



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Antti Hämäläinen

Hotellihuoneiden olosuhteisiin vaikuttavien LVI-järjestelmien vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Opinnäytetyö

4.4.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Antti Hämäläinen Hotellihuoneiden olosuhteisiin vaikuttavien LVI-järjestelmien vertailu 35 sivua + 1 liite 4.4.2020
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaajat	johtava LVI-asiantuntija Arto Ekström yliopettaja Lauri Heikkinen
<p>Opinnäytetyön tavoitteena on esitellä ja vertailla erilaisia mahdollisuuksia hotellihuoneiden olosuhteiden hallintaan ja helpottaa ymmärtämään eroavaisuuksia laitteiden ja järjestelmien välillä.</p> <p>Ilmanvaihdon osalta vertailtiin vakioilmavirtaista ja tarpeenmukaista ilmanvaihdon ohjausta sekä niihin liittyviä variaatiota. Lämmityksen ja jäähdytyksen osalta vertailtiin useita tavallisimmin käytettyjä laitteita ja laitekokonaisuuksia. Vertailtavia asioita oli järjestelmien toiminnallisuus, käytettävyys, energiankulutus ja elinkaarikustannukset.</p> <p>Energiankulutusta ja elinkaarikustannusten vertailua varten otettiin suunnitteluvaiheessa oleva hotellirakennus referenssikohteeksi, joka mallinnettiin IDA ICE -ohjelmalla. Mallinnuksen perustana käytettiin kohteen suunnitelmia ja lähtötietoja.</p> <p>Simuloitujen energiankulutustietojen, laskettujen käytönaikaisten kustannuksien sekä investointikustannuksien perusteella vertailtiin eri järjestelmiä ja järjestelmäkokonaisuuksia LCC elinkaarilaskentana. Taloudellisessa tarkastelussa laskettiin järjestelmäkohtaisesti investoinnin nettonykyarvo. Kustannusten lisäksi työssä esitettiin ostetun energian tuotannosta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt.</p> <p>Elinkaarilaskennan tulosten perusteella todettiin, että järjestelmien elinkaarikustannuksissa on selkeitä järjestelmäkohtaisia eroja pitkällä aikajaksolla. Suurimmat erot järjestelmien välillä johtuivat laitteiden uusimistarpeesta teknisen käyttöiän loputtua. Energiaa säästävien järjestelmien investointikustannuksia sekä laitteiden uusimista elinkaarijakson aikana ei saada kannattavasti katettua energiansäästöllä.</p> <p>Opinnäytetyö toimii hankkeeseen ryhtyvälle ja muille päättäjille opastavana työkaluna. Laskelmat ja muut vertailut avustavat taloteknisten järjestelmien valinnassa sekä mahdollisesti suunnittelun ohjauksessa.</p>	
Avainsanat	elinkaarikustannukset, hotelli, LVI-järjestelmä, energiankulutus

Author Title Number of Pages Date	Antti Hämäläinen Comparison of HVAC systems Affecting Indoor Conditions of Hotel Rooms 35 pages + 1 appendix 4 April 2020
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Engineering
Instructors	Arto Ekström, Senior HVAC specialist Lauri Heikkinen, Principal Lecturer
<p>The aim of the thesis was to compare HVAC systems used in hotel rooms. The compared ventilation systems were constant airflow, demand-controlled ventilation and their variations. and the compared heating and cooling systems were some of the most commonly used. The compared features were the functionality, usability, energy consumption and life cycle costs of the systems.</p> <p>For the energy consumption and life cycle cost comparisons, the thesis used as a reference the technical plans and source data of a planned hotel building modelled on IDA ICE. The comparison was based on the simulated energy consumption data and calculated life cycle costs. The net current value of the investment was calculated system by system. Furthermore, the carbon dioxide emissions from delivered energy, directly proportional to the energy consumption of the systems, were calculated.</p> <p>The results of the life cycle calculation showed significant differences in the life cycle costs of the systems over a long period of time. The differences were caused by the technical service life of the systems and the re-investment costs for used devices. It is not possible to cover the investment costs of energy saving systems and the replacement of devices during the life cycle with energy savings.</p>	
Keywords	life cycle costs, hotel, HVAC systems, energy consumption

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Hotellihuoneiden suunnittelua ohjaavat tavoitteet ja määräykset	2
2.1	Yleiset oleskelutiloihin liittyvät olosuhdetavoitteet	2
2.2	Suunnitteluun vaikuttavat viranomaismääräykset	3
3	Hotellihuoneiden olosuhteisiin vaikuttavat LVI-järjestelmät	4
3.1	Huonekohtaiset lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät	6
3.2	Ilmanvaihdon ohjaus	10
4	LVI-järjestelmien energiankulutus sekä elinkaarikustannukset	12
4.1	Referenssikohteen esittely	12
4.2	Energiankulutuksen simulointi	12
4.3	Elinkaarilaskenta ja laskennan lähtöarvot	13
4.4	Ilmanvaihdon ohjaustapojen elinkaarilaskelmat	16
4.5	Ilmanvaihdon elinkaarilaskelmien yhteenveto ja analysointi	19
4.6	Taloteknisten kokonaisratkaisujen elinkaarilaskelmat	23
4.7	Taloteknisten kokonaisuuksien vertailun yhteenveto	27
5	Järjestelmien vertailun johtopäätökset	29
6	Yhteenveto	32
	Lähteet	34

Liitteet

Liite 1. LCC -laskennassa käytettyjen järjestelmien kustannuslaskenta

Lyhenteet

CO₂ Hiilidioksidin molekyylikaava.

IDA ICE IDA Indoor Climate and Energy. Rakennusten energiankulutuksen Simulointiohjelma.

LCC Elinkaarikustannukset (Life Cycle Costing).

PKN Puhallinkonvektori.

1 Johdanto

Majoituspalveluiden kysyntä Suomessa kääntyi kasvuun vuonna 2016, jonka jälkeen se on kasvanut joka vuosi. Vuonna 2018 kysynnän kasvu oli 1,5 prosenttia vuoteen 2017 verrattuna. Kaikista majoituspalveluista lähes 80 prosenttia on hotellissa yöpymisiä ja koko maan hotellihuoneiden käyttöaste vuoden 2018 aikana oli 55,4 prosenttia. Vuonna 2017 Helsingin hotellien käyttöaste oli 75,2 prosenttia, jonka jälkeen hotelliyöpymisten määrä on kasvanut noin sadallatuhannella kävijällä. [8.] Majoituspalveluiden jatkuva kysynnän kasvu tarkoittaa luonnollisesti sitä, että myös hotellien tarve kasvaa jatkuvasti pääkaupunkiseudulla, kuten myös muissa kasvavissa kaupungeissa sekä turistikeskityksissä. Viime vuosina useita toimisto- sekä liikekiinteistöjä on muutettu hotelleiksi tilojen jäädessä tyhjilleen tai teknisen käyttöön takia tehtävän suuren saneerauksen myötä. Uusien kauppakeskusten sekä muiden suurien hankkeiden yhteyteen ollaan usein myös rakentamassa hotelleja tai ainakin tarkastellaan mahdollisuutta niiden rakentamiseen.

Rakennusvalvonnan asettamat määräykset ja velvoitteet tilojen olosuhteiden osalta määrittävät raja-arvot suunnittelulle mutta keinot niiden saavuttamiseksi on tilaajan ja suunnittelijan päätettäviä asioita. Taloteknisiä laitevaihtoehtoja ja järjestelmiä olosuhteiden hallintaan on nykyään useita ja niissä kaikissa on omat hyvät ja huonot puolensa. Tilaajilla on usein oma näkemys siitä, miltä he haluavat tilojensa näyttävän tai minkälaiset olosuhteet ja niiden hallittavuus luodaan tilankäyttäjille. Suurena vaikuttavana tekijänä järjestelmävalintoihin kuitenkin usein on myös toteutuksen kustannukset. Hotellihuoneiden osalta tulisi siis pyrkiä optimoimaan tilan olosuhteet ja kustannukset tekemällä kustannus- ja tilatehokkaita ratkaisuja olosuhteista tinkimättä. Huoneiden olosuhteilla on suuri merkitys asiakasviihtyvyyteen sekä kokemukseen.

