943,30
Elokuu	762,68	90,13	226,36	0,00	1 079,17
Syyskuu	1 089,60	184,95	196,91	0,00	1 470,99
Lokakuu	1 389,52	269,72	203,47	0,00	1 862,46
Marraskuu	1 732,23	361,22	196,91	0,00	2 290,39
Joulukuu	2 021,28	422,24	203,47	0,00	2 646,99
Koko vuosi	18 261,12	3 294,74	2 377,92	0,00	23 933,78

5.4 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

5.4.1 Lämpökuormat

5.4.1.1 Lämpökuorma ihmisistä

Ihmisten luovuttama lämpökuorma käytetään D3/2012 taulukossa 3 annettua lämmönluovutuksen lämmitettyyn nettoalaan suhteutettua ominaistehoa. Taulukosta ihmisten ominaislämpötehoksi saadaan 2 W/m^2 . Rakennuksen lämmitetty nettoala on 147 m^2 , joten ihmisten lämpötehoksi saadaan

$$D3/2012 \text{ taulukosta 3} \quad \left(\begin{array}{l} \text{ihmisten} \\ \text{lämpöteho} \end{array} \right) = 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * A_{\text{netto}}$$

$$\text{koko vuosi} \quad \left(\begin{array}{l} \text{ihmisten} \\ \text{lämpöteho} \end{array} \right) = 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 142,44 \text{ m}^2 = 284,88 \text{ kWh}$$

Tällä teholla ihmisten siis oletetaan lämmittävän rakennuksen sisätiloja silloin, kun he ovat paikalla. Ihmisten aiheuttaman lämpökuorman laskennassa huomioidaan D3/2012 taulukossa 3 esitetty käyttöaika ja käyttöaste. Käyttöaika kertoo, kuinka monta tuntia vuorokaudessa ja kuinka monta päivää viikossa rakennusta käytetään. Käyttöaste taas kuvaa ihmisten läsnäoloa rakennuksessa käyttöajan aikana. Rakennuksen kuukausittaiseksi käyttöajaksi eli käyttötuntien osuudeksi kuukauden tunneista saadaan

$$D3/2012 \text{ taulukon } 3 \text{ arvoilla} \quad \left(\begin{array}{c} \text{käyttötuntien} \\ \text{osuus} \\ \text{kuukauden} \\ \text{tunneista} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{käyttötuntien} \\ \text{osuus} \\ \text{vuorokauden} \\ \text{tunneista} \end{array} \right) * \left(\begin{array}{c} \text{käyttöpäivien} \\ \text{osuus} \\ \text{viikon} \\ \text{päivistä} \end{array} \right)$$

$$\text{koko vuosi} \quad \left(\begin{array}{c} \text{käyttötuntien} \\ \text{osuus} \\ \text{kuukauden} \\ \text{tunneista} \end{array} \right) = \frac{24h}{24h} * \frac{7 \text{ vrk}}{7 \text{ vrk}} = 1 = 100\%$$

Rakennuksen käyttöaste on 0,6 eli ihmisten oletetaan olevan paikalla 60 % rakennuksen käyttöajasta eli tässä tapauksessa 60 % kuukauden tunneista. Ihmisten aiheuttamaksi lämpökuormaksi saadaan näin tammikuussa

$$D3/2012 \text{ taulukosta } 3 \quad Q_{henk} = \frac{\text{(ihmisten lämpöteho)}}{1000} * \left(\begin{array}{c} \text{käyttötuntien} \\ \text{osuus} \\ \text{kuukauden} \\ \text{tunneista} \end{array} \right) * \left(\begin{array}{c} \text{käyttöaste} \\ \text{käyttöajasta} \end{array} \right) * \left(\begin{array}{c} \text{kuukauden} \\ \text{tuntien} \\ \text{lukumäärä} \end{array} \right)$$

$$\text{tammikuu} \quad Q_{henk} = \frac{285}{1000} * 1 * 0,6 * 744 = 127,17 \text{ kWh}$$

Ihmisistä aiheutuva lämpökuorma on esitetty kuukausikohtaisesti taulukossa 38.

5.4.1.2 Lämpökuorma kuluttajalaitteista ja valaistuksesta

Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen aiheuttamana lämpökuormana käytetään suoraan niiden sähköenergian kulutusta. Nämä kulutukset on laskettu luvussa 3. Lämpökuormaksi saadaan siten D5/2012 kaavalla 5.3 tammikuussa

$$D5/2012 \text{ kaava } 5.3 \quad Q_{s\grave{a}h} = W_{kuluttajalaitteet} + W_{valaistus}$$

$$tammikuu \quad Q_{s\grave{a}h} = 190,76 + 84,78 = 275,57 \text{ kWh}$$

5.4.1.3 Lämpökuorma lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnista

Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin häviöistä lasketaan lämpökuormiksi energiatodistusasetuksen (YM asetus 176/2013) liitteen 1 kohdan 2.2.6 mukaisesti. Tässä rakennuksessa käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpökuormista ei ole tehty erillistä selvitystä. Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin häviöistä oletetaan siten asetuksen mukaisesti tulevan lämpökuormiksi 50 %. Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin häviöt on laskettu luvussa 4.1.2. Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin aiheuttama lämpökuorma on esitetty kuukausikohtaisesti taulukossa 24.

