

Tuomas Tervonen

OMAKOTITALON LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN VALINTA

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Kevät 2009



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Rakennustekniikka
Tekijä(t) Tuomas Tervonen	
Työn nimi OMAKOTTALON LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT Kauko- , maa- ja puukeskuslämmityksen perustamis- ja käyttökustannukset	
Vaihtoehtoiset ammattipinnot	Ohjaaja(t) Allan Mustonen Toimeksiantaja
Aika Kevät 2009	Sivumäärä ja liitteet 33+7
<p>Työssä käsitellään omakotitalojen eri lämmitysmuotoja. Näitä ovat esimerkiksi kaukolämpö, sähkölämmitys, puulämmitys ja erilaiset lämpöpumppujärjestelmät. Tarkoituksena oli selvittää eri lämmitysmuotojen energiatehokkuutta, rakentamisaikaisia kustannuksia, ylläpitokustannuksia sekä käyttömukavuutta. Työssä esiintyy kolme esimerkkitaloa, joista suoritetaan energiankulutuslaskelmat. Energiakulutuslaskelmat tehdään Rakentamismääräyskokoelma osan D5 avulla.</p> <p>Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttaa rakennuksen koko, sijainti ja asukkaiden elämäntapa. Lämmitystapaa valittaessa arvioidaan, kuinka paljon siihen uskalletaan investoida. Maalämpöpumppujärjestelmä on kallis investointi rakennusvaiheessa verrattuna esimerkiksi sähkölämmitykseen. Lämpöpumppu- ja kaukolämpöjärjestelmissä taloon rakennetaan vesikiertoinen lattialämmitys, joka on asumisviihtyvyydeltään erinomainen.</p> <p>Talon energiatehokkuuteen vaikuttaa talon ulkovaipan lämmöneristyskyky, tiiveys ja LVI-tekniikka. Ulkovaipan lämmöneristävyyteen vaikutetaan paksummilla eristevahvuuksilla ja energiatehokkaimmilla ikkunoilla. Lämmöneristävyyttä mitataan U-arvolla. U-arvo kertoo sen lämpömäärän, minkä rakennusosa läpäisee tietyillä arvoilla. Se on erittäin hyvä vertailutyökalu rakennusosille. Rakentamista ohjataan määräyksillä ja valvonnalla.</p> <p>Lämmitysjärjestelmien tekninen elinkaari on erilainen. Puukattilan komponenttien ikä ei ole kovin pitkä, kun taas sähkölämmityksen järjestelmä on huoltovapaa. Lämpöpumppujärjestelmissä pumpun elinkaaren oletetaan olevan 15-25 vuotta.</p> <p>Tulokset osoittavat, että nykyaikaisilla materiaaleilla ja voimassa olevien määräysten mukaisesti rakennetut talot ovat hyvin samankaltaisia energiatehokkuudeltaan. Eroja tulee esimerkiksi ikkunoiden asettelusta ilmansuuntiin nähden. Talon pohjaratkaisun tulisi olla yksinkertainen, jolloin rakennukseen ei tule ylimääräisiä nurkkia.</p> <p>Energian säästäminen tulee olemaan tulevaisuudessa vielä nykyistä suurempi seikka, ja ympäristön suojelemisen merkitys korostuu. Se tulee näkymään rakentamisessa tiukentuvilla määräyksillä, jolloin myös rakentaminen kallistuu.</p>	
Kieli	suomi
Asiasanat	kaukolämpö, lämmitysjärjestelmä, maalämpö, puukeskuslämmitys
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Construction Engineering
Author(s) Tuomas Tervonen	
Title Detached houses heating systems	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Allan Mustonen
	Commissioned by
Date Spring 2009	Total Number of Pages and Appendices 33+7
<p>In this Bachelor's thesis various heating systems of detached houses were compared, including district heating, boiler heating and different kinds of heat pump systems. The purpose of the thesis was to assess the energy efficiency, cost of construction, cost of maintenance and operating convenience of different heating systems. The energy consumption of three different houses were calculated using the rules and regulations of building houses D5.</p> <p>The choice of the heating system is affected by the size and location of the house as well as the life style of the people living in the house. To be able to compare different kinds of heating systems it is necessary to estimate how much money the person in question is willing to invest.</p> <p>A geothermal heating system is a big investment while electric heating is not that expensive. Houses that have heat pump systems are equipped with underfloor heating using circulating water, which is very comfortable. Energy efficiency in detached houses is affected by the exterior building material of the house, insulation, condensation and technical HVAC. The construction work is guided by the building rules and regulations.</p> <p>The technical lifecycle of different types of heating systems varies. Boiler heating is very durable while an electric heating system is easy to maintain. The study indicates that the energy efficiency of houses built from modern materials and according to valid regulations is, in fact, very similar. The energy efficiency depends on, for example, the windows and whether they are placed according to the cardinal directions. The floor plan of the house should also be very simple to avoid extra corners. The economical use of energy will be more and more important issue in the future.</p>	
Language of Thesis	Finnish, English
Keywords	heating system, energy, HVOC
Deposited at	<input type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

SANASTO

ET-luku = Energiatodistuksessa energiatehokkuus ilmaistaan ET-luvulla. Energiatehokkuuden perusteella kiinteistölle määritellään energialuokka asteikolla A–G. Vähiten energiaa kulluttaa A-luokan kiinteistö, eniten G-luokan kiinteistö.

Kaukolämpö = Maamme yleisin lämmitysmuoto. Kaukolämpöä tuotetaan lämpökeskuksissa tai sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa. Se hyödyntää muuten hukkaan menevää lämpöenergiaa, joka syntyy muun muassa sähköntuotannon yhteydessä ja teollisuusprosessien jätelämpönä.

Kilowattitunti (kWh) = Kulutetun sähköenergian määrää mitataan kilowattitunnilla. Se on energian määrä, joka kuluu käytettäessä 1000 wattia tunnin ajan.

LTO = Ilmanvaihtokoneen ominaisuus, jolla rakennuksen poistoilmasta otetaan lämpöä käyttöön.

Maalämpö = Maalämpö on maaperään tai vesistöön varautunutta auringosta peräisin olevaa energiaa, jota kerätään maalämpöpumpulla.

U-arvo = Lämmönläpäisykerroin eli rakennusosan U-arvo ilmoittaa sen lämpömäärän, jonka 1 m²:n suuruinen rakennusosa läpäisee tunnissa, kun lämpötilaero on 1 °C. Aineiden lämmönjohtavuus on aineominaisuus, joka ilmaisee sen lämpömäärän, joka kulkee tunnissa 1 m²:n suuruisen ja 1 metrin paksuisen ainekerroksen läpi, kun pintojen lämpötilaero on 1 °C.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 LÄMMITYSMUODOT JA NIIDEN VALINTAKRITEERIT	3
2.1 Kaukolämpö	6
2.2 Maalämpö	8
2.3 Puukeskuslämmitys	10
3 LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN PERUSTAMIS- JA KÄYTTÖKUSTANNUKSET	12
3.1 Kaukolämpö	12
3.1.1 Perustamiskustannukset	12
3.1.2 Käyttökustannukset	13
3.1.3 Energiatehokkuuslaskelmat	13
3.2 Maalämpö	17
3.2.1 Perustamiskustannukset	18
3.2.2 Käyttökustannukset	18
3.2.3 Energiatehokkuuslaskelma	19
3.3 Puukeskuslämmitys	21
3.3.1 Perustamiskustannukset	21
3.3.2 Käyttökustannukset	22
3.3.3 Energiatehokkuuslaskelmat	23
4 LÄMMITYSMUOTOJEN VERTAILUA	26
4.1 Lämmitysmuotojen kustannukset	26
4.2 Rakennusten energiatehokkuus	27
5 ELINKAARIAJATTELUA LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN VALINTAAN	28
6 KESTÄVÄN KEHITYKSEN KANNATTAMINEN JA ENERGIAN SÄÄSTÖ	29
7 YHTEENVETO	31
LÄHTEET	32
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Omakotitalorakentajat painivat suunnitteluvaiheessa lämmitysjärjestelmän valinnan kanssa. Valittua lämmitysjärjestelmää ei ole helppoa jälkikäteen muuttaa, joten vaihtoehtoihin on syytä tutustua huolella ennen lopullista päätöksentekoa. Vaihtoehtoina ovat yleensä suoräsähkölämmitys, maalämpöpumppu, puukeskuslämmitys, puupellettijärjestelmä ja kaukolämpö. Aurinkoenergia toimii yleensä jonkin ratkaisun tukena.

Omakotitalon lämmityskustannukset ovat kokonaisenergian kulutuksesta noin 60–70 %. Loput 30–40 % energiasta kuluu käyttöveden lämmitykseen ja ilmanvaihdon kautta tulevaan hukkaan. Lämmitysenergian kulutukseen voi vaikuttaa eristevahvuuksilla eli talon ulkovaipan lämmöneristyskyvyllä. Lämmöneristävyttä mitataan U-arvolla. [1, s. 26.]

Energiatodistuksen avulla kuluttajat voivat vertailla rakennusten energiatehokkuutta. Energiatodistuksessa ilmoitetaan se energiamäärä, joka tarvitaan rakennuksen tarkoitustaan vastaavaan käyttöön. Jotta energiatehokkuuden arviointi ja vertaaminen muihin vastaaviin rakennuksiin olisi mahdollista, energiatehokkuuden perusteella kiinteistölle määritellään energialuokka asteikolla A–G. Vähiten energiaa kuluttaa A-luokan kiinteistö, eniten G-luokan kiinteistö. Kiinteistön lämmitysmuoto ei vaikuta rakennuksen saamaan energialuokkaan. Energiatehokkuuden parantaminen on ennen kaikkea kiinteistön omistajan etu, sillä mitä vähemmän energiaa kiinteistö kuluttaa, sitä enemmän omistaja säästää.

Lämmitysjärjestelmää valittaessa lähtökohtana on, että lämmitysmuoto olisi asukkaille edullisin pidemmällä tähtäimellä. Vaihtoehtoina on panostaa rakennusvaiheessa järjestelmään, jonka perustaminen on kalliimpaa ja käyttö edullisempaa tai päinvastoin. Rakennusvaiheen investointi lämmitysjärjestelmään säästää energiaa ja tulee usein pitkällä tähtäimellä halvemmaksi. On hyvä arvioida, missä ajassa investoinnit tulevat takaisin pienentyneenä energiankulutuksena ja sitä kautta vuosittaisina käyttömaksuina. Tulevaisuudessa energian hinta tuskin laskee. Yleinen ympäristön säästäminen nousee todennäköisesti myös tulevaisuudessa entistä ajankohtaisemmaksi.

Maailman ympäristönsuojelua koskevissa kokouksissa on tehty ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi päätöksiä, jotka heijastuvat myös yksittäiseen ihmiseen energian säästämisen tarpeellisuudella [5]. Lämmitys on rakennuksen koko elinkaaren suurin ympäristökuormien aiheuttaja, minkä vuoksi lämmitysjärjestelmän valinnassa on hyvä huomioida sen vaikutus ympäris-

tölle. Ympäristökuormia voi vähentää energian kulutuksen minimoimisen lisäksi myös valitsemalla energiataloudellisen ja vähän ympäristöä kuormittavan lämmitysmuodon. Ympäristövaikutusten kannalta paras ratkaisu on rakentaa mahdollisimman vähän energiaa kuluttava talo ja lämmittää sitä uusiutuvilla energiamuodoilla.

Työni tarkoituksena on esitellä eri lämmitysjärjestelmiä sekä niiden perustamis- ja käyttökustannuksia. Työhöni olen valinnut kolme taloa, joissa on eri lämmitysjärjestelmät: kaukolämpö, maalämpö ja puukeskuslämmitys. Työssäni esittelen lämmitysjärjestelmien perustamiskustannukset sekä käyttökustannukset vuoden ajalta. Olen laskenut arvioidut käyttökustannukset myös 15 vuoden ajalle, mikä mahdollistaa lämmitysmuotojen vertailun pidemmällä aikavälillä ja myös investointikustannuksiin suhteutettuna. Tarkoituksena on myös selvittää eri lämmitysmuotojen energiatehokkuutta ja käyttömukavuutta.

2 LÄMMITYSMUODOT JA NIIDEN VALINTAKRITEERIT

Yksi pientalon suunnittelun pitkävaikutteisimmista päätöksistä on lämmitysjärjestelmän valinta. Talon rakennusvaiheessa valitun järjestelmän muuttaminen myöhemmin ei ole helppoa ja edullista. Pientalon asumismukavuuteen ja käyttökustannuksiin vaikuttavat merkittävästi lämmitysvalinnat ja energiatalouden suunnittelu. Lämmitysjärjestelmää valitessaan pientalon rakennuttaja joutuu pohtimaan taloudellisia lähtökohtia, rakennuspaikan ja rakennuksen suomia mahdollisuuksia sekä eri lämmitysjärjestelmien ominaisuuksia. [2.]

Rakennuksen sijainti vaikuttaa suuresti lämmitysmuodon valintaan. Kaukolämmön alueella ei vaihtoehtoja ole. Talon muut rakenneratkaisut vaikuttavat myös valintaan. Eristävyysvaatimukset tulevat kasvamaan (taulukko 1). Energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanon yhteydessä on uudistettu rakentamismääräyskokoelman C3-normit, jotka julkaistiin 2007 ja astuivat voimaan 1.1.2008 [3].

Taulukko 1. Rakentamismääräysten mukaiset U-arvot ennen, nyt ja tulevaisuudessa.