Suuren kilpailun, jatkuvasti lisääntyvien majoitusvaihtoehtojen ja nykyään sosiaalisessa mediassa sekä arvostelusivustoilta helposti saatavilla olevan tiedon takia olosuhteet vaikuttavat suoraan hotellin maineeseen, kävijämääriin ja sitä kautta taloudelliseen kannattavuuteen. Jotta pystytään tekemään oikeita valintoja juuri haluttuihin tarpeisiin, tulee tarkastella useita eri asioita. Tarkasteltavia taloudellisia asioita ovat elinkaaren pituus, järjestelmien investointikustannukset sekä käytönaikaiset kustannukset elinkaaren

aikana. Taloudellisten asioiden lisäksi tulee tarkastella järjestelmien teknisiä ominaisuuksia, tilantarvetta, ja niiden vaikutuksia olosuhteisiin ja käytettävyyteen.

Opinnäytetyön tavoitteena on esitellä ja vertailla erilaisia mahdollisuuksia hotellihuoneiden olosuhteiden hallintaa varten ja helpottaa ymmärtämään eroavaisuuksia eri laitteiden ja järjestelmien välillä. Valmis opinnäytetyö toimii hankkeeseen ryhtyvälle ja muille päättäjille opastavana työkaluna taloteknisten järjestelmien valintaa sekä suunnittelun ohjausta varten. Työn alussa käydään läpi hotellihuoneiden olosuhteisiin ja LVI-suunnitteluun liittyviä tavoitteita ja määräyksiä. Tämän jälkeen esitellään yleisimmin hotellihuoneissa käytettyjen taloteknisten järjestelmien toiminta sekä niiden mahdolliset hyödyt ja haitat käytettävyyden, ylläpidon sekä tilantarpeen osalta. Järjestelmien taloudellista vertailua sekä hiilidioksidipäästöjen selvitystä varten simuloidaan suunnitteluvaiheessa olevan hotellinrakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergian tehontarpeet, sekä eri järjestelmien vuosittainen lämmitys- jäähdytys- sekä sähköenergian kulutus. Energia- ja kustannuslaskelmien perusteella järjestelmiä vertaillaan LCC-elinkaarlaskentana, jossa niille lasketaan nettonykyarvo tarkasteltavan elinkaaren ajalta. Lopulta laskennoista saatuja tuloksia pilkotaan osiin, tarkastellaan ja järjestelmiä vertaillaan keskenään.

2 Hotellihuoneiden suunnittelua ohjaavat tavoitteet ja määräykset

Tilojen olosuhteille sekä taloteknisten järjestelmien toiminnalle on asetettu viranomaismääräyksiä ja tavoitteita, jotka vaihtelevat kiinteistön käyttötarkoituksen mukaan ja ohjaavat suunnittelua.

2.1 Yleiset oleskelutiloihin liittyvät olosuhdetavoitteet

Oleskelutilojen suunnittelun lähtökohtana on varmistaa turvalliset ja terveelliset olosuhteet tiloissa oleville ihmisille. Terveysteen vaikuttavat kemialliset ja mikrobiologiset epäpuhtaudet sekä fysikaaliset olosuhteet. Fysikaaliset olosuhteet käsittävät sisäilman lämpötilan ja kosteuden, ääniolosuhteet, ilmanlaadun, säteilyn sekä valoisuuden.

Liian korkea huoneen lämpötila, ilmankosteus tai väärin mitoitettujen tarpeettoman suuret tai epätasapainoiset ilmanvaihdon ilmamäärät voivat aiheuttaa tilaa käyttäville ihmisille

oireilua sekä terveyshaittaa. Mahdollisten terveyshaittojen lisäksi normaalista poikkeavat olosuhteet usein koetaan epämiellyttävänä. Lämmityskaudella sisäilman suhteellisen kosteuden tavoiteltava taso on 30–40 prosenttia. Lämmityskaudella tarkoitetaan ajanjaksoa, jolloin ulkoilman vuorokauden keskilämpötila pysyttelee alle 15 °C. Suhteellisen kosteuden kohoaminen tavoitetason yläpuolelle on usein merkki puutteellisesta ilmanvaihdosta. Talvella sisätilojen suhteellinen kosteus usein kuitenkin laskee tavoitetason alapuolelle, johtuen raitisilmana käytettävän ulkoilman kuivumisesta kylmällä säällä. Talvella sisätilojen suhteellinen kosteus saattaa olla jopa reilusti alle 20 prosenttia. [5; 3.]

Tilojen vetoisuus sekä muu hallitsematon ilman liikkuminen koetaan usein epämiellyttäväksi, ja se saattaa aiheuttaa terveydellisiä ongelmia tilojen käyttäjillä. Tilat tulisi siis suunnitella mahdollisimman vedottomiksi. Yleisimmät vetoa aiheuttavat tekijät ovat ikkunoiden puutteelliset tiivistykset, rakenteiden ilmavuodot, väärän malliset tai väärin sijoitetut ilmanvaihdon päätelaitteet sekä liian suuret ilmamäärät tilan käyttötarkoitukseen.

Ilmanvaihdon tarkoituksena on poistaa tilan sisäilmasta epäpuhtauksia, kosteutta, lämpöä sekä huolehtia puhtaan ja raittiin korvausilman saattamisesta tilaan. Tilojen epäpuhtaudet ovat usein peräisin tilan käyttöön liittyvästä toiminnasta, ihmisten aineenvaihdunnasta, rakennus- ja sisustusmateriaaleista sekä hallitsemattomasti tilaan tulevasta ulkoilmasta. Ilmanvaihto mitoitetaan tilakohtaisesti tilan käyttötarkoituksen ja sen käyttäjämäärien mukaisesti. [5; 13; 16.]

2.2 Suunnitteluun vaikuttavat viranomaismääräykset

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta julkaistiin vuonna 2017, joka syrjäytti aiemman Suomen rakennusmääräyskokoelman D2; rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto [6]. Julkaistussa asetuksessa ei aiempien määräysten tavoin ole niin tarkasti määritetty eri tilakohtaisia vaatimuksia. Se velvoittaa suunnittelijan arvioimaan tilankäyttöä ja sen olosuhteisiin vaikuttavia tekijöitä suunnitelmia laadittaessa, jonka seurauksena tilaajalta saatavat suunnittelun lähtötiedot nousevat entistä tärkeämpään rooliin.

Käytettävien tilojen olosuhteiden osalta asetuksessa on otettu kantaa lämpötilaan, sisäilman laatuun ja kosteuteen. Huonelämpötilan tulee olla käytön aikana viihtyisä ja sen

suunnitteluarvona käytetään 21 °C astetta. Lämmityskaudella vaihteluväli on sallittu 20–25 °C asteen välillä ja sen ulkopuolella vaihteluväli on 20–27 °C astetta. Sisäilman hiili-diksidin hetkellinen pitoisuus huoneilmassa saa olla enintään 1200 ppm. Sisäilman kosteuden on pysyttävä käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa, jotta vältetään kosteusvaurioita, mikrobien kasvua sekä muita tilan käyttäjille terveydellisiä haittoja.

Jäähdytys- tai lämmitystavasta ei ole olemassa tarkempia määräyksiä, jolloin suunnittelijalla on vapaus tehdä omat valintansa vaadittujen lämpötilojen saavuttamiseksi. Ilmanvaihdon osalta on annettu joitakin suunnittelun reunaehtoja, joiden tulee toteutua kaikissa oleskeluun liittyvissä tiloissa kuten myös hotellihuoneissa. Oleskelutiloihin on mitoitettava ulkoilmavirtaa vähintään 6 dm³/s jokaista henkilöä kohden tilojen käytön aikana. Tilojen ollessa käyttämättömänä ulkoilmavirran on oltava vähintään 0,15 (dm³/s) / m² lattian pinta-alaa kohden kaikissa huonetiloissa. Palautusilmaa ei saa käyttää hotellihuoneiden ilmanvaihdossa. [6; 13.]