Rakennuksissa ei ole lämpimän käyttöveden kiertojohtoa, joten käyttöveden kierron aiheuttamia lämpökuormia ei ole

$$D5/2012 \text{ kaava } 5.4.1 \quad Q_{lkv,kierto,kuorma} = 0,5 * Q_{lkv,kierto}$$

$$koko \text{ vuosi} \quad Q_{lkvkiertokuorma} = 0,5 * 0 = 0 \frac{kWh}{a}$$

A talossa ei ole käyttöveden varaajaa. B talossa on 40 mm eristeellä varustettu 100 litran varaaja, joten lämpimän käyttöveden varastoinnin aiheuttamaksi lämpökuormaksi saadaan

$$D5/2012 \text{ kohta } 5.4.1 \quad Q_{lkv, \text{ varastointi, kuorma}} = 0,5 * Q_{lkv, \text{ varastointi}}$$

$$koko \text{ vuosi} \quad Q_{lkv, \text{ varastointi, kuorma}} = 0,5 * 640 = 320 \frac{kWh}{a}$$

Lämpimän käyttöveden varastoinnin aiheuttama lämpökuorma voidaan jakaa kuukausittaiseksi lämpökuormaksi kuukausien pituuden perusteella. Talon B Käyttöveden varastoinnin aiheuttamaksi lämpökuormaksi saadaan siten esimerkiksi tammikuussa

$$Q_{Ikv,varastointi,kuorma} = \left(\frac{\text{tunteja kuukaudessa}}{\text{tunteja vuodessa}} \right) * Q_{Ikv,varastointi}$$

$$\text{tammikuu} \quad Q_{Ikv,varastointi,kuorma} = \frac{744}{8760} * 320 = 27,18 \text{ kWh}$$

5.4.1.4 Lämpökuorma auringon säteilystä

Ikkunoihin osuvasta auringon säteilystä aiheutuva lämpökuorma lasketaan D5/2012 kaavalla 5.4. Kaavassa tarvittava pystypinnalle osuva auringon säteilyenergia on esitetty rakentamismääräyskokoelman osan D3/2012 liitteen 2 taulukossa L2.2. Kaavassa tarvitaan lisäksi D5/2012 kaavalla 5.6 laskettu säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin. Kokonaiskorjauskertoimen laskennassa tarvittava varjostuskerroin lasketaan D5/2012 kaavalla 5.8. Varjostuskertoimen laskennassa tarvittava ympäristövarjostuskerroin, ylävarjostuskerroin ja sivuvarjostuskerroin on esitetty D5/2012 taulukoissa 5.3–5.5. Pystypinnalle osuva auringon säteilyenergia sekä varjostuskerroin riippuvat pinnan suunnasta. Rakennuksessa A ikkunat on jaoteltu neljään ryhmään lähimmän pääilman suunnan perusteella. Ikkunoiden pinta-alat ja muut ominaisuudet on esitetty taulukossa 13. Varjostusten korjauskertoimen ja säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin on esitetty kuukausittain taulukoissa 36 ja 37.

Ikkunoihin osuvasta auringon säteilystä aiheutuva lämpökuorma lasketaan D5/2012 kaavalla 5.4. Lämpökuormaksi saadaan tammikuussa

<i>D5/2012 kaava 5.4</i>	$Q_{aur} = G_{\text{säteilypystypinta}} F_{\text{läpäisy}} A_{ikk} g$
<i>tammikuu, ikkunat pohjoiseen</i>	$Q_{aur} = 6,2 * 0,221 * 2,55 * 0,675 = 2,36 \text{ kWh}$
<i>tammikuu, ikkunat itään</i>	$Q_{aur} = 3,8 * 0,194 * 10,1 * 0,675 = 5,01 \text{ kWh}$
<i>tammikuu, ikkuna etelään</i>	$Q_{aur} = 12,9 * 0,169 * 1,85 * 0,675 = 2,72 \text{ kWh}$
<i>tammikuu, ikkuna länteen</i>	$Q_{aur} = 3,8 * 0,194 * 9,50 * 0,675 = 4,72 \text{ kWh}$
<i>tammikuu, ikkunat yhteensä</i>	$\Sigma Q_{aur} = 14,80 \text{ kWh}$

Auringon säteilystä aiheutuva lämpökuorma on tammikuussa yhteensä 14,80 kWh. Kaavassa (5.4) esitetty säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin tammikuussa perustuu tässä luvussa esitettyyn laskelmaan. Auringon säteilystä aiheutuva lämpökuorma vuoden kaikkina kuukausina on esitetty taulukossa 38.