	C3 1976	C3 1978	C3 1985	C3 2003	C3 2007	C3 2010
Rakennusosien U-arvot						
Ulkoseinä	0,4	0,29	0,28	0,25	0,24	0,14
Yläpohja	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Alapohja	0,4	0,4	0,36	0,25	0,24	0,14
Ikkuna	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1
Ovet	0,7	0,7	0,7	1,4	1,4	0,7
LTO:n hyötysuhde	0	0	0	30 %	30 %	50 %

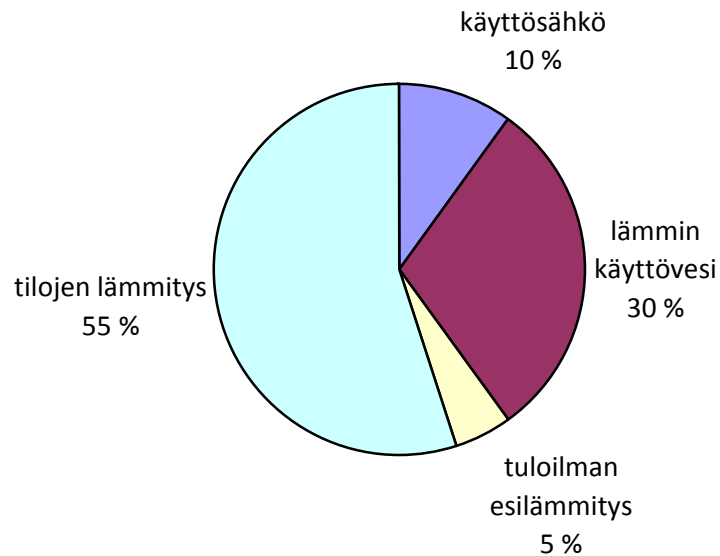
Lämmönläpäisykerroin eli rakennusosan U-arvo ilmoittaa sen lämpömäärän, jonka 1 m²:n suuruinen rakennusosa läpäisee tunnissa, kun lämpötilaero on 1 °C. Aineiden lämmönjohtavuus on aineominaisuus, joka ilmaisee sen lämpömäärän, joka kulkee tunnissa 1 m²:n suuruisen ja 1 metrin paksuisen ainekerroksen läpi, kun pintojen lämpötilaero on 1 °C. [4, s. 66.]

Terveellisen, turvallisen ja vähän energiaa kuluttavan talon perustan muodostavat lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät sekä talon rakenteet ja ikkunat, jotka vaikuttavat kaikki toisiinsa. Sitä yksinkertaisempi lämmitysjärjestelmä riittää tarvittavan sisälämpötilan ylläpitoon, mitä paremmin ilmanvaihtojärjestelmä pystyy ottamaan talteen lämpöä ja mitä paremmin raken-

teet ja ikkunat eristävät lämpöä. Rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavat lämmitysjärjestelmän valintakriteereiden lisäksi myös monet muut ratkaisut. Lämmitysjärjestelmän valinnassa oleellista on rakentaa talo tontin edellytysten mukaan, tähdätä yksinkertaisiin rakenteisiin ja selkeään laitetekniikkaan, panostaa suunnitteluun, kiinnittää huomiota lämmöneristykseen ja hallittuun ilmanvaihtoon sekä huolehtia työn kunnollisesta valvonnasta ja huolto-
kirjan kokoamisesta. [5.]

Lämmitysjärjestelmää valittaessa kannattaa ottaa huomioon rakennuksen koko ja energiankulutuksen määrä. Jos rakennus on suuri, kannattaa harkita rakentamiskustannuksiltaan kalliimpaa lämmitysjärjestelmää, joka tuottaa halpaa lämpöä. Myös perheen koko ja tulevaisuus vaikuttavat lämmitysjärjestelmän valintaan. Valinnoissa kannattaa pohtia, mukautuuko talo ja sen lämmitysjärjestelmä helposti tilantarpeen, tilajärjestelyiden tai perheeseen muutoksiin. Lämpimän käyttöveden kulutus vaikuttaa sekä lämmitysjärjestelmän valintaan että sen mitoittamiseen. Lämmitysjärjestelmien tilavaatimukset on myös huomioitava, sillä esimerkiksi puulämmitys vaatii melko paljon varastotilaa. Valinnassa tulee ottaa huomioon myös ympäristöystävällisyys sekä helppokäyttöisyys ja vaivattomuus sen mukaan, minkä verran lämmitykseen on mahdollista käyttää omaa aikaa ja työpanosta. [5.]

Lämmitysjärjestelmä voidaan jakaa eri alueisiin: lämmönkehityslaitteeseen, lämmönvarauslaitteeseen, lämmönjakojärjestelmään ja säätölaitteeseen. Pientalon energiankulutus koostuu eri kulutuksista (kuva 1). Tilojen lämmityksellä on suurin osuus energiankulutuksesta. Lämmin käyttövesi kuluttaa energiaa toiseksi eniten.



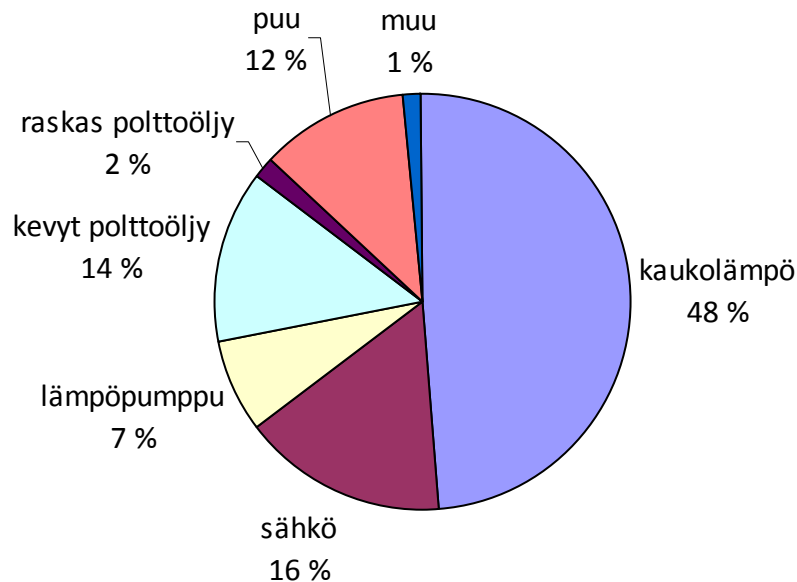
Kuva 1. Pientalon energiankulutuksen jakautuminen []

Lämmitys on rakennuksen koko elinkaaren ylivoimaisesti suurin ympäristökuormien aiheuttaja, mitä voi vähentää pienentämällä energian kulutusta ja valitsemalla vähän ympäristöä kuormittavan energiamuodon. Paras ratkaisu ympäristövaikutusten kannalta on rakentaa mahdollisimman vähän energiaa kuluttava talo ja lämmittää sitä uusiutuvilla energiamuodoilla, esimerkiksi puupolttoaineilla, aurinkoenergialla ja maalämmöllä, kuitenkin ottaen huomioon tontin ja sijainnin suomat mahdollisuudet. Rakennuspaikka voi joko mahdollistaa tai rajoittaa energiamuodon valintoja. Puulämmitystä harkittaessa tulee ottaa huomioon, onko puuta saatavilla omasta takaa. Maalämpöä harkittaessa on huomioitava, riittääkö tontti vaakauntaiselle maaputkistolle tai löytyykö sieltä sopivaa paikkaa porakaivolle. Kaukolämpö on mahdollista vain, jos jakeluverkosto on lähellä. [5.]

Lämmitysjärjestelmissä eroja on erityisesti energia- ja investointikustannusten välillä. Joissakin järjestelmissä investointikustannukset nousevat korkeiksi, mutta energiakustannukset jäävät alhaisiksi. Toisissa taas järjestelmien investointikustannukset ovat alhaiset, mutta energiakustannukset ovat korkeampia. Rakentajan valinnaksi jää, haluaako hän investoida hieman enemmän energiakustannusten alentamiseksi vai tavoitella mahdollisimman vähäisiä inves-

tointikustannuksia. Mahdolliset ympäristöverot ja energian hintojen muutokset kohdistuvat paljon energiaa kuluttavan talon käyttökustannuksiin voimakkaammin kuin vähän kuluttavan. Taloudellisesti viisas ratkaisu on valita lämmitysjärjestelmä, jossa vaihtaminen energiamuodosta toiseen ei aiheuta kohtuuttomia lisäkustannuksia. [5; 6.]

Suomessa kaukolämmityksen osuus lämmitysmarkkinoista on lähes 50 % (kuva 2). Kaukolämmityksen suuri markkinaosuus johtuu siitä, että lähes 95 % asuinkerrostaloista sekä valtaosa julkisista ja liikerakennuksista ovat kaukolämmitettyjä. Omakotitaloista kaukolämmitettyjä on kuitenkin vain noin 6 % lämmitysenergiasta [7]. Toiseksi suurin markkinaosuus on sähkölämmityksellä, mikä johtuu sen edullisesta perustamisesta ja käytön helppoudesta.

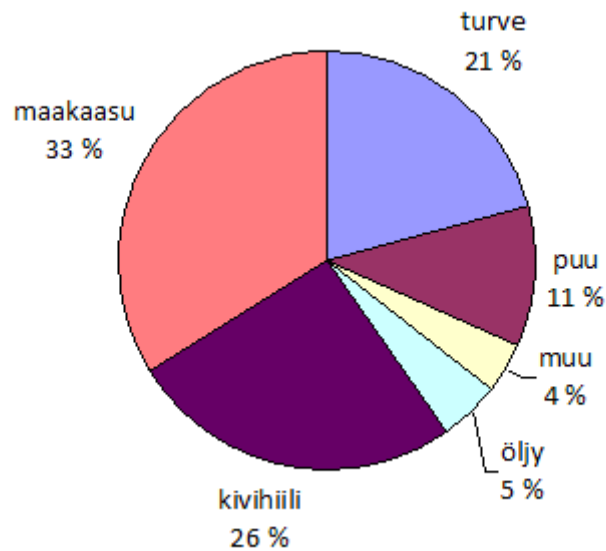


Kuva 2 . Lämmityksen markkinaosuudet vuonna 2007 [7.]

2.1 Kaukolämpö

Maamme yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö, jota on lähes kaikissa kaupungeissa ja taajamissa. Kaukolämpöä on Suomessa ollut 1950-luvun alusta lähtien. Nykyään noin 2,6 miljoonaa suomalaista asuu kaukolämpötaloissa. Kaukolämpö on suosittua, sillä se on luonnollinen ja varma taajamien lämmitystapa. Mitä tiheämmin rakennettu alue on ja mitä isompia

rakennukset ovat, sitä taloudellisempaa kaukolämmitys on. Kaukolämmitys hyödyntää muuten hukkaan menevää lämpöenergiaa (kuva 3), joka syntyy muun muassa sähköntuotannon yhteydessä ja teollisuusprosessien jätelämpönä, mihin perustuu kaukolämmön ylivoimainen energiatehokkuus ja ympäristömyönteisyys. Uusia asuinalueita suunniteltaessa ja rakennettaessa lähes aina alueelle rakennetaan kaukolämpöverkosto. [7.]



Kuva 3. Kaukolämmön ja lämmitysvoiman energialähteet [8]

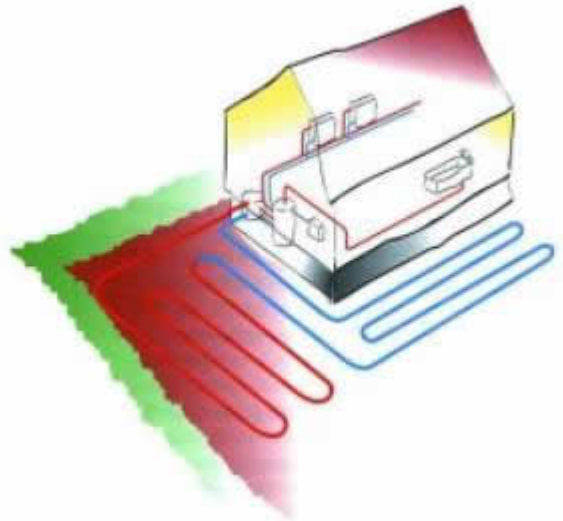
Kaukolämpöä tuotetaan lämpökeskuksissa tai sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa. Kaukolämpöverkossa kiertää kuuma vesi, josta asiakkaat saavat lämmön. Asiakkaan lämmönsiirtimen välityksellä menojohdon kuuma vesi luovuttaa lämpöä talon lämmitys- ja lämpimän käyttöveden verkkoihin. Asiakkaille tulevan kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee sään mukaan 65–115 °C:n välillä ja tuotantolaitoksiin palaavan veden lämpötila vaihtelee 40–60 °C:n välillä. Lämpöä talot käyttävät huoneiden ja käyttöveden lämmittämiseen sekä ilmanvaihtoon. [7; 9.]

Asemakaavassa voidaan pakottaa rakennus liittymään kaukolämpöön. Pakottamista perustellaan kaukolämmön ympäristöystävällisyydellä sekä alueen päästöttömyysvaatimuksilla. Poikkeuksia sallitaan kuitenkin, jos esimerkiksi käyttää uusiutuvia energiamuotoja.