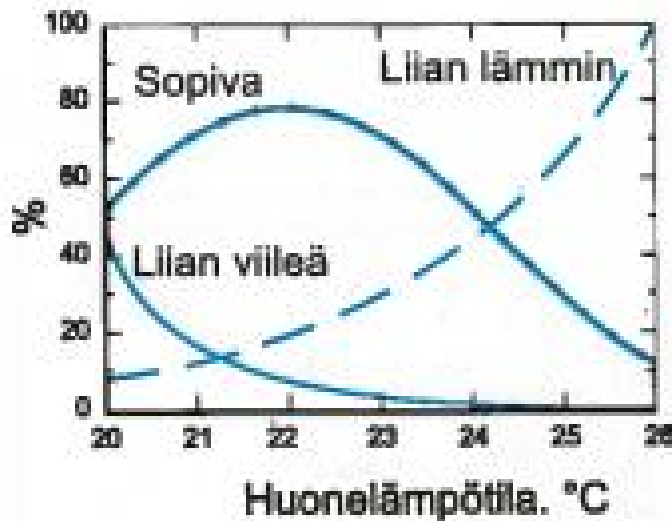
Hotellihuoneiden olosuhteita ajatellen uudet asetukset liittyvät siis ilmamäärien, tarvittavan jäähdytyksen ja lämmityksen suunnitteluun sekä kaikkien edellä mainittujen ohjaustapoihin.

3 Hotellihuoneiden olosuhteisiin vaikuttavat LVI-järjestelmät

Sopivalla operatiivisella lämpötilalla ja käyttötarkoitukseen suunnitellulla ilmanvaihdolla luodaan perusteet oleskelutilojen terveellisyydelle sekä viihtyvyydelle. Oikein mitoitettujen olosuhteiden parantavat vireyttä ja saavat tilan käyttäjät tyytyväisiksi lämpöolojen osalta, jonka myötä myös olosuhteisiin liittyvät valitukset kiinteistöhuollolle vähenevät. Järjestelmävalinnoilla on suora yhteys hotellikiinteistön asiakkaiden tyytyväisyyteen, kiinteistön huolto- ja ylläpitokustannuksiin sekä energian kulutukseen. [3.] Motivan julkaisun mukaan vuosina 2010–2015 majoitusrakennuksiin laadituissa energiakatselmuksissa lämmitysenergian säästöpotentiaali on keskimäärin 25 % kiinteistön nykyisestä energian kulutuksesta [9].

Oleskelutilojen lämpöoloille asetetut vaatimukset ja raja-arvot perustuvat yleensä lämpöviihtyvyyteen sekä kehon lämpötasapainoon. Ihmisen kehon lämmöntuotosta johtuen

tilassa koettu viihtyvyytlämpötila asettuu verrattain kapealle, vain muutaman asteen alueelle. Kaikki ihmiset eivät kuitenkaan tunne oloa viihtyisäksi optimaalisissa lämpötiloissa, johtuen yksilöllisistä eroista. Tämä johtaa siihen, että tyytymättömiä tilojen käyttäjiä on tutkimuksen mukaan jopa 20–80 %, jos huonelämpötilan säätely ei ole mahdollista. Ihmisten tyytyväisyys oleskelutilojen olosuhteisiin lämpötilan vaihdeltaessa on esitetty kuvassa 1. [3.]



Kuva 1. Ihmisten tyytyväisyys oleskelutilojen olosuhteisiin huonelämpötilan muuttuessa [3].

Hotellihuoneiden olosuhteiden hallintaa suunniteltaessa mahdollisia tapoja lämmityksen ja ilmastoinnin toteuttamiseksi on useita. Selkeää vastausta oikeisiin järjestelmävalintoihin ei ole, vaan ne riippuvat tapauskohtaisesti huoneiden muista ominaisuuksista sekä tavoitteista. Valintoihin vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi rakenteiden materiaalit, ikkunapinta-alat, huoneiden koko sekä muoto, tekniset tilavaraukset, sisustus sekä tilaajan muut mahdolliset tavoitteet kuten investointikustannusten minimointi tai saavutettavat ympäristöluokitukset. [3; 16.]

3.1 Huonekohtaiset lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät

Patterilämmitys

Patterilämmitys on yleisimmin käytetty oleskelutilojen lämmitystapa ja se soveltuu kaikkiin tiloihin, joissa huoneen muodon ja sisustuksen osalta on niille sopiva tila seinäpinnassa. Patterit sijoitetaan niin, että ilman lämpötila on huoneen kaikissa osissa mahdollisimman tasainen. Hyvät lämpöolot saavutetaan yleensä, jos patterit sijoitetaan esteettömästi ja peittämättä ikkunoiden levyisinä niiden alapuolelle. Pattereiden lämmönluovutus tapahtuu konvektiona ja säteilynä, jonka takia esteet vähentävät niiden lämmitystehoa. Huonekohtaista lämpötilaa ja patterin tehoa ohjataan patterikohtaisilla termostaattisilla patteriventtiileillä, jolloin tilan käyttäjällä on mahdollisuus säätää olosuhteita omien tuntemusten mukaisesti erikseen määritettävien säätörajojen puitteissa. [1.]

Patterilämmitys on erittäin kustannustehokas lämmitysmuoto tarkasteltaessa pidempää ajanjaksoa. Lämmitysverkoston pumppujen lisäksi patterit eivät kuluta sähköenergiaa ja niiden tekninen käyttöikä on noin 50 vuotta tai jopa enemmän. Laitteita ei siis huoneistoissa tarvitse uusia käytön aikana vaan niiden uusiminen ajoittuu usein suurempien saneerauksien yhteyteen. Ainoana suurempana huonekohtaisena huoltotoimenpiteenä on patteriventtiilien ja niiden termostaattien vaihtaminen noin 25 vuoden kohdalla. Termostaattien kunto tulee kuitenkin tarkistaa aina lämmityskauden alkaessa. Lämmitysverkoston säätäminen tasapainoon joudutaan tekemään mahdollisten ongelmien esiintyessä, kuten kaikissa muissakin lämmitysmuodoissa. [12.]

Lattialämmitys

Lattialämmityksessä lämmitysputket asennetaan lattian sisään koko lämmitettävän tilan pinta-alalle. Suuren säteilevän pinta-alan takia pinnan lämpötilan ei tarvitse olla niin korkea kuin patterilämmityksessä, jonka seurauksena lämmitysputkissa virtaa patterilämmitystä viileämpi vesi. Lattialämmityksellä poistetaan kylmän lattian aiheuttamat ongelmat ja saavutetaan mukava tasainen lämpötilajakauma pystysuuntaisesti. Lattialämmitys on osittain itsesäätävä, joka johtuu lattiapinnan ja huoneilman pienestä lämpötilaerosta. Patterilämmitykseen verrattuna huoneen lämpötilan muutos vaikuttaa enemmän lattialämmityksen suhteelliseen lämmitystehoon, jolloin huonelämpötilan noustessa

lämmitysteho pienenee ja laskiessa suurenee. Lattialämmityksen etuna on, että siinä ei ole erillisiä näkyviä lämmityslaitteita. Tämä mahdollistaa kaikkien seinäpintojen ja lattia-alan käytön huoneita sisustaessa ja se myös helpottaa tilojen siivousta. [1.]

Lattialämmitysputkien tekninen käyttöikä on noin 50 vuotta, joten sen uusimista ei tarvitse yleensä ottaa huomioon tilojen elinkaarta tarkasteltaessa. Usein putkistot uusitaan vain suurten saneerausten tai tilamuutosten yhteydessä. Venttiileitä sekä termostaatteja joudutaan uusimaan kuten patterilämmityksessä noin 25 vuoden käytön jälkeen [12.]. Patterilämmityksen tavoin lattialämmitys on energiatehokas ja kustannuksiltaan melko edullinen tilan lämmitysmuoto pitkällä aikavälillä tarkasteltuna.

Säteilylämmitys ja -jäähdytys

Yhdistämällä päätelaitteilla toteutettu ilmanvaihto lämmitys- tai jäähdytyspaneelin kanssa, saadaan aikaiseksi huoneiden olosuhteiden hallinta huonekohtaiseksi ja toisistaan riippumattomaksi. Paneelit lämmittävät säteilemällä ja konvektion avulla. Konvektio lämmittää ilmaa lämmittimen lähellä ja säteily lämmittää tilan ympäröiviä pintoja, jolloin myös varjossa olevat pinnat lämpenevät lämpösäteiden heijastuessa muista pinnoista. Tämä vähentää vedontunnetta seinien läheisyydessä ja lattiapinnalla, sillä kaikki ympäröivät pinnat ovat lämpimiä. Lämmitettäessä säteilypaneeli luovuttaa paneeliin johdetun veden lämmön säteilemällä huonetilaan. Lämpösäteily muuttuu lämmöksi kohdatessaan kiinteään esteen, seinän, lattian tai ihmisen. Jäähdytettäessä paneelin läpi virtaa kylmä vesi. Huonetilassa olevat ihmiset ja esineet säteilevät lämpöä ja lämmittävät ilmaa. Lämennyt ilma nousee ylös ja luovuttaa lämpönsä viilennettyihin paneeleihin. Jäähdytynyt ilma virtaa vedottomasti takaisin oleskeluvyöhykkeelle.

