



Paikalliset sisäilman jäähdytys- ratkaisut asuntotuotannossa

Topias Bergius

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2021
Rakennus- ja Yhdyskuntatekniikka
Kiinteistönpitotekniikka ja Korjausrakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Kiinteistönpitotekniikka ja korjausrakentaminen

BERGIUS, TOPIAS:
Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa

Opinnäytetyö 65 sivua, joista liitteitä 17 sivua
Huhtikuu 2021

Asuintilojen sisälämpötilat ovat kohonneet Suomessa kesäisin totuttua korkeampiin astelukemiin pitkien hellejaksojen yleistyttyä 2010-luvulla. Auringon paisteelta suojaaminen ja asunnon tuulettaminen öisin eivät ole enää riittävän tehokkaita sisälämpötilan hillitsemistapoja kaikille ja erilaisten jäähdytyslaitteiden kysyntä on noussut. Kysynnän nousu on huomioitu myös asuntotuotannossa ja erilaisin jäähdytysjärjestelmin varustettuja asuntoja on rakennettu vaihtelevalla menestyksellä. Asunnon ostajien toiveet ja odotukset vaihtelevat paljon, sillä moni toivoo asuntonsa investointisumman pysyvän maltillisempänä.

Opinnäytetyön tavoitteina olikin asunnon ostoa harkitsevien henkilöiden toiveiden ja odotusten selvittäminen ja asuntoihin erikseen toteutettavien jäähdytysratkaisuiden vertaileminen. Työssä toteutettiin kysely henkilöille, jotka ovat harkinneet asunnon ostamista. Jäähdytysratkaisut pisteytettiin ominaisuuksiensa mukaan, joita painotettiin kyselyn tulosten perusteella.

Asunnon ostoa harkitseville henkilöille tehdyn kyselyn vastauksien perusteella voidaan todeta, että lähes kaikki asunnon ostoa harkitsevat henkilöt toivovat asunnon olevan varustettu jäähdytyksellä. Vastauksista selviää myös, että asiakaskunnan mielestä jäähdytyslaitteen ominaisuuksista tärkein on hiljainen käyntiääni ja vähiten tärkein on matala ilmastonlämpenemispotentiaali. Keskimäärin asuntoa hankkiessaan asiakas on valmis maksamaan 1769,62 € lisähintaa jäähdytyksestä. Yli puolet vastanneista toivoisi jäähdytyksen olevan valmiiksi suunniteltu ja toteutettu keskitetyn jäähdytysratkaisun tapaan. Jäähdytyslaitteen tilaaminen muutostyönä oli vähiten suosituin vaihtoehto ja jopa jäähdytyksen hankkiminen asuntoon leasing-mallilla ostopalveluna oli suosituimpi ratkaisu. Jäähdytysratkaisuiden vertailussa parhaiten menestyi multisplit-ilmalämpöpumppu, toiseksi parhaiten ilmalämpöpumppu ja kolmanneksi parhaiten viilentävä ilmanvaihtokone.

YIT Suomi Oy:n Tampereen asumisen yksikön toimintatavat ovat olleet täysin linjassa vertailun tulosten kanssa, eikä toimintatapojen muutokselle siis ole muutostöiden jäähdytysratkaisujen osalta tarvetta. Tästä huolimatta vertailun voittaneen multisplit-ilmalämpöpumpun käyttämistä muutostöissä voidaan kehittää paljon keksimällä keinoja päästä joistakin ratkaisun haasteista yli. Kyselyn kaupan otannan vuoksi tuloksien ei voida katsoa edustavan koko asuntotuotannon asiakaskuntaa.

Asiasanat: jäähdytys, asuntotuotanto, sisäilma, jäähdytyslaitteet

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Option of Facility Maintenance and Renovation

BERGIUS, TOPIAS:
Local Solutions for Cooling of Indoor Air in Housing Production

Bachelor's thesis 65 pages, appendices 17 pages
April 2021

In 22nd century, indoor temperatures during hot seasons in Finland have risen higher than usual. This has led to a popularity growth of cooling of indoor air.

The aim of this thesis is to clarify customers' wishes about the control of indoor air temperature in a new apartment and also to solve which features of a cooling device are important to customers and which are not. With this knowledge a comparison of active cooling devices is formed to set them in an order of preference to be used as a guideline.

The thesis is executed in association with the housing segment of YIT Suomi Oy. The information from potential customers is collected with an online survey. Six modern local cooling devices available in Finland are compared and the results are emphasized with the customers responses.

According to the answers of the survey, majority of the customers including investors wish that their new apartment would be equipped with cooling. The most appreciated feature of a cooling device is quietness. On average a customer would be willing to spend an additional cost of 1769,62 € on a new apartment if it was equipped with cooling. The results of the comparison indicate that multi-split air source heat pumps suit the needs of the customers best.

The results of the comparison are in line with YIT's current course of actions regarding retrofitting of cooling. However there is much to be made in order to make multi-split solution truly available for customers. Due to a narrow sampling in the survey the results of the thesis can not be considered as a representation of the entire clientele of housing production.

Key words: cooling, housing production, indoor air, cooling equipment

SISÄLLYS

| | | |
|---|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 6 |
| 2 | RAKENNUSTEN SISÄLÄMPÖTILAN HALLINTA | 7 |
| | 2.1 Kestävä sisälämpötilan hallinta | 7 |
| | 2.2 Jäähdytyksen historia..... | 7 |
| | 2.3 Sisäilman jäähdytys Suomessa..... | 9 |
| | 2.4 Asuintilojen jäähdytyksen tarve | 10 |
| | 2.5 Lainsäädännön vaatimukset asuintilojen lämpöolosuhteille | 12 |
| 3 | AKTIIVISEN SISÄILMAN JÄÄHDYTYKSEN TOTEUTUSTAVAT | 13 |
| | 3.1 Keskitetyt jäähdytysjärjestelmät | 13 |
| | 3.2 Paikalliset jäähdytysjärjestelmät..... | 13 |
| | 3.2.1 Ilmalämpöpumppu | 14 |
| | 3.2.2 Multisplit- ilmalämpöpumppu | 15 |
| | 3.2.3 Siirrettävä jäähdytyslaite..... | 16 |
| | 3.2.4 Kiinteästi asennettava jäähdytyslaite ilman ulkoyksikköä ... | 18 |
| | 3.2.5 Käyttöveteen lauhduttava jäähdytyslaite | 19 |
| | 3.2.6 Poistoilmaan lauhduttava jäähdytyslaite..... | 20 |
| 4 | ASIAKKAIDEN TOIVEET SISÄILMAN JÄÄHDYTYKSESTÄ SUOMESSA | 23 |
| | 4.1 Kyselyn laatiminen | 23 |
| | 4.2 Kyselyn tulokset | 27 |
| 5 | PAIKALLISTEN JÄÄHDYTYSLAITTEIDEN VERTAILU..... | 32 |
| | 5.1 Verrattavat ominaisuudet | 32 |
| | 5.2 Verrattavat laitteet ja niiden ominaisuudet | 39 |
| | 5.3 Verrattavien ominaisuuksien pisteytys | 43 |
| | 5.4 Virhetarkastelu | 44 |
| | 5.5 Tulosten tarkastelu..... | 45 |
| 6 | POHDINTA | 46 |
| | LÄHTEET..... | 47 |
| | LIITTEET | 49 |
| | Liite 1. Asiakaskysely..... | 49 |
| | Liite 2. Vertailun laskentataulukko | 58 |

LYHENTEET JA TERMIT

| | |
|---|--|
| dB | Äänenvoimakkuuden yksikkö |
| dBA | Mitattu äänenvoimakkuus ihmisen tehokkainta kuuloaluetta painottaen |
| E | Energian tunnus |
| EER | Kylmäkerroin, eli jäähdytyksen hyötysuhde |
| GWP | Kuvaa kuinka montaa hiilidioksidikiloa yksi kylmäainekilo vastaa ilmakehässä kasvihuonevaikutukseltaan |
| K | Kelvin, eli celsius asteen suuruinen lämpötilan yksikkö, jonka 0 on absoluuttisessa nollassuhteessa |
| kW | Kilowatti, eli tuhat wattia |
| R | Englanniksi Refridgerant, Suomeksi kylmäaine |
| R32, R134A | Erilaisia kylmäaineita |
| SEER | Vuotuinen kylmäkerroin, jonka laskennassa huomioon otetaan alueelliset vakiosääolosuhteet |
| W | Watti, eli joule sekunnissa |
| Antoteho | Laitteen joka sekunti luovuttama energiamäärä |
| Ilmastointi | Sisäilman olosuhteiden, kuten kosteuden ja lämpötilan muuttamista. |
| Ilmanvaihto | Jäteilman vaihtamista raikkaaseen ulkoilmaan. |
| Massavirta [kg/s] | Kuvaa kuinka monta kiloa ainetta virtaa tarkkailtavasta kohdasta joka sekunti |
| Ominais- lämpö- kapasiteetti [J/(K·kg)] | Kuvaa kuinka monen joulen energia tarvitaan yhden kilon ainetta lämmittämiseksi yhdellä asteella |
| Ottoteho | Laitteen joka sekunti saama energiamäärä |

1 JOHDANTO

Asuinrakennuksia Suomessa ei ole tavallisesti varustettu jäähdytyksellä. Sisäilman passiiviset jäähdytysratkaisut, kuten räystäät, aurinkosuojatut ikkunat ja sisäilman tuuletus öisin on koettu riittävän tehokkaiksi sisälämpötilan hillitsijöiksi. 2010–luvulla Suomen kesissä on koettu huomattavasti tavanomaista pidempiä hellejaksoja ja hellepäivien kokonaislukumäärän huomattavia kasvuja (Ilmatieteenlaitos, Helletilastot). Tämän seurauksena asuintilojen sisälämpötila on useissa asunnoissa kohonnut epämiellyttävän korkeaksi ja aktiivisen jäähdytyksen kysyntä on kasvanut.

Ilmiö on vielä melko tuore ja perustajaurakoitsijat ovat sisäilman jäähdytyksen kanssa kiperässä tilanteessa. Kaikkia osapuolia täysin tyydyttävää ratkaisua on hankala löytää, eikä kuluttajien erilaisuutta voi olla alleviivaamatta. Yksi tahtoo asuntoonsa hienoimman jäähdytyksen mitä rahalla saa, kun taas toinen tahtoo pitää asuntonsa investointikustannuksen maltillisempana. Tämä on syy, miksi keskitetty jäähdytysjärjestelmä ei sovi jokaiseen projektiin ja miksi yritysten on kehitettävä myös paikallisten jäähdytysjärjestelmien toteuttamista muutostöinä.

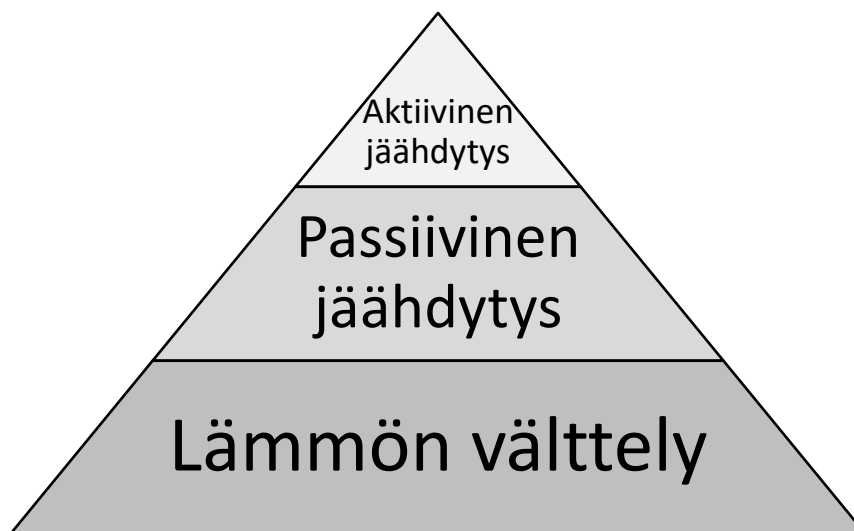
YIT Suomi Oy toimii opinnäytetyön toimeksiantajana. YIT Suomi Oy:n Asumisen segmentti valmisti vuonna 2020 Suomessa 4 256 asuntoa ja CEE- maissa 1 654 asuntoa. YIT Suomi Oy:n edustajan mukaan Suomessa 2020 valmistuneista kohteista noin 20 % on varustettu keskitetyn ilmanvaihdon viilennyksellä. Tämän lisäksi yksittäisiin asuntoihin asennettiin jäähdytystarkoitukseen ilmalämpöpumppuja muutamia kymmeniä. Asumisen segmentin liikevaihto oli 1 286 miljoonaa euroa vuonna 2020.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää asunnon ostoa harkitsevien henkilöiden odotuksia ja toiveita sisäilman jäähdytyksen suhteen, sekä laatia vertailu erilaisista asuntoon muutostyönä asennettavista jäähdytyslaitteista. Työssä tarkastellaan vain paikallisia jäähdytysjärjestelmiä, jotka voidaan toteuttaa kuhunkin asuntoon erikseen.

2 RAKENNUSTEN SISÄLÄMPÖTILAN HALLINTA

2.1 Kestävä sisälämpötilan hallinta

Sisälämpötilaa laskevat ratkaisut voidaan jakaa kolmeen pääryhmään. Nämä ovat (KUVIO 1.) lämmön välttely, passiivinen jäähdytys ja aktiivinen jäähdytys. Lämmön välttelyyn voidaan lukea kuuluvaksi esimerkiksi rakennuksen ja ikkunoiden suuntaus, rakennuksen värit, eristäminen, auringonvalolta suojautuminen ja sisäisten lämmönlähteiden aiheuttaman lämmön vähentäminen. Passiivista jäähdyttämistä on esimerkiksi yöllä tuulettaminen ja tuuletuksen tehostaminen, sekä veden haihduttaminen. Aktiiviseksi jäähdyttämiseksi kutsutaan erilaisin mekaanisin laittein luotavia jäähdytysreaktioita. Kestävin tapa saavuttaa mukava lämpöolosuhde sisätiloihin helteellä onkin hyödyntää näitä kaikkia, jolloin aktiivisen jäähdytyksen ja samalla myös ostoenergian tarve pysyy maltillisena. Kestävän jäähdytyksen malli on esitetty kuviossa 1. (Lechner 2008, 258.)



KUVIO 1. Rakennuksen jäähdytystarpeiden täyttäminen kestävästi (Lechner 2008, 258).

2.2 Jäähdytyksen historia

Kuumilla ilmastoalueilla rakennuksia on rakennettu jo vuosituhansia suojaamaan asukkaita kuumuudelta lämmön välttelyn ja passiivisen jäähdytyksen

avulla. Massiivisia kivirakenteita käytettiin varastoimaan yöilman kylmyyttä ja ta-
saamaan lämpötilanvaihteluita. Ikkuna-aukot ja niiden määrä pidettiin pieninä,
sekä niissä käytettiin pieniä ovia tai kasveja tehtyjä kaihtimia estämään aurin-
gonsäteiden ja lämpimän ilman sisäänpääsyä päivisin. Rakennukset värjättiin
myös vaaleilla väreillä, sillä tummien pintojen tiedettiin kuumenevan nopeam-
min. (Lechner 2008, 258.)

Veden haihtuminen jäähdyttää ilmaa hyvin tehokkaasti varsinkin kuumissa ja
kuivissa ilmastoissa. Tämä on huomattu ainakin Intiassa jo varhain, sillä yleinen
tapa on ollut ripustaa märkiä mattoja ikkuna- ja oviaukoille jäähdyttämään si-
sään puhaltavaa ilmaa. Tätä tietoa hyödynnettiin myös Intialaisissa palatseissa,
joihin rakennettiin suihkulähteitä ja altaita samaan tarkoitukseen. Muinaisessa
Egyptissä talojen katoille rakennettiin kiilamaisia ilmanottoaukkoja, joiden tarkoi-
tuksena oli ohjata korkealla puhaltava tuuli sisälle ja tehostaa ilmanvaihtoa.
Egyptissä on myös käytetty veden haihtumisen jäähdyttävää vaikutusta yh-
dessä ilmanottoaukkojen kanssa asettamalla ilmanottoaukkojen suille vesiasti-
oita. Risti- ja läpivetoa on suunnitelmallisesti toteutettu Yhdysvalloissa ainakin
1800- luvulta lähtien arkkitehtuurin tullessa suosituimmaksi. Myös Japanissa siir-
reltäviä kevytrakenteisia seiniä on pidetty kesäisin auki tuuletuksen maksimoi-
miseksi. (Lechner 2008, 258 – 265.)

Monia kokeita ja keksintöjä on tehty jo 1700- luvulta asti jäähtymisen toteutta-
miseksi, mutta 1800- luvun alussa löydetty termodynamiikan lait mahdollistivat
kylmäkoneiden kehityksen. Jäähdytyksen keksijäksi ei voi nimetä vain yhtä hen-
kilöä, sillä samantapaisia keksintöjä on toteutettu samanaikaisesti eri puolilla
maailmaa. Skotlantilainen William Cullen rakensi ensimmäisen jäähdytysko-
neen 1755 joka pystyi valmistamaan laboratoriossa hieman jäätä. Yhdysvalta-
lainen Jakob Perkins rakensi ensimmäisen käytännössä toimivan jääkoneen,
joka käytti eetteriä kylmäaineena 1834 ja kehitti myös painekonetta, eli komp-
ressoria. Englantilainen William Thompson keksi lämpöpumpun periaatteen
vuonna 1852 ja loi teoreettisen pohjan kompressorille. Tämä mahdollisti kylmä-
kompressorin kehityksen etenkin Saksalaisen Carl von Lindenin ja Ranskalai-
sen Ferdinand Carrén toimesta. Carré rakensi ensimmäisen absorptiokoneen
1859 ja oli myös ensimmäinen, joka keksi käyttää ammoniakkaa kylmäaineena.
Skotlantilainen James Harrison sai patentin eetterikäyttöiselle kompressorilleen

1856 ja Yhdysvaltalainen David Boyle sai patentin ammoniakki käyttöiselle kompressorilleen 1872. (Suomen jäädytystekniikan museo 2021).

Kylmäaineina jäädytyksen historian alussa on käytetty mm. suolaa, rikkioksidia, ammoniakkaa, metyylikloridia ja hiilidioksidia ja ne aiheuttivat useita myrkytyksiä ja jopa kuolemia. Vasta vuonna 1928 Yhdysvaltalaisen Midgelyyn ja Ketteringin toimesta keksimät halogenoidut hiilivety kylmäaineet, kuten Freon (R12) korvasi laajasti myrkylliset kylmäaineet. Myös kompressoriteknikan kehittyessä aktiiviset jäädytyslaitteet yleistyivät mullistaen logistiikka-, ja elintarviketeollisuutta ja rakennusten ilmastointia. 1970-luvulla kylmäaineiden sisältämän kloorin havaittiin kuitenkin tuhoavan ilmakehän otsonikerrosta ja kiihdyttävän kasvihuoneilmiötä. Vuonna 1987 tehdyn Montrealin pöytäkirjaksi kutsutun maailmanlaajuisen sopimuksen päätavoite oli otsonikatoa aiheuttavien haitallisten aineiden käytön ja valmistuksen vähentäminen. Sopimusta on myöhemmin täydennetty useasti ja niiden ansiosta on kehitetty vähemmän haitallisia ja jopa täysin haitattomia kylmäaineita. (Silvan 2014, 241 - 242.)

2.3 Sisäilman jäädytys Suomessa

Lauhkea ilmasto on haasteellinen ilmastotyyppi viileän sisäolosuhteen toteuttamisen kannalta. Kylmien talvien vuoksi rakennuksia ei voi suunnitella olemaan ainoastaan mahdollisimman viileitä ja sama pätee myös päinvastoin. Usein rakennuksen lämpimänä- ja viileänä pitäminen vaativat keskenään ristiriitaisia ratkaisuja suunnittelussa. (Lechner 2008, 265.)

Lauhkean ilmastovyöhykkeen pohjoisemmalla puolella sijaitsevassa Suomessa mukavan sisäolosuhteen saavuttaminen vaatii lämmitystä suurimman osan vuodesta. On siis loogista, että Suomessa rakennukset suunnitellaan pysymään tehokkaasti lämpimänä.

Suomessa jäätä on käytetty jo vuosisatoja etenkin elintarvikkeiden säilyvyyden parantamiseen. Jäät kerättiin vesistöistä talvisin ja säilöttiin kellareihin sahanpurun sekaan, missä ne pysyivät jäässä pitkälle kesään asti tuottaen viileän varastointitilan. (Silvan 2014, 241.)

Tiettävästi ensimmäinen koneellinen kylmälaitos Suomessa on ollut Sinebrykoffin panimolla Helsingissä, joka asennettiin vuonna 1891. Suomessa kylmäteknikkaa esiteltiin ensikerran Kuopion maatalousnäyttelyssä viisitoista vuotta myöhemmin ja pian kylmälaitokset alkoivat yleistyä elintarviketeollisuudessa. (Suomen jäähdystekniikan museo 2021).