2.2 Maalämpö

Maalämpö on aurinkoenergiaa, joka on varastoitunut maahan. Lämpö varastoituu maa- ja kallioperään sekä vesistöihin. Maalämpöpumpulla tarkoitetaan järjestelmää, jolla kerätään lämpö edellä mainituista. Lämmönkeruuputkiston voi asentaa veteen, porakaivoon tai suoraan maahan. Pumppu kierrättää putkistossa nestettä ja siirtää maasta saatavan lämmön kylmäaineeseen höyrystin-lämmönsiirtimen avulla. Kylmäaine luovuttaa lämpöä ensin höyrystin-jäähdytin-lämmönsiirtimessä käyttöveteen ja lauhdutin-lämmönsiirtimessä vesikiertoiseen lattialämmitykseen. Järjestelmä mitoitetaan korkeaan höyrystyslämpötilaan (0–3 °C) ja alhaiseen lauhdutuslämpötilaan (35–40 °C), joilla parannetaan laitteiston hyötysuhdetta. [10.]

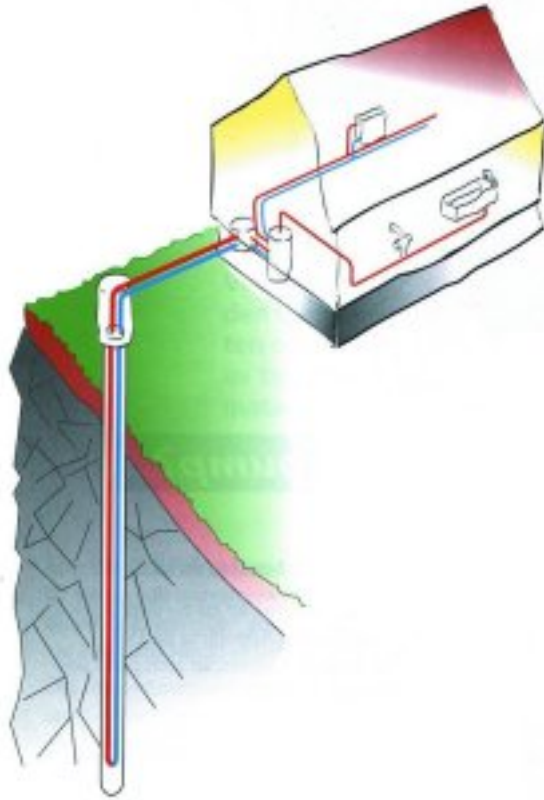
Maaperään asennettava lämmönkeruuputkisto kaivetaan maahan suunnitelmien perusteella. Putken pituus riippuu tarvittavasta lämpöenergiämäärästä ohjearvojen ollessa noin 1–2 metriä rakennuskuutiota kohti. Mitoituksen tekee aina ammattilainen eli rakennushankkeen LVI-suunnittelija. Maaperään asennettava lämmönkeruuputkisto (kuva 4) vaatii suuren tontin ja on sen vuoksi yleensä vaikea toteuttaa. Tonttia tarvitaan arviolta 1,5 m² putkea kohti. Kustannuksia tulee erityisesti putken kaivamisesta tulevista työtunneista. [10.]



Kuva 4. Maalämmön lämmönkeruuputkisto [10.]

Porakaivoon asennettava lämmönkeruuputkisto (kuva 5) on yleistynyt ratkaisu maalämmön lämmönlähteenä. Porakaivolla tarkoitetaan maahan porattua reikää, joka voi olla jopa 200 metriä syvä. Reikään voidaan asentaa teräsputki, jotta maa-ainekset eivät valu siihen. Pohjalle lasketaan pumppu, joka pumppaa erillistä vesijohtoa pitkin veden käytettäväksi. Lämmitys-

käytössä kaivoon asennetaan kaksi putkea, jotka yhdistetään alapäistä silmukalla toisiinsa. Putkisto on eristettävä aina routarajan alapuolelle saakka. Putkisto voi olla myös 3- tai 4-putkijärjestelmä, ja kaivoja voi olla useampia rinnakkain. Kustannuksia tässä järjestelmässä tulee kaivon poraamisesta, johon vaaditaan aina ammattityöntekijät. [10.]

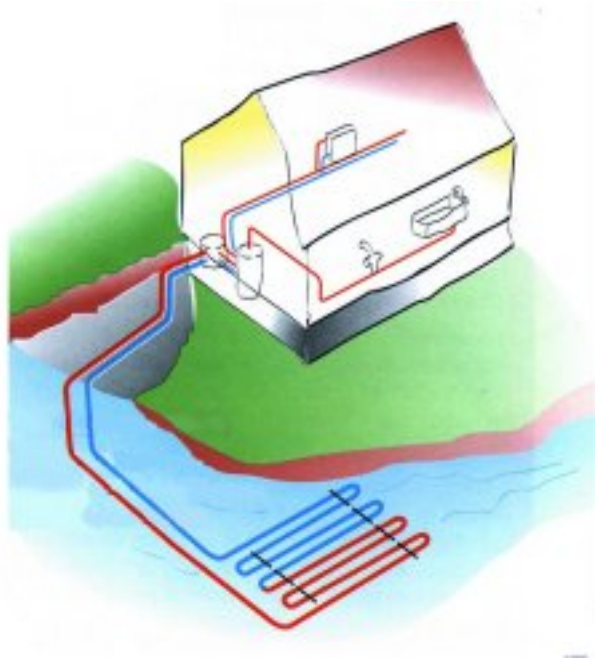


Kuva 5. Porakaivoon asennettava lämmönkeruuputkisto [10.]

Lämmönkeruuputkiston asentaminen vesistöön (kuva 6) on arviolta halvin ja helpoin vaihtoehto. Putkisto on kaivettava maan alle rantaan ja myös rannan läheisyydessä, etteivät jäät vauriota sitä. Vedessä putkeen kiinnitetään painoja, jotta putki ei pääse nousemaan vedestä. Jos putkisto mitoitetaan liian lyhyeksi, on myös olemassa jäätymisvaara. Veden lämpötila pohjassa on 4 °C veden fysikaalisista ominaisuuksista johtuen, joten verrattuna maahan asennettavaan putkeen hyöty on parempi. Putki kuitenkin liettyy ja painuu vesistön pohjamutaan ajan kuluessa, jonka vuoksi putkisto mitoitetaan hieman ylisuureksi.

Teoriassa maalämmön hyötysuhde on 3. Eli yhdellä ostetulla kWh:lla saadaan tuotettua 3 kWh lämpöä. Käytännössä vuosihyötysuhde on pienempi. Jotta päästäisiin lähelle maksimi-

hyötyä, on koko järjestelmä säädettävä tarkasti ja kulutusta seurattava. RakMk:n D5 ohjeen mukaan maalämmön hyötysuhde on 2,5 [11].

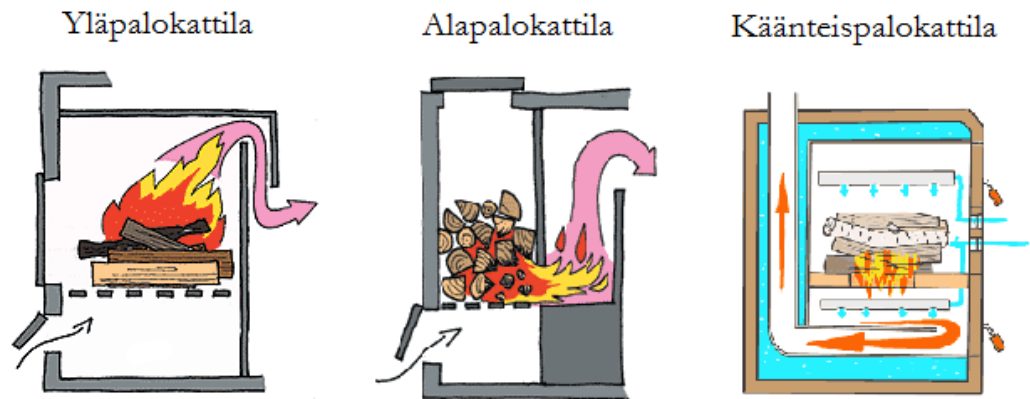


Kuva 6. Vesistöön asennettava lämmönkeruuputkisto [10.]

2.3 Puukeskuslämmitys

Puulämmityksellä on Suomessa pitkät perinteet. Puu on uusiutuva luonnonvara, sillä metsä kasvaa puuta uudistaen kasvustoaan koko ajan. Lähes kaikissa talouksissa Suomessa on varalämmönlähteenä puuhun perustuva lämmitysjärjestelmä. Puukeskuslämmityksellä tarkoitetaan järjestelmää, jossa puuta polttamalla saadaan lämpöenergia vesikiertoiseen lattia- tai patteriverkostoon. Samalla lämmitetään käyttövesi. Kattiloita on erilaisia ja polttoaineena voidaan käyttää erilaisia aineita. Niitä ovat esimerkiksi pilkkeet, hake tai pelletti. [12; 13; 14.]

Kattilat jaetaan palotavan mukaan kolmeen ryhmään: ylä-, ala- ja käänteispalokattiloihin (kuva 7). Yläpalokattilat ovat edestä täytettäviä, perinteisiä kiinteän polttoaineen kattiloita. Alapalokattiloissa tehokas ja puhdas palaminen perustuu savukaasujen täydelliseen jälkipolttoon. Ne ovat päältä täytettäviä ja suurella varastopesällä varustettuja puukattiloita. Käänteispalokattilat ovat puukattiloita, joissa puu palaa puhtaasti, tehokkaasti ja vähällä lämmitystyöllä. [13.]



Kuva 7. Puukattilavaihtoehdot [13.]

Haketta voidaan polttaa vain stokeri- ja alapalokattilassa, pilkkeitä kaikissa kattiloissa. Ylä- ja käänteispalokattiloiden rinnalle tarvitaan lämminvesivaraaja. Puukattiloita ei saa säädettyä tarpeeksi pienille osatehoille, joten niitä käytetään useimmiten vain varaavan lämmitysjärjestelmän yhteydessä. Puupolttoaineiden käyttö ei aiheuta rikki- eikä kasvihuonekaasupäästöjä. Kattilan säädöistä, polttimen, palopesän ja kattilan puhdistuksesta sekä polttoaineen kuivuu-desta on tärkeää huolehtia hiukkas- ja muiden haitallisten päästöjen minimoimiseksi. [13.]

3 LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN PERUSTAMIS- JA KÄYTTÖKUSTANNUKSET

Lämmitysjärjestelmien kustannukset on laskettu todellisista kohteista. Esittelen kaukolämpö-, maalämpö- ja puukeskuslämmitystalojen perustamis- ja käyttökustannuksia ja vertailen niitä toisiinsa. Vertailutalot on rakennettu vuosina 2005–2007. Kaikki talot on rakennettu voimassa olevien määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Talojen sijaintipaikkakunnat ovat Kuopio, Nilsiä ja Kangasala. Kustannusten laskennassa ja energiatehokkuuslaskelmissa käytetyt kaavat ja laskutoimitukset näkyvät liitteessä 1 ja laskelmissa esiintyvien merkkien selitykset liitteessä 2.

3.1 Kaukolämpö

Kaukolämmön esimerkkitalo sijaitsee Kuopiossa. Talo on rakennettu vuonna 2005, ja sen bruttopinta-ala on 150 m². Talon lämmitysjärjestelmäksi on valittu kaukolämpö, koska alueella on kaukolämpöverkosto.

3.1.1 Perustamiskustannukset

Kaukolämmön kustannukset koostuvat kaukolämpöön liittymisestä ja lämmitysjärjestelmän rakentamisesta (taulukko 2). Yleensä lämmönjakotapa on vesikiertoinen lattia- tai patterilämmitys. Esimerkkitalossa on vesikiertoinen lattialämmitys. Vesikiertoinen lattialämmitys on yleinen, koska se on hyvä asumisviihtyvyydeltään. Lämpö jakautuu tasaisesti ja tuntuu miellyttävältä. Lattialämmityspotkistossa voi olla eri kiertoja, jolloin lämpöä voidaan säätää huonekohtaisesti.

Lämpöenergia siirretään kaukolämpöverkostosta lämmönsiirtimellä rakennuksen lämmitysverkostoon. Kaukolämpövesi virtaa lämmönjakokeskuksen läpi, jossa lämpöenergiaa siirtyy rakennuksen vesiverkostoon lämmönsiirtimen avulla. Vedet eivät sekoitu ollenkaan.

Kaukolämmityksen perustamiseen tarvitsee lämmönsiirripaketin ja lattialämmityspotkiston, joiden hinnat sisältävät myös tarvittavat LVI-työt ja tarvikkeet (taulukko 2). Usein hintojen vertailua heikentää LVI-töistä annettujen tarjousten kokonaishinta, eikä niihin erotella esimerkiksi LVI-kalusteita.

Taulukko 2. Kaukolämmitystalon perustamiskustannukset

	Hankinta
Kaukolämmön liittymismaksu	2500
Lämmönsiirrinpaketti GST-unis100	3060
Lattialämmityspotkisto	2470
	8030 €
	66 € / m²

3.1.2 Käyttökustannukset

Kaukolämpöä pidetään yleisesti edullisena lämmitysmuotona. Esimerkkitalon lämmityskustannukset vuodelta 2007 näkyvät taulukossa 3. Käyttökustannukset koostuvat kaukolämmön käyttö- ja perusmaksuista. Kaukolämpö on erittäin käyttäjäystävällinen ja toimintavarma järjestelmä. Kaukolämpö on kuluttajaystävällinen käyttää. Energiayhtiöiltä saatavat kuukausittaiset lämmönkäyttöraportit helpottavat kulutuksen seuranta. Kulutuksia on myös helppo verrata vuositasolla.

