

Sebastian Buss

Pientalon LVI-järjestelmän elinkaaritalous

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

8.5.2013

Tekijä Otsikko	Sebastian Buss Pientalon LVI-järjestelmän elinkaaritalous
Sivumäärä Aika	34 sivua + 4 liitettä 8.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI tuotantopainotteinen
Ohjaaja	lehtori Erkki Sainio
<p>Tässä työssä selvitettiin tarpeellisia näkökohtia Helsingissä sijaitsevan omakotitalon lämmitysjärjestelmän uusimiselle. Siinä tutkittiin kaukolämpö- ja maalämpöjärjestelmiä sekä niiden kustannuksia halvemman vaihtoehdon löytämiseksi. Lisäksi siinä tutkittiin ilmalämpöpumpun käyttöä kaukolämmityksen lisälämmitysjärjestelmänä sekä ilmanvaihdon uusimista käyttökustannusten pienentämiseksi.</p> <p>Työssä selvitettiin myös rakennuksen elinkaareen, ylläpitoon ja saneeraamiseen liittyviä näkökohtia, sekä esimerkkikohteen taloteknisten järjestelmien toiminta ja kulutukset.</p> <p>Hankinta ja käyttökustannusten perusteella kaukolämpö osoittautui halvemmaksi vaihtoehdoksi. Ilmalämpöpumpun käyttäminen ei ollut kannattavaa ja ilmastoinnin uusiminen kannatti toteuttaa hankkimalla yksi uusi ilmanvaihtokone sen sijaan, että vanhat koneet olisi huollettu.</p>	
Avainsanat	kaukolämpö, maalämpö, lämmöntalteenotto, ilmalämpöpumppu, korjaus, elinkaari

Author(s) Title	Sebastian Buss HVAC systems life cycle costs in a detached house
Number of Pages Date	34 pages + 4 appendices 8 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructor	Erkki Sainio, Senior Lecturer
<p>The main aim of this final year project was to examine the essential aspects encountered when deciding about the renovation of the heating system of a detached house in Helsinki. The systems compared were district heating and geothermal heating. Additionally, the use of an air-source heat pump as an add-on system as well as the renewal of the ventilation system were researched.</p> <p>The main focus was on the costs, both investment and running of the systems. Also aspects in the life cycle, maintenance and renovation of both the building and the heating systems were focused on.</p> <p>District heating system proved to be the most cost effective option. The use of an air-source heat pump could not lower the costs in the building in question. As for the ventilation system, the most cost effective option was to purchase one ventilation unit instead of repairing the old ones.</p>	
Keywords	district heating, geothermal heating, heat recovery ventilation, air-source heat pump, renovation, life cycle

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Elinkaariajattelu kiinteistönpidossa	2
2.1	Elinkaariajattelu	2
2.2	Korjausrakentaminen	2
2.3	PTS-ohjelma	3
3	Rakennuksen elinkaari	4
3.1	Rakennuksen vanheneminen	4
3.2	Kunnossapitojaksot	5
4	Esimerkkikohde	6
5	Kaukolämpö	8
5.1	Kaukolämpöjärjestelmä	8
5.2	Elinkaari / käyttöikä	9
5.3	Hankintakustannukset	10
5.4	Käyttökustannukset	11
6	Maalämpö	13
6.1	Maalämpöjärjestelmä	13
6.2	Elinkaari / käyttöikä	15
6.3	Hankintakustannukset	15
6.4	Käyttökustannukset	17
7	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton parannus	19
8	Ilmalämpöpumpun käyttö	24

9	Elinkaarikustannuslaskelmat	27
10	Herkkyystarkastelu	29
10.1	Kustannuksien määrittelytavasta	29
10.2	Kaukolämmön hankintakustannuksien kasvaminen ja nykyiset energiakustannukset	30
10.3	Sähkön hinnan laskeminen ja kaukolämmön hankintahinnan kasvu	31
11	Päätelmät	32
	Lähteet	33
	Liitteet	

Liite 1. Helsingin energian kaukolämpötariffi

Liite 2. Helsingin energian sähkötariffi

Liite 3. Enervent LTR-6 190 eco ECE -ilmanvaihtokone

Liite 4. Rexovent RDAA -ilmanvaihtokone

Lyhenteet

LVIS	lämpö, vesi ja viemäri, ilmastointi, sähköjärjestelmä
LCC	Life cycle costs. Elinkaarikustannukset.
LCA	Life cycle assessment. Elinkaariarviointi ympäristökuormituksista ja niiden vaikutuksista.
PTS	pitkän aikavälin suunnitelma
SFP-luku	ominaissähköteho

1 Johdanto

LVI-järjestelmien elinkaarikustannukset kertyvät niiden hankinnasta, käytöstä, huollosta, sekä käytöstä poistamisesta. Sopivan järjestelmän valinnalla ja tarkoituksen mukaisella käytöllä varmistetaan energiataloudellisuus. Tämän lisäksi rakennuksen kunnolla ja muuttuvalla käyttöasteella on oleellinen merkitys kustannuksien syntyyn.

LVI-järjestelmät taikka niiden osat joudutaan vaihtamaan useasti rakennuksen käyttöajan aikana. Sopivilla uusilla järjestelmävalinnoilla yhdistettynä rakennuksen kunnostamistarpeisiin oikea-aikaisesti säilytetään rakennuksen arvo ja asuinviihtyvyys.

Merkittävimmän osuuden rakennuksen elinkaarikustannuksista aiheuttaa tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitys. Lämmitystavan valinnalla voidaan vaikuttaa suuresti kustannuksien syntyyn. LVI-järjestelmistä sähkölämmitteiset vesivaraajat, lämpöpumput ja ilmastointi kuluttavat suurimman määrän sähköenergiaa. Oikeanlaisella ilmastoinnilla on suuri merkitys kustannuksien syntyyn, asuinviihtyvyyteen ja rakennuksen laatuun. Järjestelmien hyötysuhteet, kestävyys ja käyttöikä yhdessä rakenteiden hyvän laadun kanssa vähentävät kuluja ja lisäävät asumismukavuutta.

Asumisen ja saneeraamisen kannalta on oleellista miettiä laitteiden käytettävyyttä, huollettavuutta ja uusimisen mahdollisuuksia. Laitteiden ja lämmitysjärjestelmien oikean toiminnan varmistaminen ja säätäminen ovat edellytykset taloudellisuudelle. Järjestelmien uusimisen mahdollisuudet määrittää rakennus ja tontti.

2 Elinkaariajattelu kiinteistönpidossa

2.1 Elinkaariajattelu

Laajimmillaan rakennuksen elinkaariajattelu pitää sisällään raaka-aineisiin, rakennuksen käyttöön ja materiaalien käytöstä poistamisen jälkeiseen loppusijoitteluun liittyvät seikat ympäristökuormituksen ja taloudellisuuden kannalta. Rakennuksen käytön aikaisessa tarkastelussa oleellista on mahdollisimman pitkäaikainen tarpeenmukainen rakennuksen käyttö optimoiduin kustannuksin. [1, s. 19.]

Rakennuksen elinkaaritaloudellisuuden toteutuminen vaatii tarvehankintaista rakentamista. Lisäksi rakennusosien ja rakenteiden tulee olla kestäviä ja pitkäikäisiä. Rakennuksen kannalta on tärkeitä sen muuntelukyky eri käyttötarkoituksiin, sekä pieni energiankulutus ja halpa ylläpito. [1, s. 19.]

Elinkaari näkökohtia mitataan laskennallisesti LCA (Life Cycle Assessment) ja LCC (Life Cycle Cost) -laskennan avulla. LCA tarkastelujen avulla tutkitaan ympäristövaikutuksia ja LCC-tarkasteluilla selvitetään elinkaarikustannuksia. [1, s. 20.]

Elinkaarikustannukset voidaan selvittää eri laajuisina koskien koko rakennusta tai sen osaa. Vastaavasti laskelmat voidaan tehdä järjestelmä tai laitekohtaisesti, jolloin vertailu eri vaihtoehtojen välillä helpottuu. [1, s. 20.]

2.2 Korjausrakentaminen

Korjausrakentaminen voi olla joko investoivaa tai ylläpitävää rakentamista. Tällöin tarkoitetaan myös perusparannusta tai peruskorjausta. Investoivassa rakentamisessa pyritään nostamaan kohteen laatua lisärakentamisella ja laajemmilla korjauksilla. Ylläpitävässä eli kunnossapitävässä korjaamisessa uusitaan kuluvia osia optimaalisen elinkaaren aikaansaamiseksi. [1, s. 31, 32]

Korjausrakentamisen laajuus ja laatu määräytyvät

- asiakastarpeiden
- kuntoarvioiden
- energiakatselmusten
- kuntotutkimusten
- rakennuksen tulevaisuuden näkymien mukaisesti.

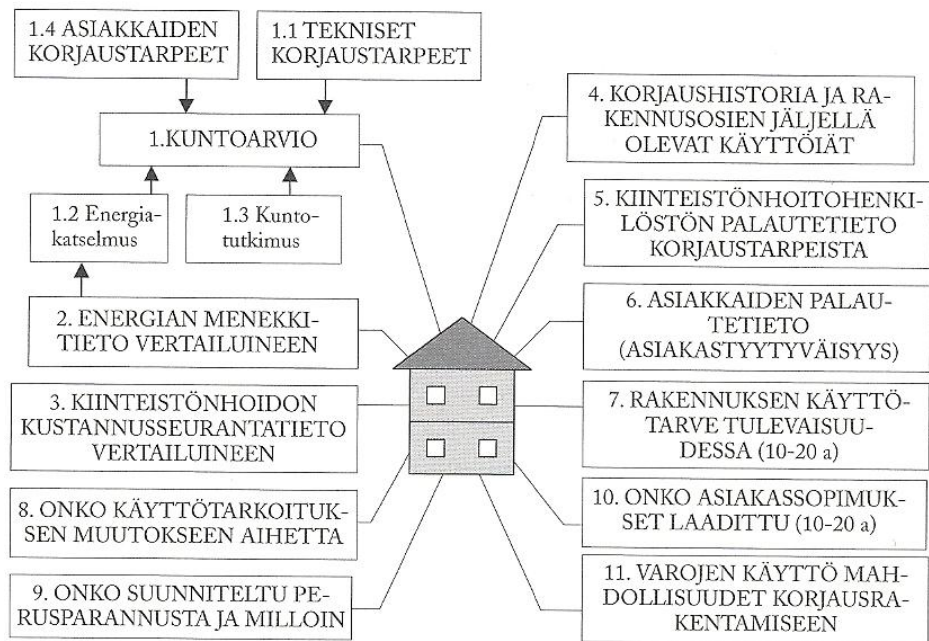
[1, s. 31, 32]

Esimerkkikohteessa ei ole vielä tarvetta investoivalle perusparannukselle. Lähitulevaisuudessa olisi kuitenkin tarkoituksenmukaista laatia suunnitelma rakennuksen tilojen käytön vaihtoehtoista. Tällä tavoin voidaan varautua rakennuksen elinkaaren puolivälissä tulevaan laajempaan lvi-järjestelmien perusparannukseen. Olisi myös syytä valmistautua perusteelliseen energiakatselmukseen ja laajempaan energiansäästötoimenpide tutkimukseen, joka huomioi myös sähkön käytön ja sähköverkoston.

Toistaiseksi ylläpitävä rakenteiden ja lvi-järjestelmien korjaaminen on riittävä vaihtoehto. Mikäli järjestelmiin tehdään laajempia muutoksia, kannattaa samassa tarkastella ratkaisujen muuntojoustavuutta.

2.3 PTS-ohjelma

Rakennukselle tehtävien korjausten pitkän aikavälin suunnittelu (PTS-ohjelma) tehdään tyypillisesti noin kymmeneksi vuodeksi kerralleen. Se on hyvä tehdä jo kymmenen vuoden sisällä rakennuksen valmistumisesta. Kun suunnitelmaa päivitetään säännöllisesti, eivät korjaustarpeet pääse yllättämään niin todennäköisesti. Suunnitelma myös auttaa ajoittamaan tehtävät toimet oikea-aikaisesti. PTS-ohjelmalla pyritään minimoimaan kiinteistökustannukset huomioimalla tekninen, taloudellinen ja rakennuksen toiminnallinen näkökulma (kuva 1). [1, s. 78–80]



Kuva 1. PTS-ohjelman laadinnassa huomioitavia seikkoja [1, s. 80]

3 Rakennuksen elinkaari

3.1 Rakennuksen vanheneminen

Rakennukset vanhenevat usealla eri tavalla ja vanhenemisen syklit ovat eripituisia. Rakennusten vanhenemista voidaan tarkastella sen teknisellä käyttöiällä, taloudellisella ylläpitoajalla ja toiminnallisina elinjaksoina taloudellisen pitoajan kuluessa (taulukko 1). [2, s. 3.]

Taulukko 1. Eräiden rakennustyyppien teknisiä käyttöikä, taloudellisia pitoaikoja ja mahdollisia eri käyttötarkoituvaihtoihin perustuvia elinjaksoja [2, s. 3].

	Tekninen käyttöikä	Taloudellinen pitoaika	Toiminnallisia elinjaksoja
Monumentaaliset rakennukset	ei määriteltävissä	ei määriteltävissä	1
Julkiset palvelurakennukset	yli 100 v	100 v	2–3
Toimistorakennukset	yli 100 v	100 v	3–5
Koulut ja päiväkodit	yli 50 v	30–50 v	3–5
Asuinrakennukset	50–100 v	30–100 v	1–2

Tekninen käyttöikä tarkoittaa aikaa, jonka rakennus tai se osa teknisesti kestää. Se on käytännössä pidempi aika kuin sen käytössä olemisen aika. Taloudellisella pitoajalla tarkoitetaan rakennuksen tai sen osan tarkoituksenmukaisessa käyttökunnossa pitämisen aikaa siten, että sen arvo on suurempi kuin kustannukset. Toiminnallisen elinjakson määrittää rakennuksessa tapahtuvan toiminnan edellyttämien vaatimuksien täyttyminen. Toiminnallisen elinjakson päättyessä muutetaan rakennuksen käyttötarkoitusta, taikka parannetaan sen ominaisuuksia merkittävästi. [2, s 3.]

Rakennuksen elinkaari jakaantuu elinjaksoihin. Elinjakso päättyy taloudellisen taikka toiminnallisen vanhenemisen seurauksena. Sitä seuraava perusparannus voi johtua esimerkiksi taloteknisten järjestelmien teknisestä vanhenemisesta. Elinjakson aikana rakennusta huolletaan kunnossapitotaksissa siten, että rakennus säilyy toiminnan vaatimukset ylläpitävässä käyttökunnossa. [2, s. 4.]