1950-luvulla läpitalon sijaitsevat asunnot alkoivat yleistyä myös Suomessa. Tämä mahdollisti yhä useamman asunnon passiivisen viilentämisen läpituuletuksella.

1960-luvun arkkitehtuurin muuttaessa ikkunaruujuja suuremmiksi, valaistusta tehokkaammaksi ja huonekorkeutta matalammaksi alkoi ilmastoinnin kysyntä kasvaa. Tiettävästi ensimmäinen sisäilmaa jäähdyttävällä ilmastoinnilla varustettu rakennus Suomessa on ollut Kansa-yhtiön talo Helsingissä vuodelta 1962. Helsingin kaupungin teatteri ja Ympyrätalo Helsingissä olivat myös ensimmäisten joukossa tarjoamassa koneellisesti jäähdytettyä sisäilmaa. (Suomen jäähdystekniikan museo 2021).

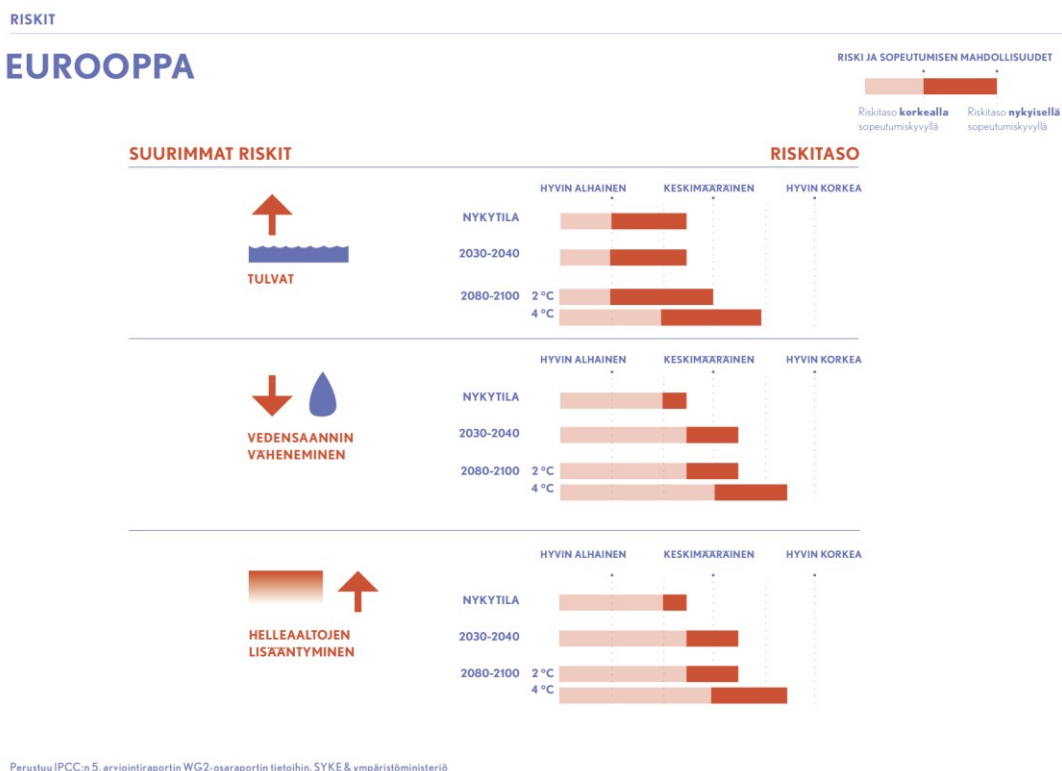
1990-luvulla Helsingissä käynnistyi Suomen ensimmäinen kaukojäähdytyskanke, jonka ajatus on tuottaa ja myydä jäähdytysenergiaa keskitetysti lämmitysenergian tavoin (Silvan 2014, 242).

2.4 Asuintilojen jäähdytyksen tarve

Lämpötilan noustessa lähelle ihmisen ihon pintalämpötilaa ihminen alkaa hikoilla. Kun hikoilu ei riitä poistamaan tarpeeksi lämpöä kehosta, niin elimistön lämpötila nousee. Tästä taas seuraa fyysisen- ja henkisen suorituskyvyn alenemista, joka johtaa työtehon laskuun ja energiankulutuksen nousuun. Pidempiaikainen helteelle altistuminen voi johtaa nestetasapainon järkkymiseen ja usein myös suola- ja ravinnetasojen laskuun kiihtyneen vedenjuonnin johdosta. Helle nostaa kohtausriskiä etenkin kroonisista sydän- ja verenkiertoelinten- ja hengityselinten sairauksista kärsiville. Hellejaksoina kohoavan sisälämpötilan seurauksena Suomessa menehtyy vuosittain 50 - 200 henkeä. (Säteri 2014, 43.)

Vuonna 1995 valmistuneen suomalaisen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelman keskiskenaarion mukaan ilmastonmuutoksen odotetaan nostavan keskilämpötilaa Suomessa 2,4 celsiusasteella vuoteen 2050 mennessä ja 4,4 celsiusasteella vuoteen 2100 mennessä vuoden 1990 tasosta. Vaikka lämpötilan nousu tulee olemaan huomattavampaa talvikuukausina, niin myös kesäkuukausien keskilämpötila tulee nousemaan.

Ilmatieteenlaitoksen, Ympäristöministeriön ja Ilmasto-oppaan vuonna 2013 laatimasta yhteenvedosta IPCC:n viidennestä arviointiraportista käy ilmi, että kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisellä on kuitenkin suuri merkitys. Tiukasti kasvihuonekaasupäästöjä vähentämällä pystyttäisiin Suomen keskilämpötilan nousu rajoittamaan 2,3 celsiusasteeseen vuoteen 2100 mennessä, kun taas entiseen tahtiin kasvavista kasvihuonekaasupäästöistä seuraisi jopa 6,0 celsiusasteen nousu samassa ajassa. Helleaaltojen arvioidaan lisääntyvän Euroopassa jo 2030-luvulla siten, että nykyisellä sopeutumiskyvyllä riskitaso nousee alhaisesta keskimääräiseen (KUVA 1.). Riskien arvioidaan kohdistuvan eniten kaupungeissa asuviin haavoittuviin väestöryhmiin ja ulkona työskenteleviin.



KUVA 1. Suurimmat ilmastonmuutoksen vaikutuksiin liittyvät riskit Euroopassa (Ilmatieteenlaitos, Ilmasto-opas & Ympäristöministeriö 2013, s.11).

2.5 Lainsäädännön vaatimukset asuintilojen lämpöolosuhteille

Suomessa rakennusten suunnittelussa lämpötilaoloja ohjaa ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. Olemassa olevien asuntojen sisäolosuhteita koskee sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. Vuonna 2003 sosiaali- ja terveysministeriön julkaisemaa asumisterveysohjetta voi pitää eräänlaisena tienraivaajana em. asetuksille.

Uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta säädettyssä asetuksessa 4 § määrätään suunnittelussa huonelämpötilaksi 21 celsiusastetta, josta saa lämmityskauden ulkopuolella poiketa 20- ja 27 celsiusasteen välillä. Asetuksessa määrätään rakennussuunnittelussa huomioon otettavia asioita, jotka vaikuttavat olennaisesti myös kesäajan lämpöoloihin. Näitä ovat mm. rakennuksen ja ikkunoiden sijoittelu ja suuntaus sekä niiden aurinkosuojaus. Asetuksen liitteissä on esitetty säävyöhykkeittäin vakioidut mitoitusolosuhteet, kuten lämpötilat ja auringon säteilyenergiamäärät, joiden mukaan toimivat sisäolosuhteet on suunniteltava. Olemassa olevassa asunnossa sisälämpötilan ylärajaksi on laissa säädetty +32 celsiusastetta lämmityskauden ulkopuolella.

Tarkemmin sisäilmasto-olosuhteista löytyy ohjeita sisäilmastoluokituksista, josta viimeisin versio on julkaistu vuonna 2018. Sen ovat laatineet yhteistyössä Sisäilmayhdistys ry, Rakennustietosäätiö RTS sr, Suomen Arkkitehtiliitto SAFA ry, RAKLI ry ja Suunnittelu- ja konsultointiyhtyritykset SKOL ry. Sisäilmastoluokituksessa esitetään kolme sisäilmastoluokkaa. S3 luokka on perustaso, joka täyttää edellä mainitun ympäristöministeriön asetuksen vaatimukset, mutta osaa vaatimuksista on tarkennettu pidemmälle. Sisäilmastoluokat S2 ja S1 tiukentavat vaatimuksia entisestään tiukentaen myös rajan helleajan sisälämpötilan nousulle 26 tai 25 celsiusasteeseen. Sisäilmastoluokituksissa on vaatimuksia myös muille sisäilmaston osatekijöille, kuten vetoisuus-, ääni-, valaistus-, pöly- ja päästöolosuhteille. Sisäilmastoluokitusta käytetään usein jo hankesuunnitteluvaiheessa sisäilmastotavoitteiden asettamisessa. Asuntosuunnittelussa ei kuitenkaan tyypillisesti käytetä sisäilmastoluokitusta.

3 AKTIIVISEN SISÄILMAN JÄÄHDYTYKSEN TOTEUTUSTAVAT

Aktiiviset jäähdytysjärjestelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään, jotka ovat keskitetyt jäähdytysjärjestelmät ja paikalliset jäähdytysjärjestelmät. Paikallisessa jäähdytysjärjestelmässä jäähdytyslaitteet sijaitsevat jäähdytetyissä tiloissa tai niiden läheisissä tiloissa. Keskitetyssä jäähdytysjärjestelmässä jäähdytyslaitteisto on jäähdytettäville tiloille yhteinen ja jäähdytetty ilma tai -neste johdetaan jäähdytettäviin tiloihin putkia tai kanavia pitkin. (Kaapola & Silvan 2014, 243.)

3.1 Keskitetyt jäähdytysjärjestelmät

Keskitetyt jäähdytysjärjestelmät voidaan jakaa jäähdytyksen välitystavan mukaan suoriin keskitettyihin järjestelmiin ja välillisiin keskitettyihin järjestelmiin. Suorassa keskitetyssä järjestelmässä rakennuksen ilmanvaihtokone on varustettu jäähdytyksellä ja tiloihin menevä tuloilma toimii jäähdytyksen kuljettavana aineena. Välillisessä keskitetyssä järjestelmässä rakennuksessa on putkisto, jota pitkin vedenjäähdytyslaitteella jäähdytetty jäähdytysneste kulkee jäähdytetyissä tiloissa sijaitseville pattereille tai puhallinkonvektoreille. (Kaapola & Silvan 2014, 243.)

Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä keskitettyjä jäähdytysjärjestelmiä.

3.2 Paikalliset jäähdytysjärjestelmät

Paikallisen jäähdytysjärjestelmän toiminta perustuu useimmiten tilassa kierrätettävän ilman jäähdyttämiseen. Paikallisen jäähdytysjärjestelmän jäähdytyslaitteet ovat lähes aina toimintaperiaatteeltaan suorahöyrysteisiä jäähdytyslaitteita, joita ovat esimerkiksi ikkunakoneet, siirrettävät jäähdytyslaitteet, split-jäähdytyslaitteet, multisplit-jäähdytyslaitteet ja kaappikoneet. (Kaapola & Silvan 2014, 243.)

3.2.1 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu (KUVA 2.) on split-jäähdytyslaite, jolla voi myös lämmittää sisäilmaa. Ilmalämpöpumppu koostuu ulko- ja sisäyksiköistä. Ulkoyksikkö sisältää kompressorin ja lauhduttimen ja sisäyksikkö höyrystimen, puhaltimen, ilman-suodattimet ja ohjauslaitteet, sekä lisäksi mahdollisen kondenssivesipumpun. Sisäyksiköitä on lattialle, seinälle, kattoon ja alaslaskettuun kattoon upotettavia malleja. Ilmalämpöpumppujen jäähdytysteho vaihtelee 2 – 15 kW välillä. (Kaapola & Silvan 2014, 262 - 263.)



KUVA 2. Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö (yllä) ja ulkoyksikkö (alla) (Vaillant. ClimaVAIR ilmalämpöpumppujen valikoima).

Ilmalämpöpumpun asennuksessa kerrostaloasuntoon on ulkoyksikkö useimmiten saatava sijoitettua asunnon hallinta-alueelle. Tämä tarkoittaa käytännössä parvekettä tai ensimmäisen kerroksen tapauksessa mahdollista etu- tai takapihaa. Ulkoyksikkö on etenkin parvekkeella asukkaan tiellä ja jotta laite toimisi mahdollisimman tehokkaasti tulisi ilman parvekkeella vaihtua hyvin. Nykyrakentamisessa parvekkeet usein lasitetaan ja lasitus heikentää ilman vaihtuvuutta.

Auringonpaiste lämmittää parvekkeen ilmaa lasituksen ollessa kiinni jopa yli 50 celsiusasteen, joten asukkaan tulee pitää parvekelasitusta kesäisin auki tai käydä jatkuvasti aukaisemassa ja sulkemassa sitä ilmalämpöpumpun käytön mukaan. Parvekelasituksissa ei ole vielä toistaiseksi olemassa tuotetta, jolla ulkoyksikkö voisi toimia lasitus suljettuna. Ongelma ratkeaisi, jos rakennuksen julkisivussa olisi jokaisen asunnon ulkoyksikön sijoitusta varten suunniteltu paikka. Sijoituspaikan tulisi kuitenkin olla sellainen, joka ei vaikeuta laitteiden huoltoa. Sisäyksikön sijoittaminen onnistuu useimmiten melko helposti parvekkeen läheisyyteen seinälle ja tällöin kondenssivedet voidaan johtaa parvekkeen vedenpoistoon. (Pirttijärvi 2021.)

Laitteiston kunnossapitovastuu on osakkaalla, sillä sen toiminta ei ole välttämättömyyttä rakennuksen käytölle ja laite on verrattavissa kodinkoneeseen, kuten jääkaappiin. Vaikka laitteen lämmityskäytössä kerrostaloasunnossa ei ole järkeä, niin on se silti mahdollista. Ilmalämpöpumpulla lämmitettäessä patterit eivät usein lämmitä ollenkaan ja asukkaan sähkölasku kasvaa vastikkeen pysyessä yhtä suurena. Ilmalämpöpumppua käytettäessä lämmitykseen on ulkoyksikön kondenssivedenpoisto hallittava, jottei ulkoyksikön alle muodostuva jää aiheuta vahinkoa. (Pirttijärvi 2021.)

3.2.2 Multisplit- ilmalämpöpumppu

Multisplit-ilmalämpöpumppu on ilmalämpöpumppu, jossa samaan ulkoyksikköön liitetään kaksi tai useampia sisäyksiköitä. Multisplit-laitteiden ulkoyksiköissä voi olla useampia kompressoreita ja ulkoyksikköjen teho on suurempi. VRV- tai VRF- jäähdytysjärjestelmäksi kutsutaan sellaista jäähdytysjärjestelmää, jossa useamman sisäyksikön piiriä jäähdytetään useammalla ulkoyksiköllä. (Kaapola & Silvan 2014, 263 - 264.)

Multisplit- ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö voidaan sijoittaa esim. talon tai parvekkeen katolle, pihalle tai julkisivuun. Pitkiä kylmäaineputkivetoja tulee kuitenkin välttää, sillä ne heikentävät kustannus-, jäähdytys- ja energiatehokkuutta. Ulkoyksikön sijoituksen vuoksi laitteiston kunnossapitovastuu, kuten myös päättöikeus järjestelmän toteuttamiseksi on asunto-osakeyhtiöllä. Kahden päällekkäisen tai vierekkäisen asunnon osakkeenomistajien tulisi tahtoa jäähdytys,

jotta järjestelmä on toteutettavissa järkevästi. Tämän lisäksi asuntojen sijaitessa keskikerroksissa on sovittava, että kummanko osakkaan parvekkeelle suurehko ulkoyksikkö asennetaan. Ongelman voisi ratkaista myös julkisivussa olevilla valmiilla sijoituspaikoilla ulkoyksiköitä varten. Multisplit-jäähdytysjärjestelmä edellyttää jäähdytysenergiankulutuksen mittausta kummastakin asunnosta erikseen, jottei asukkaiden välille synny riitaa käyttökustannuksista. Energiamittarit lisäävät osaltaan jäähdytysjärjestelmän kustannuksia. (Pirttijärvi 2021.)

3.2.3 Siirrettävä jäähdytyslaite

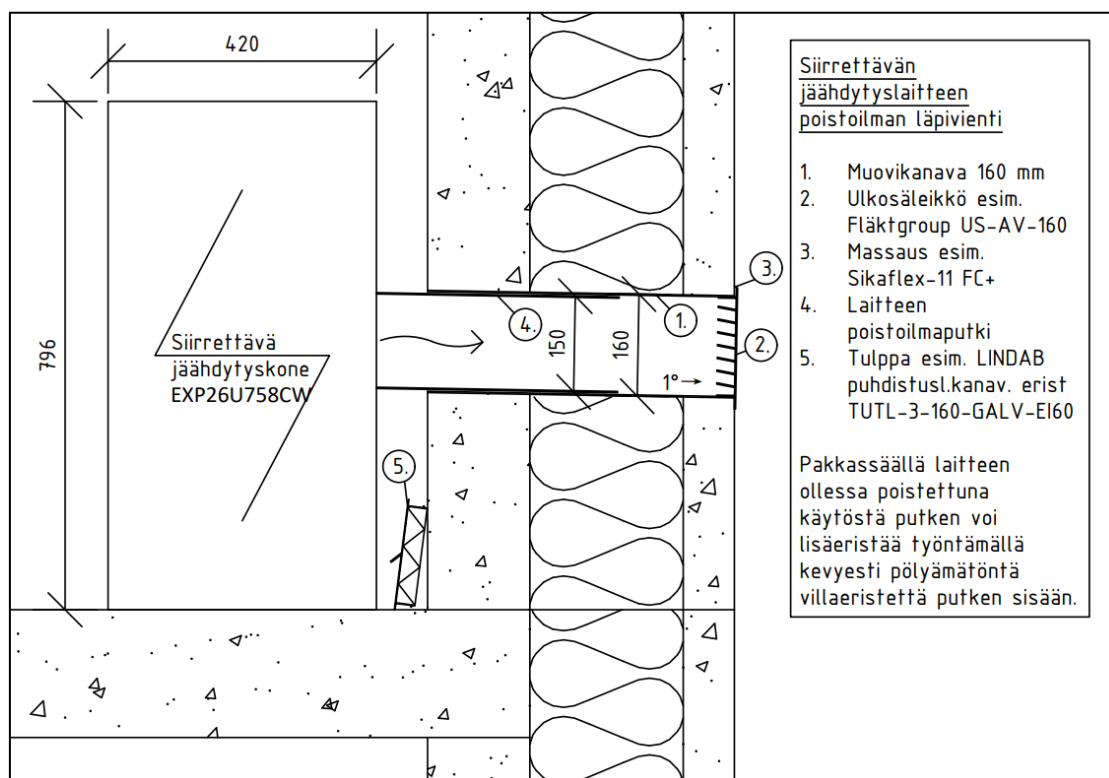
Siirrettävä jäähdytyslaite (KUVA 3.) sisältää ilmalämpöpumpun tavoin kompressorin, lauhduttimen, höyrystimen, puhaltimen, ilmansuodattimet ja ohjauslaitteet samassa pyörillä seisovassa laitteessa. Edullisimmat laitteet ottavat ilman lauhduttimelle suoraan huoneilmasta ja lämmennyt ilma johdetaan joko suoraan ulos tai poistoilmakanavaan. Laite aiheuttaa näin toimiessaan sisätilaan suhteellisen pienen alipaineen kasvun. Kuumen korvausilman kulkureitit ulkoa sisälle tulee hallita, jotta nettojäähdytysteho voi olla lähelläkään laitteen nimellistä jäähdytystehoa. Siirrettävän jäähdytyslaitteen jäähdytysteho vaihtelee 1 – 3 kW välillä. (Kaapola & Silvan 2014, 261.)



KUVA 3. Siirrettävä jäähdytyslaite (Electrolux. EXP26U758CW).

Siirrettävällä jäähdytyslaitteella on kiistattomana etunaan edullinen hankintahinta. Huonoihin puoliin kuuluu kuitenkin kovempi käyntiäni, huonompi energia-
tehokkuus ja epämiellyttävän vedontunteen aiheuttaminen. Laite tulee asentaa ja
purkaa joka kesä uudelleen paikaltaan, jonka lisäksi laitteen kondenssivesiastiaa
tulee tyhjentää päivittäin. Näistä toimista koituu vaivaa asukkaalle. Laitteen kun-
nossapitovastuu on osakkaalla, mutta säleikön kunnossapitovastuu on asunto-
osakeyhtiöllä. (Pirttijärvi 2021.)