Säteilypaneeli on mahdollista sijoittaa joko alakattoon tai vapaasti roikkuvana ilman alakattoa. Yksittäisen paneelin tuottama jäähdytysteho on melko pieni. Jos tiloissa tarvitaan suuria jäähdytystehoja, niin paneeleita tulee asentaa useita. Siinä tapauksessa pitää tarkastella, onko se tilavarauksien puolesta mahdollista. Paneelit mitoitetaan jokaiseen huoneeseen arvioitujen lämmitys- ja jäähdytystehojen mukaisesti. Kuitenkin on otettava huomioon, että jäähdytyspaneeleja ei kannata asentaa tilaan, jos ilmankosteus saattaa nousta suureksi. Tällöin on vaarana, että jäähdyttävä viileä pinta alkaa kondensoimaan kastepistelämpötilan ylittyessä. Tämä tilanne on mahdollinen esimerkiksi silloin, jos

paneeli on asennettu märkätilojen läheisyyteen, josta huonetilaan pääsee kosteaa ilmaa oven ollessa avoinna. [16.]

Lämmitystä ja jäähdytystä ohjataan automaattisesti huoneeseen sijoitettavan termostaatin avulla mutta sitä usein voidaan säätää myös käyttäjän toimesta erikseen määritettävien säätörajojen puitteissa. Säteilypaneelilla tiloihin saadaan toteutettua mukavat ja tasalämpöiset olosuhteet vedottomasti sekä äänettömästi. Kuitenkin tilan ominaisuudet ja vallitsevat olosuhteet tulee olla järjestelmälle suotuisat. [1; 2; 4.]

Paneelit ovat investointi- ja asennuskustannuksiltaan kustannustehokkaita. Lisäksi ne ovat myös pitkäkestoisia. Tämä johtuu siitä, että ne eivät sisällä käytössä kuluva tekniikkaa tai sähkölaitteita. Kustannukset vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan, sillä paneelilla voidaan toteuttaa joko lämmitys ja jäähdytys tai vaan toinen niistä. Paneelien tekninen käyttöikä on noin 50 vuotta. Paneelien tehoa säätelevien säätö- ja moottoriventtiilien vaihtoväli on noin 25 vuotta sekä moottoriventtiilien toimilaitteiden uusimiskäyväli on noin kymmenen vuotta. [12.] Huoltotoimenpiteiden sekä investointi- ja energiakustannuksien osalta paneelit ovat hyvin kilpailukykyisiä muihin lämmitystapoihin verrattuna.

Ilmastointipalkki

Ilmastointipalkkiin on yhdistetty ilmanvaihto, jäähdytys ja tarvittaessa myös lämmitys. Usein lämmitys kuitenkin on toteutettu muilla lämmönlähteillä ja palkilla toteutetaan vain ilmanvaihto ja jäähdytys. Ilmastointipalkki on mahdollista sijoittaa joko alakattoon tai vapaasti roikkuvana ilman alakattoa. Ilmastointipalkit soveltuvat hyvin hotellihuoneiden ilmastointiratkaisuksi, sillä niissä ei vaadita suuria ilmamääriä ja jäähdytysteho on mitoitettavissa huonekohtaisesti niihin kohdistuvien lämmityskuormien mukaisesti. Tilan lämpötilaa voidaan ohjata huonekohtaisesti säätölaitteen avulla, jolloin se antaa käyttäjälle mahdollisuuden säätää olosuhteita omien tunteidensa mukaisesti erikseen määritettävien säätörajojen puitteissa. Järjestelmän etuina ovat pieni tilantarve sekä oikein suunniteltuna äänitason hiljaisuus ja vedottomuus. Ilmastointipalkkeilla saavutetaan hyvät sekä käyttäjäystävälliset olosuhteet asennustiloja säästävällä. [1; 2; 16.]

Ilmastointipalkin ominaisuudet käyttöikänsä, huollontarpeen sekä kustannusten osalta ovat hyvin identtisiä paneelien kanssa, sillä niissäkään ei ole puhallinta tai muita hajoavia

osia. Myös investoinnin osalta ne ovat suuruusluokaltaan lähellä toisiaan. Vaikka ilmastointipalkit ovat hankintahinnaltaan hieman hintavampia paneeliin verrattuna niin säästöä syntyy tuloilman päätelaitteiden jäädessä pois kustannuksista. [12; 15.]

Puhallinkonvektori

Puhallinkonvektorilla pystytään hoitamaan huoneen jäähdytys, lämmitys sekä tarvittaessa sen kautta voidaan tilaan tuoda raitista ilmaa. Puhallinkonvektorit lämmittävät tilaa konvektion avulla. Huoneen lämmitys sekä jäähdytys toteutetaan ohjaamalla laitteessa olevan patterin läpi kulkevaa veden virtaamaa sekä puhaltimen pyörimisnopeutta. Hotellihuoneissa usein myös raitisilma tuodaan puhallinkonvektorin kautta, sillä tarvittavat ilmamäärät ovat melko pieniä. Puhallinkonvektorit mahdollistavat suuremman lämmitys- ja jäähdytystehon kuin muut järjestelmät mutta ne soveltuvat hyvin myös pieniin tehontarpeisiin. Laitteet mitoitetaan aina arvioitujen huonekohtaisten tehontarpeiden mukaisesti. Jäähdytyksen ja lämmityksen toimintaa voidaan ohjata huonekohtaisesti säätölaitteen avulla, jolloin käyttäjällä on mahdollisuus säätää olosuhteita omien tuntemusten mukaisesti erikseen määritettävien säätörajojen puitteissa. Muihin järjestelmiin verrattaessa säätö on nopeasti havaittavissa. [1; 2.]

Useilta laitevalmistajilta löytyy omat mallistot, joissa muotoilu, huollettavuus ja muut ominaisuudet on suunniteltu hotellihuoneiden ja vastaavien tilojen tarpeita ajatellen. Usein laitteet sijoitetaan eteisen päälle olevaan alakaton yläpuolelle, jolloin ne puhaltavat otsapinnasta huonetilaan. Puhallinkonvektorin avulla saavutetaan korkeatasoinen huonekohtainen ilmastointi, joka on käyttäjäystävällinen sekä monenlaisiin tilaratkaisuihin hyvin integroitavissa ilman suuria näkyviä osia tai laitteita. [16.]

Puhallinkonvektorit ovat kaikista vertailtavista järjestelmistä teknisimpiä ja sen takia myös niiden investointikustannukset ovat suurimmat. Puhaltimen takia ne vaativat toimiakseen myös sähköä, mikä lisää kiinteistön sähköenergian kulutusta. Laitteiden tekninen käyttöikä suurella käyttöasteella on noin 15–25 vuotta. Pitkällä aikavälillä puhallinkonvektoreihin sijoitettavat kustannukset ovat huomattavan suuret verrattuna muihin järjestelmiin, kun otetaan huomioon energiakustannukset, alkuinvestointi sekä laitteiden uusiin liittyvät kustannukset niiden teknisen käyttöiän jälkeen. [15; 16.]

3.2 Ilmanvaihdon ohjaus

Perinteisen päätelaitteilla toteutettavan ilmanvaihdon lisäksi voidaan raitisilma tuoda huonetilaan integroituna jäähdytys- tai lämmitysjärjestelmään kuten puhallinkonvektoriin tai aktiivipalkkiin. Olosuhteiden osalta sillä ei käytännössä ole merkitystä. Ilmanvaihdolla hallitaan tilan sisäilman laatua ja huolehditaan tilan käyttäjien turvallisesta ja viihtyvyyden takaavasta sisäilmasta. Tavoitteena on, että hiilidioksiditaso (CO₂) ei pääse kohoamaan tavoitearvojen yläpuolelle tilan ollessa käytössä. Hotellihuoneet ovat tilavuudeltaan yleensä suhteellisen pieniä, ja ne mitoitetaan pienille henkilömäärille. Tämän takia huoneisiin tuotavien ilmamäärien ei tarvitse olla kovinkaan suuria. Suunnitteluun vaikuttavat viranomais määräykset on käsitelty aiemmin kohdassa 2.2. Toteutettava tapa raitisilman tuomiseksi tilaan riippuu useista asioista. Tilavaraukset, estetiikka, kustannukset sekä lämmityksen ja jäähdytyksen järjestelmävalinnat vaikuttavat olennaisesti toteutustavan valintaan. [2; 5; 16.]