Tässä rakennuksessa ei ole yläpuolista varjostusta eikä sivuvarjostusta, joten sekä ylävarjostuskertoimen ja sivuvarjostuskertoimen arvo on 1,0. Ympäristövarjostuskertoimen taulukkoarvon valinnassa tarvittavan varjostuskulman on arvioitu olevan 15°. Varjostuskertoimen arvoksi saadaan näin tammikuussa

<i>D5/2012 kaava 5.8</i>	$F_{varjostus} = F_{ympäristö} F_{ylävarjostus} F_{sivuvarjostus}$
<i>tammikuu, ikkunat pohjoiseen</i>	$F_{varjostus} = 0,98 * 1,0 * 1,0 = 0,98$
<i>tammikuu, ikkunat itään</i>	$F_{varjostus} = 0,86 * 1,0 * 1,0 = 0,86$
<i>tammikuu, ikkunat etelään</i>	$F_{varjostus} = 0,75 * 1,0 * 1,0 = 0,75$
<i>tammikuu, ikkunat länteen</i>	$F_{varjostus} = 0,86 * 1,0 * 1,0 = 0,86$

Taulukko 36. Varjostusten korjauskerroin

Kuukausi	Pohjoiseen	Koilliseen	Itään	Kaakkoon	Etelään	Lounaaseen	Länteen	Luoteeseen
	$F_{varjostus}$	$F_{varjostus}$	$F_{varjostus}$	$F_{varjostus}$	$F_{varjostus}$	$F_{varjostus}$	$F_{varjostus}$	$F_{varjostus}$
	-	-	-	-	-	-	-	-
Tammikuu	0,980	0,920	0,860	0,805	0,750	0,805	0,860	0,920
Helmikuu	0,960	0,895	0,830	0,795	0,760	0,795	0,830	0,895
Maaliskuu	0,960	0,895	0,830	0,815	0,800	0,815	0,830	0,895
Huhtikuu	0,930	0,880	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,880
Toukokuu	0,930	0,890	0,850	0,875	0,900	0,875	0,850	0,890
Kesäkuu	0,860	0,845	0,830	0,870	0,910	0,870	0,830	0,845
Heinäkuu	0,900	0,875	0,850	0,880	0,910	0,880	0,850	0,875
Elokuu	0,880	0,840	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,840
Syyskuu	0,950	0,890	0,830	0,820	0,810	0,820	0,830	0,890
Lokakuu	0,960	0,905	0,850	0,805	0,760	0,805	0,850	0,905
Marraskuu	0,960	0,910	0,860	0,795	0,730	0,795	0,860	0,910
Joulukuu	0,980	0,955	0,930	0,830	0,730	0,830	0,930	0,955
Koko vuosi	0,938	0,892	0,846	0,827	0,808	0,827	0,846	0,892

Rakennuksen Aikkunoiden kehäkertoimen arvoa ei ole selvitetty erikseen. Arvona käytetään siten rakentamismääräyskokoelman osan D5/2012 kohdan 5.3.4 oletusarvoa 0,75. Rakennuksen ikkunoiden verho kertoimen tiedetään olevan 0,30. Kokonaiskorjauskertoimen arvoiksi saadaan näin tammikuussa

<i>D5/2012 kaava 5.6</i>	$F_{\text{läpäisy}} = F_{\text{kehä}} F_{\text{verho}} F_{\text{varjostus}}$
<i>tammikuu, ikkunat pohjoiseen</i>	$F_{\text{läpäisy}} = 0,75 * 0,30 * 0,980 = 0,2205$
<i>tammikuu, ikkunat itään</i>	$F_{\text{läpäisy}} = 0,75 * 0,30 * 0,86 = 0,1935$
<i>tammikuu, ikkunat etelään</i>	$F_{\text{läpäisy}} = 0,75 * 0,30 * 0,75 = 0,16875$
<i>tammikuu, ikkunat länteen</i>	$F_{\text{läpäisy}} = 0,75 * 0,30 * 0,86 = 0,1935$