Asuinrakennuksissa elinjakson pituuden määrittää usein putkistolinjojen uusimisen tarve. Tällöin myös yleensä korjataan kaikki talotekniset järjestelmät. Muissa rakennustyypeissä elinjakson määrittävät tavallisesti toiminnan muutokset. Suomalaisten rakennusten keskimääräinen elinjakso on 30–50 vuotta. [2, s. 4.]

3.2 Kunnossapitotaksot

Teknisen käyttöiän saavuttaminen edellyttää, että rakennus tai järjestelmä on suunniteltu ja toteutettu rakennusajankohtana voimassaolevien määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Lisäksi edellytetään, että on noudatettu hyvää rakennustapaa sekä ohjeistuksia kunnossapidosta. [3]

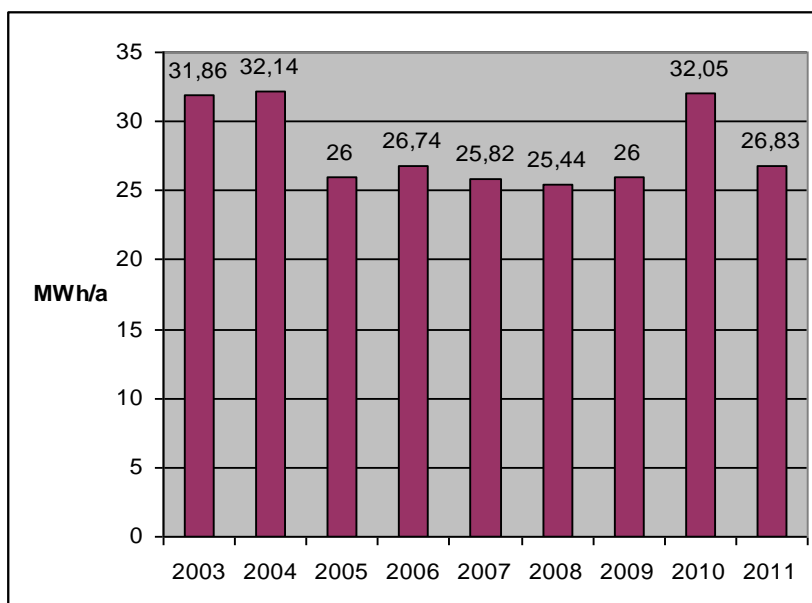
Kunnossapitotaksolla tarkoitetaan kaikkiin rakennuksen tai järjestelmän osiin tehtäviä ennakolta määriteltyjä kunnossapitotoimenpiteitä. Kunnossapidon tekemättä jättäminen lisää riskiä rakenteen vakavalle vaurioitumiselle. [2, s. 5–6.]

Rakennuksen eri osien ja järjestelmien kunnossapitotaksot vaihtelevat rakennus ja järjestelmäkohtaisesti riippuen suunnittelusta, toteutuksesta ja siihen kohdistuvasta rasituksesta. Kunnossapitotaksan aikaväliin vaikuttaa tarkasteltavan kohteen ikä, sekä siihen kohdistuvat olosuhteet. [3]

Rakennuksen eri osien ja järjestelmien keskimääräiset tekniset käyttöiät, kunnossapitajaksot ja tarkastusvälit löytyvät Rakennustietosäätiön julkaisemasta ohjekortista *Kiinteistöjen tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot LVI 01-10424* [3].

4 Esimerkkikohde

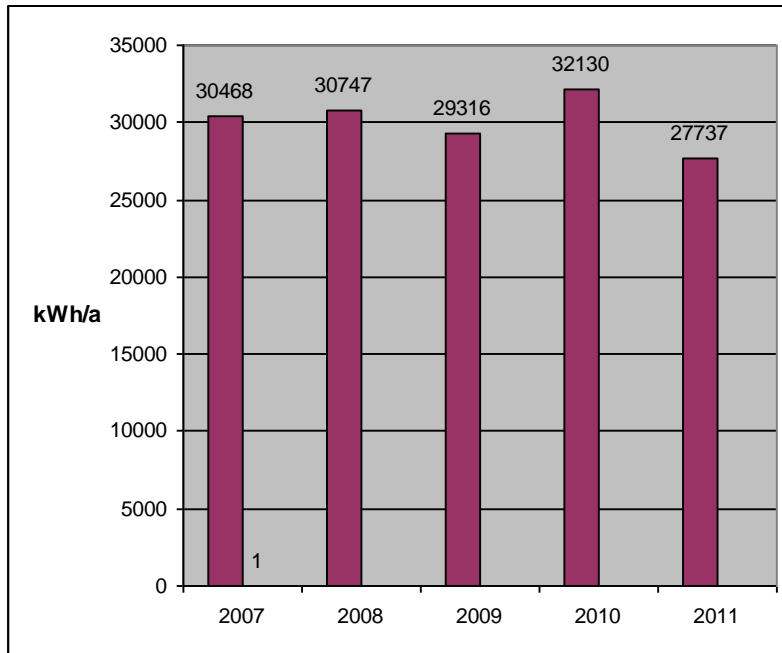
Helsingissä sijaitseva rakennus on valmistunut vuonna 1994. Rakennuksen rakenteiden kunto on hyvä. Rakennus on liitetty kaukolämpöön ja ilmastointi on toteutettu kahdella samanlaisella tulo- poistoilmanvaihtokoneella. Kummassakin on levylämmönsiirrin lämmöntalteenottolaitteena. Kaukolämpökeskuksen käyttöveden piiri on teholtaan 57kW ja patterilämmitysverkoston teho on 15 kW. Rakennuksessa on tasainen lämpö kaikkina vuoden aikoina, eikä sisäilmaongelmia ole. Kaukolämpökeskus on vanhenemassa ja ilmastointikoneet tulevat huoltoikään. Kaukolämmön mitatun kulutuksen yhdeksän vuoden keskiarvo on 28 098 kWh (kuva 2).



Kuva 2. Esimerkkikohteen vuotuiset kaukolämpöenergian käyttömäärät

Rakennuksen huoneistoala on 291 neliometriä tekninen tila ja autotalli mukaan luettuna. Kaikki rakennuksen tilat lämmitetään patteriverkoston ja yösähköllä toimivan lattialämmityksen avulla. Patteriverkosto on mitoitettu kattamaan rakennuksen koko lämmityksen tarve ja lattialämmitystä käytetään pelkästään mukavuuden lisäämiseksi niin

haluttaessa. Lattialämmitys on kaikissa kosteissa tiloissa, eteisessä ja alakerrassa, joissa sitä käytetään vuoden viileämpinä jaksoina pienelle teholla säädettynä. Ainoastaan saunan ja suihkutilojen lattialämmitys on käytössä kokovuotisesti mutta pelkästään yösähkön aikana. Saunan ja suihkutilojen lattialämmitysjaksoa lyhentämällä muutamassa tuntiin yötä kohti voitaisiin vaikuttaa suuresti vuotiseen sähkön kulutukseen. Sähkönkulutuksen viiden vuoden keskiarvo on 30 080 kWh (kuva 3).



Kuva 3. Esimerkkikohteen vuotiset sähköenergian käyttömäärät

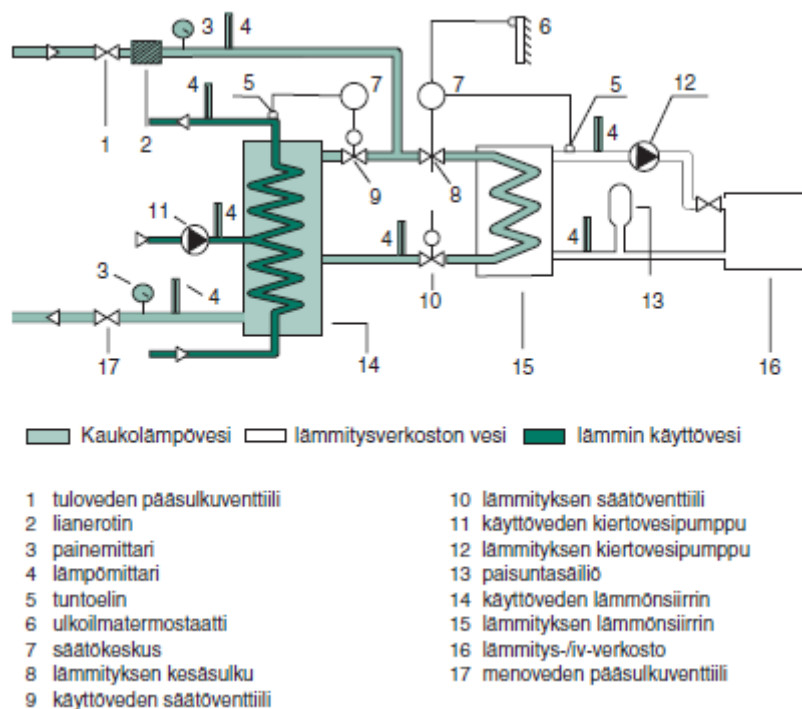
Teknisen tilan yhteydessä on varastotilaa, ja se sijaitsee pohjakerroksessa. Teknistä tilaa ja autotallia palvelevat erilliset puhaltimet. Rakennuksen asuintilojen Ilmanvaihtokoneiden yhteinen ilmamäärä on 124 l/s tuloilmaa ja 127 l/s poistoilmaa. Keittiön liesikupu toimii erillisellä huippuimurilla, joka poistaa maksimissaan 50 l/s käytössä ollessaan. Rakennuksen käyttöaste vaihtelee suuresti. Tästä johtuen ilmastoinnin vähentämisellä poissaoloaikoina rakennusmääräyskokoelman mukaisella maksimissaan 60 %:n ilmavirtojen vähennyksellä voidaan säästää merkittävästi sähköä.

5 Kaukolämpö

5.1 Kaukolämpöjärjestelmä

Kaukolämpöjärjestelmä on Suomessa yleisimmin käytetty lämmöntuotantomuoto. Sen käyttö on alkanut jo 50-luvulla, ja siihen liittyvät suositukset ja ohjeet ovat muuttuneet koko maan kattavaksi standardiksi. Kaukolämmön käyttö on mahdollista taajamissa kaukolämpöverkoston alueilla. [4]

Kaukolämpövesi pumpataan tuotantolaitokselta asiakaskiinteistöjen lämmönjakokeskukseen. Lämmönjakokeskuksesta lämpö johdetaan rakennuksen lämmitysverkostoihin lämmönsiirtimien välityksellä. Lämmönsiirtimet lämmittävät rakennuksen huonetilojen lämmityksen kiertoveden ja lämpimän käyttöveden. Myös ilmanvaihtoilma voidaan lämmittää kaukolämmöllä, jos sille on rakennettu oma verkosto. Sääto- ja mittauslaitteet ohjaavat kaukolämpökeskuksen toimintaa rakennuksen lämmöntarpeen mukaan (kuva 4). [5, s. 4.]



Kuva 4. Kaukolämpökeskuksen osat ja toimintaperiaate [6]

Lämmönjakokeskukset toimitetaan tehdasvalmisteisina koottuina kokonaisuuksina erityyppisten peruskytkentöjen mukaisesti. Muussa tapauksessa lämmönmyyjän täytyy ensin hyväksyä suunnitelmat. [4, s. 34.] Kaukolämpökeskuksen toimitukseen kuuluu säätölaittekeskus ja ohjauskeskus sekä kaikki osat ja laitteet, joilla se kytketään eri vesiverkostoihin. Lisäksi pientalokytkennän toimitukseen kuuluu paisuntasäiliö toisin kuin muihin standardikytkentöihin. [4, s. 31.]

Lämmönjakokeskuksen osat ovat

- lämmönsiirtimet
- säätölaitteet
- kiertovesipumput
- paisunta- ja varolaitteet
- putkistot, venttiilit ja mittarit.

5.2 Elinkaari / käyttöikä

Kaukolämpöjärjestelmä koostuu lukuisista osista (taulukko 2), jotka joutuvat erilaiselle rasitukselle alttiiksi. On tarkasteltava erikseen lämmitysverkostojen ja lämmönjakokeskuksen elinkaarta. Lämmitysverkostojen putkistot kestävät keskimäärin 50 vuotta. Lämmönjakokeskusta joudutaan kunnostamaan ja uusimaan nopeammin. [3, s. 13–18.] Yli 20 vuotta vanhan lämmönjakokeskuksen uusinta tulee pääsääntöisesti tehdä kokonaisuusintana [4, s. 37].

Taulukko 2. Kaukolämpökeskuksen osat ja niiden keskimääräinen tekninen käyttöikä vuosi-
na, kun ne altistuvat normaalille rasitukselle [3, s. 13–22].

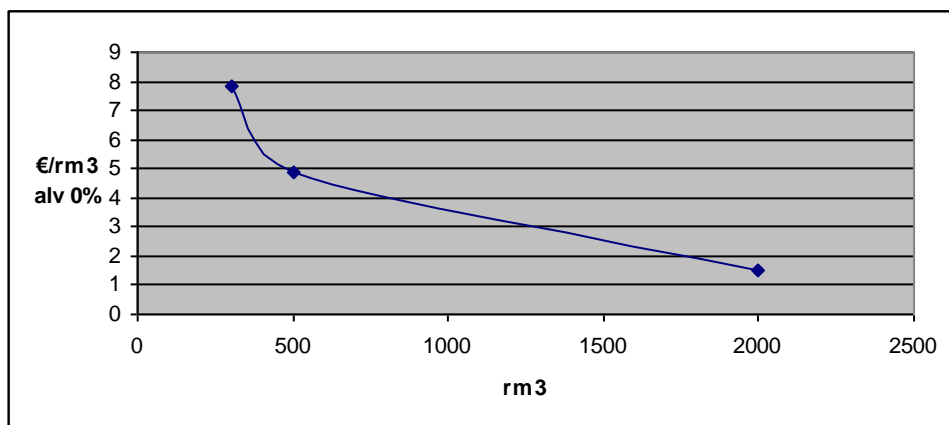
Lämmönsiirtimet	20
Teräsputkilämmönsiirtimet	20...30
Kumitiivisteelliset levylämmönsiirtimet	10
Kiertovesipumput	20...25
Paisunta ja varolaitteet	20...25
Putkistot	50
Venttiilit	20...25
Moottoriventtiilin toimilaite	10...15
Mittarit ja putkistovarusteet	uusitaan tarvittaessa

5.3 Hankintakustannukset

Nykyistä kaukolämpöjärjestelmää uusittaessa hankintahinta koostuu rakennuksen tilavuuden mukaan arvioidusta kaukolämpökeskuksen hinnasta sekä työkustannuksista. Esimerkkikohteen lämmitettävä tilavuus on 1 008 bruttokuutiometriä. Hankintahintaan on syytä lisätä myös lämmitysverkoston tasapainotus ja patteriventtiilien uusiminen. Ensimmäistä kertaa kaukolämpöä hankittaessa täytyy huomioida myös suunnittelu ja tilakustannukset sekä liittymismaksu.