Laite voidaan sijoittaa lähes mihin tahansa lattialle poistoilmareitin läheisyyteen.
Laitteen poistoilmaletku lämpenee käytettäessä huomattavasti ja lämmittää huo-
neilmaa. Laite tulee asennettaessa sijoittaa mahdollisimman lähelle poistoilma-
reittiä, jotta poistoilmaletku voidaan pitää mahdollisimman lyhyenä. Parhaiten
laite on asennettavissa, kun jäähdytyslaitteen poistoilmalle on varta vasten suun-
niteltu ja tehty sopivan kokoinen läpivienti sopivaan kohtaan esimerkiksi kuvan 4
mukaan.



KUVA 4. Siirrettävän jäähdytyslaitteen poistoilman läpivienti ulkoseinän läpi.

3.2.4 Kiinteästi asennettava jäähdytyslaite ilman ulkoyksikköä

Kiinteästi asennettavia ulkoyksiköttömiä jäähdytyslaitteita (KUVA 5.) kutsutaan usein ikkunakoneiksi niiden perinteisen asennustavan vuoksi. Kyseisen tyyppisessä jäähdytyslaitteessa on kompressori, höyrystin, lauhtutin, puhallin, ilman-suodattimet ja ohjauslaitteet yhdessä paketissa ja se voidaan asentaa seinälle, sekä ikkuna-aukkoon. Ikkunakoneiden jäähdytysteho vaihtelee 1 – 10 kW välillä. (Kaapola & Silvan 2014, 261.)



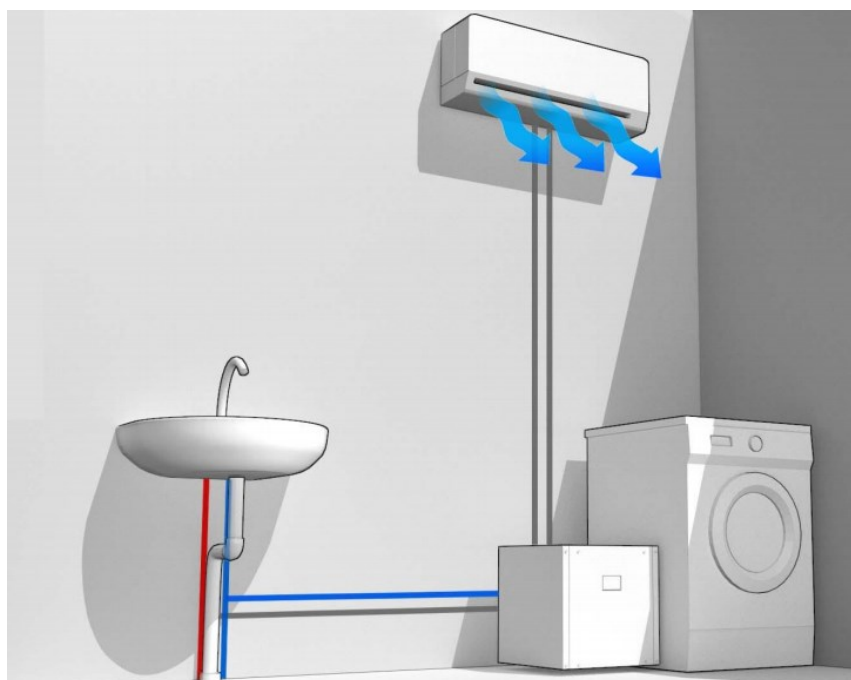
KUVA 5. Kiinteästi asennettava ulkoyksikötön jäähdytyslaite (Wahlres Oy. Unico Pro Inverter 12 HP A+).

Kiinteästi asennettavalla ulkoyksiköttömällä jäähdytyslaitteella on samoja ominaisuuksia siirrettävän jäähdytyslaitteen kanssa, kuten kovempi käyntiääni, huonompi energiatehokkuus ja epämiellyttävän vedontunteen aiheuttaminen. Laitteen kunnossapitovastuu on osakkaalla, mutta säleikön kunnossapitovastuu on asunto-osakeyhtiöllä. (Pirttijärvi 2021.)

Kiinteästi asennettavassa ulkoyksiköttömässä jäähdytyslaitteessa on sekä tulo- että poistoilmakanava, joten se vaatii kaksi suurta läpiviientä, mutta ei luo alipainetta jäähdytettävään tilaan. Suuret läpiviennit toimivat talvella kylmäsiltaan aiheuttaen lämmitysenergian kulutuksen kasvua. Laite voidaan asentaa ulkoseinälle sellaiseen kohtaan, jossa suuret läpiviennit on mahdollista toteuttaa ja viemäröintipiste on lähellä. Kondenssiveden poistoletku johdetaan joko keittiön, kylpyhuoneen, saunan tai vessan viemäriin.

3.2.5 Käyttöveteen lauhduttava jäähdytyslaite

Käyttöveteen lauhduttava jäähdytyslaite on split-jäähdytyslaite (KUVA 6.), joka siirtää energiaa sisäilmasta kylmään käyttöveteen. Laitteiden jäähdytystehot vaihtelevat 3 – 7 kW välillä. Pienin laite kuluttaa käydessään 100 l vettä tunnissa. (Innoair n.d.).



KUVA 6. Innoair Piccolo periaatekuva (Innoair n.d.).

Laite vaatii toimiakseen viemäroinnin ja kylmän käyttövesiliittymän, joten asennus onnistuu helpoiten keittiön, kylpyhuoneen, saunan tai vessan läheisyyteen. Ilmalämpöpumpusta poiketen myös ”ulkoyksikkö”, eli tässä tapauksessa lauhd-

tinyksikkö asennetaan sisälle. Laitteiston kunnossapitovastuu on osakkaan vastuulla. Keskustelua herättää laitteen toiminnan ympäristöystävällisyys, sillä huomattavia määriä puhdasta käyttövettä ajetaan viemäriin. (Pirttijärvi 2021.)

3.2.6 Poistoilmaan lauhduttava jäähdytyslaite

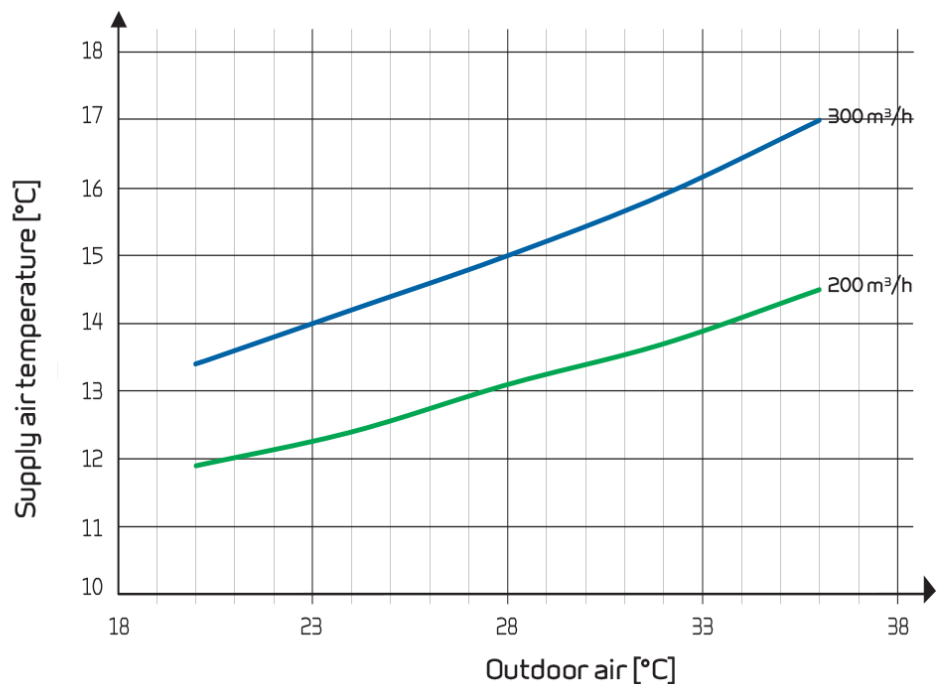
Poistoilmaan lauhduttava jäähdytyslaite (KUVA 7.) on tulopoistoilmanvaihtokone, jossa lämmöntalteenotto on toteutettu poistoilmalämpöpumpulla, jota voidaan käyttää myös jäähdytykseen. Tavallisesti tällaisessa laitteessa lämmöntalteenottoa suorittava lämpöpumppu siirtää lämpöenergiaa ulos puhallettavasta ilmasta sisälle puhallettavaan ilmaan, jolloin säästetään lämmitysenergiaa. Kun lämpöpumpun toiminnan kääntää, niin se siirtää lämpöenergiaa sisälle puhallettavasta ilmasta ulos puhallettavaan ilmaan, jolloin sisälle tuleva ilma jäähtyy. Laite sisältää kompressorin, lauhduttimen, höyrystimen, puhaltimet, suodattimet ja ohjauksilaitteet samassa paketissa. Laitteen pääasiallinen käyttötarkoitus on ilmanvaihtokoneena toimiminen ja siten sen kunnossapitovastuu on asunto-osakeyhtiöllä.



KUVA 7. Poistoilmaan lauhduttava jäähdytyslaite (Nilan Oy. VPL 15 TOP M2).

Nilan Suomi Oy:n edustajan mukaan: ”Ecodesign vaatimusta ja todistusta tämänkaltaisille laitteille ei ole”. Tämä tarkoittaa, että laitteen kylmäkerrointa (EER) ei tarvitse ilmoittaa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö tietoa olisi ja etteikö se olisi laskettavissa.

Valmistaja kertoo sivuillaan laitteen kykenevän kesäisin viilentämään tuloilmaa 6 – 8 celsiusastetta ulkoilman lämpötilaa kylmemmäksi. Kuviossa 2 on esitettyä laitteen tuloilman jäähdytyskyvyn riippuvuus lämpötilaloista ja vaihdettavasta ilmamäärästä. (Nilan Suomi Oy n.d.)



KUVIO 2. Nilan VPL 15 Top M2 tuloilman lämpötila ulkolämpötilan ja vaihdettavan ilmamäärän funktiona. (Nilan Suomi Oy n.d.)

Tuloilman lämpötilan ollessa vain 6 – 8 celsiusastetta ulkoilmaa kylmempää ilmankosteuden kondensoitumisriski eristämättömän ilmanvaihtokanavan ulkopintaan on kuivissa tiloissa mitätön.

Laitteen siirtäessä lämpöä poistoilmaan poistoilmakanava kuumenee ja siirtää lämpöä takaisin huoneilmaan ja jäteilmaputken kanssa rinnan kulkevaan raitisilmaputkeen alentaen näin jäähdytystehoa ja -hyötysuhdetta. Laitteen toimintaperiaate mahdollistaa viilennyksen matalilla jäähdytystehoilla, joten varsinaisesta jäähdytyksestä ei voida puhua. Pienikin viilennys ja sisäilman kuivatus kuitenkin

koetaan usein riittäväksi varsinkin, jos asukas ei tiedä asunnon olevan varustettu viilennyksellä. Laite asennetaan kylpyhuoneeseen alkuperäisen ilmanvaihtokoneen paikalle. Ilmanvaihtokanaville pitää todennäköisesti tehdä muutostöitä laitteen sovittamiseksi. Parhaiten asennus onnistuu ennakkotilauksena, jolloin koko ilmanvaihto on vielä muokattavissa. Laite on tavallista asuntoilmanvaihtokonetta korkeampi. Tämän seurauksena esimerkiksi pesutorniyhdistelmä ei mahdu enää ilmanvaihtokoneen alle ja asukkaan pitää tyytyä kuivaavaan pesukoneeseen. (Pirttijärvi 2021.)

4 ASIAKKAIDEN TOIVEET SISÄILMAN JÄÄHDYTYKSESTÄ SUOMESSA

Jotta asiakkaille voidaan tarjota mahdollisimman sopivia asuintiloja, niin tulee joskus ensin selvittää mitä asiakkaat itse toivovat saavansa. Jäähdytyslaitteiden ominaisuuksissa on paljon eroja ja jokaisella henkilöllä voi olla erilaiset preferenssit laitteen valinnassa. Tästä syystä päätettiin laatia kysely (LIITE 1) asiakkaiden toiveiden selvittämiseksi sisäilmaa viilentävistä laitteista.

Kysely laadittiin Qualtrics- sovellusta käyttäen, jota YIT käyttää asiakas- ja muiden kyselyiden toteuttamisessa.

4.1 Kyselyn laatiminen

Kyselyn laatiminen Qualtrics- sovelluksella mahdollisti erilaisten kysymyksien ja kokonaisuuksien luomisen, sekä monien muiden ominaisuuksien hyödyntämisen, kuten tietoturvaauhkien- ja vastausrobotiikan estämisen.

Kyselyyn laadittiin kaksi osaa eli sivua. Ensimmäinen sivu oli aloitussivu, jossa kerrottiin kyselyn tarkoitus, toteuttaja, vastausaika ja henkilötietojen käsittelyperiaate. Tekstiosuuden lopussa on nuolipainike eteenpäin seuraavalle sivulle siirtymistä varten.

Toiselle sivulle laadittiin kysymykset sisäilman viilennykseen liittyen. Kysymyksien laadinnassa tehtiin kysymyksien asettelu mahdollisimman selkeäksi, mutta myös hienovaraisiksi, jotta vastaajat eivät kokisi niitä liian tungetteleviksi ja lopettaisi vastaamista kesken. Sovelluksessa oli tarjolla erilaisia kysymysmuotoja, kuten tekstivaihtoehtokysymyksiä, järjestykseen asettamis kysymyksiä ja numeraalisen arvon kysymyksiä. Tavoitteena oli, että kyselyn tuli toimia moitteettomasti myös mobiililaitteella vastatessa. Kyselyn mobiiliversion esikatselu paljasti ensimmäisissä versioissa monia mobiilikäytön ongelmia, jotka rajasivat tiettyjä kysymysmuotoja pois.

Kysymyksiä laadittiin yhteensä viisi, jotka ovat seuraavat:

1. Mihin tarkoitukseen olet ajatellut ostaa asunnon?
 - A. Asumiseen
 - B. Sijoittamiseen

2. Haluaisitko, että uusi kotisi on varustettu sisäilman viilennyksellä?
 - A. Kyllä
 - B. En

3. Järjestä seuraavat ominaisuudet tärkeysjärjestykseen raahaamalla lauseita sen mukaan mitä toivot eniten sisäilmaa viilentävältä laitteelta. Yksi on tärkein, kaksi toiseksi tärkein jne.
 1. Toivon, että laite toimii mahdollisimman **hiljaisesti** ja asukkaan huomaamatta.
 2. Toivon, että laite on valmistettu tuottaen mahdollisimman **vähän hiilidioksidipäästöjä**.
 3. Toivon, että laite pystyy pitämään sisälämpötilan **niin viileänä kuin mahdollista**.
 4. Toivon, että laite on mahdollisimman **edullinen hankkia**.
 5. Toivon, että laite hyödyntää energian mahd. tehokkaasti pitäen **käyttökustannukset pienempänä**.
 6. Toivon, että laite vaatii **mahdollisimman vähän vaivannäköä** asukkaalta.
 7. Toivon, että laite on mahdollisimman **huomaamaton** asunnon sisustuksessa.

4. Kuinka paljon lisähintaa olisit valmis maksamaan sisäilman viilennyksestä asunnon oston yhteydessä? Vedä palloa vaakasuunnassa muuttaaksesi lukemaa. (KUVA 8.)

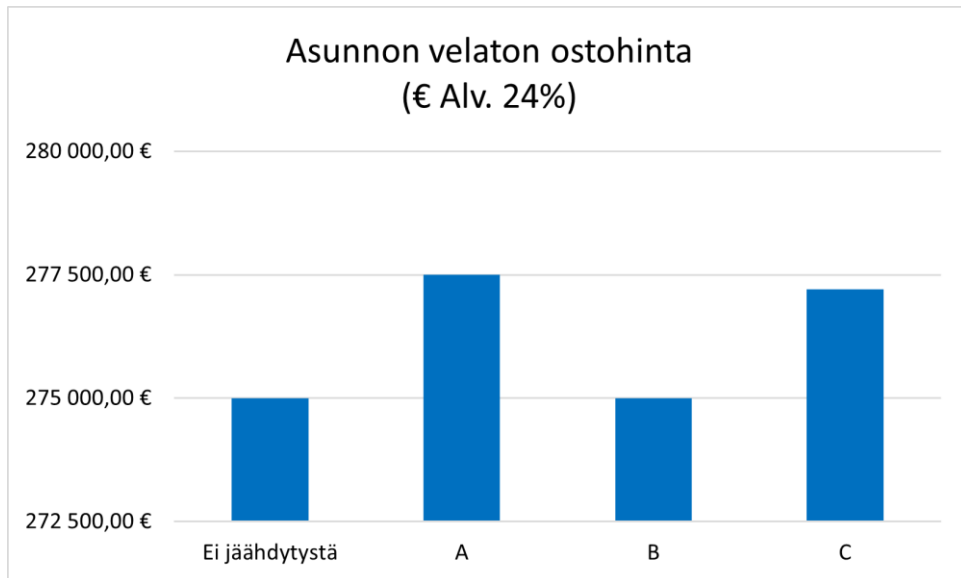
Korkeammalla lisähinnalla mahdollistat useampia kysymyksessä kolme esitettyjä ominaisuuksia.



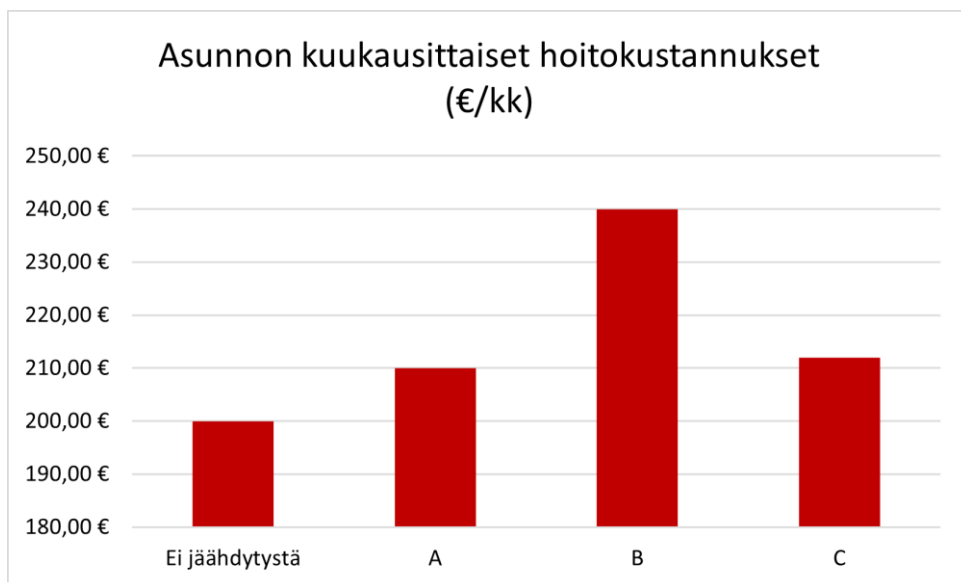
KUVA 8. Kyselyn neljännen kysymyksen vedettävä vastauspalkki, jossa palkki lukittuu 600,00 € välein olevien viivojen kohdalle.

5. Millä periaatteella maksaisit mieluiten sisäilman viilennyksestä? Kysymyksen alla on esitetty vaihtoehtojen vaikutuksia osto- ja asumiskustannuksiin. Kaavioissa (KUVIO 3 - 4.) esitetyt hinnat ovat esimerkkejä.

- A. Ostaisin mieluiten asunnon, johon on suunniteltu ja rakennettu sisäilman viilennys valmiiksi, vaikka se olisikin kalliimpi. Lisäksi maksaisin viilennykseen kuluva energiasta osana hoitovastikettani.
- B. Ostaisin mieluiten asunnon, johon on suunniteltu ja rakennettu sisäilman viilennys valmiiksi samalla hinnalla kuin ilman viilennystä. Vasta halutessani ottaa viilennyksen käyttöön maksaisin viilennyslaitteistosta ja sen käyttöön kuluva energiasta erillistä viilennysvastiketta.
- C. Ostaisin mieluiten asunnon, johon ei ole suunniteltu viilennystä ja tilaisin viilennyslaitteen lisävarusteena. Lisäksi maksaisin viilennykseen kuluva energiasta omassa sähkölaskussani.



KUVIO 3. Kyselyn viidennen kysymyksen alla oleva kaavio eri maksuperiaatteiden vaikutuksista asunnon ostohintaan.



KUVIO 4. Kyselyn viidennen kysymyksen alla oleva kaavio eri maksuperiaatteiden vaikutuksista asunnon kuukausittaisiin hoitokustannuksiin.