Huolimatta siitä, miten raitisilma tuodaan huonetilaan, tulee ilmanvaihto ja sen ohjattavuus määrittää joko vakioilmamääräiseksi tai muuttuvaksi eli tarpeenmukaiseksi ilmanvaihdoksi. Vakioilmavirtainen ilmanvaihto pitää huoneilman jatkuvasti raittiina mutta se kuluttaa saman määrän lämmitys- ja sähköenergiaa huolimatta siitä onko huone käytössä vai tyhjillään. Muuttuvilmavirtaisessa ilmanvaihdossa tilan ilmanvaihtoa ohjataan tarpeenmukaisesti. Huonetilan ollessa tyhjillään ilmanvaihto on asetettu minimiin, jolloin vähennetään energiankulutusta. Muuttuvilmavirtaisessa vaihtoehdossa huonetila saattaa tilaan saavuttaessa tuntua hieman tunkkaiselta, jos se on ollut kauan käyttämättömänä. Kuitenkin pienen huonetilavuuden takia tila onnistutaan huuhtelemaan nopeasti, vaikka ilmanvaihto käynnistyisi normaaliin asetusarvoonsa vasta kun huonetta aletaan käyttää. Nykymääräysten mukainen 0,15 -ertainen ilmanvaihto, kun tila ei ole käytössä, huolehtii tilassa joka tapauksessa pienen jatkuvan ilman vaihtumisen. [2; 5; 6.]

Järjestelmien käyttöönotossa, käytettävyydessä ja huoltotarpeissa järjestelmät erottuvat olosuhteita enemmän toisistaan. Vakioilmavirtainen ilmanvaihto vaatii ainoastaan ilmapintojen säädön ennen tilojen käyttöönottoa. Sääto tapahtuu huonekohtaisilla säätöpeleillä sekä päätelaitteiden avulla. Se on myös erittäin helposti huollettava. Hyvin säädettyyn ilmanvaihtojärjestelmään ei huonetiloissa tarvitse tehdä toimenpiteitä, paitsi suurempien järjestelmäkohtaisten muutosten tai kanavanuohousten myötä. Kertaalleen

säädettävässä järjestelmässä ei ole säännöllistä huoltoa tarvitsevia laitteita eikä helposti rikkoontuvia tai sähköä vaativia osia.

Muuttuvilmavirtainen ilmanvaihto on työläämpi järjestelmä käyttöönottilanteessa sekä käytönaikaisen huollon kannalta. Ilmanvaihtokanaviin asennettavat ilmamääräsäätimet ovat kooltaan suurempia kuin kertasäätöpellit ja ne vaativat suuremman asennustilan ja suojaetäisyyden. Useissa hotellihuoneissa talotekniset asennukset toteutetaan huoneen eteisen alakaton yläpuolelle ja tilaa asennuksille on suhteellisen vähän. Lisäksi ilmamääräsäätimet vaativat kanava-asennusten lisäksi sähkö- ja rakennusautomaatioita. Ilmamääräsäätimet vaativat vuosittaista huoltoa tai ainakin niiden toiminnan tarkastuksen. Ilmamääräsäätimillä on normaalisti noin 20 vuoden tekninen käyttöikä, mutta jatkuvasti säätävät laitteet rikkoontuvat usein jo aiemmin. Hotellihuoneissa olevien ilmamääräsäätimien toimilaite, joka ohjaa peltimoottorin toimintaa on jatkuvassa käytössä. Se tulee uusiksi noin kymmenen vuoden välein. Huollontarpeen vuoksi laitteeseen on päästävä käsiksi ja sitä ei voi jättää piiloon kiinteän alakaton yläpuolelle ilman tarvittavan suurta huoltoluukkuja. Käytettävyyden kannalta hyvänä puolena ilmamääräsäätimissä on se, että niiden toiminta on hallittavissa ja valvottavissa etänä rakennusautomaatiojärjestelmän kautta. [2; 5; 12; 16.]

4 LVI-järjestelmien energiankulutus sekä elinkaarikustannukset

4.1 Referenssikohteen esittely

LVI-järjestelmien energiankulutus ja elinkaarikustannusten laskenta toteutettiin Helsingin keskustaan rakentuvan hotellin uudisrakennuksen arkkitehtisuunnitelmien pohjalta. Hotellirakennuksessa on viisi kerrosta, joissa jokaisessa on 25 huonetta. Talon julkisivu ja puolet ikkunoista suuntautuu pohjoiseen ja toinen sivu ikkunoineen suuntautuu etelään. Ympäröivät rakennukset aiheuttavat varjoja etelän puolen ikkunoihin, joka on huomioitu simuloinnissa.

Kaikkia hotellihuoneita palvelee yksi ilmanvaihtokone, joka on varustettu lämmöntalteenotolla ja jäähdytyspatterilla. Olosuhdetavoitteet tiloille on asetettu niin, että huoneissa toteutuu sisäilmastoluokka S2, jota myös tavallisesti käytetään majoitustilojen suunnittelun lähtökohtana. Tilojen ilmanvaihdon ilmamäärinä on käytetty kohteen suunnittelussa käytettyjä, määräysten mukaisia ilmamääriä. [16.]

4.2 Energiankulutuksen simulointi

Simulointi toteutettiin IDA Indoor Climate and Energy -ohjelmalla, jonka avulla voidaan tutkia rakennuksen lämpöasetta sekä energiankulutusta. IDA ICE:n fysikaaliset mallit pohjautuvat viimeisimpään tutkimustietoon ja laskentahetkellä parhaimpiin saatavilla oleviin laskentamalleihin, jonka takia simuloinnin tuloksena saatuja energiankulutustietoja voidaan pitää hyvänä lähtökohtana elinkaarilaskennalle.

Simuloinnin avulla tarkasteltiin kahta eri kokonaisuutta. Ensimmäisessä osassa simuloitiin vakioilmavirtaisen ja muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihdon energiakulutuksia vuoden aikana. Simulointeja tehtiin erilaisilla ilmanvaihdon ohjaukseen liittyvillä skenaarioilla, jotka on käyty läpi myöhemmin työn kohdassa 4.4 Ilmanvaihdon ohjaustapojen elinkaarilaskelmat.

Toisessa osassa simuloitiin energiankulutusta, kun huoneet on varustettu erilaisilla taloteknisillä järjestelmillä. Järjestelmät mitoitettiin niin, että vaaditut olosuhteet tiloissa

toteutuvat. Vertailtavat järjestelmät ja simuloitujen järjestelmäkokonaisuudet on esitetty myöhemmin työn kohdassa 4.6 Taloteknisten kokonaisratkaisujen elinkaarilaskelmat.

Simuloinnissa käytetty hotellihuoneiden käyttöaste on määritetty entisen Rakennusmääräyskokoelma D5:ssä olevan kertoimen 0,3:n mukaan, sillä nykyään määräyksissä ei oteta kantaa majoitusrakennusten käyttöasteeseen. Tätä arvoa on käytetty elinkaarilaskennassa normaalin tilanteen lähtökohtana ja muussa tapauksessa käytetty arvo on mainittu. Energialaskennan simuloinnissa käytetyt määräystenmukaiset lähtötiedot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Majoitusrakennusten energialaskennan simuloinnissa käytetyt lähtöarvot [13].