Taulukko 37. Säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin

Kuukausi	Pohjoiseen $F_{\text{läpäisy}}$	Koilliseen $F_{\text{läpäisy}}$	Itään $F_{\text{läpäisy}}$	Kaakkoon $F_{\text{läpäisy}}$	Etelään $F_{\text{läpäisy}}$	Lounaaseen $F_{\text{läpäisy}}$	Länteen $F_{\text{läpäisy}}$	Luoteeseen $F_{\text{läpäisy}}$
	-	-	-	-	-	-	-	-
Tammikuu	0,221	0,207	0,194	0,181	0,169	0,181	0,194	0,207
Helmikuu	0,216	0,201	0,184	0,179	0,171	0,179	0,187	0,201
Maaliskuu	0,216	0,201	0,187	0,183	0,180	0,183	0,187	0,201
Huhtikuu	0,209	0,198	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187	0,198
Toukokuu	0,209	0,200	0,191	0,197	0,203	0,197	0,191	0,200
Kesäkuu	0,194	0,190	0,187	0,196	0,205	0,196	0,187	0,190
Heinäkuu	0,203	0,17	0,191	0,198	0,205	0,198	0,191	0,197
Elokuu	0,198	0,189	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,189
Syyskuu	0,214	0,200	0,187	0,185	0,182	0,185	0,187	0,200
Lokakuu	0,216	0,204	0,191	0,181	0,171	0,181	0,191	0,205
Marraskuu	0,216	0,205	0,194	0,179	0,164	0,179	0,194	0,205
Joulukuu	0,211	0,201	0,190	0,186	0,182	0,186	0,190	0,201
koko vuosi	0,211	0,201	0,190	0,186	0,182	0,186	0,190	0,201

5.4.1.5 Lämpökuormien kokonaismäärä

Rakennuksen lämpökuormien kokonaismäärä lasketaan D5/2012 yhtälöllä 5.9. Lämpökuormat muodostuvat ihmisten, sähkölaitteiden (kuluttajalaitteet ja valaistus), auringon, lämpimän käyttöveden kierron ja lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöistä. Talon A lämpökuormat vuoden kaikkina kuukausina on esitetty taulukossa 24. Talon A lämpöhäviöiden summaksi saadaan tammikuussa

<i>D5/2012 kaava 5.9</i>	$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} + Q_{\text{lkv,kierto,kuorma}} + Q_{\text{lkv,varastointi,kuorma}}$
<i>tammikuu</i>	$Q_{\text{lämpökuorma}} = 1497,31 + 3244,21 + 1974,83 + 0 + 0 = 6716,38$

Taulukko 38. Talon A lämpökuormat yhteensä

Kuukausi	Ihmiset	Sähkölaitteet	Aurinko	LKV kierto	LKV varastointi	Yhteensä
	Q_{henk}	$Q_{säh}$	Q_{aur}	$Q_{lkv, kierto, kuorma}$	$Q_{lkv, varastointi, kuorma}$	$Q_{lämpökuormat}$
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Tammikuu	127,17	275,54	14,80	0,0	0,0	417,50
Helmikuu	114,86	248,87	53,82	0,0	0,0	417,55
Maaliskuu	127,17	275,54	149,18	0,0	0,0	551,89
Huhtikuu	123,07	266,65	239,08	0,0	0,0	628,80
Toukokuu	127,17	275,54	325,38	0,0	0,0	728,09
Kesäkuu	123,07	266,65	322,20	0,0	0,0	711,91
Heinäkuu	127,17	275,54	358,02	0,0	0,0	760,72
Elokuu	127,17	275,54	243,22	0,0	0,0	645,92
Syyskuu	123,07	266,65	177,92	0,0	0,0	567,64
Lokakuu	127,17	275,54	60,43	0,0	0,0	463,13
Marraskuu	123,07	266,65	19,18	0,0	0,0	408,89
Joulukuu	127,17	275,54	11,61	0,0	0,0	414,32
koko vuosi	1497,31	3244,21	1974,83	0,0	0,0	6716,38

5.4.1.6 Lämpökuormien hyödyntämisaste

Lämpökuormien hyödyntämisaste lasketaan D5/2012 luvussa 5.5. esitetyllä tavalla. Hyödyntämisasteen laskeminen aloitetaan laskemalla rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö D5/2012 kaavalla 5.16. Sen arvoksi saadaan tammikuussa

$$D5/2012 \text{ kaava } 5.16 \quad H_{tila} = \frac{1000 \cdot Q_{tila}}{(T_s - T_u) \Delta t}$$

$$tammikuu \quad H_{tila} = \frac{1000 \cdot 5154,36}{(21 - (-3,97)) \cdot 744} = 277,45 \text{ kWh}$$

Rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti voidaan arvioida D5/2012 taulukon 5.6 perusteella. Taulukossa on esitetty lämpökapasiteetin ominaisarvo rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden. Lämpökapasiteetin ominaisarvoksi arvoksi on tässä rakennuksessa arvioitu 200 Wh/(m² K). Lämpökapasiteetiksi saadaan siten

$$D5/2012 \text{ taulukko } 5.6 \quad C_{rak} = A_{netto} C_{rak,omin}$$

$$koko \text{ vuosi} \quad C_{rak} = A_{netto} C_{rak,omin} = 142,44 * 200 = 28488 \frac{Wh}{K}$$

Rakennuksen aikavakio lasketaan ominaislämpöhäviön ja lämpökapasiteetin avulla D5/2012 kaavalla 5.15. Rakennuksen aikavakioksi saadaan tammikuussa

$$D5/2012 \text{ kaava } 5.15 \quad \tau = \frac{C_{rak}}{H_{tila}}$$

$$tammikuu \quad \tau = \frac{28488}{277,45} = 102,68 \text{ h} = 4,24 \text{ d}$$

Lämpökuormien suhde lämpöhäviöihin lasketaan D5/2012 kaavalla 5.14. Suhteeksi saadaan tammikuussa

$$D5/2012 \text{ kaava } 5.14 \quad \gamma = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{tila}}}$$

$$tammikuu \quad \gamma = \frac{417,50}{5154,36} = 0,0803$$

Lämpökuormien hyödyntämisaste lasketaan D5/2012 kaavalla 5.11. Ennen hyödyntämisasteen laskemista pitää vielä laskea kaavassa tarvittava apusuure D5/2012 kaavalla 5.13. Apusuureen arvoksi saadaan tammikuussa

$$D5/2012 \text{ kaava } 5.13 \quad a = 1 + \frac{\tau}{15h}$$

$$tammikuu \quad a = 1 + \frac{102,68h}{15h} = 7,85$$

Lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste voidaan nyt laskea D5/2012 kaavalla 5.11. Hyödyntämisasteen arvoksi saadaan tammikuussa

$$D5/2012 \text{ kaava } 5.16 \quad \eta_{\text{lämpö}} = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}}$$

$$tammikuu \quad \eta_{\text{lämpö}} = \frac{1-0,0803^{6,786}}{1-0,0803^{6,786+1}} = 1$$

Taulukko 39. Lämpökuormien hyödyntämisaste rakennus A

Kuukausi	Ominaislämpöhäviö H_{tila} W/K	Aikavakio τ h	Suhde γ -	Apusuure a -	Hyödyntämisaste $\eta_{lämpö}$ -
Tammikuu	277,45	102,68	0,0810	7,845	1,00
Helmikuu	279,15	102,05	0,0873	7,804	1,00
Maaliskuu	283,79	100,39	0,1109	7,692	1,00
Huhtikuu	300,96	94,66	0,1759	7,310	1,00
Toukokuu	330,70	86,14	0,2890	6,743	1,00
Kesäkuu	360,53	79,02	0,4051	6,268	1,00
Heinäkuu	416,43	68,41	0,6636	5,561	0,96
Elokuu	364,45	78,17	0,4812	6,211	0,99
Syyskuu	301,90	94,36	0,2494	7,291	1,00
Lokakuu	283,55	100,47	0,1483	7,698	1,00
Marraskuu	274,72	103,70	0,1008	7,913	1,00
Joulukuu	274,51	103,78	0,0872	7,918	1,00
Koko vuosi	312,34	92,82	0,2400	7,188	1,00

5.4.2 Lämpökuormista hyödyksi saatu energia

Lämpökuormista hyödyksi saatu energia lasketaan D5/2012 kaavalla 5.10. Laskennassa tarvitaan rakennuksen lämpökuormien kokonaismäärä ja lämpökuormien hyödyntämisaste. Lämpökuormista hyödynnettäväksi energiaksi saadaan tammikuussa

D5/2012 kaava 5.10

$$Q_{sis,lämpö} = \eta_{lämpö} Q_{lämpökuorma}$$

tammikuu

$$Q_{sis,lämpö} = 1,0 * 417,50 = 417,50 \text{ kWh}$$

Lämpökuormista hyödyksi saatu energia sekä lämpökuormien hyödyntämisaste ja lämpökuormien kokonaismäärä on esitetty taulukossa 26 vuoden kaikkina kuukausina. Lämpökuormien kokonaismäärä on laskettu kohdassa 5.4.1.5) ja lämpökuormien hyödyntämisaste kohdassa 5.4.1.6).