Kaukolämmityksen hankintahinta koostuu

- asennuskustannuksista
- kaukolämpökeskuksen hankintahinnasta
- lämmitysverkoston tasapainotuksesta
- patteriventtiilien uusimisesta
- suunnittelukustannuksista (järjestelmää perustettaessa)
- liittymiskustannuksista (järjestelmää perustettaessa)
- tilakustannuksista (rakennusta rakennettaessa).



Kuva 5. Kaukolämpökeskuksen hinta asennuksineen Haahtelan taulukoita 2011 soveltaen [7]

Kaukolämpökeskuksen hankintahinta (kuva 5) arvioidaan talonrakennuksen kustannustieto kirjan taulukoita soveltaen. Hinta ei perustu urakoitsijoiden tarjouksiin, hankintahinnaksi valitaan 4 €/rm³, jota voidaan pitää tämänkokoisen rakennuksen lämpökeskuksen ylähintana. Tällöin hinnaksi saadaan 4 032 € ilman arvonlisäveroa ja 4 960 € veroineen. Uutta kaukolämpöjärjestelmää varten täytyisi huomioida liittymismaksu, joka on tällä hetkellä pientalolle Helsingissä 5 010 €.

Kaukolämpökeskus sijoitetaan ennestään olemassa olevaan lämmönjakohuoneeseen, jolloin tilakustannuksia ei synny. Patteriverkostolle tehdään tasapainotus ja patteriventtiilit uusitaan molemmissa lämmöntuotanto vaihtoehtoisissa, jolloin niiden hintavaikutus on yhtä suuri kummassakin tilanteessa.

5.4 Käyttökustannukset

Nykyisen kaukolämpökeskuksen käyttökustannukset koostuvat kaukolämmön tehomaksusta, sekä energiamaksusta. Tehomaksu määräytyy sopimusvesivirran mukaan. Sopimusvesivirran koon määrittää rakennuksen laskennallinen huipputehontarve. Energiamaksu määräytyy kuukausittain toteutuneen lämmitysenergian kulutuksen ja kaukolämmön toimittajan hinnoittelun mukaan. Kaukolämmön hinta on kallistunut kuka-kuinkin samassa suhteessa sähkön hinnan kanssa.

Käyttökustannuksia muodostuu myös mahdollisista kaukolämpökeskuksen huoltokustannuksista. Ne joudutaan arvioimaan ennalta määrittämättöminä kuluina. Tässä työssä on arvioitu kaukolämmön huoltokustannuksien syntyvän kolmesta huoltokäynnistä kaukolämpökeskuksen käyttöiän aikana. Kaukolämpölaitteiden taloudellinen käyttöikä on 20–25 vuotta [8, s. 6].

Käyttökustannukset koostuvat

- sopimustehosta
- energiamaksusta
- huoltokustannuksista.

Taulukko 3. Kaukolämmön vuotuiset käyttökustannukset esimerkkikohteessa €/a

tehomaksu	521 €/a
energiamaksu	1454 €/a
huoltokustannukset	66 €/a
	2041 €/a

Taulukossa 3 on eritelty vuotuiset käyttökustannukset. Tehomaksu on nykyisen laskutuksen mukainen tarkistetulla sopimusvesivirralla. Energiamaksu on laskettu mitatun kulutuksen yhdeksän vuoden keskiarvosta 28,1 MWh. Helsingin energian kaukolämmön kesähinta 2012 oli 55,41 €/MWh ja 2013 talvihinta 48,09 €/MWh, jolloin keskihinnaksi saadaan 51,75 €/MWh. Huoltokustannukset joudutaan arvioimaan, ja niihin liittyy enemmän epävarmuustekijöitä. Esimerkkikohteen huoltokustannuksien on arvioitu muodostuvan kolmesta huoltokäynnistä työ ja uusittavat osat huomioituna. 25 vuoden aikana muodostuvien huoltokustannuksien määräksi on arvioitu 1 650 €.

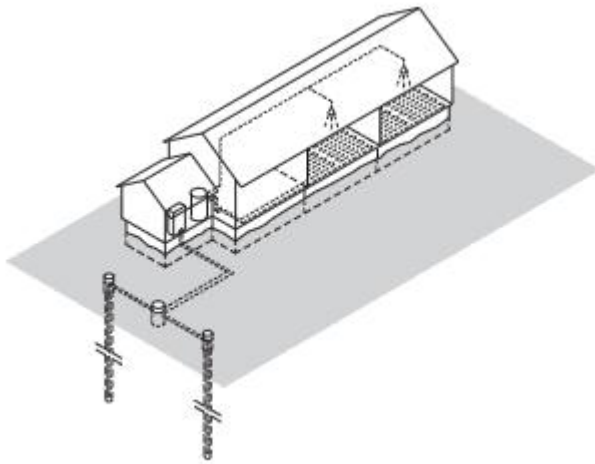
Kaukolämmön merkittävin kuluerä on energiamaksu. Kaukolämmön hinta on karkeasti tarkasteltuna noussut 2000-luvun vaihteen jälkeen hieman alle kaksinkertaiseksi kaikilla kaukolämmön tuotannon pääpolttoaineilla tuotettuna [9].

6 Maalämpö

6.1 Maalämpöjärjestelmä

Maalämpöjärjestelmiä on käytetty 70-luvun puolivälistä lähtien, mutta 2000-luvulla se on yleistynyt voimakkaasti. Vuonna 2011 hieman alle puolet uuden pientalon rakentajista valitsivat sen lämmöntuotantotavaksi. Se tuottaa lämmitysenergiaa edullisesti mutta hankintakustannukset ovat korkeat. Sen kannattavuus paranee siten rakennuksen koon kasvaessa, sekä energiahintojen noustessa. [10, s. 1.] Maalämpöjärjestelmän rakentaminen on luvanvaraista siihen kuuluvan lämmönkeruupiirin takia [11, s. 15].

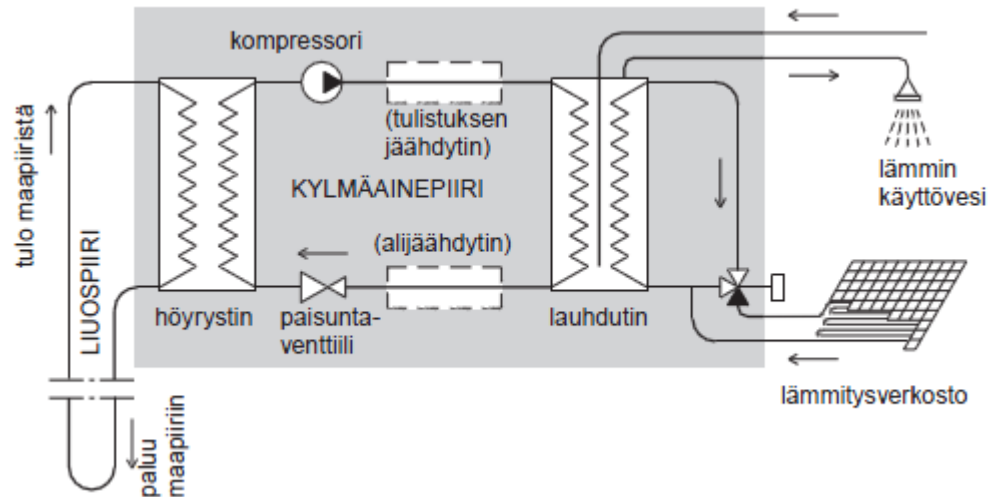
Lämpöpumppujärjestelmän hankinta kannattaa tehdä kokonaistoimituksena. Järjestelmän toiminta ja toteutuksen kokonaisuus varmistetaan, kun toimittaja tekee suunnitelmat ja asennukset lämmönkeruuputkistot mukaan lukien, sekä liittää järjestelmän rakennuksen lämmitysverkostoihin. [12, s. 3.]



Kuva 6. Maalämpöjärjestelmä kahden lämpökaivon toteutuksella [12]

Maalämpöjärjestelmä rakentuu lämmönkeruuputkistosta, kylmäainepiiristä ja rakennuksen lämmönjakoverkostoista. Kylmäainepiiriä laitteineen kutsutaan lämpöpumpuksi. Lämmönkeruuputkisto voidaan rakentaa maalle taikka vesistöön. Se kytkeytyy kylmä-

laitepiiriin höyrystimen kautta. Kylmälaitepiiri on useista laitteista ja osista sekä kylmäaineesta koostuva toiminnallinen laitekokonaisuus. Se kytkeytyy rakennuksen lämmitysverkostoihin lauhduttimen välityksellä. [12, s. 2; 5, s. 6.]



Kuva 7. Värityllä alueella näkyvät maalämpöpumpun osat [12]

Lämpöpumppu voidaan mitoittaa kattamaan koko rakennuksen lämmitystehontarve taikka osa siitä. Osateholle mitoitettu lämpöpumppu tarvitsee sähkövastuksen, jolla katetaan huippupakkasten aikainen lisälämmityksen tarve. Osatehomitoituksessa kate-
taan 50–80 % lämmitystehon enimmäistarpeesta, jolloin se kattaa 80–95% vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta. [10, s. 5; 12, s. 5.] Alueilla joissa on vähemmän kovia pakkaspäiviä, on todennäköisesti edullisempaa käyttää osateho mitoitusta [11, s. 23].

Maalämpöjärjestelmän osat ovat

- lämpökaivo ja lämmönkeruuputkisto
- kiertovesipumput
- kompressor
- höyrystin ja lauhdutin
- lämminvesivaraaja
- säätölaitteet
- putkistot, venttiilit ja mittarit.

6.2 Elinkaari / käyttöikä

Maalämpöjärjestelmän lämmönkeruupiirin ja maalämpöpumpun elinkaarta on tarkasteltava erikseen. Lämmönkeruupiiri maahan rakennettuna kestää rakennuksen käyttöiän ajan. Maalämpöpumppu on lyhytikäisempi laitekokonaisuus. Myös lämpöpumpun mitoitus vaikuttaa sen kestävyYTEEN. Osateholle mitoitettun lämpöpumpun kompressorin on käynnissä pitkiä jaksoja ilman pysäytyksiä. Se käy hyvällä hyötysuhteella ja kestää myös pidempään altistuessaan vähemmälle rasitukselle (taulukko 4). [3, s. 15; 12, s. 5.]

Taulukko 4. Maalämpöjärjestelmän osat ja niiden keskimääräinen tekninen käyttöikä vuosina kun ne altistuvat normaalille rasitukselle. [3, s. 13–22]

Lämpökaivo	Rakennuksen ikä
Lämmönkeruuputkisto	50
Kiertovesipumput	20...25
Kompressorin	10...15
Höyrystin	15...20
Lauhdutin	15...20
Lämminvesivaraaja	30
Venttiilit	20...25
Moottoriventtiilin toimilaite	10...15
Mittarit ja putkistovarusteet	uusitaan tarvittaessa

6.3 Hankintakustannukset

Maalämpöjärjestelmän hankintakustannukset koostuvat rakennuksen lämmitystehontarpeen perusteella mitoitettavien laitteistojen ja lämmönkeruupiirin mukaan. Lisäksi hankintahintaan kuuluvat suunnittelukustannukset ja työ- ja materiaalikustannukset.

Esimerkkikohteen maalämpöpumppu voidaan sijoittaa nykyiseen lämmönjakohuoneeseen, jolloin tilakustannuksia ei synny. Patteriverkoston tasapainotuksen ja uusien patteriventtiilien hankinnan hintavaikutus on yhtä suuri molemmissa lämmöntuotantotavoissa, jolloin ne eivät vaikuta vertailuun. Kaukolämpöjärjestelmän muutosta maalämpöjärjestelmäksi ei tueta valtion avustuksilla tällä hetkellä [13, s. 5].

Maalämpöjärjestelmän hankintakustannukset koostuvat

- suunnittelukustannuksista
- asennuskustannuksista
- lämpökaivon porauksesta
- laitekustannuksista
- lämmitysverkoston tasapainotuksesta
- patteriventtiilien uusimisesta
- tilakustannuksista (rakennuksen rakentamisvaiheessa).

Taulukko 5. Maalämmön hankintakustannuksien ylärajahinta €

suunnittelukustannukset	500 €
lämpökaivon poraus	7600 €
asennuskustannukset	3000 €
laitekustannukset	<u>12000 €</u>
	23100 €

Esimerkkikohteen suunnittelukustannukset koostuvat lämmitystehontarpeen mukaan mitoitettavasta lämpöpumpusta ja -kaivosta. Siihen käytetään toimittajan mitoitusohjelmaa. Varsinaisia työkuvia ei tarvitse piirtää. Suunnittelukustannuksiksi voidaan lisäksi laskea kohdekäynti sekä lupa- ja selvitysasioissa konsultointi.

Laskennan lähtökohdat ovat määritelty siten, että ne eivät todennäköisesti ylity mutta ovat realistisia ylähintoja. Hankintakustannuksien merkittävimmät osuudet ovat laitekustannukset ja lämpökaivon poraus.

Esimerkkikohteeseen vaadittavan lämpöpumppulaitteiston ylärajahintana voidaan pitää 12 000 €. Kaivon syvyys on määritelty arvolla 50 kWh metriä kohden vuodessa, joka on hyvin todennäköisesti tavoitettava arvo Etelä-Suomen kallioperästä [12, s. 4]. Lisäksi tähän on lisätty 25 metriä, koska tarkempia maaperän tutkimuksia ei ole tehty. Porauksekseksi on määritelty 40 € metriä kohden. Asennustöiden määräksi on arvioitu vajaat 4 päivää kahdelle asentajalle.

Laskennan lähtökohtien määrittelytavasta johtuen maalämpöjärjestelmän hankintakustannukset voivat olla myös paljon alhaisemmat. Kilpailutuksella ja lämpökaivon syvyyden määrittäessä pienemmäksi hankintakustannukset voivat laskea noin 19 000 €:oon asti.