Huonelämpötila:		
Lämmityskaudella	21 °C	
Jäähdytyskaudella	25 °C	
Määritetty lämpökuorma:		
Valaistus	14 W/m ²	
Kuluttajalaitteet	4 W/m ²	
Ihmiset	4 W/m ²	
Käyttöaika	24 h/vrk	
	7 vrk/vko	
Käyttöaste	0,3	

4.3 Elinkaarilaskenta ja laskennan lähtöarvot

Simuloinnista saatuja tuloksia sekä järjestelmien kustannuksia vertailtiin LCC-elinkaari-kustannuslaskentana. LCC on lyhenne englannin kielen sanoista Life Cycle Costing. Taloudellinen tarkastelu tehdään laskemalla investoinnin nettonykyarvo. Tämä laskenta on hyvä tapa vertailla taloteknisiä järjestelmiä keskenään. Se kertoo, kuinka paljon järjestelmä tulee tilaajalle kokonaisuudessaan maksamaan ennalta päätetyn tarkastelujakson aikana. Kyseinen kustannusvertailu sisältää alkuinvestoinnin lisäksi myös käytönaikaiset energia- ja huoltokulut, järjestelmien uusimiset, purkukustannukset sekä mahdollisen jäännösarvon. Jotta laskenta voidaan toteuttaa, tulee määritellä laskentakorkokanta elinkaaren ajalle. Korkokannan perusteella pystytään arvioimaan investointien kannattavuutta erikseen päätetyllä aikavälillä. Nettonykyarvo mittaa investoinnin absoluuttista kannattavuutta, jonka takia se helpottaa tilaajaa tekemään taloudellisesti kannattavia päätöksiä etenkin pitkällä aikavälillä. Investointien nettonykyarvojen perusteella saadaan

helposti järjestettyä vertailtavat järjestelmät taloudellisesti kannattavuusjärjestykseen halvimmasta kalleimpaan. [7; 10; 14.] Elinkaarijakson pituutena tässä tarkastelussa on käytetty 50 vuotta.

Investoitavan järjestelmän nykyarvon yleisesti esitetty laskentakaava, kun vuotuiset tuotot ovat vakiot on esitetty kaavassa 1.

$$N = \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} T_t + \frac{1}{(1+i)^n} J - \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} M_t - \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} U_t - H \quad (1)$$

Sama kaava voidaan esittää selkeämmin muodossa,

$$N = kT + dJ - H = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} T + \frac{1}{(1+i)^n} J - H \quad (2)$$

N on nykyarvo, €

T on nettotuotto (ylempi kaava), tuotto (alempi kaava), €/v

M on meno, €/v

J on jäännösarvo, €

U on uusintainvestointi, €

H on hankintahinta, €

i on korkoprosentti / 100

n on vuosien määrä

k on diskonttauskerroin

Diskonttauskerroimen avulla elinkaarijakson aikana vuosittain tapahtuvat kustannukset muutetaan nykyarvoon erikseen määritettyjen korkoprosenttien mukaisesti. Vuosittain toistuvien kustannusten diskonttauskerroin lasketaan kaavalla 3.

$$k = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (3)$$

Tässä elinkaarikustannusten laskennassa on käsitelty pelkästään menoja ja jäännösarvo elinkaaren lopussa on arvioitu nolaksi. Järjestelmille ei lasketa jäännösarvoa, sillä elinkaarijakson loputtua kiinteistöön on arvioitu toteutettavaksi saneeraus, jossa kaikki tekniikka uusitaan. Tämän takia tarkastellaan elinkaarilaskentaa kaavan 4 mukaisesti.

Järjestelmä, jolla on pienin nettonykyarvo, tulee halvimmaksi tarkasteltavan elinkaaren aikana ja on näin ollen taloudellisesti kannattavin vaihtoehto.

$$N = kM_{\text{lämmitysenergia}} + kM_{\text{sähköenergia}} + kM_{\text{huolto}} + dU + H \quad (4)$$

Järjestelmien uusimisesta aiheutuvat kustannukset muutetaan nykyarvoon diskontauskertoimella. [10; 14.]

$$d = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (5)$$

Järjestelmien kustannusten arvioinnissa on käytetty lähteenä Talonrakennuksen kustannustieto 2013 kirjaa. Kustannukset, huoltovälit sekä järjestelmien käyttöajat on laskettu soveltaen kirjassa olevia taulukoita. Useat taulukoiden kustannukset on annettu tilojen pinta-alaan perustuen neliökohtaisesti mutta hotellia tarkasteltaessa kyseisellä laskentatavalla ei kaikissa tapauksissa saada realistisia kustannuksia. Tarkasteltavissa olevien laitteiden ollessa huonekohtaisia, kirjassa olleita kustannuksia on jouduttu soveltamaan laskemalla laitteille kappalehinnat. Järjestelmiin liittyvät kustannuslaskelmat on esitetty liitteessä 1. [10; 15.]

Usein taloteknisissä järjestelmissä energiaan ja ylläpitoon kuluvat kustannukset ovat pitkällä aikavälillä investointikustannuksia suuremmat. Pitkän aikavälin elinkaarilaskennassa haasteeksi osoittautuu korkojen, energian hinnan sekä hinnannousun arviointi. Koska ei voida tietää miten yleinen talous ja hinnat kehittyvät, arvioidaan hintakehitys menneiden vuosien mukaisesti. Energian hintana on tässä laskennassa käytetty pyöristettyjä Helsingin Energian vuoden 2018 toteutuneita keskihintoja. Yleiseksi laskennassa käytettäväksi reaalkoroksi on arvioitu 5 % ja energian hintojen reaalin korko arvioitiin olevan 3 %. Nämä keskimäärin vastaavat lähivuosien hintojen muutosta Suomessa. Laskennan lähtöarvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Elinkaarilaskennassa käytetyt lähtöarvot.

Elinkaarijakson pituus	50	v
Yleinen reaalikorko	5	%
Energian hintojen reaalikorko	3	%
Sähköenergian hinta	10	c/kWh
Lämpöenergian hinta	6	c/kWh

4.4 Ilmanvaihdon ohjaustapojen elinkaarilaskelmat

Laskennassa vertailtiin vakioilmamääräistä ilmanvaihtoa muuttuvailmavirtaiseen ilmanvaihtoon sekä sen erilaisiin variaatioihin (ks. taulukko 3). Energiantarpeen ja siitä aiheutuneiden kustannusten tarkastelussa on otettu huomioon ilmanvaihdon tarvitsema lämmityksen energiantarve sekä ilmanvaihtokoneen puhaltimien ja huonekohtaisten ilmamääräsäätimien vaatima sähköenergian tarve. Investointikustannuksissa on otettu huomioon vain ilmamääräsäätimien asennukseen liittyvät lisäkustannukset verrattuna vakioilmamääräiseen järjestelmään, jolloin vakioilmamääräiselle järjestelmälle ei ole esitetty lainkaan investointi- tai huoltokustannuksia. Tämä johtuu siitä, että kanavoinnit ja päätelaitteet ovat samat molemmissa tilanteissa ja ainoana erona järjestelmissä on kanaviin asennettavat ilmamääräsäätimet.

Taulukko 3. Vertailussa olevat variaatiot ilmanvaihdon toteutukseen.

Ohjaustapa	Tilojen käyttöaste	IMS, lukumäärä
Vakioilmamäärä	0,3	0
IMS, Kaikki huoneet	0,3	250
IMS, Kaikki huoneet	0,5	250
IMS, Yksi kerros	0,3	50
IMS, 7 huonetta / krs	0,3	70
IMS, 10 huonetta / krs	0,3	100

Vakioilmamääräinen ilmanvaihto

Vakioilmamääräisessä ilmanvaihdossa kaikkien huoneiden olosuhteet pidetään vakiona jatkuvasti, huolimatta siitä ovatko ne käytössä vai ei. Järjestelmien vertailuun liittyviä ja elinkaaren nykyarvoon vaikuttavia investointikustannuksia tai huoltokustannuksia ei ole. Elinkaarikustannukset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Huoneissa vakioilmamääräinen ilmanvaihto.