Taulukko 3. Kaukolämmitystalon käyttökustannukset vuonna 2007

	Käyttö
Vuosimaksu	298 €
Kulutukset	584 €
	882 € / vuosi
	5,76 € / brm² / vuosi

3.1.3 Energiatehokkuuslaskelmat

Kaukolämmön esimerkkitalo edustaa tyypillistä suomalaista pientaloa (liite 3). Talo on rakennettu Kuopion Saaristokaupunkiin. Talon lämmitysjärjestelmäksi on automaattisesti muokkautunut kaukolämpö. Talo on rakennettu puurunkoisista elementeistä. Talon koko edustaa myös tyypillistä pientalon kokoa (taulukko 4). Pienelementeistä toteutetun talon lämmöneristyskyky on yleensä hyvä ja C3-normien mukainen.

Taulukko 4. Pientalon laajuustiedot

Rakennustilavuus	495 rak-m³
Bruttoala	153 brm ²
Kerroskorkeus	3,0 m
Huonekorkeus	2,6 m
Ilmatilavuus	340 m ³
Ikkunoiden pinta-ala	13 m ²

Kaukolämpötalon rakennusosat ovat lämmöneristävyysvaatimusten mukaisia. Vaaditut U-arvot näkyvät taulukosta 1 ja rakennusosien U-arvot taulukosta 5. Esimerkkitalon rakenteet eivät kuitenkaan täytä vuoden 2010 U-arvoja.

Taulukko 5. Rakennusosien tiedot

Rakennusosat	Pinta-ala m²	U-arvo (w/m²K)
Ulkoseinät		
Puurunkoinen ulkoseinäelementti 225 mm	151	0,21
Ulkoseinäelementti 145 mm	10	0,36
Yläpohja		
Harjakatto mineraalivillalevy 100 + 300 puhallusvilla	153	0,16
Alapohja		
Maanvarainen TB-laatta eriste 100 mm, reunoilla 150mm	153	0,26
Ovet		
Fenestra puualumiini	12	1,4
Ikkunat		
Pohjoiseen	4,62	1,4
Itään	0,3	1,4
Etelään	8,14	1,4
Länteen	-	-

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus lasketaan RakMk D5 kaavalla 3.7 (liite 1). Siinä lasketaan tilojen lämmitysenergian ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergia yhteensä [11]. Kaukolämpötilon lämmitysenergiankulutus näkyy taulukossa 6.

Taulukko 6. Rakennuksen lämmitysenergian kulutus

Aika	Rakennuksen tilojen lämmitysenergian kulutus	Käyttöveden lämmityksen energian kulutus	Rakennuksen lämmitysenergian kulutus yhteensä
	kWh	kWh	$Q_{\text{lämmitys}}$ kWh
Vuosi	18 340	7 200	25 540

Kaukolämpötilon lämpöenergiähäviöt näkyvät taulukossa 7. Rakenteiden läpi johtuva energia on se lämpömäärä, mikä johtuu seinien, yläpohjan, alapohjan, ikkunoiden ja ovien läpi. Tähän lämpömäärään rakentajat pyrkivät vaikuttamaan suuremmilla eristevahvuuksilla ja esimerkiksi energiatehokkaammilla ikkunoilla. Tähän vaikuttaminen pienentävästi on kallista. Seinien vahventaminen lisää materiaali- ja työkustannuksia.

Vuotoilman tarvitsema energia tarkoittaa käytännössä talon ilmatiiviyttä. Tähän voidaan vaikuttaa höyrynsulkumuovilla ja huolellisella läpivientien teippauksella. Talo voidaan rakentaa myös ilman höyrynsulkumuovia, jolloin puhutaan ilmansulkupaperista. Ilmanvaihdon aiheuttamaan hukkaan vaikutetaan LTO-laitteella. Tässä esimerkissä LTO:n hyötysuhteeksi on arvioitu 0,5. On tärkeää huolehtia LTO:n toiminnasta. Laite täytyy huoltaa säännöllisesti, ja suodattimet tulee pitää puhtaina.

Taulukko 7. Lämpöenergiähäviöt

Aika	Rakenteiden läpi johtuva energia yhteensä	Vuotoilman tarvitsema energia	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia	Rakennuksen lämpöhäviöenergia yhteensä
	Q_{joht}	$Q_{\text{vuotoilma}}$	Q_{iv}	
	kWh	kWh	kWh	kWh
Vuosi	20 405	2 996	4 715	28 116

Rakennuksen lämmitykseen vaikuttavat myös lämpökuormat (taulukko 8). Lämpökuormat ovat rakennuksen lämmittämiseen lämmityslaitteista vapautuvaa energiaa, lämminkäyttövedenjärjestelmän luovuttamaa energiaa, henkilöiden tuottamaa lämpöenergiaa, valaistuksen tuottamaa lämpöä ja sähkölaitteiden tuottamaa energiaa. Lämpökuorma on laskettu D5-kaavojen 8.3 ja 8.4 mukaisesti (liite 1).

Taulukko 8. Lämpökuormat.

Aika	Lämpökuorma henkilöistä kWh	Lämpökuorma valaistuksesta ja sähkölaitteista kWh	Lämpökuorma tilojen lämmitysjärjestelmistä kWh	Ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia kWh	Lämpökuormat yhteensä kWh
					$Q_{\text{lämpökuorma}}$
Vuosi	1 224	4 896	3 220,7	3 095	12 435

Ikkunoiden kautta tuleva lämpökuorma on tässä laskelmassa suhteellisen pieni. Esimerkkitalon ikkunapinta-ala on vain noin 13 m². Ikkunapinta-alaa kannattaa painottaa etelän ja lännen puolelle. Jotta auringon säteilyenergia hyödynnettäisiin, sälekaihtimet tai verhot täytyy siirtää valoisan aikana syrjään. Ikkunapinta-alaa on oltava 10 % huoneen pinta-alasta, jotta huone lasketaan asuinhuoneeksi.

Rakennuksen tilojen nettoenergiantarve näkyy taulukossa 9. Se koostuu rakennuksen lämpöenergioiden ja lämmityksen lämpökuormista hyödynnettävien energioiden erotuksesta. Nettoenergiantarve lasketaan D5 kaavan 8.5 mukaan (liite 1).

Taulukko 9. Rakennuksen lämmityksen nettoenergiantarve.

Aika	Rakennuksen lämpöhäviö energia yhteensä	Lämpökuorma yhteensä	Lämpökuomista hyödynnettävä energia (95%)	Rakennuksen lämmityksen nettoenergiantarve kWh
				$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$
Vuosi	28 116	12 435	10 652,35	16 302

Taulukossa 10 on huomioitu rakennuksen lämmitysenergian kulutus ja laitesähkön kulutus, josta muodostuu rakennuksen energiankulutus yhteensä. Pientaloissa tilojen jäähtymiseen ei yleensä käytetä energiaa.

Taulukko 10. Rakennuksen energiankulutus yhteensä.

Aika	Rakennuksen lämmitysenergian kulutus $Q_{\text{lämmitys}}$	Laitteiden sähköenergian kulutus $W_{\text{laitesähkö}}$	Tilojen jäähdytysenergian kulutus	Rakennuksen energiankulutus E_{rakennus} kWh
Vuosi	25 540	6 800	0	32 340

Rakentamismääräyskokoelman D5-osan perusteella on laskettu talon energiatehokkuusluku (kuva 8). Se lasketaan kaavalla 3.6. Laskennassa on useita kohtia, joissa voi tulla virhemarginaalia. Näitä ovat esimerkiksi ikkunoiden kautta tuleva auringon lämmittävä vaikutus, lämpimän käyttöveden kulutus, laitteiden lämmittävä vaikutus, ilmanvaihdon toiminta, LTO:n hyötysuhde ja rakenteiden todellinen U-arvo.

Ikkunoiden kautta tuleva auringonlämpö on laskettu tässä esimerkissä ilman verhoja. Lisäksi alle yhden neliömetrin ikkunapinta-ala julkisivua kohden on jätetty huomiotta. Lämpimän käyttövedenkulutus on laskettu todellisten kulutustietojen perusteella, jotka olivat huomattavasti pienemmät kuin D5:n antamat tulokset. Laskennalliset U-arvot ovat todellisia U-arvoja pienempiä, eli parempia. Rakentamisessa on aina toleranssia, eikä esimerkiksi villaa asenneta täydellisesti villatilaan.

$$\begin{aligned}
 ET - luku &= \frac{\sum Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{laitesähkö}} + Q_{\text{jäähdytys}}}{\sum A} = \\
 ET - luku &= \frac{25540 + 6800 + 0}{153\text{m}^2} = 211\text{kWh} / \text{brm}^2 / \text{vuosi} \\
 ET - luku &= 168\text{kWh} / \text{brm}^2 / \text{vuosi} \rightarrow \underline{\underline{ET - luokka D}}
 \end{aligned}$$

Kuva 8. Kaukolämpötalon energiatehokkuusluku ja sen laskenta

3.2 Maalämpö

Maalämmön esimerkkitalo sijaitsee Kangasalan kunnassa. Talo on rakennettu vuonna 2006, ja sen bruttopinta-ala on 200 m². Talon lämmitysjärjestelmäksi on valittu maalämpö, koska kaukolämmön mahdollisuutta ei ole ja tontti mahdollistaa maalämpöjärjestelmän rakentamisen.

3.2.1 Perustamiskustannukset

Työssäni käyttämän esimerkkitalon lämmitysjärjestelmä on toteutettu asentamalla lämmönkeruuputkisto vesistöön. Maalämmön perustamiskustannuksia pidetään suurina. Esimerkkitalon järjestelmän perustamiskustannukset olivat 16 000 €. Talon koko vaikuttaa järjestelmän valintaan. Maalämpötilon perustamiskustannukset ovat suuret, mutta käytössä se on osoittanut edullisuutensa. Taulukossa 11 näkyvät esimerkkitalon perustamiskustannukset. Eroa kaukolämmön investointikustannuksiin on yli 7 000 euroa. Nykyisellä kaukolämmön hinnan kehityksellä ei maalämpöjärjestelmä kilpaile edullisuudellaan kaukolämpöä vastaan. Monessa tapauksessa maalämpöputkisto asennetaan porakaivoon, mikä nostaa investointeja tuntuvas- ti. Tämän talon kustannukset olisivat nousseet arviolta noin 4 000 euroa.

Taulukko 11. Maalämpötilon lämmitysjärjestelmän perustamiskustannukset

Perustamiskustannukset		
	hankinta €	työ €
Maalämpöpumppu lämpöässä v10 + neste	8060	3800
Lämmönkeruuputkisto 400 m + pohjapainot	500	300
Lattialämmityspotkisto	3250	x
		15910 €
		78,0 €/m²

3.2.2 Käyttökustannukset

Maalämmön huoltokustannukset ovat osoittautuneet pieniksi. Perustamisen jälkeen on tärkeää putkiston ilmaus ja tarvittaessa nesteen lisäys. Järjestelmä täytyy säätää tarkasti. Tässä kohteessa säätö tapahtuu EH-201/GL-säätimellä. Toimintaperiaatteena on menoveden lämpötilan säätö ulkoanturin perusteella. Anturi kuitenkin kompensoi menovettä huonetilan lämpötilalla.

Käyttömukavuus ja helppous on vakuuttanut maalämmön käyttäjät. Lattialämmitys tuottaa miellyttävän lämmön. Järjestelmä on osoittanut käyttövarmuutensa toimimalla moitteettomasti. Käyttökustannukset osoittavat järjestelmän toimintavarmuuden ja edullisuuden (taulukko 12).

Taulukko 12. Lämmitysjärjestelmän käyttökustannukset

Käyttökustannukset	
Energiankulutus	693 €
Huolto	50 €
	743 €
	3,6 € / m² / vuosi

3.2.3 Energiatohokkuuslaskelma

Talon rakenteiden lämmöneristyskyky on energiankulutuksen perusteella hyvä. Energiatohokkuuslaskelmat on esitetty taulukoituna liitteessä 4. Talo on rakennettu kappaletavarasta paikan päällä. Rakenteet ovat vaatimusten mukaisia, ja rakennustyö on onnistunut. Taulukossa 13 näkyvät rakennuksen laajuustiedot. Talo on muita vertailtuja taloja suurempi (liite 5).

Taulukko 13. Pientalon laajuustiedot.

Rakennustilavuus	696 rak-m³
Bruttoala	178 brm ²
Kerroskorkeus	3,0 m
Huonekorkeus	2,6 m
Ilmatilavuus	463 m ³
Ikkunoiden pinta-ala	27,44 m ²

Taulukossa 14 esitellään maalämpötalon rakennetietoja. Alakerta on betonirakenteinen, ja osittain seinät ovat maata vasten. Rakennusosien U-arvot ovat suunnittelijoiden antamia.

Taulukko 14. Rakennusosien tiedot.