6.4 Käyttökustannukset

Maalämpöpumpun käyttökustannukset koostuvat pumpun käyttämästä sähköenergiasta, sähkön perusmaksusta sekä huoltokustannuksista. Pumpun käyttämään sähköenergian määrään vaikuttaa pumpun mitoitus sekä lämpökerroin. Lämpökerroin vaihtelee pumpun mallin ja vuotuisten lämpötila vaihtelujen seurauksena. Lämpökerroin ilmaisee, kuinka moninkertaisesti pumppu tuottaa lämpöenergiaa käyttämästään sähköenergiasta. Valmistajat ilmoittavat yleensä vuotuisen keskiarvon mukaisen lämpökerroimen. [12, s. 2.]

Maalämpöpumpun käyttökustannukset koostuvat

- sähköenergian kulutuksesta
- sähkön perusmaksusta
- huoltokustannuksista.

Taulukko 6. Maalämpöpumpun vuotuisten käyttökustannuksien yläraja €/a

energiamaksu	1617 €/a
sähkön perusmaksu	89 €/a
huoltokustannukset	175 €/a
	1881 €/a

Laskennan lähtökohtana esimerkkikohteen käyttökustannukset (taulukko 6) on määritetty lämpöpumpulle, joka kattaa 90 % rakennuksen vuotuisesta lämmitystehontarpeesta. Toisena lähtökohtana laskelmissa on käytetty 2,6 lämpökerrointa (taulukko 7). Käyttövesivaraajalla varustettujen maalämpöpumppujen lämpökerroin on 2,6–3,2 [12, s. 4]. Siten laitevalinnoilla voidaan määrittää sähkönkulutuksen enimmäismäärä.

Taulukko 7. Maalämmön vuotuiset energiakustannukset 90 %:n osatehomitoituksella ja COP luvun ollessa 2,6

28,1 MWh/a x 0.9 = 25,29 MWh/a	Maalämpöpumpulla lämmitetään
25,29 MWh / COP 2,6 = 9,73 MWh/a	Maalämpöpumpun käyttämä sähkö
28,1 MWh - 25,29 MWh = 2,81 MWh/a	Sähkövastuksella lämmitetään
	Sähkövastuksen käyttämä sähkö hyötysuhde huomioituna
2,81 MWh/ 0,9 hyötysuhde = 3,12 MWh/a	12,85 MWh/a
Yhteensä	
12,85 MWh/a x 12,58 c/kWh sähkön hinta 2013 alk.	1617 €/a

Maalämmön energiamaksu on merkittävin käyttökustannusten muodostaja. Esimerkki-kohteen maalämmön käyttämää sähkönkulutusta voidaan laskea, mikäli järjestelmä mitoitetaan ja saadaan toimimaan mahdollisimman optimaalisesti (taulukko 8). Sähkön hinta on lähes kaksinkertaistunut 2000-luvun vaihteen jälkeen [14].

Taulukko 8. Maalämmön vuotuiset energiakustannukset 95 %:n osatehomitoituksella ja COP luvun ollessa 3

28,1 MWh/a x 0.95 = 26,70 MWh/a	Maalämpöpumpulla lämmitetään
26,70 MWh / COP 3 = 8,90 MWh/a	Maalämpöpumpun käyttämä sähkö
28,1 MWh - 26,70 MWh = 1,4 MWh/a	Sähkövastuksella lämmitetään
	Sähkövastuksen käyttämä sähkö hyötysuhde huomioituna
1,4 MWh/ 0,9 hyötysuhde = 1,56 MWh/a	10,46 MWh/a
Yhteensä	
10,46 MWh/a x 12,58 c/kWh sähkön hinta 2013 alk.	1316 €/a

Huoltokustannukset joudutaan arvioimaan ennalta määrittämättöminä kuluina. Tässä työssä on arvioitu maalämmön huoltokustannuksien syntyvän kolmesta huoltokäynnistä maalämpöpumpun takuuajan ulkopuolella. Merkittävin yksittäinen huolto on kompressorin uusiminen. Esimerkkikohteen lämpöpumpun kokoluokkaan nähden sen kustannus on noin 2000 €. 20 vuoden aikana muodostuvien huoltokustannuksien määräksi on arvioitu 3500 €. Maalämpöpumpun taloudellinen käyttöikä on 15–20 vuotta [12, s. 4].

7 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton parannus

Lämmöntalteenoton tehokkuutta voidaan kuvata parhaiten vuosihyötysuhteen avulla. Vuosihyötysuhde kuvaa prosentuaalisen osuuden, joka ilmanvaihdon lämmityksen tarpeesta katetaan rakennuksesta poistettavan ilman sisältämällä lämmöllä. Tämä luku on aina pienempi kuin lämmöntalteenottolaitteelle mitattu lämpötilasuhde. Vuosihyötysuhde ottaa huomioon koko lämmityskauden jakson, rakennuksen sijainnin sekä lämmönsiirtimen jäätyminenestön. [15, s. 1.]

Tuloilman lämpötilasuhde kuvaa tuloilman lämpenemisen suhdetta poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen [16, s. 9]. Luku ilmaisee, paljonko poistoilmasta otetaan lämpöä talteen. Tuloilman lämpötilasuhde määritetään standardin EN 308:1997 mukaisesti ja sitä käytetään pääsääntöisesti lämmöntalteenoton laskelmissa. Lämpötilasuhteen määrittämisessä on oleellista, että tulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuria. Lisäksi jäätyminen esto tai tuloilman lämpötilanrajoitus eivät ole käytössä, ja laitteistot ovat kuivina. Tällöin tulo- ja poistoilman lämpötilasuhteet ovat yhtä suuria. [16, s. 14.]

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö lasketaan kaavalla

$$H_{iv} = \rho_i \times c_{pi} \times q_{v,poisto} \times t_d \times r \times t_v (1 - \eta_a), \quad (1)$$

jossa H_{iv} on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K

ρ_i on ilmantiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 kWs/(kgK)

$q_{v,poisto}$ on poistoilmavirta, m³/s

t_d on ilmanvaihtokoneen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde

r on muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtokoneen vuorokautisen käyntiajan

t_v on ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhte

η_a on ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde tai keskimääräinen hyötysuhde laskentajaksolta

Esimerkkikohteen ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö ilman lämmöntalteenottoa on

$$H_{iv} = 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 1 \text{ kWs} / (\text{kgK}) \times 0,127 \text{ m}^3 / \text{s} \times 1 \times 1 \times 1(1 - 0) = 152,4 \text{ W/K}$$

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia lasketaan kaavalla

$$Q_{iv} = \sum (H_{iv} (T_s - T_u) \Delta t) / 1000 \quad (2)$$

jossa Q_{iv} on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh

H_{iv} on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K

T_s on sisäilman lämpötila, 21 °C

T_u on vuoden keskilämpötila 1. säävyöhykkeellä, 5 °C

Δt on ajanjakson pituus, 8 760 h

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Esimerkkikohteen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia on

$$Q_{iv} = 152,4 \text{ W} / \text{K} (21^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) 8760 \text{ h} / 1000 = 21360 \text{ kWh}$$

Ilmanvaihdon vuotuinen lämmöntalteenoton energia lasketaan kaavalla

$$Q_{LTO} = Q_{iv,eiLTO} \times \eta_a \quad (3)$$

jossa η_a on ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde tai keskimääräinen hyötysuhde laskentajaksolta

$$Q_{LTO} = 21360 \text{ kWh} \times 0,6 = 12816 \text{ kWh} \quad \text{Vanhojen iv-koneiden lämmöntalteenoton säästämä energia}$$

$$Q_{LTO} = 21360 \text{ kWh} \times 0,776 = 16575 \text{ kWh} \quad \text{Uuden iv-koneen lämmöntalteenoton säästämä energia}$$

Ilmanvaihdon vuotuinen lämmityksen tarvitsema energia on 21 360 kWh. Tästä vähennetään lämmöntalteenoton osuus, joka on vanhoilla ilmanvaihtokoneilla 12 816 kWh ja yhdellä uudella koneella 16 575 kWh. Siten ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia vanhoilla ilmanvaihtokoneilla 8 544 kWh ja yhdellä uudella ilmanvaihtokoneella 4 785 kWh.

Lämmityskustannukset lasketaan kaavalla

$$(Q_{iv,eiLTO} - Q_{LTO}) \times e \quad (4)$$

jossa $Q_{iv,eiLTO}$ on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ilman lämmöntalteenottoa

Q_{LTO} on lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettu ja tuloilman lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh

e on Helsingin Energian sähkön hinta 2013 tammikuu, 12,58 c/kWh

$$(21360kWh - 12816kWh) \times 12,58c / kWh = 1075 \text{ €} \quad \text{Vanhojen iv-koneiden lämmityskustannukset}$$

$$(21360kWh - 16575kWh) \times 12,58c / kWh = 602 \text{ €} \quad \text{Uuden iv-koneen lämmityskustannukset}$$

Ilmanvaihtokoneen sähkönkulutus lasketaan kaavalla

$$W_{iv} = \Sigma Pes \times q_v \times \Delta t \quad (5)$$

jossa Pes on ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m³/s)

q_v on ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m³/s

Δt on ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla, 8 760 h

Vanhojen iv-koneiden sähkönkulutus:

$$W_{iv} = (2,27kW / (m^3 / s) \times 0,066m^3 / s \times 8760h) + (2,5kW / (m^3 / s) \times 0,6m^3 / s \times 8760h) = 2626kWh$$

Uuden iv-koneen sähkönkulutus:

$$W_{iv} = (1,35kW / (m^3 / s) \times 0,126m^3 / s \times 8760h) = 1483kWh$$

Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho lasketaan kaavalla

$$P_{es} = \frac{P_e}{q_v} \quad (6)$$

jossa P_e on ilmanvaihtokoneen sähköteho, kW

q_v on ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m³/s

$$\frac{0,15 \text{ kW}}{0,066 \text{ m}^3/\text{s}} = 2,27 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{1. vanhan iv-koneen ominaissähköteho}$$

$$\frac{0,15 \text{ kW}}{0,06 \text{ m}^3/\text{s}} = 2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{2. vanhan iv-koneen ominaissähköteho}$$

$$\frac{0,17 \text{ kW}}{0,126 \text{ m}^3/\text{s}} = 1,35 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{Uuden iv-koneen ominaissähköteho}$$

Taulukko 9. Vanhojen ilmanvaihtokoneiden huollon kustannukset € ja vuotuiset käyttökustannukset €/a

Hankintakustannus

työ	400 €
osat	760 €
	1 160 €

Vuotuinen käyttökustannus

lämmitys	1 075 €/a
sähkö	330 /a
huolto	29 €/a
	1 434 €/a

Taulukko 10. Uuden ilmanvaihtokoneen hankintakustannukset € ja vuotuiset käyttökustannukset €/a

Hankintakustannus	4 650 €
Vuotuinen käyttökustannus	
lämmitys	602 €/a
sähkö	187 €/a
huolto	29 €/a
	818 €/a

Perusparannettava ilmastointi voidaan toteuttaa kahdella tavalla mielekkäästi. Ensimmäinen vaihtoehto on huoltaa vanhat koneet, jolloin hankintakustannukset jäävät alhaisiksi verrattaessa uuden ilmastointikoneen hankintaan. Tällöin vuotuiset käyttökustannukset jäävät kuitenkin melko suuriksi. Toinen vaihtoehto on hankkia yksi uusi ilmastointikone. Se vaatii alussa suuremman investoinnin mutta vuotuiset käyttökustannukset ovat pienemmät. Säästö syntyy enimmäkseen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen paranemisesta mutta myös paremmasta SFP-luvusta. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta voidaan parantaa noin 15 prosenttiyksikköä.

Uusittaessa vanhat ilmastointikoneet kahdella uudella koneella hankinta- ja käyttökustannukset ovat hieman korkeammat kuin uusittaessa yhdellä koneella.

8 Ilmalämpöpumpun käyttö

Ilmalämpöpumppua ei voida käyttää pääasiallisena lämmönlähteenä. Se tarvitsee aina rinnalleen suurimman mahdollisen energiankulutuksen mukaan mitoitettun lämmitysjärjestelmän. Lisälämmitysjärjestelmänä sillä voidaan kuitenkin huomattavasti alentaa lämmityskustannuksia varhaiskeväästä myöhäissyksyyn. Pakkasten ollessa -10°C kylmempiä sen lämpökerroin pienenee nopeasti, jolloin lämmöntarve joudutaan kattamaan päälämmitysjärjestelmällä. Ilmalämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin on 1,5–2,8. Ilmalämpöpumpusta saadaan suurin taloudellinen hyöty jälkiasennettuna sähkölämmitteiseen pientaloon. [12, s. 7–8.]

Koko rakennuksen pattereiden yhteenlaskettu mitoitusteho on 13 145 W, joilla voidaan tuottaa vuodessa lämpöä 39 200 kWh. Laskelmissa tutkitaan ainoastaan niiden tilojen pattereiden mitoitustehoa sekä lämmönkulutusta, jotka eivät sijaitse ovien takana.

Pattereiden vuotuinen lämmöntuotanto lasketaan kaavalla

$$Q = P_{patterit} \times \Delta t \times \frac{T_s - T_u}{T_s - T_{u,mit}} \quad (7)$$

jossa Q on Pattereiden vuodessa luovuttama lämpö, kWh

$P_{patterit}$ on pattereiden yhteenlaskettu teho, W

Δt on ajanjakson pituus, 8 760 h

T_s on sisäilman lämpötila, 21 °C

T_u on vuoden keskilämpötila 1. säävyöhykkeellä, 5 °C

$T_{u,mit}$ on ulkoilman mitoittava lämpötila, -26 °C

Esimerkkikohteen pattereiden vuotuinen lämmöntuotanto on

$$Q = 13145W \times 8760h \times \frac{21^{\circ}C - 5^{\circ}C}{21^{\circ}C - (-26^{\circ}C)} = 39\,200 \text{ kWh}$$

Rakennuksen mitatun lämmönkulutuksen yhdeksän vuoden keskiarvon avulla saadaan korjauskerroin:

$$28\,098 \text{ kWh} / 39\,200 \text{ kWh} = 0,717$$

Esimerkkikohteeseen ilmalämpöpumppua hankittaessa täytyy erityisesti huomioida rakennuksen haastava muoto. Kohteessa ei ole montaa hyvää sijoituspaikkaa, joista lämpöpumpun lämmittämä ilma voisi levitä laajalle alueelle. Ilmalämpöpumpulla voidaan korvata vain osa kaukolämmöllä tuotetusta lämmöstä silloinkin kun ulkolämpötila sallii ilmalämpöpumpun käytön. Lämpöpumpulla voidaan kattaa järkevästi alueita kahdesta kerroksesta, jotka yhdessä muodostavat kuitenkin suurimman yhtenäisen tilakokonaisuuden. Ilmalämpöpumpulla korvattavien pattereiden yhteenlaskettu mitoitus-teho on 4 430 W.

$$Q = 4430W \times 8760h \times \frac{21^{\circ}C - 5^{\circ}C}{21^{\circ}C - (-26^{\circ}C)} = 13\,210 \text{ kWh}$$

$$13\,210 \text{ kWh} \times 0,717 = 9\,472 \text{ kWh}$$

Korvattavilla pattereilla voidaan tuottaa vuodessa 13 210 kWh lämmitysenergiaa. Korjauskertoimella korjattu vuotuinen lämmönluvutus on 9 472 kWh. Tämä voidaan vähentää kaukolämmityksellä lämmitettävästä osuudesta.