Investointikustannukset	0	€
Huoltokustannukset	0	€/a
Järjestelmän uusimisen kustannukset	0	€
Vuotuinen lämmöntarve	143 926	kWh/a
Voutuinen lämpökustannus	8 636	€/a
Vuotuinen sähkötarve	43 282	kWh/a
Voutuinen sähkökustannus	4 328	€/a
LCC / Nykyarvo	339 160	€

Kaikki huoneet on varustettu ilmamääräsäätimellä

Vakioilmamääräisen ilmanvaihdon vertailukohtaksi on simuloitu vaihtoehto, jossa kaikki huoneet on varustettu ilmamääräsäätimillä. Tulo- ja poistoilmaa ohjataan tarpeenmukaisesti niin, että huoneen ollessa käytössä ilma vaihtuu käyttötilanteen mitoituksen mukaisesti. Tilan ollessa tyhjiällä ilmanvaihto on määräysten mukainen minimi eli 15 % mitoitetuista käyttötilanteen ilmamäärästä. Elinkaarilaskenta on tehty kahdella eri huoneiden käyttöasteella. Yleinen mitoituksissa käytettävä käyttöaste on 0,3 (ks. taulukko 5) mutta vertailun vuoksi laskenta tehtiin myös käyttöasteen kasvaessa arvoon 0,5 (ks. taulukko 6). Käyttöaste vaikuttaa siihen, kuinka usein ilmanvaihtoa päästään säätämään minimille, joka on suoraan verrannollinen energiankulutukseen ja nykyarvoon.

Taulukko 5. Ilmamääräsäätiset huoneet, joiden käyttöaste on 0,3.

Investointikustannukset	115 000	€
Huoltokustannukset	1 820	€/a
Järjestelmän uusimisen kustannukset	60 399	€
Vuotuinen lämmöntarve	58 920	kWh/a
Voutuinen lämpökustannus	3 535	€/a
Vuotuinen sähkötarve	18 425	kWh/a
Voutuinen sähkökustannus	1 843	€/a
LCC / Nykyarvo	349 573	€

Taulukko 6. Ilmamääräsäätiset huoneet, joiden käyttöaste on 0,5.

Investointikustannukset	115 000	€
Huoltokustannukset	1820	€/a
Järjestelmän uusimisen kustannukset	60 399	€
Vuotuinen lämmöntarve	81 688	kWh/a
Voutuinen lämpökustannus	4 901	€/a
Vuotuinen sähkötarve	25 572	kWh/a
Voutuinen sähkökustannus	25 573	€/a
LCC / Nykyarvo	404 014	€

Osa huoneista on varustettu ilmamääräsäätimillä

Seuraavaksi on tarkasteltu vaihtoehtoa, joissa osa huoneista on toteutettu vakioilmavirtaisena ilmanvaihtona ja osa huoneista on varustettu ilmavirtasäätimillä. Hotellissa mahdollisesti varaamattomat huoneet ovat lähtökohtaisesti ilmamääräsäätimillä varustettuja, jolloin niissä voidaan pitää ilmanvaihtoa minimillä. Lähtökohtana siis olisi, että vakioilmavirtaiset huoneet otetaan käyttöön ensin ja vasta tarvittaessa otetaan käyttöön tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla varustetut huoneet. Huoneiden käyttöasteena laskennassa on käytetty rakennusmääräyskokoelman D5 määrittämää käyttöastetta 0,3.

Ensimmäinen laskenta on tehty ajatuksella, että hotellin yksi kokonainen kerros eli 20 % huonemäärästä olisi toteutettu ilmamääräsäätimillä (ks. taulukko 7).

Taulukko 7. Ilmamääräsäätisiä huoneita on 20 % huoneiden lukumäärästä.

Investointikustannukset	23 000	€
Huoltokustannukset	604	€/a
Järjestelmän uusimisen kustannukset	12 080	€
Vuotuinen lämmöntarve	118 924	kWh/a
Voutuinen lämpökustannus	7 135	€/a
Vuotuinen sähkötarve	35 935	kWh/a
Voutuinen sähkökustannus	3 594	€/a
LCC / Nykyarvo	326 884	€

Toisessa vertailukohteessa hotellin jokaisessa kerroksessa seitsemän huonetta eli 28 % huonemäärästä on toteutettu ilmamääräsäätimillä (ks. taulukko 8).

Taulukko 8. Ilmamääräsääteisiä huoneita on 28 % huoneiden lukumäärästä.

Investointikustannukset	32 200	€
Huoltokustannukset	726	€/a
Järjestelmän uusimisen kustannukset	16 912	€
Vuotuinen lämmöntarve	109 307	kWh/a
Voutuinen lämpökustannus	6 558	€/a
Vuotuinen sähköntarve	33 060	kWh/a
Voutuinen sähkökustannus	3 306	€/a
LCC / Nykyarvo	320 535	€

Kolmannessa tapauksessa on ilmapuhtauslaitteilla varustettuja huoneita kymmenen kappaletta jokaista kerrosta kohti, joka tarkoittaa 40 % kaikista hotellin huoneista (ks. taulukko 9).

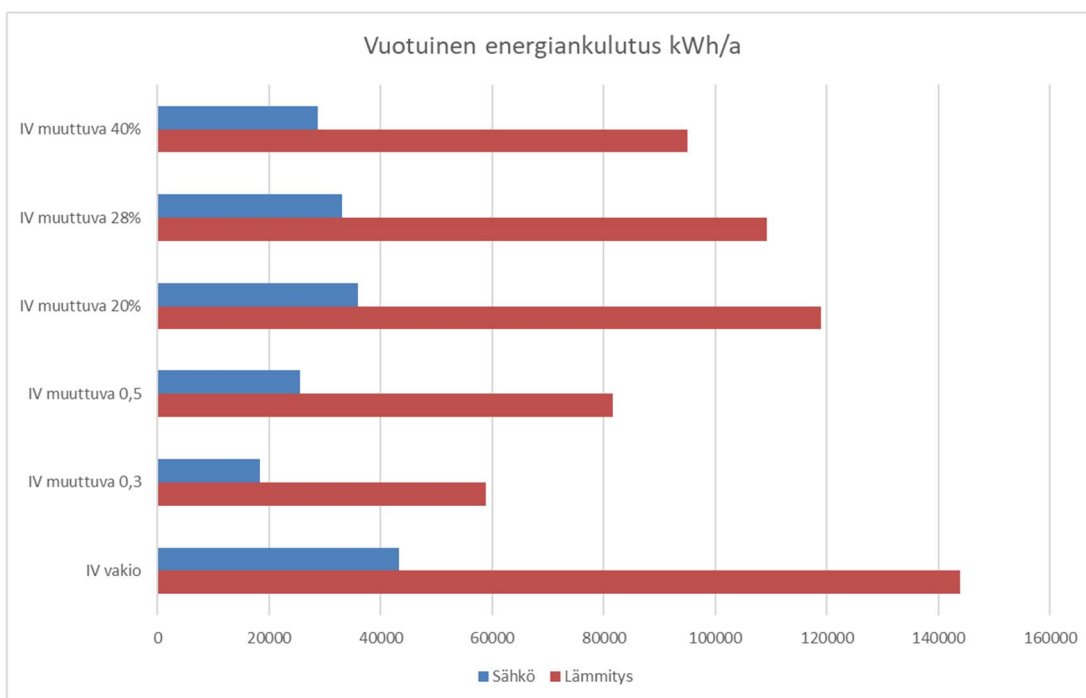
Taulukko 9. Ilmamääräsääteisiä huoneita on 40 % huoneiden lukumäärästä.

Investointikustannukset	46 000	€
Huoltokustannukset	908	€/a
Järjestelmän uusimisen kustannukset	24 160	€
Vuotuinen lämmöntarve	94 934	kWh/a
Voutuinen lämpökustannus	5 696	€/a
Vuotuinen sähköntarve	28 762	kWh/a
Voutuinen sähkökustannus	2 876	€/a
LCC / Nykyarvo	311 132	€