Rakennusosat	Pinta-ala m ²	U-arvo (w/m ² K)
Ulkoseinät		
Puurunko 150 + 50 + mineraalivilla	112	0,25
Lammin betoniharkko	70	0,25
Yläpohja		
Harjakatto 100 + 300 puhallusvilla	102	0,14
Alapohja		
Maanvarainen TB-laattaeriste 100 mm, reunoilla 150mm	102	0,25
Ovet		
Pihla puualumiini	9,5	1,4
Ikkunat		
Pohjoiseen	5,4	1,4
Itään	13,84	1,4
Etelään	3,16	1,4
Länteen	5,04	1,4

Vertailutalo pärjää paremmin kuin kaukolämpötalo. Energiatohokkuuslukuun (kuva 9) vaikuttaa suurempi koko, ja esimerkiksi alakerran maanpainesinät. Talo on myös optimaalisen muotoinen, sillä se on suorakaiteen muotoinen. Ylimääräiset nurkat heikentävät vaipan lämmöneristävyyttä. Liitteessä 4 on laskettu talon lämmityksen tarvitsema kokonaisenergia.

$$ET-luku = \frac{\sum Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{laitesähkö}} + Q_{\text{jaahdytys}}}{\sum A} =$$

$$ET-luku = \frac{30654 + 7000 + 0}{204m^2} = 184,57$$

$$ET-luku = 185kWh / brm^2 / vuosi \rightarrow \underline{\underline{ET-luokkaE}}$$

Kuva 9. Maalämpötalon energiatohokkuusluku ja sen laskenta

Talon todelliset kulutustiedot eivät täysin tue energiatehokkuuslaskelmia. Talon käyttäjä lämmittää taloa lisäksi puulla, ja myös saunan lämmitysmuoto on puukiuas. Talon todellinen sähkönkulutus oli vertailuvuonna 11 000 kWh. Se on erittäin vähän, kun vertaa kaukolämpötalon todelliseen lämpöenergiankulutukseen, joka oli 15 000 kWh.

3.3 Puukeskuslämmitys

Puukeskuslämmityksen esimerkkitalo sijaitsee Nilsiässä. Talo on rakennettu vuonna 2007, ja sen bruttopinta-ala on 155 m². Nykyään harvemmin rakennettua puukeskuslämmitystä käyttävä talo on muuten tyypillinen suomalainen pientalo. Lämmitysjärjestelmä on käytössä osoittanut toimivuutensa ja edullisuutensa.

3.3.1 Perustamiskustannukset

Puukeskuslämmityksen perustamiskustannukset ovat kohtalaisen suuret. Hinta jää noin 25 % alhaisemmaksi kuin maalämmön, johon sitä kannattaa vertailla. Tämä onkin se syy, miksi sitä niin vähän rakennetaan. Taulukosta 20 huomaa, että järjestelmä vaatii paljon LVI-töitä.

Taulukko 20. Puukeskuslämmityksen perustamiskustannukset.

Perustamiskustannukset	
	hankinta €
Puukattila jäspi-ecopuu 45	2920
Varaaja ovaali EP 1,8k	2300
Lattialämmitysputkisto	3000
LVI-työt	3982
	12 202,0 €
	85 € /brm²

3.3.2 Käyttökustannukset

Puulla lämmitettäessä ei yleensä lasketa puuntekokustannuksia. Kun omalle työlle ei lasketa kustannuksia, puukeskuslämmitys on varsin edullinen tapa lämmittää (taulukko 22). Lämmityspuun kuutiohinta vaihtelee 20–35 euron välillä, joten ostetulla puulla lämmittäminen ei ole edullista (taulukko 21).

Taulukko 21. Lämmityskustannukset puulla

Lämmityskustannukset	
Hinta	30 € / m ³
Tilavuus	20 m ³
Yhteensä 600 €	

Taulukko 22. Esimerkkitalon käyttökustannukset.

Käyttökustannukset	
Lämmitys ja lämmin käyttövesi	600
Käyttösähkö	610
1210 €	

Talon energian kulutus on laskettu käyttäjän antamien tietojen perusteella. Tiedoissa on virhemarginaalia, koska lämmitykseen käytetyn puun määrä on arvioitu yhden kuution tarkkuudella. Lämmityspuiden koostumusta ei ole myöskään analysoitu. Polttoaineilla on eri suuruiset lämpöarvot (taulukko 23). Lämpöarvo on aineen ominaisuus, joka aineesta saadaan sitä poltettaessa. Laskelmat on tehty arvolla 1300 kWh / pino-m³.

Taulukko 23. Polttoaineiden teholliset lämpöarvot. [11]

Polttoaine	Tehollinen lämpöarvo
Raskas polttoöljy	11,4 kWh / kg
Kevyt polttoöljy	10,0 kWh / dm ³
Maakaasu	10,0 kWh / m ³ n
Polttopuu yleensä (pilkkeet)	4,1 kWh / kg
Pilkkeet (havu- ja sekapuu)	1300 kWh / pino-m ³
Pilkkeet (koivu)	1700 kWh / pino-m ³
Puupelletit	4,7 kWh / kg
Polttohake	900 kWh / irtto-m ³
Kivihili	6,6 kWh /kg
Palaturve	3,3 kWh / kg
Puubrikitit	4,8 kWh / kg

Puukattilaa tulee huoltaa säännöllisesti. Kattilan likautuminen aiheuttaa nokipalon vaaran ja likaantuessa palaminen huonontuu. Kattila tulee puhdistaa noesta ja savuhormi on nuohotettava vuosittain. Kattilaa tulee lämmittää päivittäin varsinkin lämpimän käyttöveden turvaamiseksi. Käyttäjystävällisyydessä puukeskuslämmitys ei pärjää maalämpöjärjestelmälle, sillä kattilan lämmitys tulee olla osa päivittäistä rutiinia talon asukkaille. Huoltokustannukset ovat suuremmat kuin maalämpöjärjestelmässä. Kattilajärjestelmässä on paljon eri komponentteja, joiden elinkaari ei ole ikuinen.

3.3.3 Energiatehokkuuslaskelmat

Puulämmitystalon energiategokkuuslaskelmasta (liite 6) huomaa, että puukeskuslämmityksen hyötysuhde ei ole niin korkea kuin esimerkiksi kaukolämmön. Puukeskuslämmityksen ympäristöystävällisyyttä voidaan myös arvostella. Puun polttaminen aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä, joita muuten yritetään hillitä kaiken keinoin. Puun polttamisessa syntyvät hiilidioksidipäästöt sitoutuvat puun kasvuun, mutta puu palaa epätäydellisesti, jolloin syntyy myös muita pienhiukkasia. Myös polttopuun valmistuksessa tulee hiilidioksidipäästöjä. Taulukosta 24 huomaa, että vertailutalo on tyypillinen pientalo kooltaan (liite 7).

Taulukko 24. Pientalon laajuustiedot

Rakennustilavuus	500 rak-m³
Bruttoala	155 brm ²
Kerroskorkeus	3,0 m
Huonekorkeus	2,6 m
Ilmatilavuus	366 m ³
Ikkunoidenpinta-ala	23 m ²

Talo on rakennettu perinteisesti paikalla rakentaen puusta. Puurunko on 200 mm vahva, jolloin eristevahvuus on riittävä (taulukko 25). Talon ikkunapinta on verrattain suuri.

Taulukko 25. Rakennusosien tiedot

Rakennusosat	Pinta-ala m²	U-arvo (w/m²K)
Ulkoseinät		
Puurunko 150 + 50 + min.villa	138	0,23
Puurunko 150mm	25	0,3
Yläpohja		
Harjakatto mineraalivillalevy 100 + 300 puhallusvilla	151	0,14
Alapohja		
Maanvarainen TB-laatta eriste 100 mm, reunoilla 150 mm	151	0,26
Ovet		
Fenestra puualumiini	8,4	1,4
Ikkunat		
Pohjoiseen	7,7	1,4
Itään	0,36	1,4
Etelään	7,84	1,4
Länteen	7,04	1,4

On ehdottoman järkevää valita energiataloudelliset ikkunat. Tyypillisesti uudistaloon valitaan MSE-ikkuna, jonka lämmönläpäisykerroin on 1,2–1,4 W/m²K, kun vaatimus on 1,4 W/m²K. Parhaimmillaan ikkunoiden U-arvot ovat välillä 0,9–1.

Talon vaipan läpi johtuva energia on 22 000 kWh. Ikkunoiden ja ovien osuus siitä on 7 200 kWh. Rakenteiden läpi johtuvasta energiasta ikkunoiden ja ovien osuus on 32 %, kun taas niiden pinta-ala koko vaipan alasta on 6,3 %. Ikkunoiden kautta tuleva laskennallinen lämpökuorma on tässä talossa 5 500 kWh (liite 3). Jos lämpökuorma saadaan hyödynnettyä, ikkunoiden ja ovien osuus on vain 1 700 kWh.

Rakennus on energiataloudellisesti tyypillinen omakotitalo (kuva 10). Lämmitysjärjestelmän hyötysuhde ei ole esimerkiksi kaukolämpöjärjestelmän tasoa. Talon pohjaratkaisu ei ole aivan yksinkertainen, ja ikkunoiden osuus julkisivusta on suuri.

$$ET - luku = \frac{\sum Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{laitesähkö}} + Q_{\text{jäähdytys}}}{\sum A} =$$

$$ET - luku = \frac{23428 + 6200 + 0}{151m^2} = 196kWh / brm^2 / vuosi$$

$$ET - luku = 196kWh / brm^2 / vuosi \rightarrow \underline{\underline{ET - luokkaD}}$$

Kuva 10. Puukeskuslämmityksen energiatehokkuusluku ja sen laskenta

4 LÄMMITYSMUOTOJEN VERTAILUA

Lämmitysmuotoa valittaessa puolueetonta tietoa voi olla vaikea löytää. Omakotitalorakentaja törmää usein vain laitevalmistajien sivuihin ja Internetin keskustelupalstoihin. Motiva Oy:n verkkosivut tarjoavat puolueetonta tietoa energiasta ja myös lämmitysmuodoista.

4.1 Lämmitysmuotojen kustannukset

Lämmitysjärjestelmän investointikustannuksia on helppo vertailla, koska rakennuksen pinta-ala ei ratkaisevasti muuta niitä. LVI-komponenttien määrä lisääntyy, kun lattiapinta-ala kasvaa, mutta lämmönjakojärjestelmä on edelleen samanlainen.

Lämmitysmuotojen kustannuksia on vertailtu taulukossa 26. Käyttömaksu on laskettu vuosittaisesta maksusta suhteutettuna rakennuksen neliöihin. Tulokset ovat suuntaa antavia, koska virhelähteitä on useita. Puukeskuslämmityksen kustannukset on laskettu ilmaisilla lämmityspuilla. Maalämpöpumpun käyttämää sähköenergiaa ei tässä tapauksessa tiedetä, vaan se on arvioitu. Kaukolämpö on ainoa, jossa kaikki kustannukset tiedetään.

Taulukko 26. Lämmitysmuotojen kustannusten vertailua

	Investointi €	Käyttömaksu € / vuosi / m²
Kaukolämpö	8 030	5,76
Maalämpö	15 900	3,6
Puukeskuslämmitys 155 m ²	12 200	2,6

Lämmitysmuotoja vertaillessa puhutaan usein niiden takaisinmaksuajasta. Sillä tarkoitetaan aikaa, jolloin pienemmillä käyttökustannuksilla saadaan investointikustannuksia takaisin. Taulukko 27 kuvaa, mitä takaisinmaksuajalla tarkoitetaan. Siinä on esitetty käyttökustannukset viidentoista vuoden ajalta edellä mainituilla tiedoilla. Tämä on kuitenkin arvio, jossa huoltokustannuksia ja energian hinnanmuutoksia ei ole otettu huomioon. Lämmitysjärjestelmän komponenttien elinkaari vaikuttaa myös kustannuksiin. Joidenkin osien elinkaari voi olla jopa lyhempi kuin viisitoista vuotta, mikä vaikuttaisi kustannuksiin.

Taulukko 27. Lämmitysmuotojen arvioidut investointi- ja käyttömaksut 15 vuoden ajalta

	Investointi €	Käyttömaksu € / 15 vuotta	Yhteensä €
Kaukolämpö 151 brm ²	8 030	13 046	21 076
Maalämpö 178 brm ²	15 900	9 612	25 512
Puukeskuslämmitys 155 brm ²	12 200	6 045	18 245

Vertailutaloista maalämmön investointikustannukset olivat kalleimmat. Viidentoista vuoden ajalla tarkasteltuna investointikustannukset eivät vielä ole maksaneet itseään takaisin pienentyneinä käyttökustannuksina. Sen sijaan toiseksi kalleimman eli puukeskuslämmityksen investointikustannus näyttäisi kannattaneen, sillä arvioidut käyttömaksut viidentoista vuoden ajalta ovat vertailutaloista pienimmät ja myös investointi- ja käyttömaksujen yhteenlaskettu summa jää vertailutaloista alhaisimmaksi. Kaukolämmön edullinen investointi näyttäisi viidentoista vuoden ajalla kääntyvän päinvastaiseksi korkeiden käyttömaksujen vuoksi.

4.2 Rakennusten energiatehokkuus

Rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavat suuresti lämpökuormat. Jotta lämpökuormat saadaan hyödynnettyä lämmityksessä, täytyy rakennuksen tilan kyetä vastaanottamaan lämpö ja lämmityksen säädön on reagoitava lämpökuormaan. Tästä syystä laskennalliset lämpökuormat eivät välttämättä aina toteudu.

Talon energiatodistus on tehty helpottamaan kuluttajien vertailua omakotitaloa rakentaessa ja ostaessa. Rakennusten laajuustietoja esitellessä puhutaan aina neliöistä. Kuitenkin lämmitettäessä ratkaisevaa on rakennuksen ilmatilavuus, sillä juuri sisäilmaa lämmitetään, vaikka talossa olisikin lattialämmitys. Energiatodistuksessa energiatehokkuus ilmaistaan ET-luvulla. Taulukossa 28 näkyvät vertailutalojen laskennalliset ET-luvut.

Taulukko 28. Esimerkkitalojen ET-LUVUT.