Näin ollen ilmalämpöpumpulla voidaan vuosittain kattaa 9 472 kWh lämmitysenergiaa. COP-luvun ollessa 2,5 tämä lämmitysenergiamäärä saadaan aikaiseksi 3 789 kWh:lla ostettua sähköä (taulukko 11). Taulukosta 12 nähdään vuotuiset käyttökustannukset kun ilmalämpöpumppua käytetään.

Taulukko 11. Kaukolämmityksen vuosittaisen energiamaksun muodostuminen ja Ilmalämpöpumpun vuosittaiset sähkömaksut COP-luvun ollessa 2,5

28098 kWh - 9472 kWh	18626 kWh/a	Kaukolämmöllä lämmitetään
18626 kWh x 51,75 €/MWh	964 €/a	
9472 kWh/ 2,5 COP	3789 kWh/a	Ilmalämpöpumpulla lämmitetään
12,58 c/kWh x 3789 kWh	477 €/a	

Taulukko 12. Ilmalämpöpumpun hankintakustannukset € ja vuotuiset käyttökustannukset, kun kaukolämmityksellä lämmitettävä osuus on pienentynyt €/a

Hankintakustannukset

Laite ja asennus **1 900 €**

Kaukolämmön käyttökustannuksien osuus

tehomaksu	521 €/a
energiamaksu	964 €/a
huoltokustannukset	<u>66 €/a</u>
	1551 €/a

Ilmalämpöpumpun käyttökustannuksien osuus

sähkö	477 €/a
huolto	<u>29 €/a</u>
	506 €/a

Kaukolämmön ja ilmalämpöpumpun käyttökustannukset

yhteensä **2 057 €/a**

Oletettaessa ilmalämpöpumpun COP-luvun arvoksi 3,5 vuotuiset sähkökustannukset ovat 340 €, jolloin yhteisiksi käyttökustannuksiksi tulee 1920 €/a. Se ei tee vaihtoehtoa kannattavampaa, koska kaukolämmön osuus on edelleen suuri ja ilmalämpöpumpulla pitäisi pystyä korvaamaan suurempi määrä pattereita. Pelkästään kaukolämmöllä lämmitettäessä kaikki käyttökustannukset ovat yhteensä 2 041 €/a.

9 Elinkaarikustannuslaskelmat

Eri järjestelmävaihtoehtojen hankinta- ja käyttökustannuksista (taulukko 13) näkee, että ainoastaan ilmanvaihdon lämmöntalteenoton parannuksen taloudellisuutta on syytä tarkastella elinkaarikustannuslaskennalla.

Taulukko 13. Eri järjestelmävaihtoehtojen todennäköisimmät hankinta- ja käyttökustannukset

	Hankintakustannus	Käyttökustannukset
Kaukolämpö	4 960 €	2 041 €/a
Maalämpö	19 000 €	1 580 €/a
Vanhojen iv-koneiden huolto	1 160 €	1 434 €/a
Uusi iv-kone	4 650 €	818 €/a
Ilmalämpöpumppu ja kaukolämmitys	1 900 €	2 057 €/a

Uusittavan kaukolämmön hankintakustannukset ovat niin alhaiset, ettei maalämpö pysty kilpailemaan lämmöntuotantotapana. Myös ilmalämpöpumppua käytettäessä kaukolämmön lisälämmitysjärjestelmänä yhteiset käyttökustannukset ovat samansuuruiset kuin pelkällä kaukolämmityksellä lämmitettäessä, joten sen hankinta on ylimääräinen menoerä.

Ilmanvaihdon peruskorjauksen eri vaihtoehtoista tarkastellaan yhden uuden ilmanvaihdon ostamista ja vanhojen koneiden huoltoa korollisen takaisinmaksuajan menettelmällä.

Korollinen takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla

$$n = \ln\left(\frac{T}{T - Hi}\right) / \ln(1 + i) \quad (8)$$

jossa n on takaisinmaksuaika, vuotta

T on vuotuisten käyttökustannusten erotus

H on hankintahintojen erotus

i on korko, 4 %

Esimerkkikohteen uuden ilmanvaihtokoneen korollinen takaisinmaksuaika on

$$n = \ln\left(\frac{1434 - 818}{(1434 - 818) - ((4650 - 1160) \times 0,04)}\right) / \ln(1 + 0,04) = 6,5 \text{ vuotta}$$

Uuden ilmanvaihtokoneen ostaminen maksaa itsensä takaisin noin kuudessa ja puolessa vuodessa. Hankinta on kannattava, ja sen toteutus ei vaikuta muihin järjestelmiin. Ilmanvaihtokone voidaan myös asentaa välikatolle samoin kuin edelliset. Työ ei vaadi purku- tai rakentamistöitä ja ainoastaan jouduttaisiin tekemään pieniä kanavamuutostöitä. Tämä ei laske mainittavasti hankinnan kannattavuutta.

10 Herkkyystarkastelu

10.1 Kustannuksien määrittelytavasta

Hankintakustannukset ovat keskimääräisiä. Mitkään hinnoista eivät perustu tarjouspyyntöihin tai kilpailutukseen. Joidenkin yksittäisten tuotteiden ja kulujen hintoja on tiedusteltu yrityksistä tai käytetty listahintoja.

Käyttökustannukset perustuvat toteutuneeseen laskutukseen ja mitattujen kulutuksien keskiarvoihin. Energiamaksut ovat käyttökustannuksista merkittävimpiä ja ne perustuvat kaukolämmön mitatun kulutuksen yhdeksän vuoden keskiarvoa vastaaviin kulutuksiin. Tälle ajalle on osunut hyvin erilaisia kulutusvuosia, joten keskiarvo antaa melko hyvän kuvan kulutuksesta. Energiankulutukset eri järjestelmillä on laskettu LVI-korttien mukaisilla COP-arvoilla siten, ettei suurinta arvoa ole käytetty.

Huoltokustannukset joudutaan arvioimaan ennalta määrittämättöminä kuluina, mutta niiden osuudet kokonaiskustannuksista ovat vähäiset. Merkittävimmät huoltokustannukset liittyvät maalämpöpumpun kompressorin uusimiseen, jonka hinta-arvio on pyydetty alan liikkeestä.

Kaikki kustannukset on arvioitu siten, etteivät ne todennäköisesti ylitä mutta ovat realistisia ylähintoja. Tämä on ollut lähtökohtana optimoidumpiin hinta-arvioihin. Vertailun vuoksi osasta kustannuksia on esitetty myös alemmat arviot.

Taulukko 14. Eri järjestelmävaihtoehtojen hankinta- ja käyttökustannuksien arvioidut vaihteluvälit

	Hankintakustannus	Käyttökustannukset
Kaukolämpö	4 960 - 15 000 €	2 041 €/a
Maalämpö	19 000 € - 23 100 €	1 580 €/a – 1 881 €/a
Vanhojen iv-koneiden huolto	1 160 €	1 434 €/a
Uusi iv-kone	4 650 €	818 €/a
Ilmalämpöpumppu ja kaukolämmitys	1 200 € - 3 500 €	1 920 €/a – 2057 €/a

10.2 Kaukolämmön hankintakustannuksien kasvaminen ja nykyiset energiakustannukset

Uutta esimerkkikohteen kokoista pientaloa rakennettaessa täytyisi huomioida kaukolämmön liittymismaksu, tilakustannuksia ja suunnittelukustannuksia. Herkkyystarkastelussa tämä on huomioitu arvioimalla kaukolämmön hankintakustannukseksi 15 000 €.

$$n = \ln\left(\frac{2041 - 1580}{(2041 - 1580) - ((19000 - 15000) \times 0,04)}\right) / \ln(1 + 0,04) = 10,9 \text{ vuotta}$$

Kaukolämmön hankintakustannuksien noustessa näin suuriksi maalämpö tulisi maksamaan itsensä alle 11 vuodessa takaisin. Tämä tekisi maalämmöstä kannattavan hankinnan.

$$n = \ln\left(\frac{2041 - 1580}{(2041 - 1580) - ((19000 - 9970) \times 0,04)}\right) / \ln(1 + 0,04) = 39 \text{ vuotta}$$

Kaukolämmön hankintakustannuksien ollessa 9 970 € maalämmön takaisinmaksuaika nousee 39 vuoteen ja on siten selvästi kannattamaton.

10.3 Sähkön hinnan laskeminen ja kaukolämmön hankintahinnan kasvu

Taulukko 15. Maalämmön vuotuiset energiakustannukset 95 %:n osatehomoitoksella ja COP luvun ollessa 3, kun sähkön hinta on 10 % alempi.

28,1 MWh/a * 0.95 = 26,70 MWh/a	Maalämpöpumpulla lämmitetään
26,70 MWh / COP 3 = 8,90 MWh/a	Maalämpöpumpun käyttämä sähkö
28,1 MWh - 26,70 MWh = 1,4 MWh/a	Sähkövastuksella lämmitetään
1,4 MWh / 0,9 hyötysuhde = 1,56 MWh/a	Sähkövastuksen käyttämä sähkö hyötysuhde huomioituna
Yhteensä	10,46 MWh/a
10,46 MWh/a x 11,32 c/kWh sähkön hinta 2013 alk. (-10%)	1184 €/a

Tällöin maalämmön kaikki käyttökustannukset olisivat yhteensä 1448 €/a. Kaukolämmön hankintakustannukset 9 970 €. Jos sähkön nykyhintaa olisi 10 % alempi ja kaukolämmön nykyhintaa säilyisi samana, maalämpöpumppu maksaisi itsensä takaisin hie-
man alle 24 vuodessa.

$$n = \ln\left(\frac{2041 - 1448}{(2041 - 1448) - ((19000 - 9970) \times 0,04)}\right) / \ln(1 + 0,04) = 23,9 \text{ vuotta}$$

Se ei vielä riitä tekemään hankinnasta kannattavaa. Tarvitaan muita tekijöitä tämän lisäksi, ennen kuin maalämpö voi kilpailla kaukolämmön kanssa kustannuksiltaan. Pienemmän sähkön hinnan lisäksi maalämpölaitteistojen halpeneminen taikka energiaavustuksien saaminen toisena tekijänä voisivat muuttaa maalämmön kannattavammaksi vaihtoehdoksi.

Mikäli kaukolämmön hankintahinta on 15 000 € ja sähkön hinta 10 % alempi, maalämpö maksaa itsensä takaisin 8 vuodessa.

$$n = \ln\left(\frac{2041 - 1448}{(2041 - 1448) - ((19000 - 15000) \times 0,04)}\right) / \ln(1 + 0,04) = 8 \text{ vuotta}$$

11 Päätelmät

Uusittavan kaukolämpöjärjestelmän korvaaminen uudella maalämpöjärjestelmällä osoittautui kannattamattomaksi tämän kokoiselle rakennukselle. Sähkön ja kaukolämmön hinnat ovat nousseet samassa suhteessa, eikä kaukolämpöalueella tueta nykyisin maalämpöhankintoja. Muutokset näissä näkökohdissa vaikuttaisivat lopputulokseen.

Sen sijaan maalämmön valitseminen uuteen kaukolämpöalueelle rakennettavaan esimerkkikohteen kokoiseen pientaloon on kannattavaa, jos kaukolämmön hankintakustannukset nousevat lähelle 15 000 euroa ja maalämmön hankintakustannukset pysyvät alle 20 000 euroa.

Ilmalämpöpumpun käyttöä kaukolämmön lisänä ei saada kannattavaksi, koska rakennuksen muoto estää riittävän laajan lämmityksen ilmalämpöpumpulla. Lisäksi ilmalämpöpumpun COP-luvun täytyisi olla korkeampi kuin LVI-korteissa mainitut normaalit keskimääräiset lämpökertoimet.

Ilmanvaihdon peruskorjauksen yhteydessä on kannattavaa korvata vanhat koneet yhdellä uudella.

Rakennuksen sähkönkulutus on verrattain suurta. Merkittävimmät havaitut säästökohdet rakennuksen käytössä, joita ei tutkittu tarkemmin, liittyivät lattialämmityksen käytön vähentämiseen ja ilmanvaihdon vähentämiseen poissaoloaikoina. Lisäksi rakennukselle olisi hyvä tehdä PTS.

Lähteet

- 1 Myyryläinen, Leevi. 2008. Elinkaariajattelu kiinteistönpidossa. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus Oy.
- 2 Hekkanen, Martti. 2005. Rakennuksen ylläpito: kiinteistönpitostrategiat. Verkkodokumentti. Julkisivuyhdistys. [http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/juko/JUKO_pdf_web/Korjaushanke/A_rakennuksen_yllapito/A1%20Kiinteistonpitostategiat.pdf]. 9/2005. Luettu 18.2.2013.
- 3 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot. 2008. LVI-kortti 01-10424. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 4 Rakennusten kaukolämmitys K1, Ohjeet. 2007. Rakennusten kaukolämmitys K1, Ohjeet 2007. Helsinki: Energiateollisuus ry.
- 5 Rakennusten lämmitys. 2006. LVI-kortti 10-10397. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 6 Kaukolämpölaitteiden hoito ja huolto. 2006. LVI-kortti 19-10400. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 7 Haahtela, Yrjänä. 2011. Talonrakennuksen kustannustieto. Helsinki: Haahtela-kehitys.
- 8 Kaukolämmitys. 2006. LVI-kortti 10-10398. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 9 Wilhelms, Taina. 2011. Energiavuosi 2011 - kaukolämpö. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. [<http://www.slideshare.net/energiateollisuus/energiavuosi-2011-kaukolimp-15027812>]. 30.10.2012. Luettu 9.4.2013.
- 10 Lämpöä omasta maasta. 2012. Helsinki: Motiva oy
- 11 Juvonen, Janne. 2009. Ympäristöopas 2009 – Lämpökaivo - maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- 12 Lämpöpumput. 2002. LVI-kortti 11-10332. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 13 Asumisen rahoitus ja kehittämiskeskus. 2011. Ohje energia-avustusten hakemiseen, myöntämiseen ja maksamiseen. Verkkodokumentti. Ara. [<http://www.biomass.fi/upload/Energia-avustusohje%202011.pdf>]. 2011. Luettu 9.4.2013.