Taulukko 40. Lämpökuormista hyödyksi saatu energia

Kuukausi	Lämpökuormat yhteensä $Q_{\text{lämpökuorma}}$ kWh	Hyödyntämistäaste $\eta_{\text{lämpö}}$ -	Lämpökuormista hyödyksi $Q_{\text{sis. Lämpö}}$ kWh
Tammikuu	417,51	1,000	417,51
Helmikuu	417,55	1,000	417,55
Maaliskuu	551,89	1,000	551,89
Huhtikuu	628,80	1,000	628,80
Toukokuu	728,09	1,000	727,97
Kesäkuu	711,91	0,998	710,44
Heinäkuu	760,72	0,963	732,65
Elokuu	645,92	0,994	642,33
Syyskuu	567,64	1,000	567,62
Lokakuu	463,14	1,000	463,13
Marraskuu	408,89	1,000	408,89
Joulukuu	414,32	1,000	414,32
koko vuosi	6716,36	0,996	6691,35

5.4.3 Tilojen lämmitysenergian nettotarve yhteensä

Tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan D5/2012 kaavalla 3.1. Tilojen lämmitysenergian nettotarve on tilojen lämmitysenergian kokonaistarpeen ja lämpökuormista hyödyksi saadun lämmön erotus. Lämmitysenergian kokonaistarve on laskettu luvussa 4.3.4 ja lämpökuormista hyödyksi saatu lämpö kohta 4.4.2. Nämä molemmat on myös esitetty taulukossa 41 tilojen lämmitysenergian nettotarpeen rinnalla. Talon A tilojen lämmitysenergian nettotarpeeksi saadaan tammikuussa

D5/2012 kaava 3.1

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis,lämpö}}$$

tammikuu

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = 5199,25 - 417,50 = 4781,74 \text{ kWh}$$

Tämä lämmöntarve pitää kattaa rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmällä.

Taulukko 41. Talon A tilojen lämmitysenergian nettotarve

Kuukausi	Kokonaistarve Q_{tila} kWh	Lämpökuomista $Q_{sis. lämpö}$ kWh	Nettotarve $Q_{lämmitys, tilat, netto}$ kWh
Tammikuu	5154,36	417,50	4736,86
Helmikuu	4783,45	417,55	4365,90
Maaliskuu	4978,60	551,89	4426,71
Huhtikuu	3575,41	628,79	2946,62
Toukokuu	2519,45	727,97	1791,48
Kesäkuu	1757,36	710,44	1046,92
Heinäkuu	1146,34	732,65	413,69
Elokuu	1342,21	642,33	699,88
Syyskuu	2275,85	567,62	1708,23
Lokakuu	3122,25	463,13	2659,12
Marraskuu	4054,96	408,89	3646,07
Joulukuu	4736,28	414,32	4322,06
koko vuosi	39447,17	6683,11	32764,06

Taulukko 42. Talon A tilojen lämmitysenergian nettotarve lämmitettyä nettoalaa kohden

Kuukausi	Kokonaistarve Q_{tila} kWh/m ²	Lämpökuomista $Q_{sis. lämpö}$ kWh/m ²	Nettotarve $Q_{lämmitys, tilat, netto}$ kWh/m ²
Tammikuu	36,19	2,93	33,26
Helmikuu	33,58	2,93	30,65
Maaliskuu	34,95	3,87	31,08
Huhtikuu	25,10	4,41	20,69
Toukokuu	17,69	5,11	12,58
Kesäkuu	12,34	4,99	7,35
Heinäkuu	8,05	5,14	2,90
Elokuu	9,42	4,51	4,91
Syyskuu	15,98	3,98	11,99
Lokakuu	21,92	3,25	18,67
Marraskuu	28,47	2,87	25,60
Joulukuu	33,25	2,91	30,34
koko vuosi	276,93	46,92	230,02

Taulukko 43. Talon A tilojen lämmitysenergian nettotarve rakennusteknisten muutosten jälkeen LTO:lla varustettuna

Kuukausi	Kokonaistarve Q_{tila} kWh	Lämpökuomista $Q_{sis. lämpö}$ kWh	Nettotarve $Q_{lämmitys, tilat, netto}$ kWh
Tammikuu	2 889,08	417,50	2 471,57
Helmikuu	2 690,05	417,55	2 272,50
Maaliskuu	2 850,74	551,89	2 298,85
Huhtikuu	2 193,61	628,79	1 564,81
Toukokuu	1 710,50	727,97	982,54
Kesäkuu	1 305,52	710,44	597,01
Heinäkuu	943,30	732,65	227,49
Elokuu	1 079,17	642,33	438,90
Syyskuu	1 470,99	567,62	903,36
Lokakuu	1 862,46	463,13	1 399,33
Marraskuu	2 290,36	408,89	1 881,47
Joulukuu	2 646,99	414,32	2 232,66
koko vuosi	23 933,78	6683,11	17 270,49