	ET-luku kWh / brm² / vuosi
Kaukolämpö	211
Maalämpö	185
Puukeskuslämmitys	196

5 ELINKAARIAJATTELUA LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN VALINTAAN

Perusteellinen tarpeiden selvittäminen on ekologisesti kestävä rakentamisen lähtökohta. Rakennuskohde tulee määritellä ja mitoittaa kattamaan rakennuksen koko elinkaaren, joka alkaa toimintojen aiheuttamasta rakentamistarpeesta ja jatkuu suunnittelun, rakentamisen, käytön ja kunnossapidon ajan aina rakennuksen purkamiseen asti. Alkuperäiset toiminnot saattavat muuttua elinkaaren aikana. Voidaan tarvita esimerkiksi peruseräparannuksia ja -korjauksia. Rakennushankkeelle tulee asettaa koko elinkaarta koskevat tavoitteet sekä ympäristöllisestä että teknistaloudellisesta näkökulmasta, mikä on ekologisesti kestävä rakentamisen edellytys. Hyvällä suunnittelulla, huolellisella rakentamisella ja oikealla käytöllä sekä huoltokirjan mukaisin huolto- ja kunnossapitotoimenpitein varmistetaan tavoitteiden toteutuminen. [15.]

Elinkaariajattelu on omakotitalon rakentamisessa vielä melko uusi ajatus. Koko elinkaaren huomioiminen hankesuunnitteluvaiheessa on hankalaa, jos eri valintojen vaikutukset eivät ole selvillä. Elinkaarikustannusten huomioon ottaminen saattaa vaikuttaa siten, että rakentaminen on vähän kalliimpaa mutta käyttökustannukset selvästi edullisemmat, minkä vuoksi nämä asiat on hyvä huomioida jo rakentamisvaiheessa. [15.]

Rakentajan kannattaa tarkastella lämmityskustannuksia vähintään 15 vuoden ajanjaksolle arvioituna. Järjestelmä, jonka perustamiskustannus on edullinen, voi käytössä osoittautua kallemmaksi. Suora sähkölämmitys on tyypillinen investointikustannukseltaan alhainen, mutta käyttökustannuksiltaan kallis ratkaisu. Maalämmön hyödyntäminen edellyttää sen sijaan merkittävää panostusta jo investointivaiheessa, ja samoin usean lämmönlähteen yhdistelmäratkaisut edellyttävät useimmiten merkittäviä investointeja. Eri lämmitysjärjestelmien ja niissä käytettävien laitteiden ja komponenttien elinkaari on erilainen, ja laitteiden laatueroit tekevät myös eri valmistajien laitteista kestoiltaan eri-ikäisiä. Halvin vaihtoehto on hyvin harvoin pitkällä tähtäimellä edullisin. [6.]

6 KESTÄVÄN KEHITYKSEN KANNATTAMINEN JA ENERGIAN SÄÄSTÖ

Asumisessa ihminen kuluttaa energiaa muuhunkin kuin talon lämmittämiseen. Suomessa vuonna 2000 voimaan tullut maankäyttö- ja rakennuslaki ohjaa ja velvoittaa ihmisiä ottamaan ympäristölliset näkökohdat huomioon [2]. Kuitenkin säästäminen lähtee jokaisesta ihmisestä ja jokaisesta teosta. Erityisesti vedenkulutustottumukset pitäisi ottaa paremmin huomioon.

Energian säästäminen tai energian käytön minimoiminen tulee olemaan vielä suuri puheenaihe tulevaisuudessa. Perustana ympäristönsuojelulle on kestävä kehitys [16, s. 8]. Maailman ympäristönsuojelua koskevissa kokouksissa on tehty päätöksiä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Nämä ovat suuria päätöksiä, mutta ne heijastuvat myös yksittäiseen ihmiseen energian säästämisen tarpeellisuudella. Ihmiset eivät vielä osaa ajatella säästäväänsä luontoa säästämällä energiaa. Ajatellaan vain fossiilisten polttoaineiden rasittavuutta ja tiedetään jotain kasvihuoneilmiöstä. Kuitenkin energiantuotanto ja käyttö aiheuttavat käytännössä aina jotain haittaa ympäristölle. Suomen hiilidioksidipäästöistä yli 10 % aiheutuu pientalojen lämmittämisestä. [5.]

Energian säästäminen on otettu huomioon myös rakentamismääräyskokoelmassa. Lämöneneristysvaatimukset ovat kasvaneet. Uusi maankäyttö- ja rakennuslaki ohjaa rakentamista enemmän myös korjausrakentamisen puolelle. Korjausrakentamisen ja uudisrakentamisen suhde tulee muuttumaan. Rakennusten elinkaaria pidennetään korjauksilla, jolloin säästetään raaka-aineita ja luontoa.

Uusi jätelaki astui voimaan 1.1.1994 [16, s. 15]. Tuolloin Suomen jätelakia yhdenmukaistettiin EU:n kanssa. Jätelain avulla pyritään ohjaamaan jätehuoltoa ja vähentämään myös jätteiden syntyä. Kierrätystä ja lajittelua pidetään helposti ihmisten intoiluna, mutta sen toimivuus on tärkeää. Parhaiten se toimii kerrostaloissa. Omakotitaloasumisessa sitä tulisi parantaa nykyisestä, esimerkiksi yhdistämällä jätteenkeräyspaikkoja. Jätteiden määrän kasvaessa elintason mukana on yhteiskunnallisella tasolla jossain vaiheessa tultava muutosta nykyisyyteen verrattuna. Tulevaisuudessa jätteiden lajittelu ja kierrätys on oltava vielä huomattavasti tehokkaampaa ja tarkempaa. Muuten ihmiset yksinkertaisesti hukkuvat syntyviin jätteisiin.

Kaikenlainen energian säästäminen lähtee kuitenkin yksittäisten ihmisten arkielämän pienistä teoista ja valinnoista. Ekologisen ajattelun merkitys korostuu tulevaisuudessa. Suomessa asiat ovat keskimääräistä paremmin jo nyt, mutta siihen ei ole tyytyminen, vaan sitä tulee jatkuvasti kehittää ja siten auttaa muita.

7 YHTEENVETO

Mikä lämmitysjärjestelmistä sitten on paras? Lämmitysmuodon valinta on aina tapauskohtainen, jossa on otettava huomioon muun muassa rakennuspaikka, investoinnin suuruus ja käyttäjien tarpeet. Rakentamismääräyksissä otetaan huomioon lisäksi ympäristöystävällisyys. Lämmitysjärjestelmää valitessa kannattaa tutustua vaihtoehtoihin ja miettiä, mikä järjestelmästä on itselle sopivin ja pidemmällä tähtäimellä edullisin. Hintavertailuja ja -laskelmia on syytä tehdä, mutta myös alueen mahdollisuudet ja rajoitukset on huomioitava. Joskus kannattaa investoida rakennusvaiheessa enemmän, jotta käyttömaksut olisivat edullisempia. Halvin vaihtoehto investointivaiheessa on harvoin käytössä edullisin.

Maalämpöjärjestelmää rakennettaessa kannattaa huomioida komponenttien takuu-aika. Vertailu osoittaa maalämpöpumpun edullisuuden käytössä. Kaukolämpö on kuitenkin niin paljon halvempi investointi, ettei kaukolämpöalueella muuta lämmitysmuotoa kannata rakentaa. Puukeskuslämmitys on myös halpa käyttää, mutta huomattavasti työlämpi kuin muut vertailut järjestelmät. Se ei ole myöskään ympäristöystävällinen hiilidioksidipäästöjen vuoksi.

Esimerkkitalojen energiatehokkuudessa ei ollut suuria eroja. Se kertoo rakentamismääräysten toimivuuden ja tämänhetkisen tason. Energiatehokkuuslukuja vertaillessa kannattaa kuitenkin muistaa, etteivät ne kerro suoraan energiankulutusta. Kannattaa myös tutkia talon pohjapiirustusta ja sen bruttopinta-alaa, josta ET-luku lasketaan.

Tyypillisillä pientalonmistajilla tilantarve muuttuu vuosien kuluessa, mikä kannattaa huomioida rakentamisen tarveselvitysvaiheessa. Nykyään rakentaminen on tiukkaan valvottu ja normitettu, minkä vuoksi talojen lämmöneristyskyvyt ovat korkeita. Parhaiten ympäristöystävälliseen rakentamiseen päästään oikealla rakentamisen ohjauksella ja energiataloudellisuuden tukemisella. Rakentamisen ohjauksen keinoja ovat rakentamismääräykset, valvonta ja kaavoitus. Rakentamismääräykset ovatkin tiukentuneet koko ajan.

LÄHTEET

- 1 Kilpeläinen, M., Hekkanen, M., Seppälä, P. & Rüippa, T. Pientalon tekninen laatu Tähti-luokitus. Opas pientalon rakennuttajille ja suunnittelijoille. 2006. Helsinki: YMPÄRISTÖ-MINISTERIÖ.

- 2 Motiva. Pientalon lämmitysjärjestelmät. Lämmönkehityslaite muuttaa energian lämmöksi. 2007, päivitetty 1.8.2008. [WWW-dokumentti] <<http://www.motiva.fi/fi/kuluttajat/pientalonlammitysjarjestelmat/>>. (Luettu 6.2.2009.)

- 3 Ahokas, R. C3 Rakennuksen lämmöneristys. Määräykset 2007. [WWW-dokumentti] <http://www.finlex.fi/data/normit/29517-C3_2007.pdf>. (Luettu 30.3.2009.)

- 4 Kyyrönen, K. Talonrakennus 2. 2001. Keuruu: Otava.

- 5 Motiva. Pientalon lämmitysjärjestelmät. Monen seikan summa. 2007, päivitetty 4.5.2007. [WWW-dokumentti] <<http://www.motiva.fi/fi/kuluttajat/pientalonlammitysjarjestelmat/monenseikansumma/>>. (Luettu 6.2.2009.)

- 6 LVI – Talotekniikkateollisuus. Uuden pientalon lämmitysjärjestelmän valinta. 2007/6. [WWW-dokumentti] <www.teknologiateollisuus.fi/file/566/02_14_uudenpientalonlarjvalinta_290607.pdf.html>. (Luettu 6.2.2009.)

- 7 Energiateollisuus. Kaukolämpö. 2009. [WWW-dokumentti] <<http://www.energia.fi/fi/kaukolampo/kaukolampo>> (Luettu 6.2.2009.)

- 8 Energiateollisuus. Kaukolämpö – tuotanto ja polttoaineet. 2009. [WWW-dokumentti] <http://www.energia.fi/fi/kaukolampo/kaukolampo/tuotanto_ja_polttoaineet>. (Luettu 30.3.2009.)

- 9 Energiateollisuus. Kaukolämpö – toimintaperiaate. 2009. [WWW-dokumentti] <<http://www.energia.fi/fi/kaukolampo/kaukolampo/toimintaperiaate>>. (Luettu 6.2.2009.)

- 10 Sulpu. Maalämpöpumppu. [WWW-dokumentti]
<http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=77>.
(Luettu 12.2.2009.)
- 11 Suomen rakentamismääräyskokoelma D5.
- 12 Rakentaja. Puulämmityskattilat. 2006. [WWW-dokumentti]
<<http://www.rakentaja.fi/index.asp?s=/artikkelit/1726/2+hankesuunnittelu.htm>>. (Luettu
6.2.2009.)
- 13 Motiva. Lämmönkehityslaitte muuttaa energian lämmöksi. Hake-, pilke- ja halkokattilat.
2007, päivitetty 1.8.2008. [WWW-dokumentti]
<http://www.motiva.fi/fi/kuluttajat/pientalonlammitysjarjestelmat/lammonkehitysmuuttaa_energianlammoksi/hake-pilke-jahalkokattilat.html>. (Luettu 6.2.2009.)
- 14 Saarinen, S. (toim.). Parhaan lämmitysjärjestelmän löytäminen vaatii vertailemista. Kodin
Rakennustieto 3/8. 2004. [WWW-dokumentti]
<<https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rane/attachments/5eKifMc2l/5fYqXZzqx/Files/CurrentFile/Lammitysjarjestelmat.pdf>>. (Luettu 8.3.2009.)
- 15 Rakentaja. Hankesuunnittelu. 2007. [WWW-dokumentti]
<<http://www.rakentaja.fi/index.asp?s=/artikkelit/1726/2+hankesuunnittelu.htm>>. (Luettu
6.2.2009.)
- 16 Kurtelius, J. 2001. Kestävä kehitys kiinteistöalalla. Ekologiaa isännöitsijöille ja rakennut-
tajille. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

LIITTEIDEN LUETTELO

LIITE 1. KÄYTETYT KAAVAT JA LASKELMAT

LIITE 2. LASKENTAKAAVOISSA ESIINTYVIEN MERKKIEN SELITYKSET

LIITE 3. KAUKOLÄMPÖTALON POHJAPIIRUSTUS

LIITE 4. MAALÄMPÖTALON ENERGIATEHOKKUUSLASKELMAT

LIITE 5. MAALÄMPÖTALON POHJAPIIRUSTUS

LIITE 6. PUUKESKUSTALON ENERGIATEHOKKUUSLASKELMAT

LIITE 7. PUUKESKUSLÄMMITYSTALON POHJAPIIRUSTUS

KÄYTETYT KAAVAT JA LASKELMAT

ET-luku, joka on talon kokonaisenergiankulutuksen suhde bruttoneliöihin

$$\begin{aligned} E_{rakennus} &= Q_{lämmitys} + W_{laitesähkö} + Q_{jäähdytys} = \\ E_{rakennus} &= 25540 + 3500 = 29040 kWh \end{aligned} \quad 3.6$$