Toiselle sivulle luotiin vastaamislogiikka, jossa toiseen kysymykseen kielteisesti vastatessaan vastaaja hyppää kolmannen, neljännen ja viidennen kysymyksen yli. Tämä tehtiin kysymysten 3 – 5 tulosten pitämiseksi todenmukaisina tuloksina sisäilman viilennystä tahtovien henkilöiden toiveista.

Kyselyn asetuksista pystyi asettamaan päälle seurannan, joka merkitsi samasta IP-osoitteesta tulleet vastaukset. Näin valmistauduttiin mahdollista vastausrobotiikalla toteutettavaa kyselynhäirintää vastaan. Kyselyyn olisi myös saanut Google:n reCAPTCHA- kysymyksen, jossa vastaajan täytyy asettaa täppä ”En ole robotti” ruutuun päästäksensä etenemään. Vaikka reCAPTCHA- kysymys olisi poistanut robotiikalla toteutetun kyselynhäirinnän mahdollisuuden, niin ajoittain ilmenevien kaksoisvarmistuskysymysten haastavuuden vuoksi sitä ei hyödynnetty.

YIT Suomi Oy:n toivomuksesta kyselyyn laadittiin vielä kolmas sivu, jonka kysymykset käsittelivät älykodin varusteita ja laitteita. Kolmannen sivun kysymykset eivät liity tähän työhön. Kolmannella sivulla kysymyksiä oli yhteensä kolme, joten kyselyn kokonaiskysymysmäärä nousi kahdeksaan.

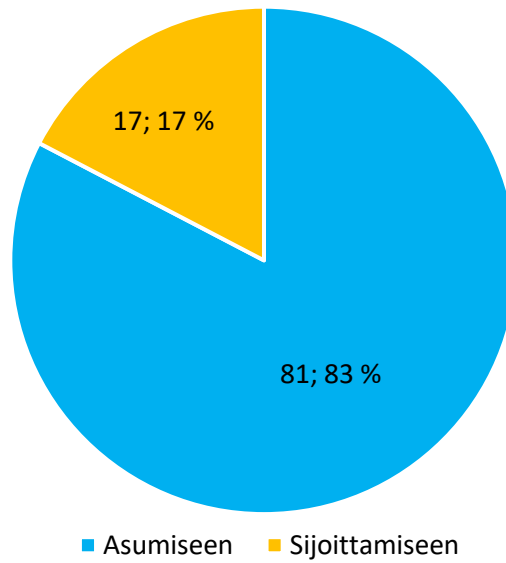
Kolmannen sivun jälkeen kysely päättyy ja vastaukset tallennetaan. Vastaajan ruudulle ilmestyy ilmoitus, joka kiittää vastaamisesta ja toivottaa mukavaa päivänjatkoa. Kyselyn kesken jättävien osalta asetukset säädettiin siten, että kyselyä pystyi jatkamaan viikon kuluessa sen aloittamisesta. Tämän jälkeen vastaukset tallentuivat osittain vastattuna kyselynä.

YIT Suomi Oy:n asuntomyynti ylläpitää yksityistä tietokantaa henkilöistä, jotka ovat ilmoittaneet kiinnostuksensa asunnon ostamisesta tietyllä alueella. Kysely lähetettiin tietokantaan rekisteröityneille henkilöille Tampereen, Jyväskylän ja Helsingin alueille, jotka olivat antaneet suostumuksen kyselyiden lähettämiseen.

4.2 Kyselyn tulokset

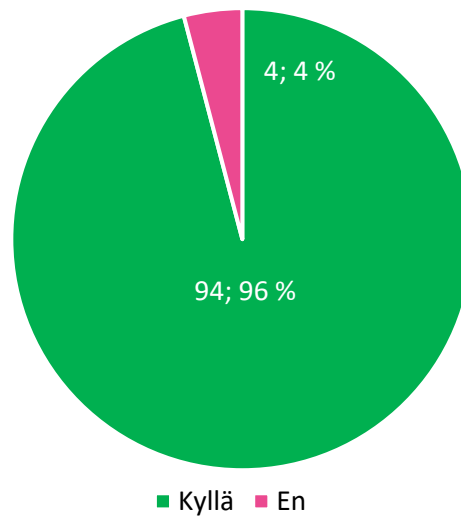
Kyselyn tuloksien analysointi aloitettiin vastauksien läpikäynnillä. Ensiksi tarkastettiin vastausten IP-osoitteiden perusteella, onko vastaaja antanut useamman kuin yhden vastauksen. Tällaisia vastauksia ilmeni yksi, jossa ensimmäinen vastaus oli jätetty kahteen kysymykseen vastaamisen jälkeen kesken ja toinen kysely oli suoritettu loppuun. Tässä päädyttiin poistamaan ensimmäinen vastaus kokonaan vastauksista. Seuraavaksi tuloksista laadittiin kaaviot (KUVIO 5 – 8. & TAULUKKO 1.).

Mihin tarkoitukseen olet ostanut/ostamassa asunnon?



KUVIO 5. Asiakaskyselyn ensimmäisen kysymyksen vastausten jakauma.

Haluaisitko, että uusi asuntosi on varustettu sisäilman viilennyksellä?

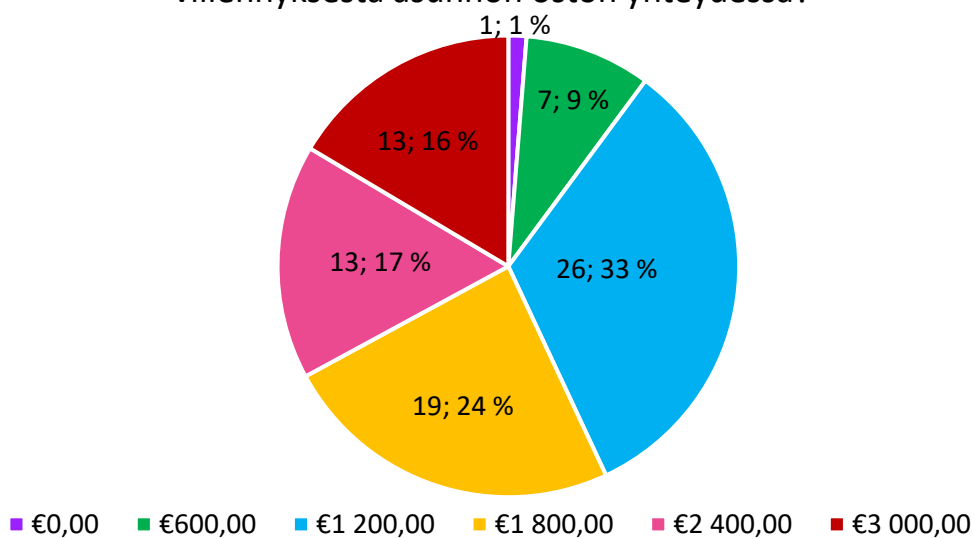


KUVIO 6. Asiakaskyselyn toisen kysymyksen vastausten jakauma.

TAULUKKO 1. Asiakaskyselyn kolmannen kysymyksen vastausten jakauma.

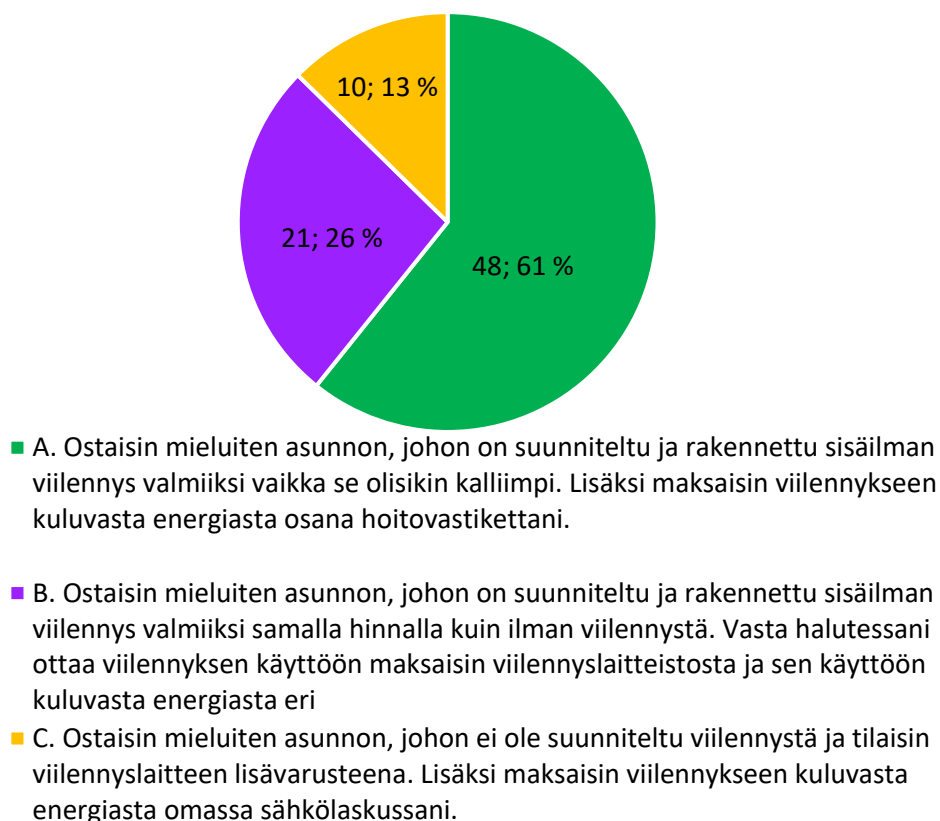
| Ominaisuus | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Toivon, että laite toimii mahdollisimman hiljaisesti ja asukkaan huomaamatta | 40 kpl 51,95 % | 20 kpl 25,97 % | 5 kpl 6,49 % | 6 kpl 7,79 % | 6 kpl 7,79 % | 0 kpl 0 % | 0 kpl 0 % |
| Toivon, että laite on valmistettu tuottaen mahdollisimman vähän hiilidioksidipäästöjä. | 2 kpl 2,60 % | 3 kpl 3,90 % | 7 kpl 9,09 % | 8 kpl 10,39 % | 12 kpl 15,58 % | 11 kpl 14,29 % | 34 kpl 44,16 % |
| Toivon, että laite pystyy pitämään sisälämpötilan niin viileänä kuin mahdollista. | 14 kpl 18,18 % | 6 kpl 7,79 % | 14 kpl 18,18 % | 7 kpl 9,09 % | 8 kpl 10,39 % | 18 kpl 23,38 % | 10 kpl 12,99 % |
| Toivon, että laite on mahdollisimman edullinen hankkia. | 4 kpl 5,19 % | 6 kpl 7,79 % | 10 kpl 12,99 % | 16 kpl 20,78 % | 15 kpl 19,48 % | 14 kpl 18,18 % | 12 kpl 15,58 % |
| Toivon, että laite hyödyntää energian mahd. tehokkaasti pitäen käyttökustannukset pienempinä. | 11 kpl 14,29 % | 19 kpl 24,68 % | 18 kpl 23,38 % | 11 kpl 14,29 % | 14 kpl 18,18 % | 3 kpl 3,90 % | 1 kpl 1,30 % |
| Toivon, että laite vaatii toimiakseen mahdollisimman vähän vaivannäköä asukkaalta. | 4 kpl 5,19 % | 12 kpl 15,58 % | 12 kpl 15,58 % | 16 kpl 20,78 % | 15 kpl 19,48 % | 15 kpl 19,48 % | 3 kpl 3,90 % |
| Toivon, että laite on mahdollisimman huomaamaton asunnon sisustuksessa. | 2 kpl 2,60 % | 11 kpl 14,29 % | 11 kpl 14,29 % | 13 kpl 16,88 % | 7 kpl 9,09 % | 16 kpl 20,78 % | 17 kpl 22,08 % |

Kuinka paljon lisähintaa olisit valmis maksamaan sisäilman viilennyksestä asunnon oston yhteydessä?



KUVIO 7. Asiakaskyselyn neljännen kysymyksen vastausten jakauma.

Millä periaatteella maksaisit mieluiten sisäilman viilennyksestä?



KUVIO 8. Asiakaskyselyn viidennen kysymyksen vastausten jakauma.

Kyselyn vastauksista selviää, että valtaosa vastaajista on oman asunnon ostoa harkitsevia henkilöitä. Lisäksi vastaajista lähes kaikki toivovat uuden asunnon olevan varustettu jäähdytyksellä. Vastausten perusteella jäähdytyslaitteen ominaisuuksista tärkein on hiljainen käyntiääni ja vähiten tärkeä on matala ilmastolämpenemis potentiaali. Asuntoa hankkiessaan asiakas olisi valmis maksamaan keskimäärin 1769,62 € lisähintaa jäähdytyksestä. Puolet vastanneista toivoisi, että jäähdytys olisi toteutettu keskitetyllä järjestelmällä, vaikka se nostaisikin asunnon hintaa. Epäsuosituin hankintatapa on hankkia jäähdytys muutostyönä ja jopa neljännes olisi valmis hankkimaan jäähdytyksen leasing-tyylillä ostopalveluna.

5 PAIKALLISTEN JÄÄHDYTYSLAITTEIDEN VERTAILU

Vertailu toteutettiin tarkastelemalla verrattavien kuuden laitteen ominaisuuksia ja asettamalla ne järjestykseen parhaimmasta huonoimpaan. Paras laite kussakin ominaisuudessa sai kuusi pistettä ja huonoin yhden. Tämän jälkeen pisteitä painotettiin asiakaskyselyn kolmannen kysymyksen tuloksien perusteella, jotta asiakkaiden eniten arvostamilla ominaisuuksilla olisi suurempi painoarvo. Lopuksi kaikki kunkin laitteen saamat pisteet summattiin yhteen. Lopputuloksena on paremmuusjärjestys, jossa ensimmäisellä sijalla on sopivin laite valtaosalle asiakkailta.

5.1 Verrattavat ominaisuudet

Vertailussa verrattavia ominaisuuksia olivat:

1. Ääniteho
2. Ilmastonlämpenemispotentiaali
3. Jäähdytysteho
4. Investointikustannuksen määrä
5. Käyttökustannusten määrä
6. Laitteen toiminnan itsenäisyys
7. Laitteen koko ja näkyvillä olon määrä asunnon sisustuksessa

Vertailun laskentataulukko on esitetty liitteessä 2.

Ääniteho

Jäähdytyslaitteen äänitehon koetaan olevan sitä parempi mitä hiljaisempi se on. Laitteiden teknisissä tiedoissa ilmoitetaan laitteen ääniteho ihmiskorvan tehokaimmalle kuuloalueelle painotettuna dBA lukemana. Ääniteho ilmoitetaan usein myös laitteen eri käyntitehoilla, sillä laitteen ääniteho on suurempi sen käydessä suuremmalla käyntiteholla. Tässä vertailussa pienen käyntitehon äänitehoa kuvataan tunnuksella Min dBA, keskikäyntitehon ääniteho tunnuksella Mid dBA ja suuren käyntitehon äänitehoa tunnuksella Max dBA. Äänitehoa vertaillessa laitteista lasketaan keskimääräinen ääniteho kaavalla 1., jonka perusteella pisteet

jaetaan. Matalimman KA dBA tuloksen omaava laite saa kuusi pistettä ja korkeimman KA dBA tuloksen omaava laite saa yhden.

$$KA \text{ dBA} = \frac{\text{Max dBA} + \text{Mid dBA} + \text{Min dBA}}{3} \quad \text{KAAVA 1.}$$

Ilmastonlämpenemispotentiaali

Vertailtavien jäähdytyslaitteiden ilmastonlämpenemispotentiaalit laskettiin yksinomaan laitteiden käyttämien kylmäaineiden GWP- arvon ja kylmäainemäärän mukaan. Kylmäaineiden GWP- arvot on esitetty taulukossa 2. Vaikka kylmäaineen ilmastonlämpenemispotentiaali konkretisoituukin vain kylmäaineen vuotessa ulos laitteesta, niin sen tapahtuessa kasvihuonevaikutus on usein suuri. Tästä syystä etenkin kuluttajien kunnossapitovastuulla olevat kylmälaitteet tulisi varustaa mahdollisimman pienen ilmastonlämpenemispotentiaalilla kylmäaineilla. Pisteytyksessä kuusi pistettä annettiin pienimmän ilmastonlämpenemispotentiaalilla omaavalle laitteelle ja yksi piste suurimman kasvihuonevaikutuksen omaavalle laitteelle. Ilmastonlämpenemispotentiaali lasketaan kaavalla 2.

TAULUKKO 2. Kylmäaineiden GWP- arvot. (Scanoffice Oy 2020)

| Kylmäaine | GWP- arvo [kg/kg] |
|-------------------------------|-------------------|
| R134A | 1430 |
| R290 | 4 |
| R32 | 675 |
| R410A | 2088 |
| Hiilidioksidi CO ₂ | 1 |

Ilmastonlämpenemispotentiaali

KAAVA 2.

$$= \text{Kylmäainemäärä [kg]} \cdot \text{Kylmäaineen lämmityspotentiaali} \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$$

Laitteiden kylmäaineen tyyppi ja määrä selvitettiin laitteiden teknisistä tiedoista. Kylmäainetietojen puuttuessa tieto saatiin maahantuojalta kysymällä.

Jäähdytysteho

Tieto vertailtavien jäähdytyslaitteiden jäähdytystehoista kerättiin laitteiden teknisistä tiedoista. Pisteytyksessä laite, joka omaisi suurimman nimellisen jäähdytystehon saa kuusi pistettä ja pienimmän nimellisen jäähdytystehon omaava laite yhden pisteen. Kahden laitteen omatessa samansuuruisen nimellisen jäähdytystehon tasatilanne ratkaistiin tarkastelemalla mahdollisia jäähdytystehoa alentavia seikkoja laitteiden toimintaperiaatteista. Mikäli toisen laitteen nimellistä jäähdytystehoa tietyvästi alentaa jokin seikka, niin laitteen jäähdytysteho on kilpailevaa laitetta huonompi.

Kuten kappaleessa 3.2.6 mainittiin, niin Nilan VPL 15 Top M2 laitteesta ei ilmoiteta kylmäkerrointa tai suoranaista jäähdytystehoa. Näitä tietoja tarvittiin, jotta laitetta voidaan vertailla muihin laitteisiin, joten nämä arvot laskettiin. Kuviossa 2. olevassa kaaviossa esitetään laitteen jäähdytyskyky kahdella eri ilmanvaihtomäärällä. Ilmanvaihtomäärällä 200 m³/h lämpötila laskee noin 14,8 Kelviniä ja 300 m³/h noin 13 Kelviniä. Näillä tiedoilla pystyttiin laskemaan ilman ominaislämpökapasiteetin 1001 J/(K·kg) ja tiheyden 1,293 kg/m³ kanssa laitteen jäähdytysteho (TAULUKKO 3.) lämpötehon kuljetuksessa kaavalla (Kaava 3). (Mäkelä ym. 2000. 111, 179).

$$\Phi = q_m \cdot c \cdot \Delta T \quad \text{KAAVA 3.}$$

jossa,

q_m on massavirta. [kg/s]

c on ominaislämpökapasiteetti. [J/(K·kg)]

ΔT on lämpötilan muutos. [K]

Nilan VPL 15 Top M2 jäähdytysteho 200 m³/h ilmanvaihtomäärällä:

$$\Phi = \frac{200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} \cdot 1,293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1001 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}} \cdot 14,8 \text{ K} = 1064 \text{ W}$$

TAULUKKO 3. Nilan VPL Top M2 lasketut jäähdytystehot

| Ilmanvaihtomäärä (m ³ /h) | Lämpötilan lasku (K) | Jäähdytysteho (W) |
|--------------------------------------|----------------------|-------------------|
| 200 | 13,0 | 1064 |
| 250 | 13,9 (Interpoloitu) | 1249 |
| 300 | 14,8 | 1402 |

Kun laitteen jäähdytysteho oli selvillä, niin kylmäkerroin (TAULUKKO 4.) pystyttiin laskemaan hyötysuhteen kaavalla (KAAVA 4. Mäkelä ym. 2000, 92.) käyttämällä ottotehona laitteen esitteessä ilmoitettua enimmäissyöttötehoa 720 W.

$$\eta = \frac{\text{antoteho}}{\text{ottoteho}} \quad \text{KAAVA 4.}$$

Kylmäkerroin 200 m³/h ilmanvaihtomäärällä:

$$\text{EER} = \frac{1064 \text{ W}}{720 \text{ W}} = 1,48$$

TAULUKKO 4. Nilan VPL 15 Top M2 lasketut kylmäkerroimet

| Ilmanvaihtomäärä (m ³ /h) | Kylmäkerroin (EER) |
|--------------------------------------|--------------------|
| 200 | 1,48 |
| 250 | 1,74 |
| 300 | 1,95 |

Laskuissa päätettiin käyttää interpoloimalla saatua 250 m³/h ilmanvaihtomäärän jäähdytystehoa ja kylmäkerrointa, sillä sen arveltiin kuvaavan parhaiten laitteen keskimääräisiä arvoja.