6 Lämmitysjärjestelmien energiankulutus

6.1 Tilojen lämmitysjärjestelmän energiankulutus

6.1.1 Tilojen lämmönjakojärjestelmän lämpöenergian tarve tulisija huomioituna (kulutus)

Rakennuksissa on varaavat tulisijat, joista lasketaan saaduksi 2000 kWh/a lämpöenergiaa rakennuksen tilojen lämmittämiseen. Talon A tulisijan huomioivaksi tilojen lämmitysenergian nettotarpeeksi saadaan edellä esitetyillä arvoilla ja taulukossa 41 esitetyn tilojen lämmitysenergian nettotarpeen vuosisumman avulla

$$D5/2012 \text{ kohta } 6.2.1 \quad Q_{\text{lämmitys,tilat,netto2}} = Q_{\text{lämmitystilatnetto}} - \left(\begin{array}{c} \text{tulisijan} \\ \text{tiloihin} \\ \text{luovuttama} \\ \text{hyödynnetty} \\ \text{lämpöenergia} \end{array} \right)$$

$$\text{koko vuosi} \quad Q_{\text{lämmitys,tilat,netto2}} = 32764,06 - 2000 = 30764,06 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Rakennuksen tilojen lämmönjakojärjestelmän pitää siis luovuttaa noin 30764,03 kWh/a lämpöenergiaa rakennuksen tiloihin.

6.1.2 Tilojen lämmönjakojärjestelmän lämpöenergian tarve (kulutus)

Rakennuksen tilojen lämmönjakojärjestelmän lämpöenergian kokonaistarve lasketaan D5/2012 kaavalla 6.1. Rakennuksessa A on vesiradiaattorilämmitys meno- ja paluulämpötiloilla 70/40 °C sekä jakojohdot eristämättä. Energiatodistusasetuksen (YM asetus 176/2013) liitteen 1 taulukosta 9 lämmönjakojärjestelmän vuosihyötysuhteeksi saadaan 0,80. Järjestelmässä ei ole jakelun ja varastoinnin häviöitä lämmittämättömiin tiloihin.

Lämmönjakojärjestelmän lämmöntarpeeksi saadaan edellä esitetyillä arvoilla D5/2012 kaavan 6.1 ja taulukossa 41 esitetyn tilojen lämmitysenergian nettotarpeen vuosisumman avulla

$$D5/2012 \text{ kaava } 6.1 \quad Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto2}}}{\eta_{\text{lämmitys,tilat}}} + Q_{\text{jakelu,ulos}} + Q_{\text{varastointi,ulos}}$$

$$\text{koko vuosi} \quad Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{30764,06}{0,80} + 0 + 0 = 38455,08 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

6.1.3 Tilojen lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus

Rakennuksessa A on vesiradiaattorilämmitys meno- ja paluulämpötiloilla 70/40 °C sekä jakojohdot eristämättä. Energiatodistusasetuksen (YM asetus 176/2013) liitteen 1 taulukosta 9 lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutukseksi saadaan 2,0 kWh/(m² a). Lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähkökulutukseksi saadaan näin D5/2012 kaavalla 6.2

$$D5/2012 \text{ kaava } 6.2 \quad W_{\text{tilat}} = e_{\text{tilat}} A_{\text{netto}}$$

$$\text{koko vuosi} \quad W_{\text{tilat}} = 2,0 * 142,44 = 284,88 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

6.1.4 Tilojen lämmöntuottojärjestelmän ostoenergiankulutus

Tilojen lämmöntuottojärjestelmän (lämmitysjärjestelmän) ostoenergiankulutus lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D5/2012 luvussa 6.4 esitetyllä tavalla. Näissä rakennuksissa läm-

möntuottojärjestelmänä Talossa A on öljykattila ja talossa B huonekohtainen sähkölämmitys. Talon A lämmitysjärjestelmän ostoenergian kulutukseksi saadaan näin D5/2012 kaavalla 6.7

$$D5/2012 \text{ kaava } 6.7 \quad Q_{\text{l\u00e4mmitys,tilat,kulutus}} = \frac{Q_{\text{l\u00e4mmitys,tilat}}}{\eta_{\text{tuotto}}}$$

$$\text{koko vuosi} \quad Q_{\text{l\u00e4mmitys}} = \frac{38735,96}{0,81} = 47822,17 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