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus

$$\begin{aligned} Q_{lämmitys} &= Q_{lämmitys,tilat} + Q_{lkv} = \\ Q_{lämmitys} &= 18340 + 7200 = 25540 kWh \end{aligned} \quad 3.7$$

Tilojen lämmitysenergiankulutus

$$\begin{aligned} Q_{lämmitys,tilat} &= Q_{lämmitys,tilat,netto} + Q_{lämmitys,tilat,häviöt} - Q_{LP,tilat} = \\ Q_{lämmitys,tilat} &= 14610 + 27020 - 10652 = 30978 kWh \end{aligned} \quad 3.8$$

Rakennuksen tilojen nettoenergiantarve

$$\begin{aligned} Q_{lämmitys,tilat,netto} &= Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv} - Q_{sis,lämpö} = \\ Q_{lämmitys,tilat,netto} &= 20405 + 3395 + 3220,7 - 10652 = 16368,7 kWh \end{aligned} \quad 3.9$$

Käyttöveden lämmityksen energiantarve

$$\begin{aligned} Q_{lkv,netto} &= kulutus_{lkv} * Q_{lämmityksentarvitsenaenergia} = \\ Q_{lkv} &= 1000 kg / m^3 * 4,2 kJ / kgK * 73 m^3 * 50°C / 3600 = 4260 kWh \end{aligned}$$

Rakennuksenvaipan läpi johtuva energia

$$Q_{johtuva} = \sum H_{johtuva} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad 4.1$$

$$Q_{johtuva} = 122,654 * (21°C - 2°C) \frac{365 vrk * 24 h / vrk}{1000} = 20405, kWh \quad 4.1$$

$$\Sigma H_{\text{johd}} = \Sigma (U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \Sigma (U_{\text{yläpohja}} + A_{\text{yläpohja}}) + \Sigma (U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}}) + \Sigma (U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) + \Sigma (U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}}) \quad 4.2$$

$$\Sigma H_{\text{johd}} = \Sigma (0,21 \text{Wm}^2 \text{K} * 15 \text{m}^2) + (0,36 \text{Wm}^2 \text{K} * 10 \text{m}^2) + (153 \text{m}^2 * 0,16 \text{Wm}^2 \text{K}) + (153 \text{m}^2 * 0,26 \text{Wm}^2 \text{K}) + (12 \text{m}^2 * 1,4 \text{Wm}^2 \text{K}) + (13 \text{m}^2 * 1,4 \text{Wm}^2 \text{K}) = 122,6 \quad 4.2$$

Vuotoilman tarvitsema energia

$$Q_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \frac{\Delta T}{1000} \quad 4.5$$

$$Q_{\text{vuotoilma}} = 18 (21 - 2) \frac{365 * 24}{1000} = 2996 \text{kWh} \quad 4.5$$

$$H_{\text{vuotoilma}} = p_i * c_{pi} * q_{v,\text{vuotoilma}} \quad 4.6$$

$$H_{\text{vuotoilma}} = 1,2 \text{kg} / \text{m}^3 * 1000 \text{Ws} / (\text{kgK}) * 0,015 = 18 \quad 4.6$$

$$q_{\text{vuotoilma}} = n_{\text{vuotoilma}} * V / 3600 \quad 4.7$$

$$q_{\text{vuotoilma}} = 0,16 * 340 \text{m}^3 / 3600 = 0,015 \text{m}^3 / \text{s} \quad 4.7$$

Ilmanvaihdon tarvitsema energia

$$Q_{\text{iv}} = (H_{\text{iv}} (T_s - T_u) \Delta T) / 1000 \quad 4.9$$

$$Q_{\text{iv}} = (28,33 (21^\circ \text{C} - 2^\circ \text{C}) 365 * 24) / 1000 = 4715 \text{kWh} \quad 4.9$$

$$H_{\text{iv}} = p_i * c_i * q_{\text{iv,poisto}} * t_d * r * t_v * (1 - n_a) \quad 4.10$$

$$H_{\text{iv}} = 1,2 \text{kg} / \text{m}^3 * 1000 \text{Ws} / (\text{ksK}) * 0,047 \text{m}^3 / \text{s} * 1 * 1 * (1 - 0,5) = 28,33_i \quad 4.10$$

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,häviöt}} = Q_{\text{lämmitys,tilat,kehityshäviöt}} + Q_{\text{lämmitys,tilatjakeluhäviöt}} + Q_{\text{lämmitys,tilat,luovutushäviöt}} + Q_{\text{lämmitys,tilat,varaajahäviöt}} \quad 6.1$$

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,häviöt}} = 2000\text{Kwh} + (5\text{kWh} * 153\text{brm}^2) + (10\text{kWh} * 153\text{brm}^2) + (2\text{kWh} * 153\text{brm}^2) = 460\text{lkWh} \quad 6.1$$

Henkilöiden aiheuttama lämpökuorma

$$Q_{\text{henk}} = \phi_{\text{henk}} n \Delta T_{\text{oleskelu}} / 1000 \quad 8.1$$

$$Q_{\text{henk}} = 8\text{kWh} / \text{brm}^2 / \text{vuosi} * 153\text{brm}^2 = 1224\text{kWh} \quad \text{Taulukko 8.1}$$

Sähkölaitteiden aiheuttama lämpökuorma

$$Q_{\text{säh}} = 32\text{brm}^2 * 153\text{brm}^2 = 4896\text{kWh} \quad \text{Taulukko 8.3}$$

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia

$$Q_{\text{lämmitys,kuorma}} = 0,7 * Q_{\text{lämmitys,tilat,häviöt}} \quad 8.3$$

$$Q_{\text{lämmitys,kuorma}} = 0,7 * 460\text{lkWh} = 3220\text{kWh} \quad 8.3$$

Lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia

$$Q_{\text{kv,kuorma}} = 0,3 * Q_{\text{kv,netto}} + 0,5 * Q_{\text{kv,häviöt}} \quad 8.4$$

$$Q_{\text{kv,kuorma}} = (0,3 * 4227) + (0,5 * 7251) = 4902\text{kWh} \quad 8.4$$

Ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia

$$Q_{aur} = \Sigma G_{\text{säteily,v,vaakapinta}} F_{\text{suunta}} F_{\text{läpäisy}} A_{\text{ikk}} g \quad 8.6$$

$$Q_{aurvaaka} = \Sigma(756 * 0,432) + (1315,7 * 0,863) = 1462kWh$$

$$Q_{aur} = \Sigma G_{\text{säteily,v,pystypinta}} F_{\text{läpäisy}} A_{\text{ikk}} g \quad 8.6$$

$$Q_{aur,pohjoinen} = 362,8 * 0,45 * 4,62m^2 * 0,55 = 506kWh$$

$$Q_{aur,etelä} = 723 * 0,45 * 8,14m^2 * 0,55 = 1127kWh$$

$$\Sigma Q_{aur} = 1127kWh + 506kWh + 1462kWh = 3095kWh$$

$$g = 0,55 \quad 8.7$$

$$F_{\text{läpäisy}} = F_{\text{kehä}} F_{\text{verho}} F_{\text{varjostus}} \quad 8.8$$

$$F_{\text{läpäisy}} = 0,75 * 1 * 0,6 = 0,45$$

Taulukko LI.4

$$F_{\text{suunta}} = \text{pohjoinen} = 0,432, \text{itä} = 0,708, \text{etelä} = 0,863, \text{länsi} = 0,687$$

Ikkunoiden ja ovien aiheuttama lämpöhäviö

$$H_{\text{johtuva,ikkunat,ovet}} = (23m^2 * 1,4) + (7,8 * 1,4) = 43$$

$$Q_{\text{johtuva,ikkunat,ovet}} = 43 * (21 - 2^{\circ}C) * 1,4 * \frac{365\text{vrk} * 24h}{1000} = 7177kWh$$

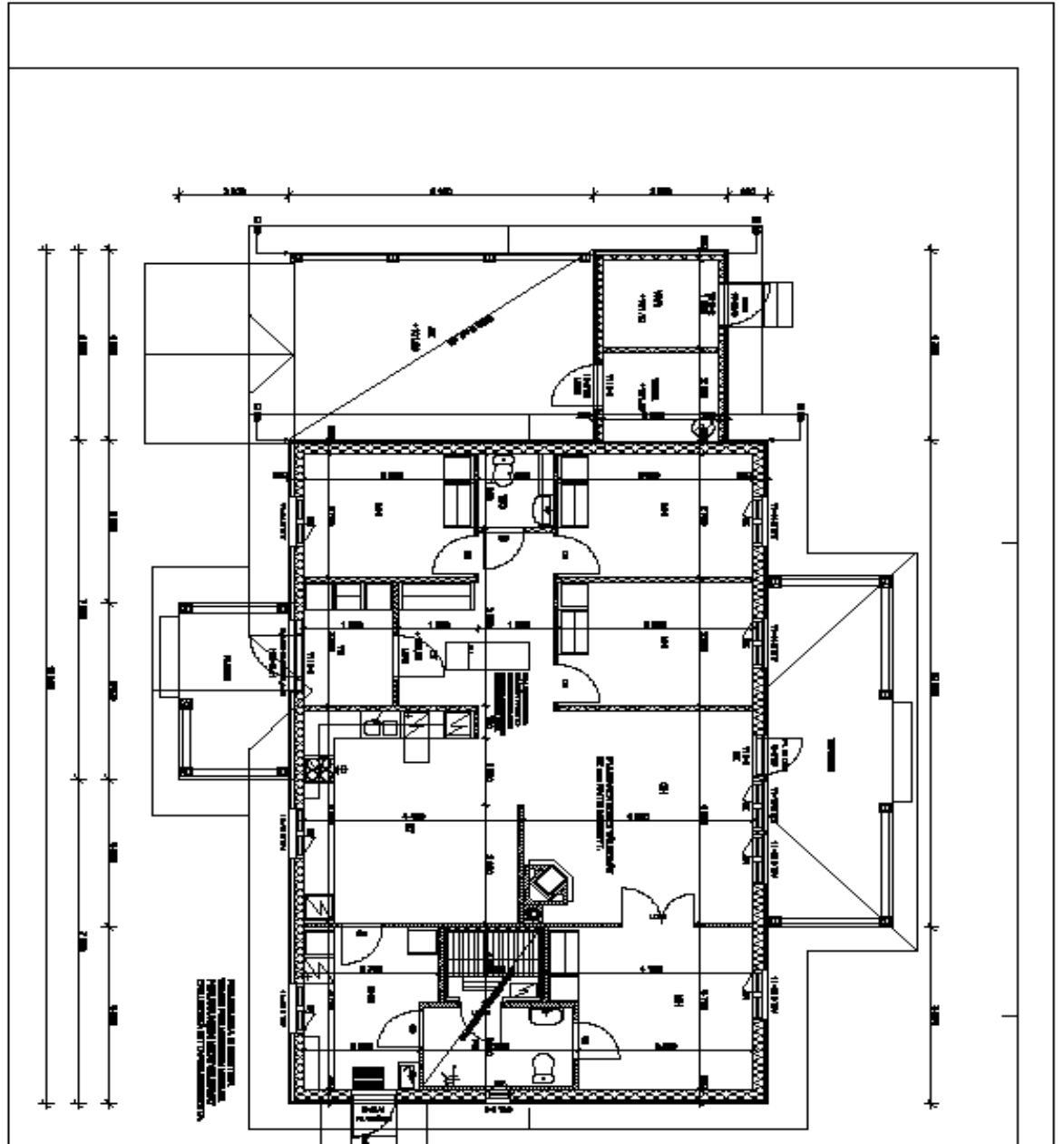
LASKENTAKAAVOISSA ESIINTYVIEN MERKKIEN SELITYKSET

A	rakennusosan pinta-ala, m ²
A _{huone}	valaistavan tilan huonepinta-ala, huon ²
A _{br}	rakennuksen bruttoala, brm ²
A _{ikk}	ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), m ²
A _{ikk, valoaukko}	ikkunan valoaukon pinta-ala, m ²
c _{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/(kgK)
c _{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kgK)
C _{mk}	rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K
C _{mk, omin}	rakennuksen sisäpuolinen tehollinen ominaislämpökapasiteetti, (Wh/K)/brm ²
E	tilan valaistusvoimakkuus, lx
E _{rakennus}	rakennuksen energiankulutus, kWh
f	valaistuksen ohjaustavasta riippuva ohjauskerroin, -
F _{lehti}	ikkunan kehäkerroin, lasipinta-alan suhde ikkunapinta-alaan, -
F _{läpäisy}	ikkunan säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin, -
F _{sivuvarjoitus}	ikkunan sivuilla olevien pystysuorien rakenteiden varjostuksen korjauskerroin, -
F _{suunta}	muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi, -
F _{varjostus}	ikkunan varjostusten korjauskerroin, -
F _{verho}	ikkunan verhokerroin, -
F _{ylävarjoitus}	ikkunan yläpuolisten vaakasuorien rakenteiden varjostuksen korjauskerroin, -
F _{ympäristö}	ympäristön horisontaalisten ikkunavarjostusten korjauskerroin (esimerkiksi maasto, ympäröivät rakennukset ja puut), -
g	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin, -
g _{kohtisuora}	ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaissäteilykerroin, -
G _{säteily, pystypinta}	pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh/m ²
G _{säteily, vaakapinta}	vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh/m ²
H	rakennuksen tai tilan ominaislämpöhäviö, W/K
ΣH _{joht}	rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K
H _{iv}	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K
H _{vuotoilma}	vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K
k	rakennuksen käytönaikainen käyttöaste, joka kuvaa ihmisten keskimääräistä läsnäoloa rakennuksessa, -
n	henkilöiden lukumäärä
n ₅₀	rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h
n _{vuotoilma}	rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, 1/h
PA _{lmmityk, otto}	rakennuksen ostettavaa lämmitysenergiaa vastaava polttoainemäärä, polttoaineen mittayksikkö
P _o	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen sähköteho, kW
P _{es}	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m ³ /s)
P _{valaistus}	valaistavan tilan valaistuksen kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti, W/huon ²
Q _{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh
Q _{henk}	henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh

Q_{lkv}	lämpimän käyttöveden energiankulutus, kWh
$Q_{lkv, kehitys\ häviöt}$	lämpimän käyttöveden lämmönkehityslaitteiden, lämmityskattiloiden ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{lkv, kiertohäviöt, omin}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämmityksen tarvitsema ominaislämpöenergia, kWh/brm ²
$Q_{lkv, kuorma}$	käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuormaenergia, kWh
$Q_{lkv, häviöt}$	käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{lkv, kiertohäviöt}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöenergia ja kiertojohtoon liitettyjen lämmityslaitteiden tarvitsema lämpöenergia, kWh
$Q_{lkv, netto}$	käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiatarve, kWh
$Q_{lkv, varaajahäviöt}$	lämpimän käyttöveden varaajan lämpöhäviöenergia, kWh
Q_{LTO}	lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettu ja tuloilman lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh
$Q_{LTO, LP}$	poistoilmalämpöpumpulla talteenotettu ja tilojen tai käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh
Q_{LP}	poistoilmalämpöpumpun varaajaan siirtämä ja tilojen tai käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh
$Q_{LP, lkv}$	poistoilmalämpöpumpun varaajaan siirtämä ja käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh
$Q_{LP, tilat}$	poistoilmalämpöpumpun varaajaan siirtämä ja tilojen lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh
$Q_{\text{lämmitys}}$	rakennuksen lämmitysenergiankulutus, kWh (lämmöntuottolaitteen rakennukseen tuottaman lämpöenergian määrä sisältäen lämmöntuottolaitteiden lämpöhäviöenergiat sisälle rakennukseen ja lämmitysverkostoon menevän lämmön)
$Q_{\text{lämmitys, kuorma}}$	tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuormaenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, osto}}$	rakennuksen ostettavan lämmitysenergian kulutus, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$	rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}}$	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat, jakeluhäviöt}}$	tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönjakeluverkoston lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat, kehityshäviöt}}$	tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönkehityslaitteiden, lämmityskattiloiden ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat, luovushäviöt}}$	tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönluovuttimien (radiaattori, lattialämmitys) lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$	rakennuksen tilojen lämmityksen nettoenergiatarve, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat, säätöhäviöt}}$	tilojen lämmitysjärjestelmän säätöjärjestelmästä johtuva lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat, varaajahäviöt}}$	tilojen lämmitysjärjestelmän lämmitysvesivaraajan lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}}$	tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutus, kWh

r	muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan
R	ilmavirtausuhde, lämmöntalteenoton kautta kulkevan tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan, -
S17	lämmitysenergiatarpeen normitukseen käytettävä lämmitystarveluku, Kd
t_d	keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte tai käyttöaikasuhte, h/24h
t_v	keskimääräinen viikoittainen käyntiaikasuhte tai käyttöaikasuhte, vrk/7 vrk
T_{jsto}	jäteilman lämpötila, °C
$T_{jsto, mit}$	jäteilman lämpötila mitoitustilanteessa, °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{lkv, kierto, paluu}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon paluuveden lämpötila, °C
$T_{maa, vuosi}$	alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, °C
$T_{maa, kuukausi}$	alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila, °C
T_p	poistoilman lämpötila, °C
T_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_s, lask, keskim$	laskennallinen kuukauden keskimääräinen sisäilman lämpötila, °C
T_t	tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen, °C
T_{tulo}	tuloilman lämpötilan asetusarvo, °C
$T_{tulo, mit}$	tuloilman lämpötilan asetusarvo mitoitusolosuhteissa, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
T_u, mit	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C
$T_u, vuosi$	ulkoilman vuotuinen keskilämpötila (liite 1), °C
U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
V	rakennuksen tilavuus, m ³
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
$V_{lkv, omin}$	lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, dm ³ /brm ²
$V_{lkv, omin, henk}$	lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, dm ³ /henk vuorokaudessa
$W_{ilmanvaihto}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus, kWh
$W_{jäähdytys, sähkö, osto}$	rakennuksen ostettavan jäähdytys­sähköenergian kulutus, kWh
W_{sauna}	saunan kiukaan sähköenergiankulutus, kWh
$W_{laitesähkö}$	rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus, kWh
$W_{laitesähkö, osto}$	rakennuksen ostettavan laitesähköenergian kulutus, kWh
W_{liesi}	hieden ja uunin sähköenergiankulutus, kWh
$W_{lämmitys, sähkö, osto}$	rakennuksen ostettavan lämmitys­sähköenergian kulutus, kWh
$W_{muut laitteet}$	laitteiden (ei sisällä valaistusta eikä ilmanvaihtojärjestelmää) sähköenergiankulutus, kWh
$W_{muut pienilitteet}$	rakennuksen sisällä olevien pienitehoisten tai jatkuvatoimisten laitteiden sähköenergiankulutus (laitteet, joilla ei ole omaa merkintää), kWh
$W_{pesukoneet}$	pesu- ja kuivauskoneiden sekä kostuttimien ja kuivaimien sähköenergiankulutus, kWh
$W_{sisävalaistus}$	sisävalaistuksen sähköenergiankulutus, kWh
$W_{sähkö, osto}$	rakennuksen ostettavan sähköenergian kokonaiskulutus, kWh
$W_{tuloilmapuhallin}$	ilmanvaihdon tuloilmapuhaltimien sähköenergiankulutus, kWh
$W_{valaistus}$	valaistuksen sähköenergiankulutus, kWh

KAUKOLÄMPÖTALON POHJAPIIRUSTUS



MAALÄMPÖTALON ENERGIATEHOKKUUSLASKELMAT

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus yhteensä

Aika	Rakennuksen tilojen lämmitysenergian kulutus	Käyttöveden lämmityksen energiankulutus	Rakennuksen lämmitysenergian kulutus yhteensä
	kWh	kWh	kWh
Vuosi	22 454	8 200	30 654

Rakennuksen lämpöhäviöenergia yhteensä

Aika	Rakenteiden läpi johtuva energia yhteensä	Vuotoilman tarvitsema energia	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia	Rakennuksen lämpöhäviöenergia yhteensä
	kWh	kWh	kWh	kWh
Vuosi	22 003	4 094	4 993	30 570

Lämpökuormat

Aika	Lämpökuorma henkilöistä kWh	Lämpökuorma valaistuksesta ja sähkölaitteista kWh	Lämpökuorma tilojen lämmitysjärjestelmistä kWh	Ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia kWh	Lämpökuormat yhteensä kWh
Vuosi	2 044	5 696	5 126	3 933	16 799

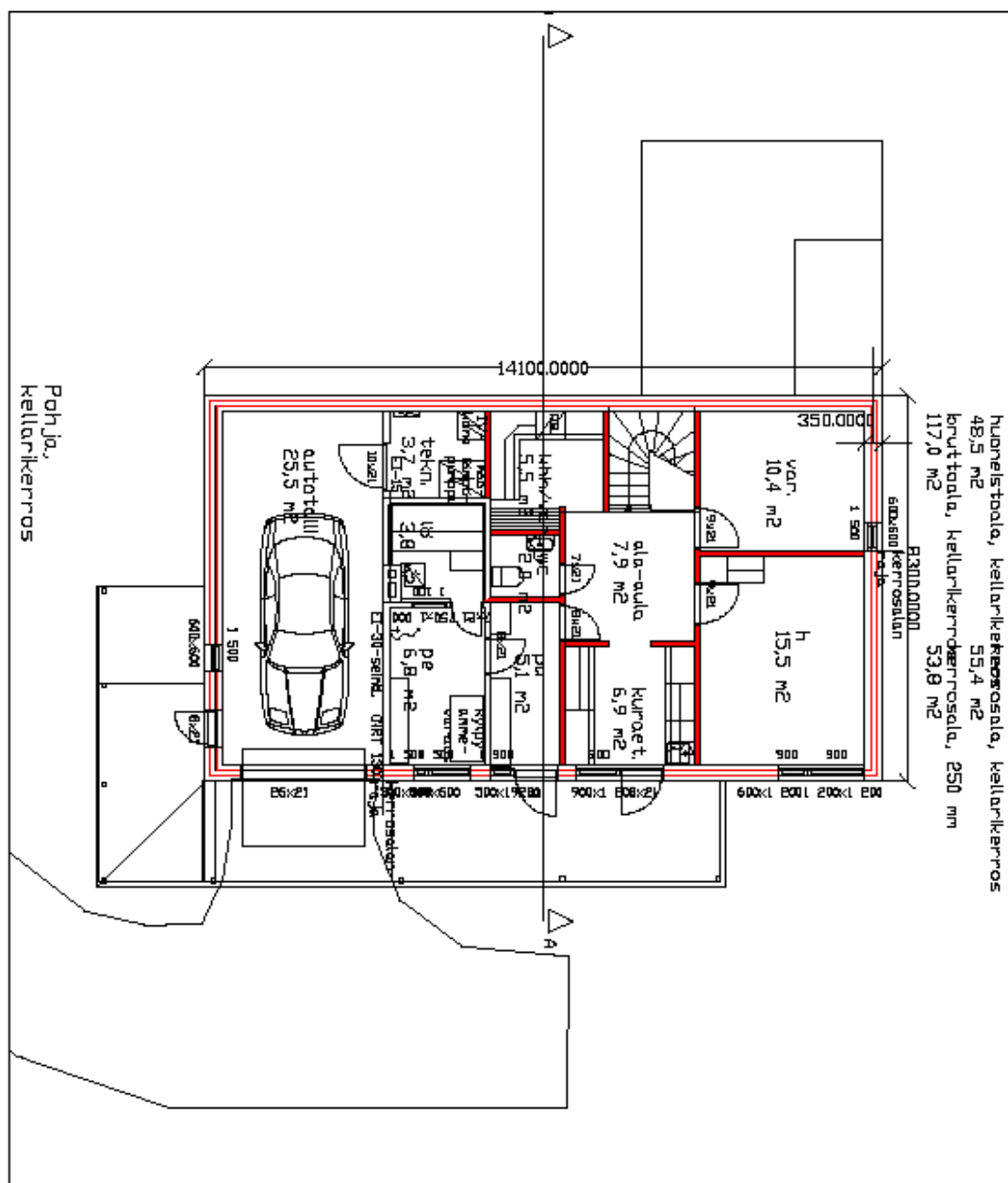
Rakennuksen lämmityksen nettoenergiantarve

Aika	Rakennuksen lämpöhäviö energia yhteensä	Lämpökuorma yhteensä	Lämpökuomista hyödynnettävä energia (95%)	Rakennuksen lämmityksen nettoenergiantarve kWh
Vuosi	30 570	16 799	10 652,35	14 610

Rakennuksen energiankulutus

Aika	Rakennuksen lämmitysenergiankulutus	Laitteiden sähköenergiankulutus	Tilojen jäähdytysenergiankulutus	Rakennuksen energiankulutus E kWh
Vuosi	30 654	7 200	0	37 854

MAALÄMPÖTALON POHJAPIIRUSTUS



PUUKESKUSLÄMMITYSTALON ENERGIATEHOKKUUSLASKELMAT

Rakennuksen lämmitysenergian kulutus

Aika	Rakennuksen tilojen lämmitysenergian kulutus kWh	Käyttöveden lämmityksen energian kulutus kWh	Rakennuksen lämmitysenergian kulutus yhteensä $Q_{\text{lämmitys}}$ kWh
Vuosi	19 828	3 600	23 428

Lämpöenergiähäviöt

Aika	Rakenteiden läpi johtuva energia yhteensä Q_{joht} kWh	Vuotoilman tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$ kWh	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia Q_{iv} kWh	Rakennuksen lämpöhäviöenergia yhteensä kWh
Vuosi	22 136	3 248	4 993	30 377

Lämpökuormat

Aika	Lämpökuorma henkilöistä kWh	Lämpökuorma valaistuksesta ja sähkölaitteista kWh	Lämpökuorma tilojen lämmitysjärjestelmistä kWh	Ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia kWh	Lämpökuormat yhteensä kWh $Q_{\text{lämpökuorma}}$
Vuosi	1 208	4 832	3 244	6 630	15 911

Rakennuksen lämmityksen nettoenergiantarve

Aika	Rakennuksen lämpöhäviöenergia yhteensä	Lämpökuorma yhteensä	Lämpökuomista hyödynnettävä energia (95%)	Rakennuksen lämmityksen nettoenergiantarve kWh $Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$
Vuosi	30 377	15 911	10 652,35	15 261

Rakennuksen energiankulutus yhteensä

Aika	Rakennuksen lämmitysenergian kulutus $Q_{\text{lämmitys}}$	Laitteiden sähköenergian kulutus $W_{\text{laitesähkö}}$	Tilojen jäähdytysenergian kulutus	Rakennuksen energiankulutus kWh E_{rakennus}
Vuosi	23 428	6 200	0	29 628

PUUKESKUSLÄMMITYSTALON POHJAPIIRRUSTUS