Investointikustannusten määrä

Vertailtavien jäähdytyslaitteiden investointikustannusten määrät selvitettiin pyytämällä laitteista tarjoukset Suomessa toimivilta jälleenmyyjiltä. Tarjouksen tuli sisältää laitteen asennukseen vaadittavat tarvikkeet ja rahti 30 kilometrin päässä toimittajasta sijaitsevalle työmaalle. Split-toimintaperiaatteella toimivissa jäähdytyslaitteissa tarjous pyydettiin laitteesta asennettuna toimittajasta 30 kilometrin päässä sijaitsevalle työmaalle, sillä asennuksen saa suorittaa vain kylmälaite-asennuksiin pätevä taho. Muut laitteet ovat työmaalla työskentelevän henkilöstön

asennettavissa. Asennustöissä tarvittavien tarvikkeiden (TAULUKKO 5.) hinnat poimittiin tavarantoimittajien verkkosivuilta ja menekit laskettiin kuluvaan materiaalin ja hävikin mukaan. YIT Suomi Oy arvioi asennustöiden ja oheispalveluiden hinnat kokemukseräisesti (TAULUKKO 6.). Muutostyökatteena käytettiin X %. Tämä osa opinnäytetyötä sisältää yksityisiä liike- ja ammattisalaisuuksia, jotka paljastuessaan saattaisivat aiheuttaa haittaa yrityksen toiminnalle tai asettaa sen kilpailijat otolliseen asemaan (Oikeusministeriö 1999). Kuusi pistettä vertailussa sai laite, jonka investointikustannukset olivat edullisimmat ja yhden pisteen se, jonka investointikustannukset olivat korkeimmat.

TAULUKKO 5. Jäähdytyslaitteiden asennustarvikkeiden hinnat.

| Tarvikkeen nimi | Hinta (€ sis. alv. 24 %) | Lähde |
|--|--------------------------|-------------|
| Johtokouru 40 mm x 30 mm 2 m | 12,50 | k-rauta.fi/ |
| Letkunkiristin PROF 16 - 25 mm 2 kpl | 3,45 | k-rauta.fi/ |
| Muovikanava Uponor 3 m 160 mm | 44,90 | k-rauta.fi/ |
| Poistoletku PROF 3 m | 10,95 | k-rauta.fi/ |
| Polyuretaanimassa Sikaflex -FC+ 310 ml | 16,70 | k-rauta.fi/ |
| Tulppa Lindab TUTL-3-160-GALV-EI60 | 28,12 | jukira.fi/ |
| Ulkosäleikkö US-AV-160 | 15,45 | k-rauta.fi/ |

TAULUKKO 6. Jäähdytyslaitteiden asennustöiden ja oheispalveluiden hinnat.

| Asennustyön tai oheispalvelun nimi | Hinta (€ sis. alv. 24 %) |
|--|--------------------------|
| Tämä osa opinnäytetyötä sisältää yksityisiä liike- ja ammattisalaisuuksia, jotka paljastuessaan saattaisivat aiheuttaa haittaa yrityksen toiminnalle tai asettaa sen kilpailijat otolliseen asemaan (Oikeusministeriö 1999). | |

Käyttökustannusten määrä

Vertailtavien jäähdytyslaitteiden käyttökustannuksien arviointia varten suoritettiin tavanomaisen kerrostalokaksion jäähdytysenergian tarpeen dynaaminen laskenta kesäkuukausilta Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeen mukaan YIT Suomi Oy:n toimesta. Simuloinnin tuloksena jäähdytysenergian tarve oli YIT Suomi Oy:n edustajan mukaan seuraava: ”Normaalin kaksion jäähdyttäminen 25°C:een kesäkuukausina kuluttaa n. 460 kWh energiaa”. Energiantarpeen ja

jäähdytyslaitteen kylmäkertoimen perusteella saatiin laskettua laitteen energiankulutus kesäkuukausina kääntämällä hyötysuhteen kaava kertomaan ottoteho (KAAVA 5. Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö 2000. 111, 179). Sähköenergian hintana käytettiin 0,2103372 €/kWh sis. alv. 24 %. (Energiavirasto 2019). Kertomalla ottotehon sähkön hinnalla saatiin jäähdytyslaitteen käyttämän sähkön hinta.

$$\eta = \frac{\text{antoteho}}{\text{ottoteho}} \quad \text{KAAVA 5.}$$

$$\rightarrow \text{ottoteho} = \frac{\text{antoteho}}{\eta}$$

Vertailussa mukana olevan käyttöveteen lauhduttavan jäähdytyslaitteen vedenkulutus arvioitiin laitteen valmistajan kertoman vedenkulutustiedon 0,1 m³/h ja laitteen käyntiajan perusteella. Käyntiaika laskettiin jakamalla jäähdytysenergian tarve laitteen keskimääräisellä jäähdytysteholla 3,45 kW. Vedenkulutuksen kustannus saatiin kertomalla käyttötunnit, vedenkulutus ja veden hinta keskenään. Talousveden ja jäteveden hintana käytetään 3,92 €/m³ sis. alv. 24 %. (Jokela 2020).

$$V = \frac{460 \text{ kWh}}{3,45 \text{ kW}} = 133,333 \dots h$$

$$\text{Vedenkulutuksen kustannus} = 133,333 \text{ h} \cdot 0,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 3,92 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 52,27 \text{ €}$$

Koska asuntojen ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutus on asunto-osakeyhtiön sähkönkulutusta, eikä näy asukkaiden omissa sähkölaskuissa (Pirttijärvi 2021), niin Nilan VPL 15 Top M2 laitteen käyttökustannukset ovat 0,00 €. Tilanteessa ei ilmene osakkaan asettamista eriarvoiseen asemaan, sillä viilentävän ilmanvaihtokoneen poistoilmalämpöpumppu säästää lämmitysenergiaa talvisin ottamalla energiaa tehokkaammin talteen. Näin säästetyllä energialla voidaan ajatella jäähdytettävän asuntoa kesäisin.

Laite, jolla oli pienimmät käyttökustannukset, sai kuusi pistettä ja laite, jolla oli suurimmat käyttökustannukset, sai yhden pisteen.

Laitteen toiminnan itsenäisyys

Jäähdytyslaitteiden toiminnan itsenäisyyttä arvioitiin laskemalla eri laitteiden käyttäjältä vaatimien toimenpiteiden kesto yhteen. Toimenpiteiden kesto (TAULUKKO 7.) ja määrä arvioitiin kokemusperäisesti.

TAULUKKO 7. Jäähdytyslaitteiden vaatimat toimet ja niiden kesto.

| Laite | Toimi | Kesto (min) | Määrä (krt/a) | Yht. (min/a) |
|----------------------------|--|-------------|---------------|--------------|
| Ilmalämpöpumppu | Parvekelasien avaus, jos ulkoyksikkö on parvekkeella. | 2 | 20 | 40 |
| Kaikki | Laitteen puhdistus. | 15 | 2 | 30 |
| Siirrettävä jäähdytyslaite | Laitteen nouto varastosta, asennus ja puhdistus / purku ja vieminen varastoon. | 60 | 2 | 120 |
| Siirrettävä jäähdytyslaite | Laitteen vesiastian tyhjenys. | 2 | 40 | 80 |

SUMMAUS:

| | |
|---|-----|
| Ilmalämpöpumppu, ulkoyksikkö asunnon parvekkeella. | 70 |
| Multisplit- ilmalämpöpumppu. | 30 |
| Siirrettävä jäähdytyslaite. | 200 |
| Kiinteästi asennettava jäähdytyslaite ilman ulkoyksikköä. | 30 |
| Käyttöveteen lauhduttava jäähdytyslaite. | 30 |
| Poistoilmaan lauhduttava jäähdytyslaite. | 0 |

Koska poistoilmaan lauhduttava jäähdytyslaite on integroitu asunnon ilmanvaihtokoneeseen, niin sen kunnossapitovastuu ja siten myös suodattimien vaihto on asunto-osakeyhtiön vastuulla. Näin ollen poistoilmaan lauhduttava jäähdytyslaite ei vaadi asukkaalta ollenkaan toimia. Multisplit-ilmalämpöpumpun ollessa asunto-osakeyhtiön kunnossapitovastuulla, on sisäyksikön puhdistus edelleen asukkaan vastuulla. Toimenpidettä voi verrata asunnon ilmanvaihtoventtiilin puhdistukseen, joka on osa ilmanvaihtojärjestelmää, mutta silti asukkaan vastuulla. Vähiten toimenpiteitä asukkaalta vaativa laite sai kuusi pistettä ja eniten toimenpiteitä asukkaalta vaativa laite sai yhden pisteen.

Laitteen koko ja näkyvyys asunnon sisustuksessa

Jäähdytyslaitteiden ulkonäköä arvioitiin laitteen tai laitteiston tilavuuden perusteella painottaen kokoa sijoituspaikan näkyvyyskertoimella (TAULUKKO 8.). Mitä näkyvämmällä paikalla laite sijaitsee, niin sitä suuremmalla kertoimella tilavuus kerrottiin. Näkyvyyskertoimen suurimmaksi arvoksi asetettiin 1,5 ja loput kertoimet interpoloitiin yhden ja puolentoista väliin vertailtavien laitteiden määrän mukaan. Paikan näkyvyys arvioitiin kokemusperäisesti asunnossa oleskelevan ihmisen näkökulmasta. Laitteen ulkonäöllä ei ollut merkitystä tässä vertailussa.

TAULUKKO 8. Jäähdytyslaitteiden näkyvyyskertoimet.

| Laitteen paikan näkyvyys | Näkyvyyskerroin |
|------------------------------------|-----------------|
| Eniten näkyvin paikka | 1,5 |
| Toiseksi eniten näkyvin paikka | 1,4 |
| Kolmanneksi eniten näkyvin paikka | 1,3 |
| Kolmanneksi vähiten näkyvin paikka | 1,2 |
| Toiseksi vähiten näkyvin paikka | 1,1 |
| Vähiten näkyvin paikka | 1 |

Jäähdytyslaitteen korvattaessa toisen teknisen laitteen, niin alkuperäisen laitteen tilavuus vähennettiin jäähdytyslaitteen tilavuudesta. Näkyvyyskertoimella painotetun tilavuuden mukaan vähiten näkyvin laite ansaitsi kuusi pistettä ja eniten näkyvin yhden pisteen.

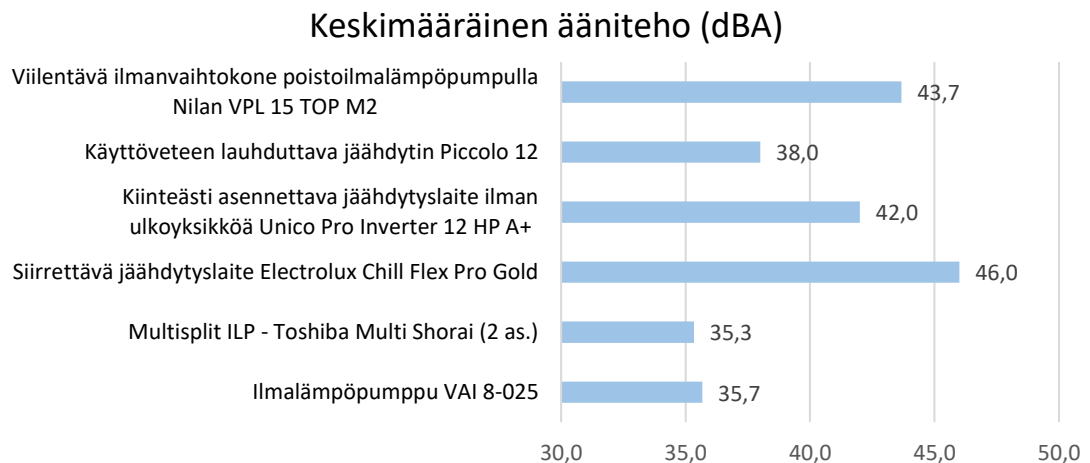
5.2 Verrattavat laitteet ja niiden ominaisuudet

Vertailuun valittiin kuusi laitetta. Laitteet valittiin Suomessa yleisesti myytävistä laitteista ja jokaisesta kappaleessa 3.2 esitellyistä laitetypistä valittiin korkealaatuisen kylmäkertoimen omaava malli. Vertailtavat laitteet on esitelty taulukossa 9 ja tekniset tiedot sekä hinnat liitteessä 2. Ominaisuuksien vertailu on esitetty kuvioissa 9 – 15.

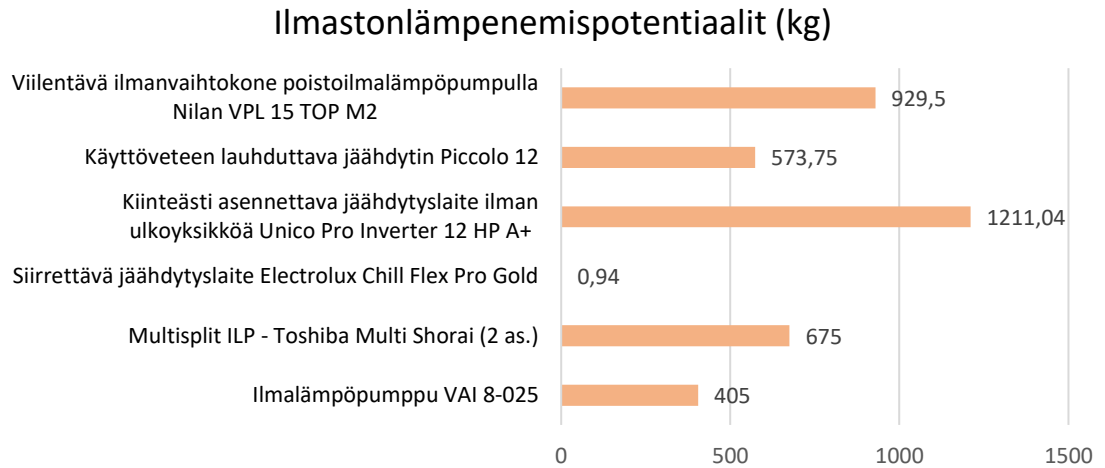
TAULUKKO 9. Vertailtavat jäähdytyslaitteet.

| Laitetyyppi | Merkki | Malli | Asennuspaikka |
|--|------------|----------------------------|--|
| Ilmalämpöpumppu | Vaillant | VAI 8-025 | UY: Asunnon parvekkeelle SY: Parvekkeen oven päälle |
| Multisplit- ilmalämpöpumppu kahteen asuntoon | Toshiba | Multi Shorai RAS-16PAVSG-E | UY: Parvekkeen katolle SY: Parvekkeen oven päälle |
| Siirrettävä jäähdytyslaite | Electrolux | EXP26U758CW | Olohuoneessa ulkoseinälle |
| Kiinteästi asennettava jäähdytyslaite ilman ulkoyksikköä | Unico | Pro Inverter 12 HP A+ | Olohuoneessa ulkoseinälle |
| Käyttöveteen lauhduttava jäähdytyslaite | Piccolo | 12 | SY: Kylpyhuoneen väliseinään ulkopuolelle LY: Kylpyhuoneeseen |
| Poistoilmaan lauhduttava jäähdytyslaite | Nilan | VPL 15 Top M2 | Kylpyhuoneeseen asunto ilmanvaihtokoneen tilalle |

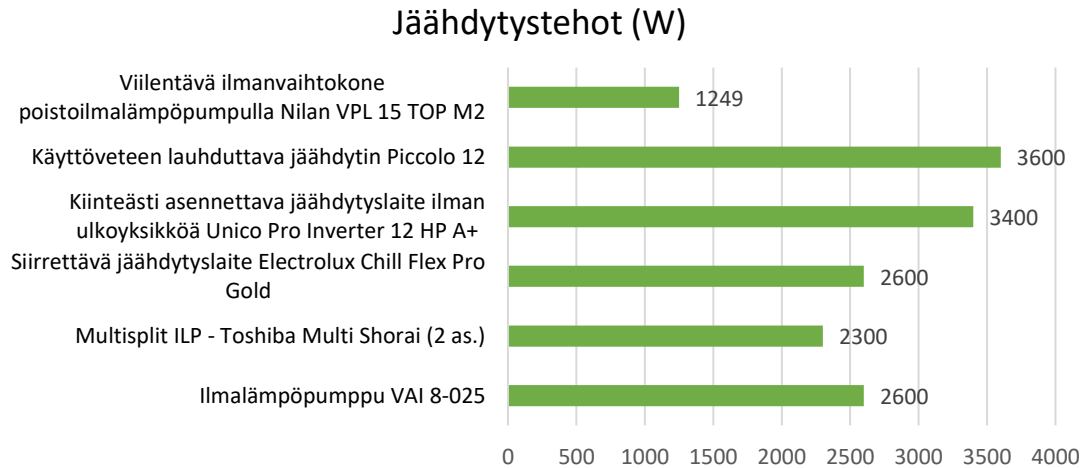
KUVIO 9. Vertailtavien laitteiden äänitehot.



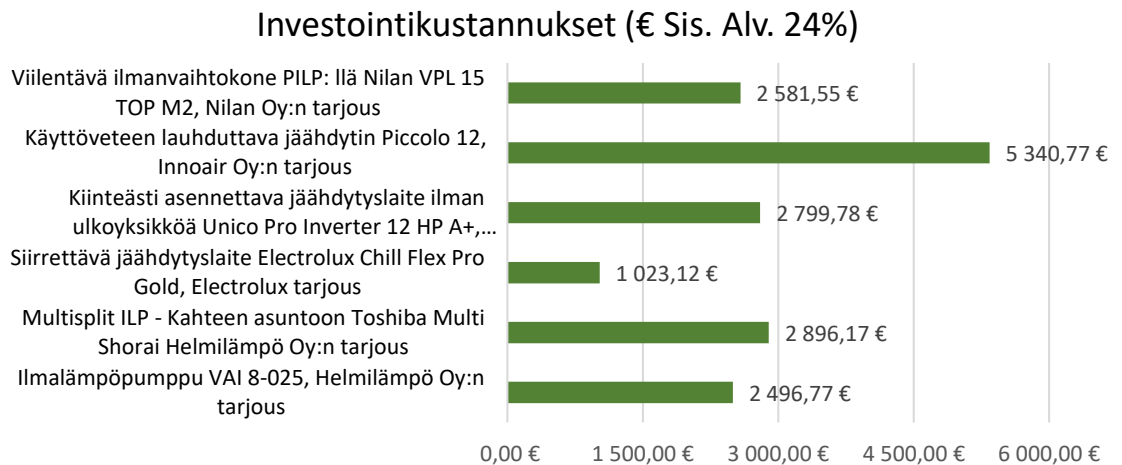
KUVIO 10. Vertailtavien laitteiden ilmastonlämpenemispotentiaalit.



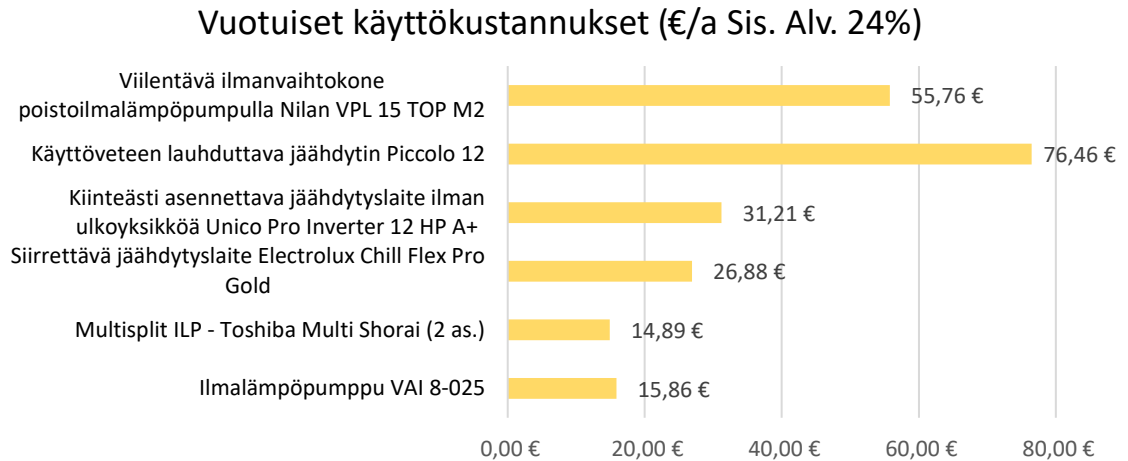
KUVIO 11. Vertailtavien laitteiden jäähdytystehot.