6.2 Käyttöveden lämmitysjärjestelmän energiankulutus

6.2.1 Käyttöveden lämmityksen lämpöenergian kokonaistarve (kulutus)

Käyttöveden lämpöenergian kokonaistarve lasketaan D5/2012 kaavalla 6.4. Käyttöveden siirron (jakelun) hyötysuhde saadaan energiatodistusasetuksen (YM asetus 176/2013) liitteen 1 taulukosta 5. Järjestelmässä ei ole kiertojohtoa ja putket eristämättömät. Siirron hyötysuhteeksi saadaan näin taulukosta 0,75. Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde kattaa lämpimän käyttöveden jakojohdon häviöt. Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin häviöt on laskettu kohdassa 4.1.2. Talon A koko vuoden lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeeksi saadaan

$$D5/2012 \text{ kaaava } 6.4 \quad Q_{\text{l\u00e4mmitys,lv}} = \frac{Q_{\text{lv,netto}}}{\eta_{\text{lv,siirto}}} + Q_{\text{lv,varastointi}} + Q_{\text{lv,kierto}}$$

$$\text{koko vuosi} \quad Q_{\text{l\u00e4mmitys,lv}} = \frac{4200}{0,75} + 0 + 0 = 5600 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Käyttöveden lämmöntuottolaitteen pitää siis tuottaa yhteensä noin 5600 kWh/a lämmitysenergiaan käyttövedeen vuodessa.

6.2.2 Käyttöveden lämmöntuottojärjestelmän energiankulutus

Käyttöveden lämmöntuottojärjestelmän (lämmitysjärjestelmän) lämpöenergian kulutus lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D5/2012 luvussa 6.4 esitetyllä tavalla. Talossa A käyttövesi lämmitetään öljylämmitysjärjestelmällä. Öljykattilan vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 0,81. Talon A käyttöveden lämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutukseksi saadaan siten

D5/2012 kaava 6.7

$$Q_{\text{l\u00e4mmitys, lkv, kulutus}} = \frac{Q_{\text{l\u00e4mmitys, lkv}}}{\eta_{\text{tuotto, lkv}}}$$

koko vuosi

$$Q_{\text{l\u00e4mmitys, lkv, kulutus}} = \frac{5600}{0,81} = 6913,58 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

6.3 Ilmanvaihdon l\u00e4mmitysjarjestelm\u00e4n energiankulutus

6.3.1 Ilmanvaihdon l\u00e4mmitysjarjestelm\u00e4n l\u00e4mmitysenergian kokonaistarve (kulutus)

L\u00e4ht\u00f6tilanteessa kummassakaan rakennuksessa ei ole koneellista ilmanvaihtoj\u00e4rjestelm\u00e4\u00e4. Vaihtoehtoisissa j\u00e4rjestelmiss\u00e4 t\u00e4llaista vaihtoehtoa on tutkittu.

Ilmanvaihdon l\u00e4mmitysjarjestelm\u00e4n l\u00e4mp\u00f6energian tarpeen laskennassa ilmanvaihtokoneen l\u00e4mmityspattereiden hy\u00f6tysuhteen voidaan olettaa olevan 100 % energiatodistusasetuksen (YM asetus 176/2013) liitteen 1 kohdan 2.2.7 mukaisesti. Ilmanvaihdon l\u00e4mp\u00f6energian kokonaistarve on siten yht\u00e4 suuri kuin luvussa x laskettu ilmanvaihdon l\u00e4mmitysenergian nettotarve

D5/2012 kaava 6.2.2

$$Q_{\text{l\u00e4mmitys, iv}} = \frac{Q_{iv}}{1,00}$$

koko vuosi

$$Q_{\text{l\u00e4mmitys, iv}} = \frac{589,30}{1,00} = 589,30 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

6.3.2 Ilmanvaihdon l\u00e4mmitysjarjestelm\u00e4n ostoenergiankulutus

Ilmanvaihdon l\u00e4mmitysjarjestelm\u00e4n (l\u00e4mm\u00f6ntuottojarjestelm\u00e4n) ostoenergiankulutus lasketaan rakentamism\u00e4\u00e4r\u00e4yskokoelman osan D5/2012 luvussa 6.4 esitetyll\u00e4 tavalla. T\u00e4ss\u00e4 rakennuksessa tuloilma l\u00e4mmitet\u00e4\u00e4n s\u00e4hk\u00f6vastuksella. S\u00e4hk\u00f6vastuksen kuluttama s\u00e4hk\u00f6energian on k\u00e4yt\u00e4nn\u00f6s\u00e4 yht\u00e4 suuri, kuin s\u00e4hk\u00f6vastuksen luovuttama l\u00e4mp\u00f6energia. S\u00e4hk\u00f6vastuksen hy\u00f6tysuhteen\u00e4 voidaan siten k\u00e4ytt\u00e4\u00e4 arvoa 1,00. Ilmanvaihdon l\u00e4mmitysjarjestelm\u00e4n ostoenergiankulutukseksi saadaan n\u00e4in

D5 / 2012 kaava 6.7

$$Q_{\text{l\u00e4mmitys, iv, kulutus}} = \frac{589,30}{\eta_{\text{tuotto, iv}}}$$

koko vuosi

$$Q_{\text{l\u00e4mmitys, iv, kulutus}} = \frac{589,30}{1,00} = 589,30 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$