- 14 Sähkönhinnan kehitys 1.3.2013 – eräiden tyyppikäyttäjien sähkön verollisen kokonaishinnan kehitys vuodesta 1992 lähtien. 2013. Verkkodokumentti. Energiamarkkinavirasto.
[<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=3391&pgid=67&languageid=246>]. 1.3.2013. Luettu 9.4.2013.
- 15 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto asunnoissa 7.7.2010 – vuosihyötysuhde ja lämpötilasuhde. 2010. Verkkodokumentti. LVI-talotekniikkateollisuus ry.
[<http://teknologiateollisuus.fi/fi/ryhmat-ja-yhdistykset/omat-julkaisut.html>]. 7.7.2010. Luettu 9.4.2013.
- 16 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. 2003. Ympäristöministeriön moniste 122. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.
[<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=9298&lan=fi>]. 2003. Luettu 9.4.2013.

Helsingin energian kaukolämpötariffi

ENERGIEOLLISUUS RY, Kaukolämpö 13.9.2012

KAUKOLÄMMÖN HINTA 1.7.2012 ALKAEN

(hinnat ilmoitettu veroineen)

	Uudisrakennuksen liittymismaksu	Energia-			Tehomaksu energiayksikköä			Kokonaishinta		
		€			€/MWh			€/MWh		
LÄMMÖNMYYYJÄ		I	II	III	I	II	III	I	II	III
191.01 Adven Oy, Eura		4 254	9 870	25 288	53,44	32,14	17,19	85,58	70,63	65,72
191.02 Adven Oy, Hanko		4 371	13 207	30 268	56,83	37,11	26,25	93,94	83,08	73,94
191.03 Adven Oy, Hausjärvi		4 254	9 870	25 288	106,40	17,72	9,48	124,12	115,88	113,17
191.04 Adven Oy, Inkoo		4 254	9 870	25 288	91,64	25,42	13,59	117,06	105,23	101,35
191.05 Adven Oy, Levi		2 715	6 300	16 140	63,11	30,58	14,82	93,69	77,93	74,15
191.06 Adven Oy, Loppi					59,29	33,86	23,95	93,15	83,24	
191.07 Adven Oy, Siuntio		4 254	9 870	25 288	105,30	43,31	20,63	148,61	125,93	120,03
191.08 Adven Oy, Sonkajärvi		3 711	8 610	22 058	59,32	29,98	13,92	89,30	73,24	69,27
191.09 Adven Oy, Upinniemi		4 254	9 870	25 288	62,24	39,88	21,33	102,12	83,57	77,48
191.10 Adven Oy, Veikkola		4 254	9 870	25 288	91,64	25,42	13,59	117,06	105,23	101,35
191.11 Adven Oy, Ylistaro		2 919	9 429	24 156	65,41	29,61	14,63	95,02	80,04	76,34
191.12 Adven Oy, Ylämylly-Honkalampi		11 625	35 125	80 500	57,69	34,09	12,48	91,78	70,17	60,08
129 Alajärven Lämpö Oy		2 502	6 569	16 830	47,72	14,10	6,71	61,82	54,43	52,52
061 Alavuden kaupungin lämpölaite		2 500	9 180	23 120	52,52	15,10	12,41	67,62	64,93	57,42
171 Alkkulan Aluelämpö Oy		3 028	11 777	27 346	73,80	14,90	17,43	88,70	91,23	85,33
154.02 Ekenäs Energi, Pohja		2 750	8 746	21 851	69,50	34,43	25,76	103,93	95,26	85,30
154.01 Ekenäs Energi, Tammisaari		2 750	8 746	21 851	64,07	19,62	10,82	83,69	74,89	71,32
161.01 Elenia Lämpö Oy, Heinola		5 000	10 380	24 120	65,34	29,72	12,87	95,06	78,21	75,04
161.03 Elenia Lämpö Oy, Hämeenlinna		5 000	10 380	24 120	58,04	36,28	17,69	94,32	75,73	73,85
161.04 Elenia Lämpö Oy, Jyväskylä		5 000	10 380	24 120	56,28	27,22	10,41	83,50	66,69	65,03
161.09 Elenia Lämpö Oy, Kärsämäki		5 000	10 380	24 120	62,48	28,33	14,65	90,81	77,13	72,38
161.14 Elenia Lämpö Oy, Lammi		5 000	10 380	24 120	68,19	29,94	12,65	98,13	80,84	77,23
161.05 Elenia Lämpö Oy, Laukaa		5 000	10 380	24 120	60,95	25,56	13,49	86,51	74,44	70,80
161.06 Elenia Lämpö Oy, Oulainen		5 000	10 380	24 120	59,43	28,33	14,65	87,76	74,08	69,33
161.12 Elenia Lämpö Oy, Tervakoski		5 000	10 380	24 120	77,33	29,33	12,39	106,66	89,72	86,18
161.15 Elenia Lämpö Oy, Tikkakoski		5 000	10 380	24 120	60,78	35,61	12,29	96,39	73,07	68,89
161.02 Elenia Lämpö Oy, Toijala		5 000	10 380	24 120	68,32	34,00	14,37	102,32	82,69	78,59
161.08 Elenia Lämpö Oy, Turenki		5 000	10 380	24 120	69,18	29,17	13,99	98,35	83,17	79,18
161.13 Elenia Lämpö Oy, Uurainen		5 000	10 380	24 120	61,53	36,28	12,54	97,81	74,07	69,80
161.11 Elenia Lämpö Oy, Viipuri		5 000	10 380	24 120	63,30	27,56	11,64	90,86	74,94	71,62
015 Etelä-Savon Energia Oy		5 040	10 584	25 402	48,71	26,88	13,49	75,59	62,20	59,52
148.26 Fortum Power and Heat Oy, Espoo		5 900	12 400	29 600	59,66	24,28	20,59	83,94	80,25	74,85
148.29 Fortum Power and Heat Oy, Joensuu		5 900	12 400	29 600	50,31	19,98	16,94	70,29	67,25	62,81
148.03 Fortum Power and Heat Oy, Järvenpää		5 900	12 400	29 600	68,02	23,34	19,79	91,36	87,81	82,62
148.27 Fortum Power and Heat Oy, Kauniainen		5 900	12 400	29 600	59,66	24,28	20,59	83,94	80,25	74,85
148.28 Fortum Power and Heat Oy, Kirkkonummi (keskusta)		5 900	12 400	29 600	59,66	24,28	20,59	83,94	80,25	74,85
148.23 Fortum Power and Heat Oy, Nokia		5 900	12 400	29 600	71,09	31,38	26,61	102,47	97,70	90,72
148.08 Fortum Power and Heat Oy, Tuusula		5 900	12 400	29 600	68,02	23,34	19,79	91,36	87,81	82,62
137 Haapajärven Lämpö Oy		2 100	5 044	13 052	39,85	13,60	7,88	53,45	47,73	39,76
189 Haminan Energia Oy		3 250	6 500	15 700	71,00	19,10	10,22	90,10	81,22	78,30
036 Harjavalan Kaukolämpö Oy		3 630	9 057	24 660	71,08	19,86	11,92	90,94	83,00	80,81
074 Haukiputaan Energia		3 420	7 500	18 846	45,49	15,27	7,18	60,76	52,67	50,62
005 Helsingin Energia		4 969	7 862	17 018	55,41	24,76	13,24	80,17	68,65	65,51
080 Herrfors Oy Ab		2 657	6 443	16 671	54,76	18,99	9,81	73,75	64,57	61,39
032 Hyvinkään Lämpövoima Oy		3 100	7 188	19 366	58,18	18,39	10,94	76,57	69,12	66,68

ENERGIATEOLLISUUS RY, Kaukolämpö 21.2.2013

KAUKOLÄMMÖN HINTA 1.1.2013 ALKAEN

(hinnat ilmoitettu veroineen)

	Uudisrakennuksen liittymismaksu			Energia- maksu €/MWh	Tehomaksu energiayksikköä kohden €/MWh			Kokonaishinta €/MWh		
	I	II	III		I	II	III	I	II	III
LÄMMÖNMYYJÄ										
191.01 Adven Oy, Eura	4 254	9 870	25 286	60,72	33,68	18,02	12,87	94,40	78,74	73,59
191.02 Adven Oy, Hanko	4 371	13 207	30 268	61,01	32,34	22,88	14,91	93,35	83,89	75,92
191.03 Adven Oy, Hausjärvi	4 254	9 870	25 286	111,60	18,60	9,95	7,11	130,20	121,55	118,71
191.04 Adven Oy, Inkoo	4 254	9 870	25 286	96,72	26,80	14,23	10,16	123,32	110,95	106,88
191.05 Adven Oy, Levi	2 715	6 300	16 140	69,42	32,07	15,54	11,58	101,49	84,96	81,00
191.06 Adven Oy, Loppi				65,10	35,51	25,12		100,61	90,22	
191.07 Adven Oy, Siuntio	4 254	9 870	25 286	106,16	43,66	20,79	14,85	149,82	126,95	121,01
191.08 Adven Oy, Sonkajärvi	3 711	8 610	22 058	66,50	42,59	19,78	14,13	109,09	86,28	80,63
191.09 Adven Oy, Uusikaupunki	4 254	9 870	25 286	67,60	41,73	22,32	15,94	109,33	89,92	83,54
191.10 Adven Oy, Veikkola	4 254	9 870	25 286	96,72	26,80	14,23	10,16	123,32	110,95	106,88
191.11 Adven Oy, Ylistaro	2 919	9 429	24 156	71,03	31,02	15,33	11,45	102,05	86,36	82,48
191.12 Adven Oy, Ylämylly-Honkalampi	11 625	35 125	80 500	63,28	35,73	13,08	23,47	99,01	76,36	68,75
129 Alajärven Lämpö Oy	2 502	6 569	16 830	52,95	14,21	6,77	4,84	67,16	59,72	57,79
061 Alavuden kaupungin lämpölaite	2 500	9 180	23 120	52,95	15,22	12,51	4,94	68,17	65,46	57,89
171 Alkkulan Aluelämpö Oy	3 028	11 777	27 346	78,12	14,90	17,43	11,53	93,02	95,55	89,65
154.02 Ekenäs Energi, Pohja	2 750	8 350	21 850	69,50	34,55	24,44	15,93	104,05	93,94	85,43
154.01 Ekenäs Energi, Tammissaari	2 750	8 746	21 851	64,59	19,78	10,90	7,31	84,37	75,49	71,90
161.01 Elenia Lämpö Oy, Heinola	5 000	10 380	24 120	69,82	31,56	13,63	10,28	101,38	83,45	80,10
161.03 Elenia Lämpö Oy, Hämeenlinna	5 000	10 380	24 120	61,56	38,44	18,75	16,76	100,00	80,31	78,32
161.04 Elenia Lämpö Oy, Jyväskylä	5 000	10 380	24 120	60,71	35,11	10,81	9,09	95,82	71,52	69,80
161.09 Elenia Lämpö Oy, Kärämäki	5 000	10 380	24 120	69,91	31,44	15,59	10,98	101,35	85,50	80,89
161.14 Elenia Lämpö Oy, Lammi	5 000	10 380	24 120	72,18	32,33	13,67	9,76	104,51	85,85	81,94
161.05 Elenia Lämpö Oy, Laukaa	5 000	10 380	24 120	66,37	26,83	14,15	10,33	93,20	80,52	76,70
161.06 Elenia Lämpö Oy, Oulainen	5 000	10 380	24 120	64,70	30,56	15,81	10,68	95,26	80,51	75,38
161.12 Elenia Lämpö Oy, Tervakoski	5 000	10 380	24 120	83,41	31,67	13,38	9,56	115,08	96,79	92,97
161.15 Elenia Lämpö Oy, Tikkakoski	5 000	10 380	24 120	67,40	36,94	12,77	8,42	104,34	80,17	75,82
161.02 Elenia Lämpö Oy, Toijala	5 000	10 380	24 120	72,32	36,67	15,50	11,07	108,99	87,82	83,39
161.08 Elenia Lämpö Oy, Turenki	5 000	10 380	24 120	73,64	31,00	14,89	10,64	104,64	88,53	84,28
161.13 Elenia Lämpö Oy, Uurainen	5 000	10 380	24 120	66,99	38,44	13,27	8,76	105,43	80,26	75,75
161.11 Elenia Lämpö Oy, Vilppula	5 000	10 380	24 120	69,56	29,17	12,33	8,80	98,73	81,89	78,36
015 Etelä-Savon Energia Oy	5 040	10 584	25 402	55,04	27,56	14,36	11,50	82,60	69,40	66,54
148.26 Fortum Power and Heat Oy, Espoo	5 800	15 500	24 800	64,36	24,48	20,76	15,31	88,84	85,12	79,67
148.29 Fortum Power and Heat Oy, Joensuu	5 800	15 500	24 800	55,55	20,14	17,08	12,59	75,69	72,63	68,14
148.03 Fortum Power and Heat Oy, Järvenpää	5 800	15 500	24 800	68,57	23,54	19,96	14,72	92,11	88,53	83,29
148.27 Fortum Power and Heat Oy, Kauniainen	5 800	15 500	24 800	64,36	24,48	20,76	15,31	88,84	85,12	79,67
148.28 Fortum Power and Heat Oy, Kirkkonummi (keskusta)	5 800	15 500	24 800	64,36	24,48	20,76	15,31	88,84	85,12	79,67
148.23 Fortum Power and Heat Oy, Nokia	5 800	15 500	24 800	75,39	31,65	26,83	19,79	107,04	102,22	95,18
148.06 Fortum Power and Heat Oy, Tuusula	5 800	15 500	24 800	68,57	23,54	19,96	14,72	92,11	88,53	83,29
148.38 Fortum Power and Heat Oy, Tuusula (Jokela)	5 800	15 500	24 800	81,22	24,33	20,63	15,22	105,55	101,85	96,44
137 Haapajärven Lämpö Oy	2 100	5 044	13 052	43,95	13,60	7,88	5,32	57,55	51,83	41,78
169 Haminan Energia Oy	3 250	6 500	15 700	80,60	19,26	10,30	7,36	99,86	90,90	87,96
036 Harjavalan Kaukolämpö Oy	3 630	9 057	24 660	71,66	23,01	13,81	11,28	94,67	85,47	82,94
074 Haukiputaan Energia	3 420	7 500	18 846	43,20	23,72	9,26	7,67	66,92	52,46	50,87
005 Helsingin Energia	5 010	7 926	17 111	48,09	28,36	15,16	11,57	76,45	63,25	59,66
080 Herrfors Oy Ab	2 678	6 495	16 807	62,51	19,14	9,89	6,68	81,65	72,40	69,19

Helsingin energian sähkötariffi


Helsingin Energia

Voimassa 1.1.2013 alkaen

Hinnasto kodeille Helsingissä

	Sähköenergia	Sähkön siirto ja sähkövero	Kokonaishinta*
Yleissähkö			
Perusmaksu €/kk	2,80	4,64	7,44
Sähkö c/kWh	6,81	3,66 2,11172	12,58
Tuulisähkö			
Perusmaksu €/kk	2,80	4,64	7,44
Sähkö c/kWh	7,28	3,66 2,11172	13,05
Aikasähkö A			
Perusmaksu €/kk	2,80	16,53	19,33
Päiväsähkö c/kWh	7,74	3,32 2,11172	13,17
Yösähkö c/kWh	6,29	2,19 2,11172	10,59
Ympäristöpennissäkö			
Perusmaksu €/kk	4,51		

Energiahinnat ovat samat kuin vastaavissa normaalituotteissa.