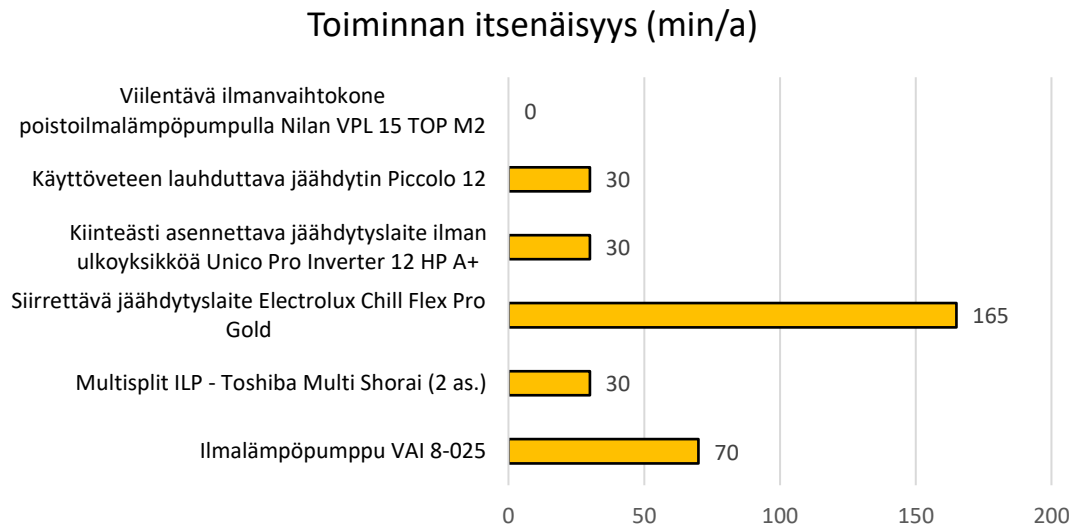
KUVIO 12. Vertailtavien laitteiden investointikustannukset.



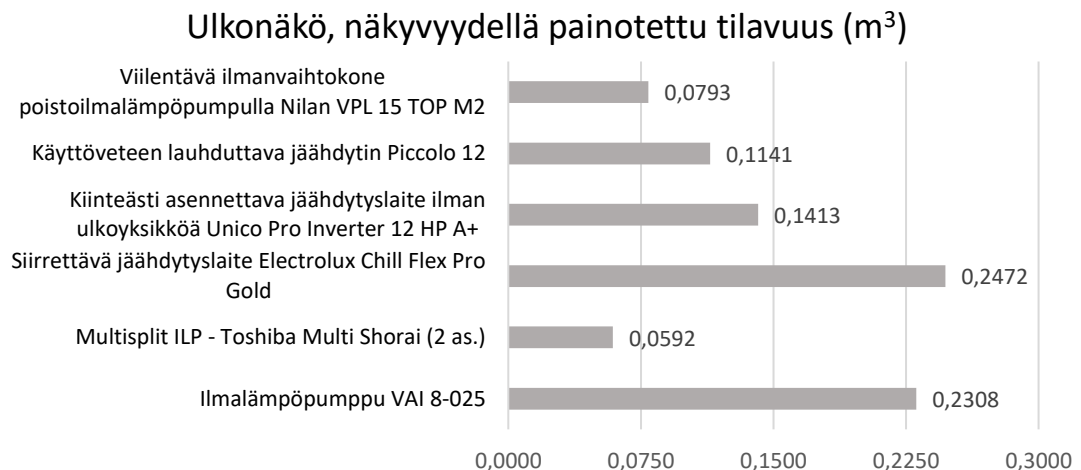
KUVIO 13. Vertailtavien laitteiden käyttökustannukset.



KUVIO 14. Vertailtavien laitteiden toiminnan itsenäisyys.



KUVIO 15. Vertailtavien laitteiden koot ja näkyvillä olon määrät sisustuksessa



5.3 Verrattavien ominaisuuksien pisteytys

Asiakaskyselyn kolmannessa kysymyksessä vastaajaa pyydettiin järjestämään sisäilmaa viilentävän laitteen ominaisuudet tärkeysjärjestykseen. Kyselyn päätyttyä tuloksissa näkyi, kuinka monta kertaa kukin ominaisuus on sijoitettu kullekin sijalle. Kysymyksen muotoilun vuoksi jokainen ominaisuus oli sijoitettava jollekin sijalle, joten jokainen ominaisuus oli saanut saman määrän vastauksia. Valintaprosentti on laskettu jakamalla kunkin ominaisuuden kullekin sijoitukselle saamien vastauksien lukumäärä kyseisen ominaisuuden kokonaisvastausten lukumäärällä kaavan 6. mukaan. Vastauksien lukumäärät sijoitettiin excel- laskenta- taulukko-ohjelmaan, jolla laskenta suoritettiin.

$$\text{Valintaprosentti} = \frac{\text{Kyseisen sijoituksen valintojen lukumäärä}}{\text{Kaikkien sijoitusten valintojen lukumäärä}} \quad \text{KAAVA 6.}$$

Ominaisuuden merkittävyys asiakkaille laskettiin kaavalla 7, jossa aiemmin lasketut valintaprosentit kullekin sijoitukselle kerrotaan painotuskertoimella. Taulukossa 10 esitetyt painotuskertoimet toimivat siten, että tärkeimmällä ominaisuudella on kaksinkertainen merkitys asiakkaalle verrattuna neljänneksi tärkeimpään ominaisuuteen ja vähiten tärkeimmän ominaisuuden painoarvo on nolla. Loppujen sijoitusten painotuskertoimet interpoloitiin näiden painotuskertoimien välille.

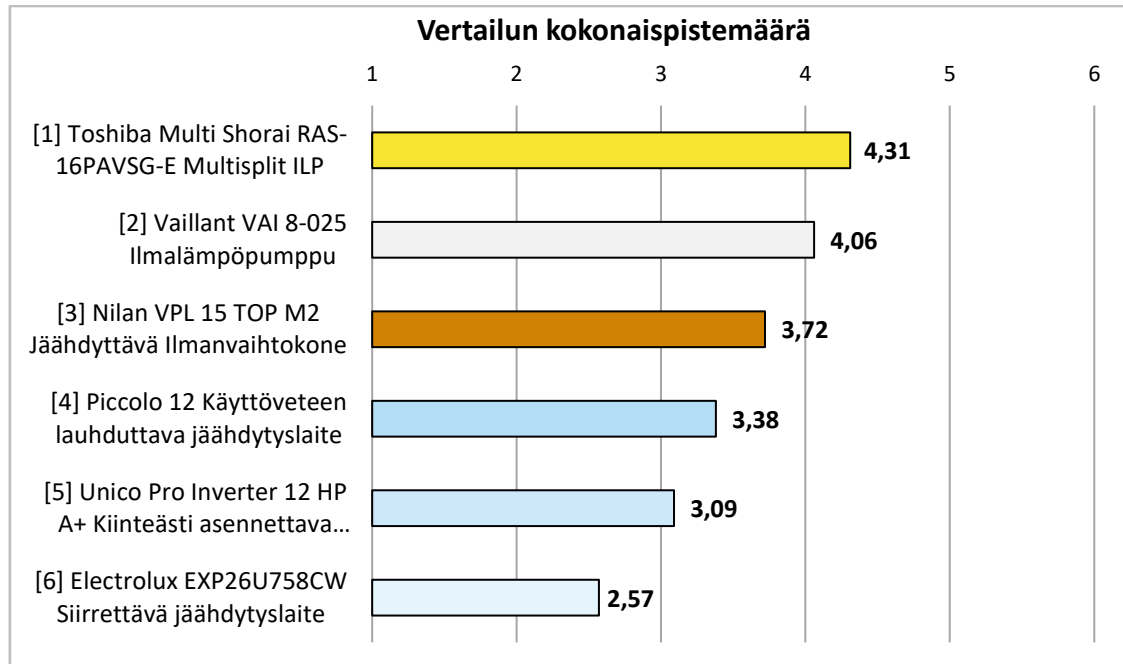
$$\begin{aligned} & \text{Ominaisuuden merkittävyys asiakkaille} && \text{KAAVA 7.} \\ & = \text{Valintaprosentti}_1 \cdot \text{Painotuskerroin}_1 + \text{Valintaprosentti}_{2\dots6} \\ & \quad \cdot \text{Painotuskerroin}_{2\dots6} + \text{Valintaprosentti}_7 \cdot \text{Painotuskerroin}_7 \end{aligned}$$

TAULUKKO 10. Valintajärjestyksen painotuskertoimet

| | |
|---|---------|
| 1 | 2 |
| 2 | 1,66666 |
| 3 | 1,33333 |
| 4 | 1 |
| 5 | 0,66666 |
| 6 | 0,33333 |
| 7 | 0 |

Ominaisuuden merkittävyys asiakkaille otettiin pisteytyksessä huomioon kertomalla kustakin ominaisuudesta jaettavat pisteet kyseisen ominaisuuden merkittävyydellä. Lopuksi kaikki pisteet summattiin yhteen. Tällä laskentamenetelmällä enimmäispistemäärä vertailussa on kuusi pistettä ja vähimmäispistemäärä on yksi piste. Pisteytyksen laskenta on esitetty liitteessä 2. Vertailun lopulliset pistemäärät ja paremmuusjärjestys on esitetty kuviossa 16.

KUVIO 16. Paikallisten jäähdytyslaitteiden vertailun tulokset.



5.4 Virhetarkastelu

Kyselyyn saatiin 100 vastausta. Vastauksista yksi oli palautettu laitteelta, jolla oli jo vastattu kyselyyn kertaalleen. Tässä tapauksessa ensimmäinen vastausyritys oli jätetty kesken ja toinen oli suoritettu loppuun. Tästä voitiin päätellä, että vasta toinen yritys oli onnistunut ja ensimmäinen voitiin poistaa.

Asiakaskyselyn kolmannessa kysymyksessä vastaajaa pyydettiin järjestämään sisäilmaa viilentävien laitteiden ominaisuudet tärkeysjärjestykseen. Ominaisuuksien oletusjärjestys kysymykseen siirryttäessä oli seuraava:

1. Toivon, että laite toimii mahdollisimman **hiljaisesti** ja asukkaan huomauttamatta.

2. Toivon, että laite on valmistettu tuottaen mahdollisimman **vähän hiilidioksidipäästöjä**.
3. Toivon, että laite pystyy pitämään sisälämpötilan **niin viileänä kuin mahdollista**.
4. Toivon, että laite on mahdollisimman **edullinen hankkia**.
5. Toivon, että laite hyödyntää energian mahd. tehokkaasti pitäen **käyttökustannukset pienempänä**.
6. Toivon, että laite vaatii **mahdollisimman vähän vaivannäköä** asukkaalta.
7. Toivon, että laite on mahdollisimman **huomaamaton** asunnon sisustuksessa.

Mikäli vastaaja on kiirehtinyt kyselyä eteenpäin, niin hän on saattanut jättää kohdan kokonaan huomiotta ja jättää vastaukset oletusjärjestykseensä. Tässä tapauksessa sovellus tulkitsee, että kysymykseen jätettiin vastaamatta, eikä rekisteröi vastauksia lainkaan. Mikäli vastaaja on tarkoituksella jättänyt ominaisuudet oletusjärjestykseensä ja kysely on poistanut vastaukset, niin se vääristää tuloksia.

5.5 Tulosten tarkastelu

YIT Suomi Oy:n asuntorakentamisen yksikössä Tampereella on ollut tapana toteuttaa asuntoon muutostyönä tilattu jäähdytys ilmalämpöpumppuratkaisulla. Myös multisplit-ilmalämpöpumppuja on käytetty esimerkiksi kohteissa, joissa ylimpien kahden kerroksen asunnot varustetaan jäähdytyksellä.

Käytetyt toimintatavat ja vertailun paremmuusjärjestys ovat linjassa toisiinsa nähden hyvin etenkin, kun otetaan myös huomioon erilaisten jäähdytysratkaisuiden haasteet. Näin ollen voidaan katsoa, että käytetyt toimintatavat ovat olleet perusteltuja ja asiakkaille parhaiten arvoa tuottavia.

6 POHDINTA

Työssä laaditun kyselyn perusteella lähes kaikki asunnon ostoa harkitsevat henkilöt toivovat asunnon olevan varustettu viilennyksellä. Lisäksi yli puolet vastanneista toivoisi jäähdytyksen olevan valmiiksi suunniteltu ja toteutettu, joten keskitettyjen jäähdytysratkaisujen suosiminen on toivottavaa. Jäähdytyslaitteen tilaaminen muutostyönä oli vähiten suosituin vaihtoehto, mutta jäähdytyksen hankkiminen asuntoon leasing-mallilla ostopalveluna sai vastaajista neljänneksen suosion.

Jäähdytyslaitteiden vertailun tuloksista selviää, että asiakkaat arvostaisivat muutostyönä asennettavista laitteista eniten multisplit- ilmalämpöpumppua, toiseksi eniten ilmalämpöpumppua ja kolmanneksi eniten viilentävää ilmanvaihtokonetta. Multisplit- ilmalämpöpumpun muutostyönä tarjoamiseen liittyvien haasteiden vuoksi YIT Suomi Oy:n Tampereen asumisen yksikön toimintatavat ovat olleet täysin linjassa vertailun tulosten kanssa, joten toistaiseksi toimintatapojen muutokselle ei ole muutostöiden jäähdytysratkaisujen osalta syytä. Tekniikan kehityksellä ja tulevaisuuden innovaatioilla saattaa kuitenkin olla vaakakupin keinauttava vaikutus. Tästä huolimatta vertailun voittaneen multisplit-ilmalämpöpumpun käyttämistä muutostöissä voidaan kehittää paljon keksimällä keinoja päästä joistakin ratkaisun haasteista yli. Esimerkiksi voiko rakennuksen julkisivuun luoda piilotettuja sijoituspaikkoja ulkoyksiköille, tai voiko jäähdytyslaitteen yhteisomistajuuden kynnyistä pienentää merkittävästi lakien mukaan laadituilla selkeillä säännöillä ja ohjeilla. Voidaan myös pohtia tulisiko nykypäivänä kaikki asunnot sittenkin olla varustettu jäähdytyksellä asiakkaiden toiveiden mukaan, jolloin paikalliset jäähdytysratkaisut kävisivät uudisrakentamisessa hyödyttömiksi.

Työn luotettavuutta rajaa jokseenkin kyselyn kapea otanta, sillä se edustaa vain tiettyä osaa asumisen asiakaskunnasta ja sitäkin vain noin sadan henkilön osalta. Lisäksi kyselyssä viides kysymys saattoi olla liian haastava kohderyhmälle, jolloin tulokset keskitetyn jäähdytysjärjestelmän suosiosta eivät ole luotettavia. Tarkemman tutkimustiedon puuttuessa on varmempaa luottaa asuntojen myyntitilastoihin jäähdytysjärjestelmien taloudellisen kannattavuuden arvioinnissa.

LÄHTEET

Energiavirasto. Sähkön hintatilastot. Sähkön toimitusvelvollisuus- ja siirtohintojen kehitys & Sähkön tarjoushintojen kehitys. Laskentataulukko. Luettu 11.2.2021. <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>

Ilmasto-opas, Ilmatieteenlaitos & Ympäristöministeriö. 2013. IPCC: n 5 arviointiraportti osa 1. Pdf- tiedosto. https://ilmasto-opas.fi/ilocms-portlet/article/178e8529-faff-4f28-a2eb-f9c322eefe54/r/0b9e6783-9185-4cb8-9503-a10c81cebb0b/ipcc5_arviointiraportti_osa1_final_rgb.pdf

Ilmasto-opas, Ilmatieteenlaitos & Ympäristöministeriö. 2013. IPCC: n 5 arviointiraportti osa 2. Pdf- tiedosto. https://ilmasto-opas.fi/ilocms-portlet/article/8b20ad45-b92f-46bd-abd3-fdb98ccc4064/r/b0316aab-290a-462b-ba84-3464260198bd/wq2_suomeksi_rgb.pdf

Ilmatieteenlaitos. Helletilastot. Verkkosivu. Luettu 21.1.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/helletilastot>

Innoair Oy. Piccolo jäähdytin ilman ulkoyksikköä. Verkkosivu. Luettu 17.3.2021. <https://www.innoair.fi/piccolo12>

Jokela Petri, Tampereen kaupunki. Vesi- ja jätevesimaksuihin korotuksia vuoden 2021 alusta. Tiedote. Julkaistu 9.11.2020. Luettu 11.2.2021. https://www.tampere.fi/tampereen-kaupunki/ajankohtaista/tiedotteet/2020/11/09112020_3.html

Lechner, N. 2008. Heating, cooling, lighting, Sustainable design methods for architects. Kolmas painos. **New Jersey**: John Wiley & Sons, Inc.

Mäkelä, M. Soininen, L. Tuomola, S. Öistämö, J. Tekniikan kaavasto. 16 painos. **Tampere**. Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Nilan Suomi Oy. VPL 15 Top M2. Lämpöpumpulla viilentävä ilmanvaihto. Verkkosivu. Luettu 9.3.2021. <https://www.nilan.fi/tuotteet/ilmanvaihtokoneet-lto/vpl/vpl-15-top-m2/>

Oikeusministeriö, Laki viranomaisten toiminnan julkisuudesta 21.5.1999/621. 24§ 17, 20k. Laki. Julkaistu 14.4.2021. Päivitetty 11.12.2020. Luettu 23.4.2021. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990621#L6P24>

Olimpiasplendid S.p.A., Air conditioners without outdoor unit. Product catalogue. Pdf- tiedosto. Luettu 9.3.2021. https://www.olimpiasplendid.com/media/files/4438_ENG2020_UNICO%20RANGE.pdf

Oy Electrolux Ab. Siirrettävä ilmastointilaite EXP26U758CW. Tuotetiedot. Pdf-tiedosto. Luettu 9.3.2021. <https://www.electrolux.fi/vacuums-home-comfort/air-comfort/air-conditioners/portable-air-conditioner/exp26u758cw/>

Pirttijärvi, A. 2021. Haastattelu. 12.1.2021. YIT Suomi Oy. Hatanpään valtatie 11, Tampere.

Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennustieto Oy, Sisäilmastoluokitus 2018. RT-kortti. RT 07-11299, LVI 05-10629, SIT 05-610149, Ratu 444-T, KH 27-00662. Julkaistu 1.5.2018.

<https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/kortit/RT%2007-11299>

Scanoffice Oy, F-kaasuasetus. 2020. Esimerkki joidenkin kylmäaineiden GWP-arvoista. Verkkosivu. Julkaistu 6.7.2020. Luettu 10.3.2021.

<https://www.scanoffice.fi/f-kaasuasetus/>

Silvan, J. Säteri, J. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille, Ilmastointitekniikka osa 1, **Helsinki**: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sosiaali- ja terveysministeriö, Asumisterveysohje 2003:1. Ohje. Julkaistu 1.5.2003. https://stm.fi/documents/1271139/1371655/Asumisterveysohje_tiivistelma_fi.pdf/8db72c91-b040-48bf-87b5-a2efd7379686

Sosiaali- ja terveysministeriö, Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. Asetus. Julkaistu 23.4.2015.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>

Suomalainen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelma. 1995. Yhteenveto. Pdf-tiedosto. n.d. <https://www.aka.fi/globalassets/tietysti1.fi/awanhat/documents/tiedotot/asiakirjat/silmu.pdf>

Suomen jäähdytystekniikan museo, Ylöjärvi. Perustettu 23.2.1986. Vierailtu 23.2.2021.

Toshiba HVAC Finland. Useamman tilan ilmalämpöpumppu. Esite. Pdf-tiedosto. Luettu 8.4.2021. <https://www.toshibasuomi.fi/wp-content/uploads/2020/04/Toshiba-R32-MULTISPLIT-ESITE.pdf>

Vaillant Oy. ClimaVAIR plus - ilmalämpöpumppujen valikoima. Esite. Pdf-tiedosto. Luettu 9.3.2021. <https://www.vaillant.fi/asiakkaat/tuotteet/climavair-plus-ilmalampopumppujen-valikoima-9216.html#specification>

Ympäristöministeriö, Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 1009/2017. Asetus. Julkaistu 27.12.2017. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Julkaistu-sisailmasto-2017-AAD7DB92_F571_4766_A3F1_BFF63383191B-133875.pdf/fb05e727-5b27-6a6f-1c27-0ee7d941345e/Julkaistu-sisailmasto-2017-AAD7DB92_F571_4766_A3F1_BFF63383191B-133875.pdf?t=1603260102828

LIITTEET

1 (9)

Liite 1. Asiakaskysely

**SISÄILMAN VIILENNYS**

Tämä kysely on osa Tampereen ammattikorkeakoulussa tehtävää rakennus- ja yhdyskuntatekniikan alan opinnäytetyötä.

Kyselyyn vastaamiseen ei vaadita henkilötietojen luovutusta, eli vastaaminen tapahtuu anonymisti ja henkilötietojasi ei tallenneta tai jaeta kolmansille osapuolille. Kyselyssä on kahdeksan kysymystä ja vastaamiseen kuluu noin viisi minuuttia. Kiitos tuestasi.