Enervent LTR-6 190 eco ECE ilmanvaihtokone

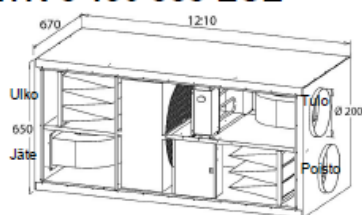


Energy Optimizer

Sivu 1
11.03.2013

Kohde: Buss ins työ
Käsittelijä: Buss

LTR-6 190 eco ECE



Laitetiedot: LTR-6 190 eco ECE	
Kanavalähdöt	Ø 200 mm
Leveys	1210 mm
Korkeus	650 mm
Syvyys	670 mm
Paino	95 kg
Puhaltimen teho	170 W
Pyörivä lämmönsiirrin	
Sähköpatterin teho (sisäinen)	2000 W
Ei jäähdytystä	
Asennus kylmään tilaan mahdollinen (vaatii lisäeristyksen)	
Tuotenumero	P03 011 0004
LVI-numero	7935548
Sähkö tiedot: 230 V/50 Hz, 1-vaihe, sulake 16 A nopea	

Äänet:										
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB	dB(A)
Tulo	58	59	58	60	61	59	51	42	67,0	64,8
Poisto	51	47	47	45	41	38	30	19	54,7	46,7
Ulko	52	48	49	48	40	38	30	19	55,9	48,0
Jäte	57	58	58	60	61	59	52	43	67,2	65,1

Mitoitusarvot:	Tulo	Poisto
Ilmavirta:	124 l/s	127 l/s
Kanavapaine:	90 Pa	90 Pa
Suodatustaso:	F5	F5

Tulokset:	Tulo:	Poisto:
Mitoituspisteessä:		
Puhallinnopeus:	69 %	69 %
Ilmavirta:	124 l/s	127 l/s
Kanavapaine:	90 Pa	90 Pa
Ottoteho:	67 W	61 W
SFP:	1,01 kW/(m3/s)	

Huipputeho:		
Ilmavirta:	184 l/s	188 l/s
Kanavapaine:	198 Pa	197 Pa
Tehostusvara:	48 %	48 %

Pyörivä lämmönsiirrin:		
Hyötysuhde mitoitusasteessa:	79,5 %	
Tuloilma jälkeen LTO:n:	11,4 °C	
Jälkilämmitystarve mitoituslämpötilassa:	1149 W	

Patterit:		
Lämmityspatteri: Sähkö 240 x 335 mm sisäinen, 2000 W		
Otsapintanopeus:	1,54 m/s	

Vuosisiikenta: Helsinki, Suomi	
Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia:	15658 kWh
Mitoituslämpötila:	-26 °C
Vuotuinen jälkilämmitystarve:	1868 kWh
Tuloilman tavoitelämpötila:	19 °C
Lämpökerroin:	1 kWh sähköä = 12,8 kWh lämpöä
Vuosihiytysuhde: Moniste 122:n mukaisesti	77,6 %

Yllä mainitut arvot koskevat ilmanvaihtolaitetta, ei ilmanvaihtojärjestelmää.

Rexovent RDAA ilmanvaihtokone



Suomen Puhallin Oy

M 30

Sivu 1

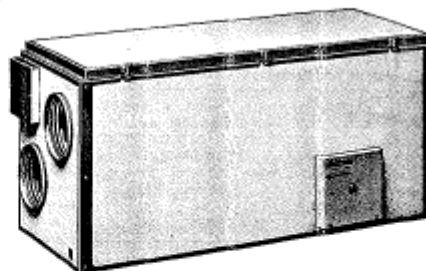
8-208

Lämmöntalteenottokoje RDAA järjestelmään REXOVENT®

Lämmöntalteenottokoje RDAA on lähinnä tarkoitettu pientalojen, lasten päiväkotien, kioskien ym. energiaa säästävään ilmanvaihtoon. RDAA on järjestelmän REXOVENT pääosa (lämmöntalteenotto ja ilmanvaihto).

Lämmöntalteenottokoje

- säästää normaalitapauksessa 65–75% energiasta, joka kuluu ilmanvaihtoilman lämmittämiseen
- saa aikaan hallitun tulo- ja poistoilmanvaihdon
- on helppo sijoittaa rakennukseen – on kevyt ja ulkomitoiltaan pieni
- on huoltoystävällinen – helppo puhdistaa
- kojeelle on haettu patenti ja se on mallisuojeutu
- on Sähkötekniikan tutkimuskeskuksen hyväksymä



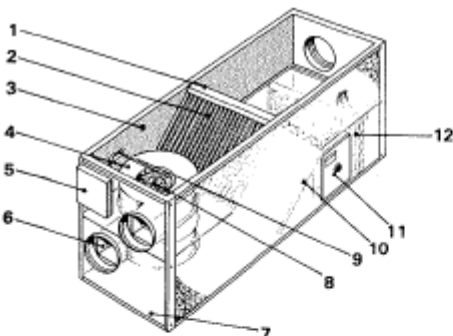
Kuva 1

54108-1

Selostus

Kojeen pääosat on esitetty kuvassa 2.

- | | |
|-----------------------|---------------------------------|
| 1. Poistoilmasuodatin | 7. Lauhdevesilitäntä |
| 2. Lämmönvaihdin | 8. Sähkölämmittimen tuntuolin |
| 3. Vaippa | 9. Tuloilmapuhaltimen tuntuolin |
| 4. Tuloilmapuhelin | 10. Sähkölämmitin |
| 5. Kytkentäkotelo | 11. Ylikuumentussuoja |
| 6. Poistoilmapuhelin | 12. Tuloilmasuodatin |



Kuva 2

Vaihan yläsiivu toimii tarkastusluukuna, jonka kautta päästään käsiksi kojeen sisäosiin. Kojeen vaippa on ulkopuolelta tehtaalla valmiiksi eristetty lämmittämättömään tilaan sijoitusta varten. Tulo- ja poistoilmapuhaltimet ovat radiaalimallia. Ne voidaan ottaa joko yksi- tai kaksinopeuskäyttöisiksi tai tyristorin avulla jostaattomasti säädettäväksi. Ks. sähkökytkentäkaaviota s. 8. Suodattimet, lämmönvaihdin ja puhaltimet on helppo tarkastaa ja puhdistaa.

Lämmönvaihdin on poikittaisvirtausmallia. Se on koottu ristiinadotuista tasaisista ja poimutetuista alumiinilevyistä, jotka muodostavat joukon kanavia. Tulo- ja poistoilma kulkee eri kanavia pitkin, joten ne eivät ole kosketuksissa toisiinsa. Lämmönvaihtimen korkean hyötysuhteen ansiosta jäähtyy poistoilma huomattavasti (hyvä energiantalteenotto).

Välillä ulkoilman lämpötiloilla säättää lämmönvaihtimen poistoilmanavissa esiintyä huurtumista.

Kojetta valmistetaan tämän tällä erilaisin ilmasto-olosuhteisiin sopivina muunnelmina sekä automaattisella huurteensulatusjärjestelmällä varustettuna:

- muuttuva tuloilmapuhaltimen käyttö (tuloilmavirran määrä pienennetään lyhytaikaisesti)
- sähkölämmitin
- sähkölämmittimen ja muuttuvan tuloilmapuhaltimen käytön yhdistelmä

Sähkölämmitin (ilmastovaihtoehdon osatunnus b = 2, 3 tai 4) on saavutettavissa tehollaan 1,0 tai 1,8 kW. Lämmittintä ohjataan termostaatilla, joka on asetettu siten, että saavutetaan suurin energiantalteenotto. Säädöllä varmistetaan myös se, että alin tuloilman lämpötila on kylmimpänä vuodenaikana n. +11°C.¹⁾ Tuloilman lämmitys huonelämpötilaan tapahtuu kyseisen huoneen lämmönlähteen, esim. lämpöpatterin avulla. Kesäaikana on tuloilman lämpötila päivällä suunnilleen sama kuin ulkoilman lämpötila. Sähkölämmittimessä on kaksi toisistaan riippumattomaa ylikuumentussuojaa. Toinen on automaattisesti ja toinen käsin palautettava.

1) Jotta ilman jako huoneeseen olisi vedotonta, käyretään erityistä kattoon sijoitettavaa tuloilmajohdinta mallia CTV, seinälle sijoitettava mallia CTVK tai jaetaan ilma lämpöpattereiden takaa.

Aine ja pintakäsittely

Pintakäsittelyluokka M1, ks. luett.osa A 10.

Vaippa ja puhaltimet: Kuumasinkitty teräspeltiä

Lämmönvaihdin: Alumiinia

Eristys: Mineraalivillalevyä

Tulo- ja poistoilmasuodatin: Erikoiskäsittelyä polyuretaanilla. Suodatin puhdistetaan tiskaimalla.

Eritytely

Lämmöntalteenottokoje

Puhallinvaihto: Ks. käyrästä s. 2

Ilmastovaihto: Ks. käyrästä s. 3

Vaihtosuodatin, poistoilma

Vaihtosuodatin, tuloilma

RDAA-a-b-1

RDAZ-01

RDAZ-02

Pakkaus

Aaltopuhallattikko.

Ohjeet

Asennus- ja hoito-ohjeet toimitetaan kojeen mukana. Kojeen sähkökytkennät on esitetty kytkentäkaaviossa, s. 8.

Tekniset tiedot

Puhallinvaihtoehto osatunnus a	Ilmas- toivaihtoehto osatunnus b	Puhallin, l ¹⁾ kW	Nimellisteho Sähkö- lämmi- tin, kW	Yh- teen- st, kW	Nimellisvirta nimellis- tehoilla, yhteensä ²⁾ A
1	0	0,15	–	0,15	0,7
	1		–	0,15	0,7
	2		1,0	1,15	5,2
	3		1,8	1,95	8,8
2	4		1,8	1,95	8,8
	0	0,22	–	0,25	1,3
	1		–	0,25	1,3
	2		1,0	1,25	5,9
	3		1,8	2,05	9,5
	4		1,8	2,05	9,5

1) Käsittelee kaksi puhallinmoottoria.

2) Jännite: 220 V, 1-vaihe, 50 Hz. Puhallimien yhteinen käyttöteho maks. pyörimisnopeudella on n. 90 W ilmavirralla $q_f = 50 \text{ l/s}$ (tun. a = 1) vast. n. 155 W ilmavirralla $q_f = 60 \text{ l/s}$ (tun. a = 2).

Mitoitus

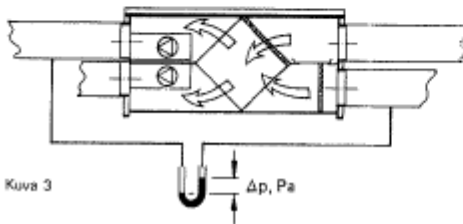
Lähtötiedot:

Hyvineristetty pientalo, asuinpinta-ala = 150 m^2 , paikkakunta Helsinki. Ohjattu poistoilmavirta q_p : $0,35 \text{ l/s m}^2$ huoneistoalaa (0,5 vaihtoa/h kattokorkeuden ollessa 2,4 m). Ohjattu tuloilmavirta: $0,8 \times 0,35 \text{ l/s m}^2$ huoneistoalaa. Poistoilman lämpötila $t_{p1} = +22^\circ\text{C}$. Alhaisin ulkoilman lämpötila -27°C . Lämmitystarvetta ulkoilman lämpötilan ollessa $< +11^\circ\text{C}$.

Ratkaisu

Poistoilmavirta $q_p = 150 \times 0,35 = 53 \text{ l/s}$
Tuloilmavirta $q_t = 150 \times 0,8 \times 0,35 = 42 \text{ l/s}$
Käyrästä 1, osatun. a = 1 ja käyrästä 3, ilmast. vaihtoehto mukaan valitaan talteenottokoje RDAA-1-3-1.
Käyrästä 4 saadaan lämpötilahyötysuhteeksi $\eta_E = 75\%$.
Käyrästä 5 ja taulukon 2 mukaan saadaan energiansäästökseen 5200 kWh/a , joka korjataan käyrästä 6 mukaisesti rajalämpötilalle $+11^\circ\text{C}$. Energiantalteenotoksi tulee tällöin $0,9 \times 5200 = 4680 \text{ kWh/a}$.
Esimerkiksi ulkolämpötilan ollessa 0°C säävutetaan tuloilman lämpötila n. $+17^\circ\text{C}$, ks. käyrästä 7.

Kokonaispaineenkorotus Δp , Pa, mitataan kuvan 3 osoittamalla tavalla.