Opinnäytetyössä käsitellään erilaisia viilennysratkaisuja asuntotuotannon muutostöissä. Opinnäytetyön on tilannut YIT Suomi Oy. Mikäli sinulla esiintyy kysyttävää kysymyksistä, niin voit olla yhteydessä sähköpostitse työn tekijään osoitteella topias.bergius@tuni.fi

Vastaamalla kyselyyn hyväksyt, että vastauksiasi käytetään opinnäytetyön tekemisessä. Lisäksi tuet tekniikan alan opiskelua ja autat kehittämään rakennusalaan, sekä asuntotuotantoa. Kyselyn vastausaika on helmi- ja maaliskuussa 2021. Paina nuolipainiketta aloittaaksesi.



**1. Mihin tarkoitukseen olet ajatellut ostaa asunnon?**

Asumiseen

Sijoittamiseen

2. Haluaisitko, että uusi asuntosi on varustettu sisäilman viilennyksellä?

Kyllä

En





3. Järjestä seuraavat ominaisuudet tärkeysjärjestykseen raahaamalla lauseita sen mukaan mitä toivot eniten sisäilmaa viilentävältä laitteelta. Yksi on tärkein, kaksi toiseksi tärkein jne.

Toivon, että laite toimii mahdollisimman **hiljaisesti** ja asukkaan huomaamatta.

Toivon, että laite on valmistettu tuottaen mahdollisimman **vähän hiilidioksidipäästöjä**.

Toivon, että laite pystyy pitämään sisälämpötilan **niin viileänä kuin mahdollista**.

Toivon, että laite on mahdollisimman **edullinen hankkia**.

Toivon, että laite hyödyntää energian mahd. tehokkaasti pitäen **käyttökustannukset pienempinä**.

Toivon, että laite vaatii toimiakseen **mahdollisimman vähän vaivannäköä** asukkaalta.

Toivon, että laite on mahdollisimman **huomaamaton** asunnon sisustuksessa.

4. Kuinka paljon lisähintaa olisit valmis maksamaan sisäilman viilennyksestä asunnon oston yhteydessä? Vedä palloa vaakasuunnassa muuttaaksesi lukemaa.

Korkeammalla lisähinnalla mahdollistat useampia kysymyksessä kolme esitettyjä ominaisuuksia.

Lisähinta (€ Alv. 24 %)

0 600 1200 1800 2400 3000

Sisäilman viilennys



5. Millä periaatteella maksaisit mieluiten sisäilman viilennyksestä?

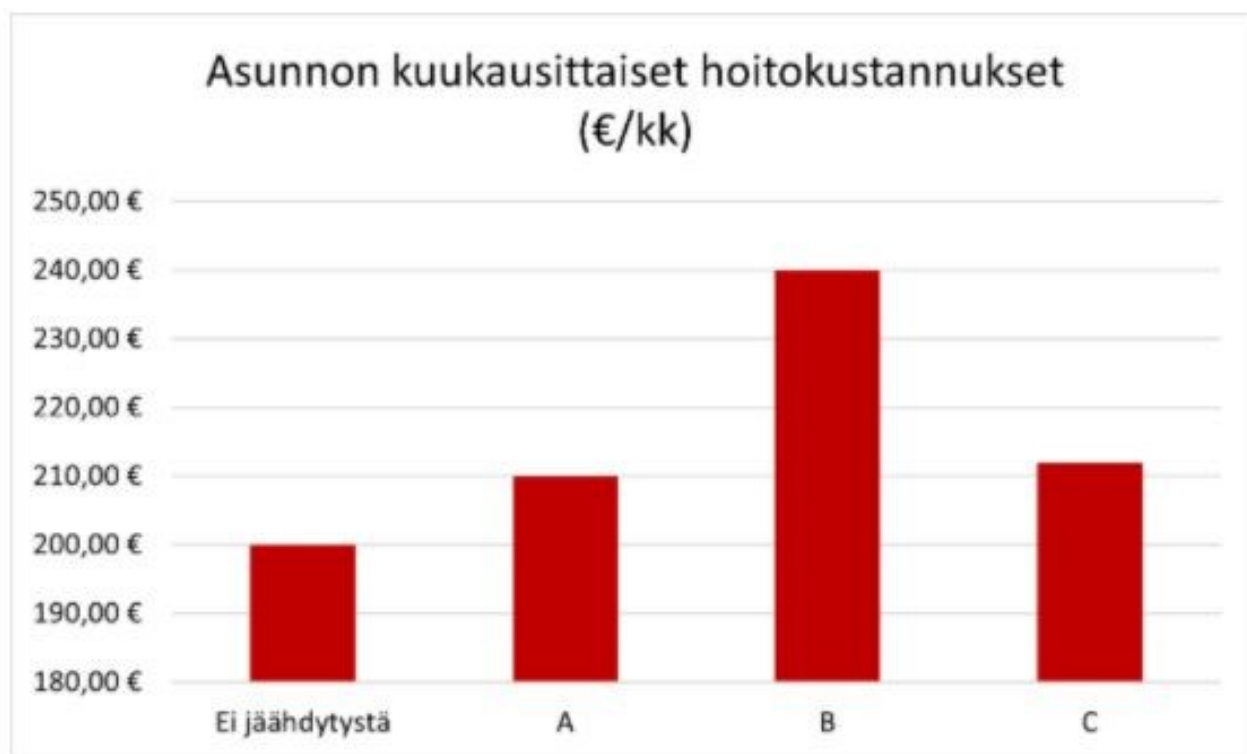
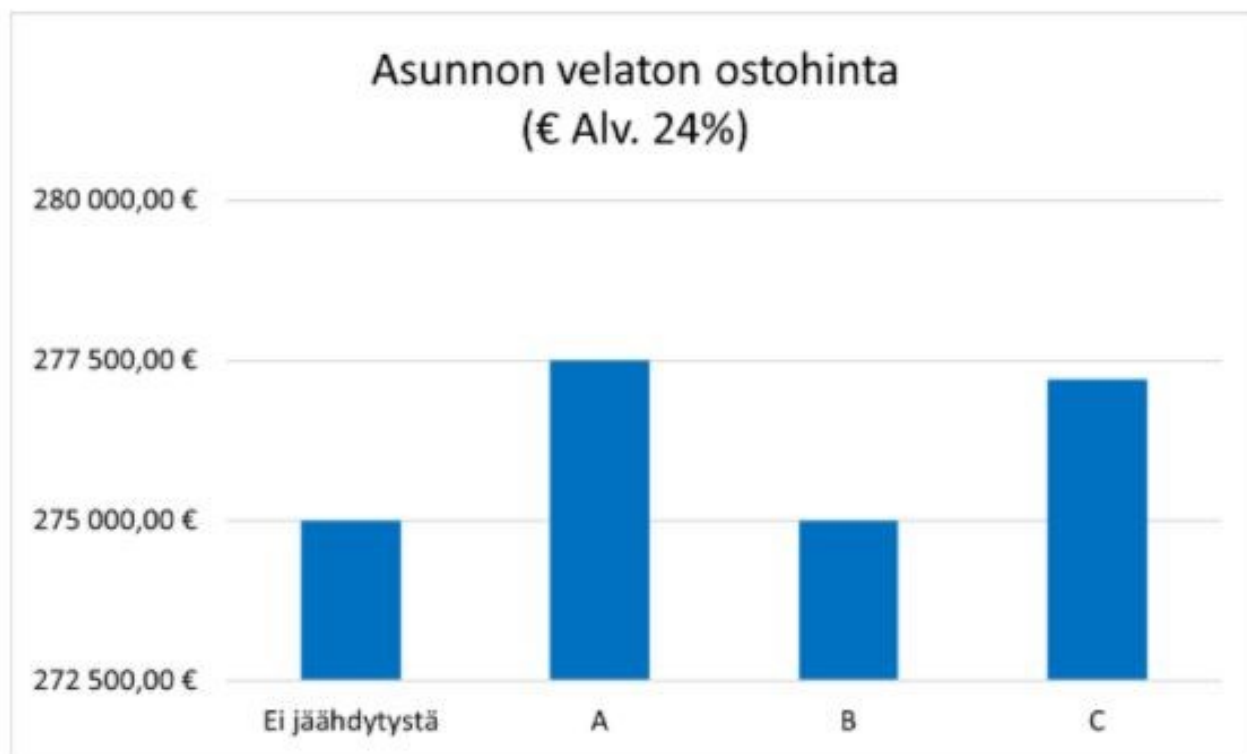
Kysymyksen alla on esitetty vaihtoehtojen vaikutuksia osto- ja asumiskustannuksiin.

Kaavioissa esitetyt hinnat ovat esimerkkejä.

A. Ostaisin mieluiten asunnon, johon on suunniteltu ja rakennettu sisäilman viilennys valmiiksi vaikka se olisikin kalliimpi. Lisäksi maksaisin viilennykseen kuluvasta energiasta osana hoitovastikettani.

B. Ostaisin mieluiten asunnon, johon on suunniteltu ja rakennettu sisäilman viilennys valmiiksi samalla hinnalla kuin ilman viilennystä. Vasta halutessani ottaa viilennyksen käyttöön maksaisin viilennyslaitteistosta ja sen käyttöön kuluvasta energiasta erillistä viilennysvastiketta.

C. Ostaisin mieluiten asunnon, johon ei ole suunniteltu viilennystä ja tilaisin viilennyslaitteen lisävarusteena. Lisäksi maksaisin viilennykseen kuluvasta energiasta omassa sähkölaskussani.





Älykäs koti

Ohessa lyhyt tietoisuus älykkäistä varusteista ja laitteista. Jos koet tietäväsi jo tarpeeksi älykkäistä ratkaisuista, niin rullaa alaspäin päästäksesi suoraan kysymyksiin.

Varuste tai laite on älykäs, jos sen voi liittää verkkoon. Verkkoon yhdistäminen mahdollistaa varusteen tai laitteen toiminnan tarkkailun ja ohjaamisen verkon välityksellä vaikkeet ole kotona. Saat myös ilmoituksia tai varoituksia laitteiden häiriöistä ja pystyt näin välttämään ikäviä sattumuksia.

Esimerkiksi älykkäässä lukituksessa lukituksen ovilaitte havaitsee oveen kohdistuvan murtoyriyksen ja ilmoittaa siitä asukkaalle. Voit avata älylukituksen etäavaimella, mobiilisovelluksella tai näppäilemällä koodin ovilaitteeseen. Mobiiliavaus mahdollistaa esimerkiksi toimituksen vastaanottamisen vaikka olet poissa kotoa. Älykkään lukituksen kanssa avaimen hukkaaminen on pikku juttu, sillä se voidaan tarvittaessa poistaa käytöstä välittömästi vaikuttamatta muiden avaimien toimintaan. Älykkäällä lukituksella voit myös valvoa ja ohjata kuka ovesta liikkuu ja koska.

Jotkin älykkäät laitteet voidaan myös ohjata suorittamaan toimintoja itsenäisesti.

Älykäs valaistus voidaan esimerkiksi ohjata säätämään valon kirkkautta ja lämpötilaa kellonajan mukaan. Kirkas valkoinen valo aamuisin tehostaa ihmisen kortisolin tuotantoa ja piristää asukasta, kun taas hämärä lämmin valo iltaisin tehostaa ihmisen melatoniinin tuotantoa ja saa asukkaan nukahtamaan nopeammin.

Jotkin älykkäät laitteet voidaan myös ohjata suorittamaan toimintoja itsenäisesti.

Älykäs valaistus voidaan esimerkiksi ohjata säätämään valon kirkkautta ja lämpötilaa kellonajan mukaan. Kirkas valkoinen valo aamuisin tehostaa ihmisen kortisolin tuotantoa ja piristää asukasta, kun taas hämärä lämmin valo iltaisin tehostaa ihmisen melatoniinin tuotantoa ja saa asukkaan nukahtamaan nopeammin.

6. Haluaisitko, että uudessa asunnossasi olisi älykkäitä varusteita tai laitteita?

Kyllä

En





7. Jos haluaisit, että uudessa asunnossasi olisi jokin seuraavista älykkäistä varusteista tai laitteista, niin kuinka paljon olisit valmis maksamaan kyseisestä ominaisuudesta lisää asunnon oston yhteydessä?

Vedä palloa vaakasuunnassa muuttaaksesi lukemaa.

| 0 | 250 | Lisähinta (€ Alv. 24 %) 500 | 750 | 1000 |
|---|-----|--------------------------------|-----|------|
| Älykäs valvontajärjestelmä kameroin ja/tai liiketunnistimin | | | | |
| <input type="range"/> | | | | |
| Älykäs vesivuodon varoitinjärjestelmä | | | | |
| <input type="range"/> | | | | |
| Älykäs palovaroitinjärjestelmä | | | | |
| <input type="range"/> | | | | |
| Älykkäästi mukautuva ilmastointi | | | | |
| <input type="range"/> | | | | |
| Älykäs valaistusjärjestelmä | | | | |
| <input type="range"/> | | | | |
| Älykäs lukitusjärjestelmä | | | | |
| <input type="range"/> | | | | |

8. Haluaisitko asuntoosi joitakin muita älykkäitä ominaisuuksia?

Kirjoita halutessasi toiveitasi vapaasti alla olevaan kenttään.





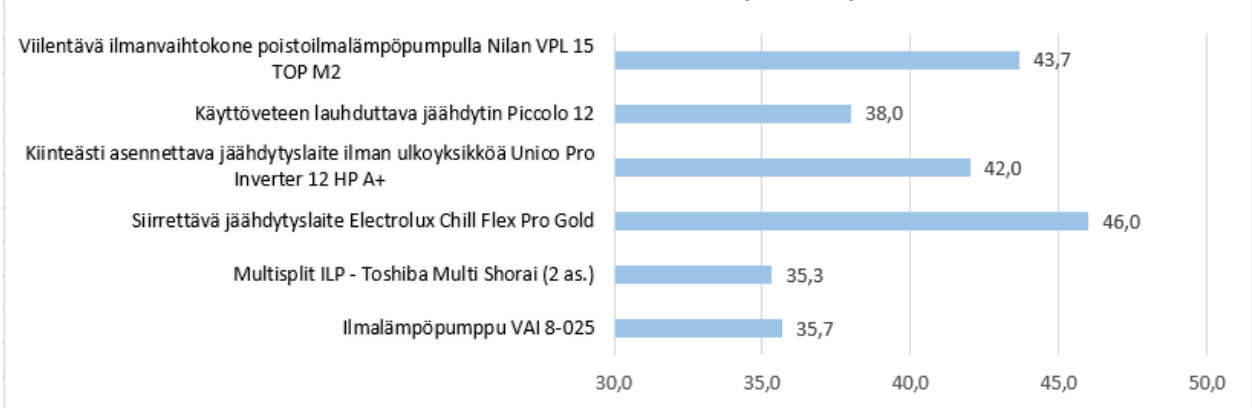
Vastauksesi on tallennettu. Kiitos vastaamisesta ja hyvää päivänjatkoa.

Liite 2. Vertailun laskentataulukko

1 (8)

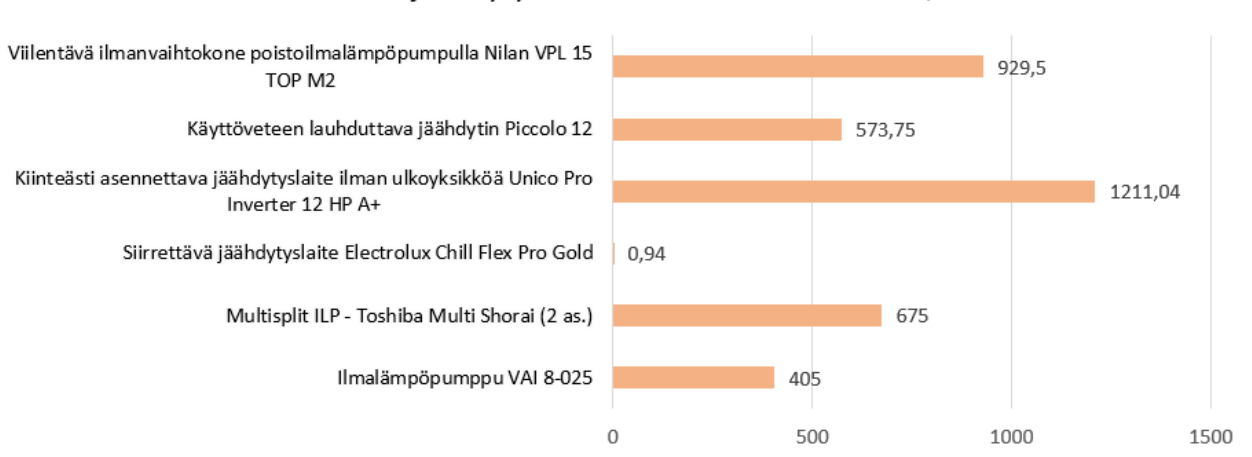
| Laitteiden ääniteho | | | | | | | |
|--|--------------|---------|---------|---------|--------|-----------|--|
| Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa | | | | | | | |
| Laite | Äänitehotaso | Max dBA | Mid dBA | Min dBA | KA dBA | Järjestys | |
| VAI 8-025 | | 39 | 36 | 32 | 35,7 | 5 | |
| Toshiba Shorai RAS-16PAVSG-E | | 43 | 38 | 25 | 35,3 | 6 | |
| Electrolux Chill Flex Pro Gold | | 47 | 46 | 45 | 46,0 | 1 | |
| Unico Pro Inverter 12hp A+ | | 49 | 43 | 34 | 42,0 | 3 | |
| Piccolo 12 | | 42 | 39 | 33 | 38,0 | 4 | |
| Nilan VPL Top m2 | | 56 | 44 | 31 | 43,7 | 2 | |

Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa,
Keskimääräinen ääniteho (KA dBA)



| Laitteiden kylmäaineiden GWP määrät | | | | | |
|--|-----------|------------|-------------|---------|-----------|
| Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa | | | | | |
| Päästö konkretisoituu vain, jos kylmäaine pääsee vuotamaan laitteesta. | | | | | |
| Laite | Kylmäaine | Määrä (kg) | GWP (kg/kg) | GWP | Järjestys |
| VAI 8-025 | R32 | 0,6 | 675 | 405 | 5 |
| Toshiba Shorai RAS-16PAVSG-E | R32 | 1 | 675 | 675 | 3 |
| Electrolux Chill Flex Pro Gold | R290 | 0,235 | 4 | 0,94 | 6 |
| Unico Pro Inverter 12hp A+ | R410A | 0,58 | 2088 | 1211,04 | 1 |
| Piccolo 12 | R32 | 0,85 | 675 | 573,75 | 4 |
| Nilan VPL Top m2 | R134a | 0,65 | 1430 | 929,5 | 2 |

Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa, GWP määrät

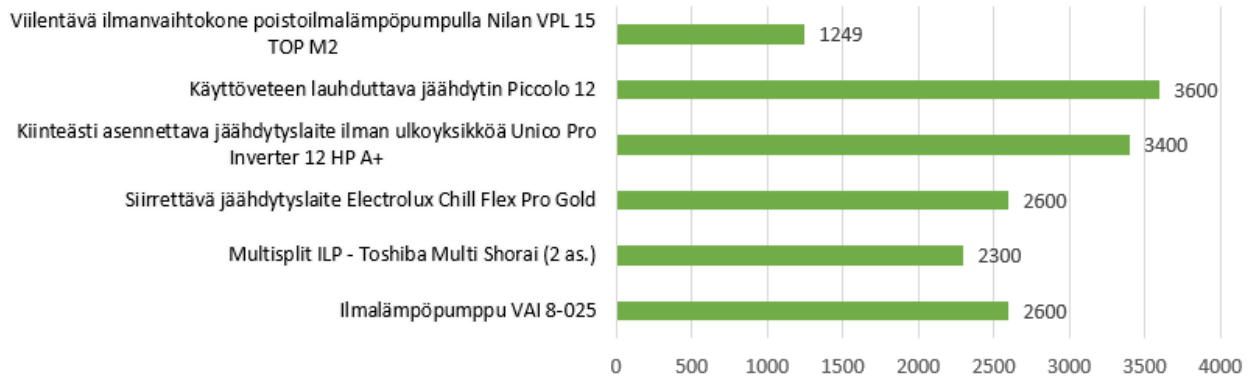


Liite 2. Vertailun laskentataulukko

2 (8)

| Laitteiden jäähdytystehot | | | | | | | |
|--|--------------|----------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------|------------|-----------|
| Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa | | | | | | | |
| Laite | Ottoteho (W) | | SEER, EERd, EER | | | Pjäähdytys | Järjestys |
| VAI 8-025 | 550 | | 6,1 | | | 2600 | 4 |
| Toshiba Shorai RAS-16PAVSG-E | 354 | | 6,5 | | | 2300 | 2 |
| Electrolux Chill Flex Pro Gold | 722,2 | | 3,6 | | | 2600 | 3 |
| Unico Pro Inverter 12hp A+ | 1097 | | 3,1 | | | 3400 | 5 |
| Piccolo 12 | 700 | | 4 | | | 3600 | 6 |
| Nilan VPL Top m2 | 720 | | 1,74 | | | 1249 | 1 |
| m3/h | kg/s | Lämpötilan lasku (K) | Ilman cp (J/(K*kg)) | Tiheys (kg/m3) | Φ (J/s=W) | EER | |
| 200 | 0,072 | 14,8 | 1001 | 1,293 | 1064 | 1,48 | |
| 250 | 0,090 | 13,9 | | | 1249 | 1,74 | |
| 300 | 0,108 | 13 | | | 1402 | 1,95 | |
| Lämpöteho kuljetuksessa $\Phi = qm * cp * \Delta T$ | | | | Tammertekniikan kaavasto s.111, 179 | | | |

Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa,
Jäähdytystehot (W)



Liite 2. Vertailun laskentataulukko

3 (8)

Tämä osa liitetiedostoa sisältää yksityisiä liike- ja ammattisalaisuuksia, jotka paljastuessaan saattaisivat aiheuttaa haittaa yrityksen toiminnalle tai asettaa sen kilpailijat otolliseen asemaan (Oikeusministeriö 1999).