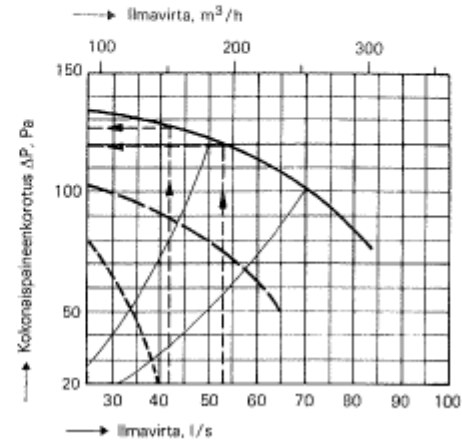


Kuva 3

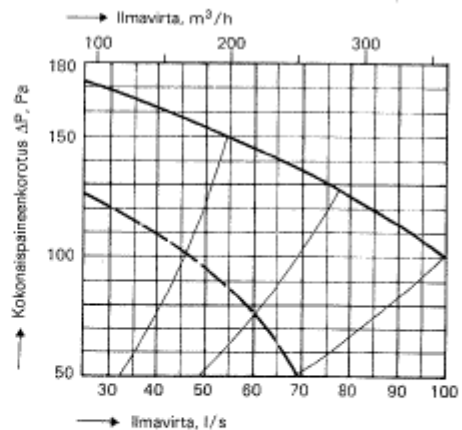
Puhallinvaihtoehdot

Käyrästä 1 ja 2 pätevät sekä tulo- että poistoilmalle.

Käyrästä 1, osatunnus a = 1 (pientaloille, joiden asuinpinta-ala on enintään n. 180 m^2)



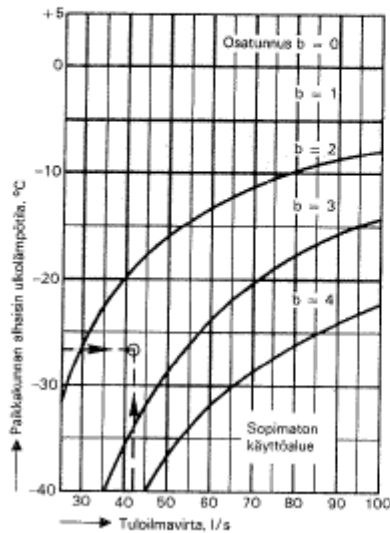
Käyrästä 2, osatunnus a = 2 (pientaloille $> n. 180 \text{ m}^2$)



— Maks. pyör.nopeus
--- Muutettu pyör.nopeus kaksinopeuskäytössä
... Min. pyör.nopeus tyristorisäädössä

Tyristori- ja kaksinopeuskäyttö, ks. sähkökytkentäkaavio, s. 8.

Käyrästä 3. Ilmastovaihtoehto, osatunus b (toiminta-alue)
Lämmönvaihtimen korkeasta hyötysuhteesta johtuen saattaa lämmönvaihtimen poistoilmakanavissa esiintyä alhaisilla ulkoilman lämpötiloilla huurtumista.



Automaattisesti toimivaan huurtumisen estoon on kojevaihtoehtoja, joissa on muuttuva tuloilmavaihtimen käyttö (tuloilmavirran määrää pienennetään lyhytaikaisesti), sähkölämmitin, sähkölämmittimen ja muuttuvan tuloilmavaihtimen käytön yhdistelmä.

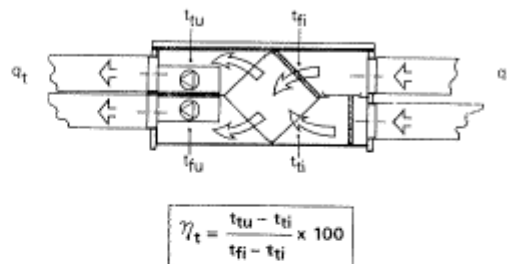
Osatunus	Huurtumisenestotoiminta
b = 0	Ei automaattista huurtumisenestotoimintaa. Alin ulkoilman lämpötila 0°C.
b = 1	Tuloilmavirtaa pienennetään lyhytaikaisesti (automaattisesti). Alin ulkoilman lämpötila -5°C.
b = 2	Termostaattiohjattu sähkölämmitin 1,0 kW. Alin ulkoilman lämpötila on riippuvainen tuloilmavirran määrästä.
b = 3 ¹⁾	Termostaattiohjattu sähkölämmitin 1,6 kW. Alin ulkoilman lämpötila on riippuvainen tuloilmavirran määrästä.
b = 4 ²⁾	Termostaattiohjattu sähkölämmitin 1,8 kW. Mikäli sähkölämmitin ei poikkeuksellisen alhaisilla ulkoilman lämpötiloilla riitä estämään huurtumista pienennetään tuloilmavirtaa lyhytaikaisesti automaattisesti. Alin ulkoilman lämpötila on riippuvainen tuloilmavirran määrästä.

- 1) Ilmastovaihtoehto, osatunus b = 3 on sopiva Suomen, Ruotsin ja Norjan eteläosien ja koko Tanskaan.
2) Ilmastovaihtoehto, osatunus b = 4 on sopiva Suomen, Ruotsin ja Norjan pohjoisempiin osiin.

Lämpötilahyötysuhde

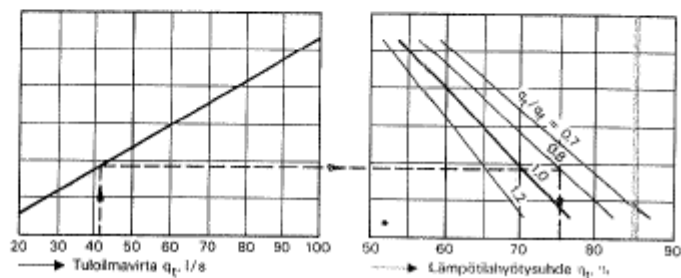
Taulukko 1

Nimitys	Merkitä	Laatu
Lämpötilahyötysuhde	η_t	%
Sisään menevän tuloilman lämpötila	t_{ti}	°C
Ulos tulevan tuloilman lämpötila	t_{tu}	°C
Sisään menevän poistoilman lämpötila	t_{fi}	°C
Ulos tulevan poistoilman lämpötila	t_{fu}	°C
Tuloilmavirta	q_t	l/s
Poistoilmavirta	q_f	l/s



Käyrästä 4

Käyrästä 4 pätee kuivalle lämmönvaihtimelle. Mikäli kosteuden tiivistymistä esiintyy paranee lämpötilahyötysuhde.



Energian talteenotto lämmöntalteenottokojeella RDAA

B-208

Yleiset käyttötapaukset

Talteenotettu energia voidaan laskea kaavasta:

$$Q = \frac{0,012}{1000} \cdot s \cdot q_t \cdot \eta_t$$

Taulukko 3

Nimitys	Merkintä	Laatu
Talteenotettu energia	Q	kWh/vuosi
Astetuntia/vuosi	s	h/vuosi
Tulovirta	q _t	l/s
Lämpötehosiirto	η _t	%

Käyttötapaus normaalissa pientalossa

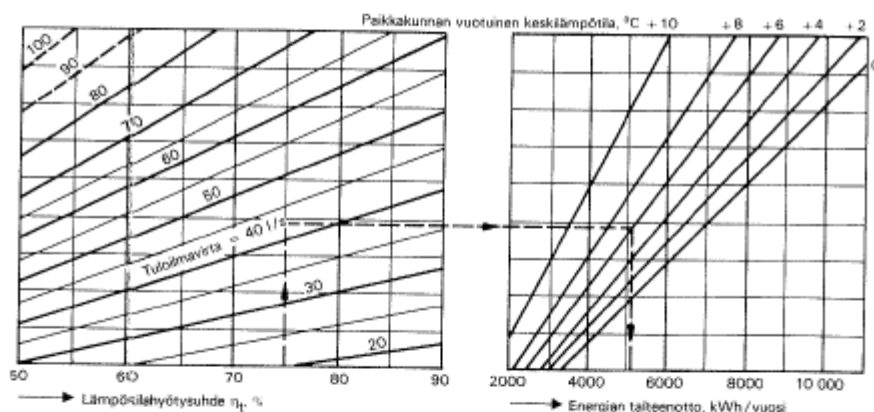
Edellytykset:

- Lämmöntalteenottokojeeseen menevän poistoilman lämpötila = +22°C
- Poistoilmakanava ennen ja tulovilmakanava jälkeen lämmöntalteenottokojeen on eristetty 50 mm:n mineraalivilläeristeellä (lämmittämätön ulkokuoli)
- Ilmoitetut energiantalteenottomäärät pätevät tarkkuudella ± 5 %
- Rakennuksessa on lämmitystarvetta kun ulkoilman lämpötila on alle +17°C (raja-lämpötila)

Taulukko 2. Vuotuiset keskilämpötilat

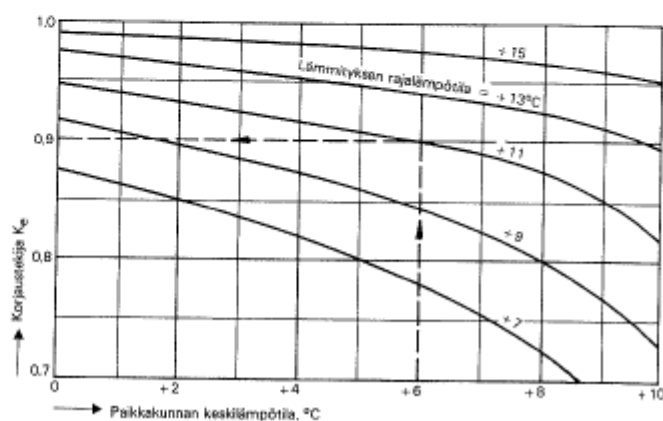
Paikkakunta	Vuoden keskilämpötila, °C	Paikkakunta	Vuoden keskilämpötila, °C
Helsinki	+5,4	Vaasa	+3,5
Turku	+4,5	Kuopio	+2,8
Tampere	+3,9	Oulu	+2,3

Käyrästä 5. Energian talteenotto rajalämpötilassa +17°C



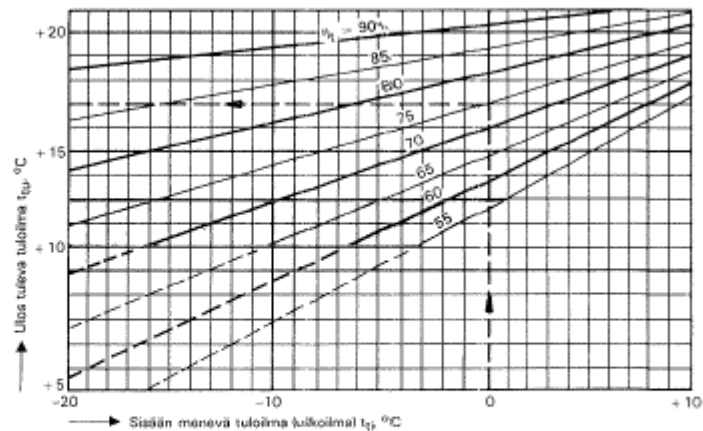
Käyrästä 6. Energiantalteenoton korjaus rajalämpötilassa < +17°C

Talteenotto, joka saadaan käyrästä 5 pätee rajalämpötilalla +17°C. Mikäli rajalämpötila on matalampi lasim, erittäin hyvin eristetty talo kerrotaan käyrästä 5 saatu energiantalteenotto kertomalla K_e , ks. käyrästä 6 (ja esim. sivulla 2).



Käyrästä 7. Kojesta tulevan tuloilman lämpötila kun kojeeseen menevän poistoilman lämpötila on $+22^{\circ}\text{C}$

Kylmimpänä vuodenaikana, kun kojeesta tulevan tuloilman lämpötila on $n. +11^{\circ}\text{C}$ toimii sähkölämmitin "on-off"-säädöllä. Kojesta tulevan tuloilman lämpötila vaihtelee tällöin välillä $n. +11^{\circ}\text{C} \dots n. +13^{\circ}\text{C}$. Lämpötila-arvoihin sisältyy tuloilmapuhaltimessa tapahtuva lämpötilan nousu $\approx 0,5^{\circ}\text{C}$.



Tarvittavan lämpötehon pieneminen
Lämmöntalteenottolaitetta RDA käytettäessä voidaan rakennuksen lämmityslaitteet valita kokonaisteholtaan pienemmiksi.

Määriteltäessä huoneen lämmitystehon tarvetta (huoneita, joka saa tuloilman RDA:n kautta) tulee ottaa huomioon, että ilmanvaihtoilman lämmittämiseen tarvittava teho lasketaan vasta lämpötilasta $+11^{\circ}\text{C}$ lähtien. Ks. käyrästä 7.

Äänitiedot

Äänen tehotaso liitettyyn kanavaan

Kanava	Puhallin- vaihtoehto osatunnus a	Ilmavirta		Äänen tehotaso $L_{w, dB}$							
		l/s	m ³ /h	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Tuloilma- kanavan painepuoli	1	50	180	67	59	58	53	45	41	32	
	1	70	250	66	61	58	55	47	43	35	
	2	70	250	65	63	60	56	48	47	36	
	2	100	360	61	63	62	60	51	49	38	
Poistoilma- kanavan imupuoli	1	50	180	65	55	50	44	31	23	13	
	1	70	250	69	56	51	46	33	23	12	
	2	70	250	68	58	53	47	34	27	11	
	2	100	360	64	58	55	51	37	29	15	

Ilmoitetut arvot pätevät puhaltimen maks. kierrosluvulla. Pienennetyllä kierrosluvulla on äänen tehotaso 3-5 dB alhaisempi.

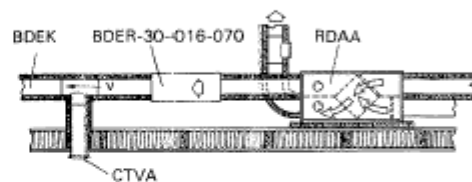
Ääniarvojen tarkkuus on ± 2 dB.

Äänitaso huoneessa

Tuloilma

Normaalitapauksissa (äänitaso hajottimesta = 20-25 dB(A) ja $v \leq 3$ m/s) eivät RDA ja kanavajärjestelmä aiheuta äänenliikettä.

Ilmoitetut äänitiedot edellyttävät kanavajärjestelmää VELODUCT.



Äänitaso keittiössä

Poistoilma

Puhallin- koko osatunnus a	Ilmavirta		Äänitaso, dB(A)	
	Yhteensä, l/s	Ventti- listä, l/s	Ilman vaimenninta	Vaimentimin BDER-1-016-070
1	60	10	34	29
2	80	10	38	33

Ilmoitetut äänitasot pätevät huonevaimennukselle 4 dB, joka vastaa vaimennusta jälkikaluntakentässä huoneessa, jonka huonevakio on 10 m². Ääniarvojen tarkkuus on ± 2 dB(A). Ilmoitetut arvot pätevät puhaltimen maks. kierrosluvulla. Pienennetyllä kierrosluvulla on äänen tehotaso 3-5 dB(A) alhaisempi.