Liite 2. Vertailun laskentataulukko

4 (8)

Tämä osa liitetiedostoa sisältää yksityisiä liike- ja ammattisalaisuuksia, jotka paljastuessaan saattaisivat aiheuttaa haittaa yrityksen toiminnalle tai asettaa sen kilpailijat otolliseen asemaan (Oikeusministeriö 1999).

Liite 2. Vertailun laskentataulukko

5 (8)

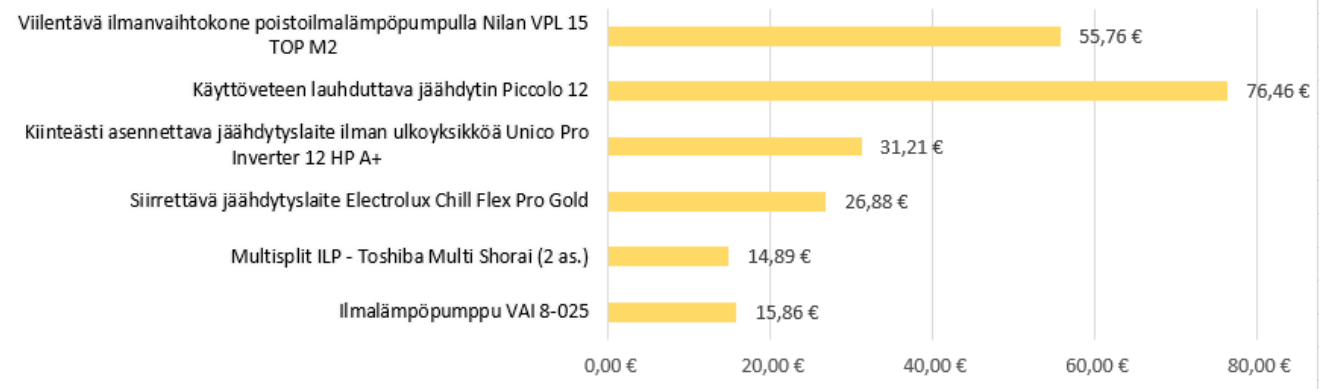
| Käyttökustannuslaskenta | | | |
|---|----------------|---|-------------------------------------|
| Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa | | | |
| Ilmalämpöpumppu VAI 8-025 | | | |
| Hinnat sisältävät Alv. 24% | | | |
| <u>Käyttö</u> | Kustannus | | |
| Sähköenergia ja siirtomaksu | 15,86 € | Sähköenergian ja siirtomaksun suuruus | 0,2103372 €/kWh |
| | | Jäähdytysenergian tarve Ec | 460 kWh |
| | | Jäähdytyksen hyötysuhde n | 6,1 SEER |
| | | Laskentakaava: | $E = 0,1556€/kWh (Ec / n)$ |
| Vuosittaiset kesäkuukausien käyttökustannukset yhteensä | 15,86 € | | |
| Normaalin kaksion jäähdyttäminen 25°C kesäkuukausina vaatii n. 460kWh energiaa. | | | |
| Multisplit ILP - Toshiba Multi Shorai (2 as.) | | | |
| Hinnat sisältävät Alv. 24% | | | |
| <u>Käyttö</u> | Kustannus | | |
| Sähköenergia ja siirtomaksu | 14,89 € | Sähköenergian ja siirtomaksun suuruus | 0,2103372 €/kWh |
| | | Jäähdytysenergian tarve Ec | 460 kWh |
| | | Jäähdytyksen hyötysuhde n | 6,5 SEER |
| | | Laskentakaava: | $E = 0,1556€/kWh (Ec / n)$ |
| Vuosittaiset kesäkuukausien käyttökustannukset yhteensä | 14,89 € | | |
| Normaalin kaksion jäähdyttäminen 25°C kesäkuukausina vaatii n. 460kWh energiaa. | | | |
| Siirrettävä jäähdytyslaite Electrolux Chill Flex Pro Gold | | | |
| Hinnat sisältävät Alv. 24% | | | |
| <u>Käyttö</u> | Kustannus | | |
| Sähköenergia ja siirtomaksu | 26,88 € | Sähköenergian ja siirtomaksun suuruus | 0,2103372 €/kWh |
| | | Jäähdytysenergian tarve Ec | 460 kWh |
| | | Jäähdytyksen hyötysuhde n | 3,6 EER |
| | | Laskentakaava: | $E = 0,1556€/kWh (Ec / n)$ |
| Vuosittaiset kesäkuukausien käyttökustannukset yhteensä | 26,88 € | | |
| Normaalin kaksion jäähdyttäminen 25°C kesäkuukausina vaatii n. 460kWh energiaa. | | | |
| Kiinteästi asennettava jäähdytyslaite ilman ulkoyksikköä Unico Pro Inverter 12 HP A+ | | | |
| Hinnat sisältävät Alv. 24% | | | |
| | | | EERd 3,1 |
| <u>Käyttö</u> | Kustannus | | |
| Sähköenergia ja siirtomaksu | 31,21 € | Sähköenergian ja siirtomaksun suuruus | 0,2103372 €/kWh |
| | | Jäähdytysenergian tarve Ec | 460 kWh |
| | | Jäähdytyksen hyötysuhde n | 3,1 EERd |
| | | Laskentakaava: | $E = 0,1556€/kWh (Ec / n)$ |
| Vuosittaiset kesäkuukausien käyttökustannukset yhteensä | 31,21 € | | |
| Normaalin kaksion jäähdyttäminen 25°C kesäkuukausina vaatii n. 460kWh energiaa. | | | |
| Käyttöveteen lauhduttava jäähdytin Piccolo 12 | | | |
| Hinnat sisältävät Alv. 24% | | | |
| | | | SEER 5,43 |
| <u>Käyttö</u> | Kustannus | | |
| Sähköenergia ja siirtomaksu | 24,19 € | Sähköenergian ja siirtomaksun suuruus | 0,2103372 €/kWh |
| Vesi- ja jätevesimaksu | 52,27 € | Jäähdytysenergian tarve Ec | 460 kWh |
| | | Jäähdytyksen hyötysuhde n | 4 SEER |
| | | Laskentakaava: | $E = 0,1556€/kWh (Ec / n)$ |
| | | Veden tilavuusvirta laitteen käydessä qV: | 0,1 m ³ /h |
| | | Keskimääräinen jäähdytysteho P | 3,45 kW |
| | | Käyntiaika kesäkuukausina: $t = Ec / P$ | |
| | | $t = 460 kWh / 3,45 kW =$ | 133,33333 h |
| Vuosittaiset kesäkuukausien käyttökustannukset yhteensä | 76,46 € | Vesi- ja jätevesimaksu Tampereella 2021: | 3,92 €/m ³ |
| | | Laskentakaava: | $V = 3,92 €/m^3 \times t \times qV$ |
| Normaalin kaksion jäähdyttäminen 25°C kesäkuukausina vaatii n. 460kWh energiaa. | | | |

Liite 2. Vertailun laskentataulukko

6 (8)

| Viilentävä ilmanvaihtokone poistoilmalämpöpumpulla Nilan VPL 15 TOP M2 | | EER 1,73 | |
|---|--|---------------------------------------|------------------------------|
| Hinnat sisältävät Alv. 24% | | | |
| Käyttö | Kustannus | | |
| Sähköenergia ja siirtomaksu | 55,76 € | Sähköenergian ja siirtomaksun suuruus | 0,2103372 €/kWh |
| | | Jäähdytysenergian tarve Ec | 460 kWh |
| | | Jäähdytyksen hyötysuhde n | 1,74 EER |
| | | Laskentakaava: | $E = 0,1556€/kWh (Ec / n)$ |
| Vuosittaiset kesäkuukausien käyttökustannukset yhteensä | 55,76 € | | |
| Normaalin kaksion jäähdyttäminen 25°C kesäkuukausina vaatii n. 460kWh energiaa. | | | |
| Laite | Järjestys | | |
| VAI 8-025 | 4 Koska parvekelasien avaaminen vaikuttaa olennaisesti hyötysuhteeseen | | |
| VAI 8-035 | 5 Aina vakio-olosuhteissa | | |
| Electrolux Chill Flex Pro Gold | 3 | | |
| Unico Pro Inverter 12hp A+ | 2 | | |
| Aquacool 12 | 1 | | |
| Nilan VPL Top m2 | 6 IV-koneen sähkönkulutus ei ole asukkaan sähkönkulutusta? | | |

Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa, Vuotuiset käyttökustannukset (Alv. 24%)

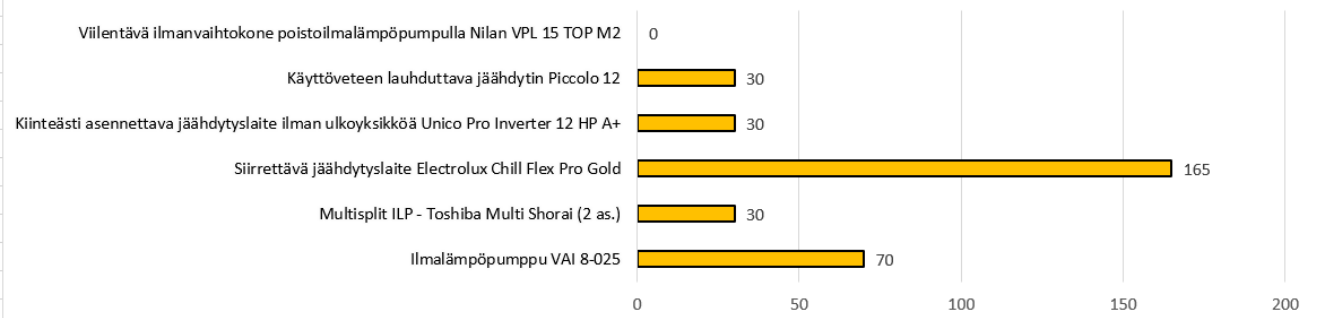


Laitteiden toiminnan itsenäisyys

Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa

| Laite | Toimen kesto (min) | Toimien määrä (ea/a) | Yhteensä | Järjestys | |
|--------------------------------|--------------------|----------------------|----------|--------------------------------|---|
| VAI 8-025 | 2 | 15 | 20 | 2 Parvekelasit + puhdistus | 3 |
| Toshiba Shorai RAS-16PAVSG-E | 15 | 2 | 30 | puhdistus | 4 |
| Electrolux Chill Flex Pro Gold | 60 | 1 | 2 | 45 puhdistus&asennus+tyhjennys | 1 |
| Unico Pro Inverter 12hp A+ | 15 | 2 | 30 | puhdistus | 4 |
| Piccolo 12 | 15 | 2 | 30 | puhdistus | 4 |
| Nilan VPL Top m2 | 0 | 0 | 0 | huoltomies vaihtaa suodattimet | 6 |

Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa, Toiminnan itsenäisyys (huoltotyö min/a)

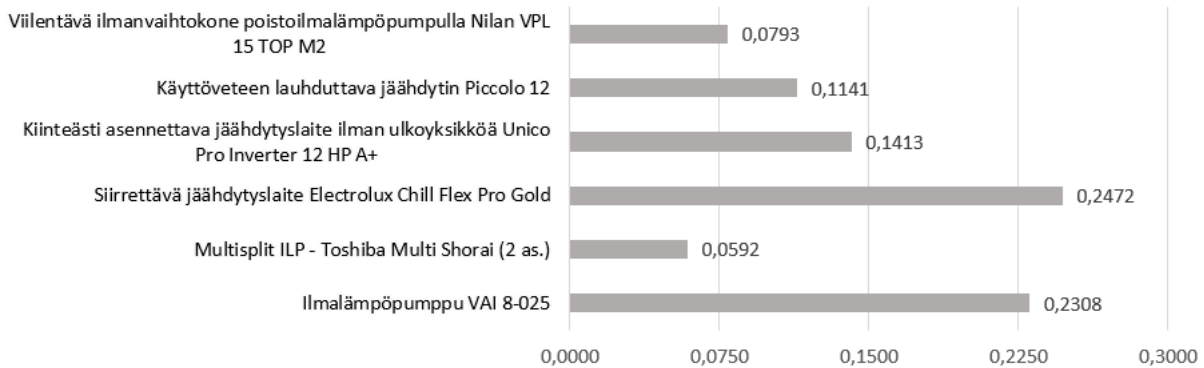


Liite 2. Vertailun laskentataulukko

7 (8)

| Laitteiden ulkonäkö | | | | | | | |
|--|--|------------------------------|----------|---|---------|----------|-----------|
| Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa | | | | | | | |
| Laite | | Laitteen koko asunnossa (m3) | Näkyvyys | | Kerroin | Yhteensä | Järjestys |
| VAI 8-025 | | 0,17754 SY+UY | 3 | = | 1,3 | 0,2308 | 2 |
| Toshiba Shorai RAS-16PAVSG-E | | 0,05378 SY | 5 | = | 1,1 | 0,0592 | 6 |
| Electrolux Chill Flex Pro Gold | | 0,16482 | 1 | = | 1,5 | 0,2472 | 1 |
| Unico Pro Inverter 12hp A+ | | 0,10096 | 2 | = | 1,4 | 0,1413 | 3 |
| Piccolo 12 | | 0,09512 LY+SY | 4 | = | 1,2 | 0,1141 | 4 |
| Nilan VPL Top m2 | | 0,0793 perus IV:n vähennys | 6 | = | 1 | 0,0793 | 5 |

Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa, Ulkonäkö,
näkyvydellä painotettu tilavuus



Pisteytys

Paikalliset sisäilman jäähdytysratkaisut asuntotuotannossa

| Ominaisuus | 1. sija | 2. sija | 3. sija | 4. sija | 5. sija | 6. sija | 7. sija | Yhteensä |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Hiljaisuus | 40 | 20 | 5 | 6 | 6 | 0 | 0 | 77 |
| GWP (CO2 päästöt) | 2 | 3 | 7 | 8 | 12 | 11 | 34 | 77 |
| Jäähdytysteho | 14 | 6 | 14 | 7 | 8 | 18 | 10 | 77 |
| Hankintahinta | 4 | 6 | 10 | 16 | 15 | 14 | 12 | 77 |
| Käyttökustannukset | 11 | 19 | 18 | 11 | 14 | 3 | 1 | 77 |
| Itsenäinen toiminta | 4 | 12 | 12 | 16 | 15 | 15 | 3 | 77 |
| Huomaamattomuus | 2 | 11 | 11 | 13 | 7 | 16 | 17 | 77 |
| yhteensä: | 77 | 77 | 77 | 77 | 77 | 77 | 77 | 539 |
| Ominaisuus | 1. sija | 2. sija | 3. sija | 4. sija | 5. sija | 6. sija | 7. sija | Yhteensä |
| Hiljaisuus | 7,42 % | 3,71 % | 0,93 % | 1,11 % | 1,11 % | 0,00 % | 0,00 % | 14,29 % |
| GWP (CO2 päästöt) | 0,37 % | 0,56 % | 1,30 % | 1,48 % | 2,23 % | 2,04 % | 6,31 % | 14,29 % |
| Jäähdytysteho | 2,60 % | 1,11 % | 2,60 % | 1,30 % | 1,48 % | 3,34 % | 1,86 % | 14,29 % |
| Hankintahinta | 0,74 % | 1,11 % | 1,86 % | 2,97 % | 2,78 % | 2,60 % | 2,23 % | 14,29 % |
| Käyttökustannukset | 2,04 % | 3,53 % | 3,34 % | 2,04 % | 2,60 % | 0,56 % | 0,19 % | 14,29 % |
| Itsenäinen toiminta | 0,74 % | 2,23 % | 2,23 % | 2,97 % | 2,78 % | 2,78 % | 0,56 % | 14,29 % |
| Huomaamattomuus | 0,37 % | 2,04 % | 2,04 % | 2,41 % | 1,30 % | 2,97 % | 3,15 % | 14,29 % |
| yhteensä: | 14,29 % | 14,29 % | 14,29 % | 14,29 % | 14,29 % | 14,29 % | 14,29 % | 100,00 % |
| Ominaisuus | 1. sija | 2. sija | 3. sija | 4. sija | 5. sija | 6. sija | 7. sija | Yhteensä |
| Hiljaisuus | 14,84 % | 6,18 % | 1,24 % | 1,11 % | 0,74 % | 0,00 % | 0,00 % | 24,12 % |
| GWP (CO2 päästöt) | 0,74 % | 0,93 % | 1,73 % | 1,48 % | 1,48 % | 0,68 % | 0,00 % | 7,05 % |
| Jäähdytysteho | 5,19 % | 1,86 % | 3,46 % | 1,30 % | 0,99 % | 1,11 % | 0,00 % | 13,91 % |
| Hankintahinta | 1,48 % | 1,86 % | 2,47 % | 2,97 % | 1,86 % | 0,87 % | 0,00 % | 11,50 % |
| Käyttökustannukset | 4,08 % | 5,88 % | 4,45 % | 2,04 % | 1,73 % | 0,19 % | 0,00 % | 18,37 % |
| Itsenäinen toiminta | 1,48 % | 3,71 % | 2,97 % | 2,97 % | 1,86 % | 0,93 % | 0,00 % | 13,91 % |
| Huomaamattomuus | 0,74 % | 3,40 % | 2,72 % | 2,41 % | 0,87 % | 0,99 % | 0,00 % | 11,13 % |
| Kerroin | 2 | 1,66667 | 1,33333 | 1 | 0,66667 | 0,33333 | 0 | 100,00 % |

Liite 2. Vertailun laskentataulukko

8 (8)

| Summaus | Ilmalämpöpumppu | Multisplit ilmalämpöpumppu | Siirrettävä jäähdytyslaite |
|---|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Ominaisuus | VAI 8-025 | Toshiba RAS-16PAVSG-E | Electrolux EXP26U758CW |
| Ääniteho | 1,21 | 1,45 | 0,24 |
| Kasvihuonevaikutus (GWP) | 0,35 | 0,21 | 0,42 |
| Jäähdytysteho | 0,56 | 0,28 | 0,42 |
| Investointikustannuksien määrä | 0,58 | 0,23 | 0,69 |
| Käyttökustannuksien määrä | 0,73 | 0,92 | 0,55 |
| Laitteen toiminnan itsenäisyys | 0,42 | 0,56 | 0,14 |
| Laitteen koko ja näkyvillä olon määrä asunnon sisustuksessa | 0,22 | 0,67 | 0,11 |
| | 4,06 | 4,31 | 2,57 |
| Paremmuusjärjestys Yht: ↗ | Toiseksi paras [2] | Paras [1] | Huonoin [6] |

| Summaus | Kiinteä ulkoyksikötön laite | Käyttöveteen lauhduttava laite | Jäähdyttävä IV- kone |
|---|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Ominaisuus | Unico Pro inverter 12HP A+ | Piccolo 12 | Nilan VPL 15 TOP M2 |
| Ääniteho | 0,72 | 0,96 | 0,48 |
| Kasvihuonevaikutus (GWP) | 0,07 | 0,28 | 0,14 |
| Jäähdytysteho | 0,70 | 0,83 | 0,14 |
| Investointikustannuksien määrä | 0,35 | 0,12 | 0,46 |
| Käyttökustannuksien määrä | 0,37 | 0,18 | 1,10 |
| Laitteen toiminnan itsenäisyys | 0,56 | 0,56 | 0,83 |
| Laitteen koko ja näkyvillä olon määrä asunnon sisustuksessa | 0,33 | 0,45 | 0,56 |
| | 3,09 | 3,38 | 3,72 |
| Paremmuusjärjestys Yht: ↗ | Toiseksi huonoin [5] | Kolmanneksi huonoin [4] | Kolmanneksi paras [3] |