4.5 Ilmanvaihdon elinkaarilaskelmien yhteenveto ja analysointi

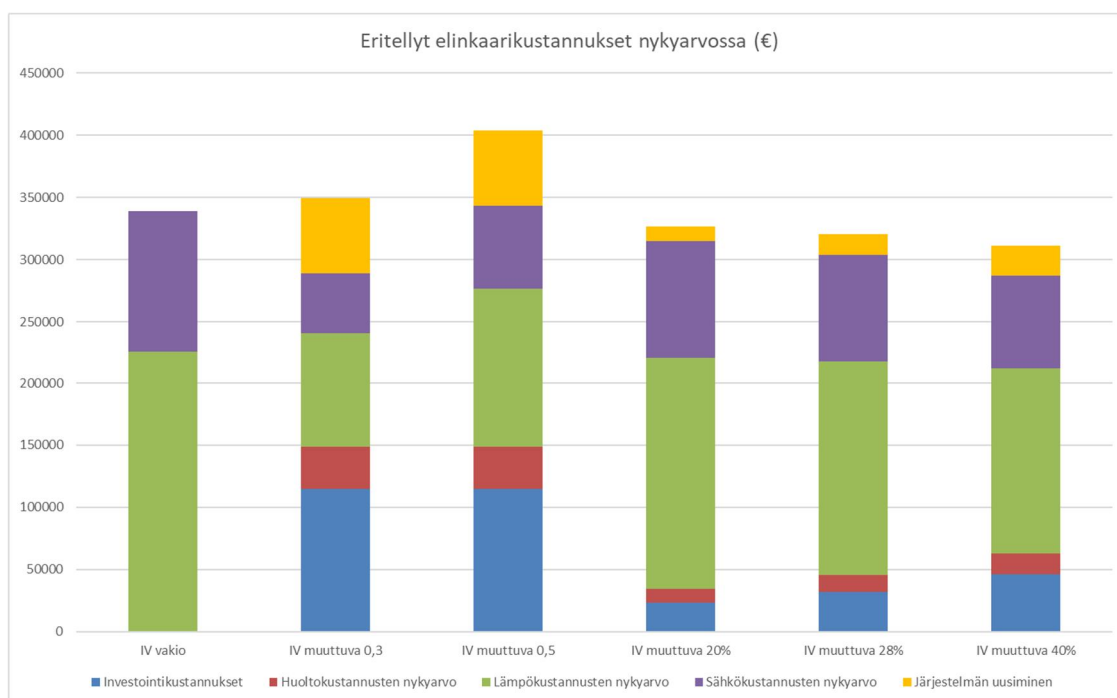
Simuloinnin perusteella on havaittavissa, että ilmanvaihdon toteutustavoilla on toisiinsa nähden selkeitä eroja. Laskelmien pohjalta pystytään osoittamaan järjestelmän kannattavuus ja kokonaishinta tarkastelujaksolle. Laskenta voidaan pilkkoa myös pienempiin osiin, joita voidaan hyödyntää toteutustavan valinnassa.

Energiankulutusta vertailtaessa ilmamääräsäätimien vaikutus on selkeä sekä lämmitys- ja sähköenergian säästön osalta. Vakioilmavirtaisessa vaihtoehdossa energiankulutus on yli kaksinkertainen verrattuna tilanteeseen, jossa kaikkia huoneita ohjataan ilmamääräsäätimillä. Hotellihuoneiden vertailussa käytetty käyttöaste on sen verran pieni, että ilmamääriä voidaan pitää suuri osa ajasta minimi asetuksessa. Kuvassa 2 on esitetty kaikkien vertailtavien vaihtoehtojen lämmitys- ja sähköenergian kulutukset.



Kuva 2. Ilmanvaihdon aiheuttama energiankulutus eri vaihtoehdoissa.

Energiankulutuksessa saavutetuilla säästöillä saadaan joiltakin osin katettua ilmamääräsäätimen järjestelmän vaatimat investointi- ja huoltokustannukset. Ilmamääräsäätimessä vaihtoehdossa investointikustannukset ovat suuret ja johtuen laitteiden suhteellisen lyhyestä käyttöiästä ja niitä joudutaan lisäksi uusimaan tarkastelujakson aikana. Kuvassa 3 on esitetty kaikkien vertailtavien vaihtoehtojen kustannusten jakautuminen tarkasteltavan elinkaarijakson aikana.

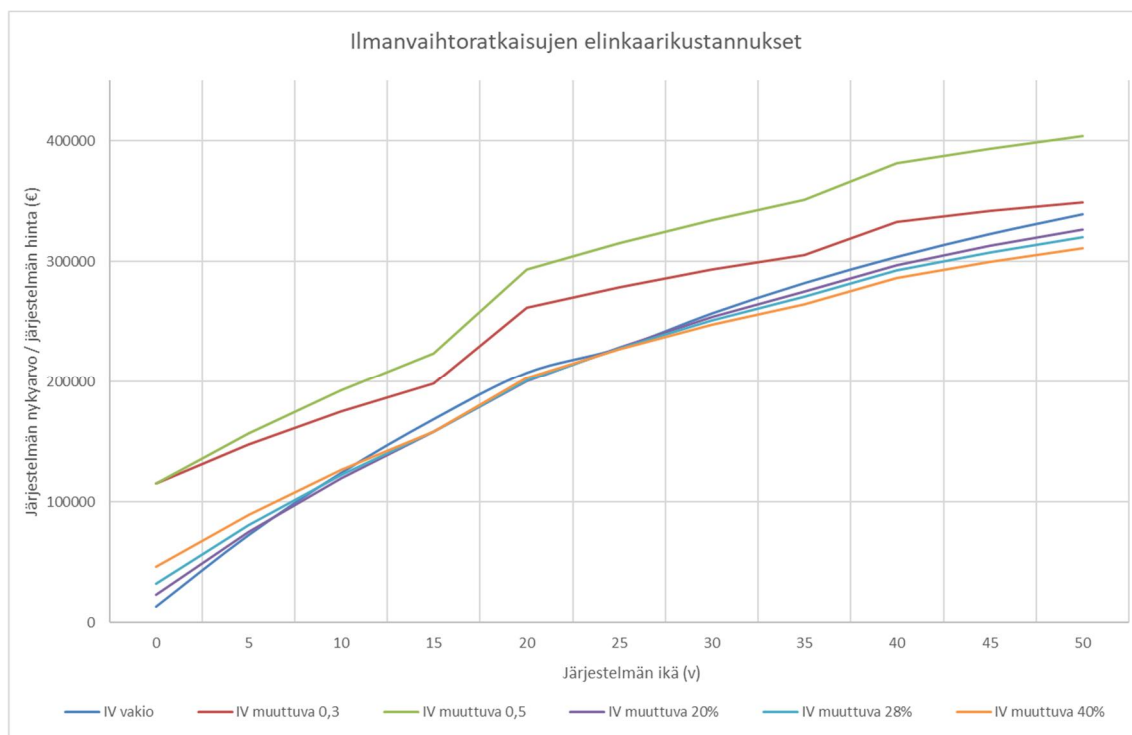


Kuva 3. Elinkaarikustannusten erittely eri vaihtoehdoissa.

Referenssi kohteelle tehdyn energiasimuloinnin ja LCC-nykyarvolaskennan tulosten perusteella ilmamääräsäätöstä järjestelmää taloudellisesti kannattavampaa on toteuttaa hotellihuoneiden ilmanvaihto vakioilmavirtaisena. Se on suuremmasta energiankulutuksesta huolimatta halvempi ratkaisu. Tämä johtuu pelkästään siitä, että sillä ei ole rasitteena ylimääräisiä investointi-, huolto- tai laitteiden uusimisiin liittyviä kuluja. Kuvassa 4 on esitetty kaikkien laskennassa olleiden vaihtoehtojen elinkaarikustannukset. Erittelystä on helposti erotettavissa investoinnin ja ilmamääräsäätimien uusimisen vaikutus kokonaiskustannuksiin. Ilmamääräsäätimet joudutaan uusimaan kaksi kertaa tarkastelujakson aikana niiden lyhyen teknisen käyttöiän jälkeen. Mitä suurempi käyttöaste hotellihuoneilla on, sitä kalliimpaa pitkällä ajanjaksolla on varustaa tilat tarpeenmukaisella ilmanvaihdoilla.

Vertailussa tutkittiin myös vaikutusta siihen, että osa huoneista varustettaisiin ilmamääräsäätimillä, jolloin niitä voitaisiin pitää tyhjillään hotellin ollessa vajaalla käytöllä. Tämä osoittautui olevan taloudellisesti hyvä ratkaisu ja kustannusten osalta saavutetaan vakioilmavirtaista järjestelmää halvempi ratkaisu. Kyseinen ratkaisu tosin vaatisi hotellihuoneiden käytön ja varausjärjestelmien muokkaamisen niin, vapaat huoneet olisivat aina lähtökohtaisesti ilmamääräsäätimillä varustettuja. Usein hotellihuoneiden käyttö

perustuu jatkuvaan kierrättämiseen, jolloin ne kuluvat tasaisesti käytön myötä [16]. Koska kustannuserot vakioilmavirtaisen ja sekajärjestelmän osalta ovat pieniä ja hotellien toimintatavat tukevat tasaista huoneiden käyttöä, on käytännössä järkevää asentaa vakioilmavirtainen järjestelmä.

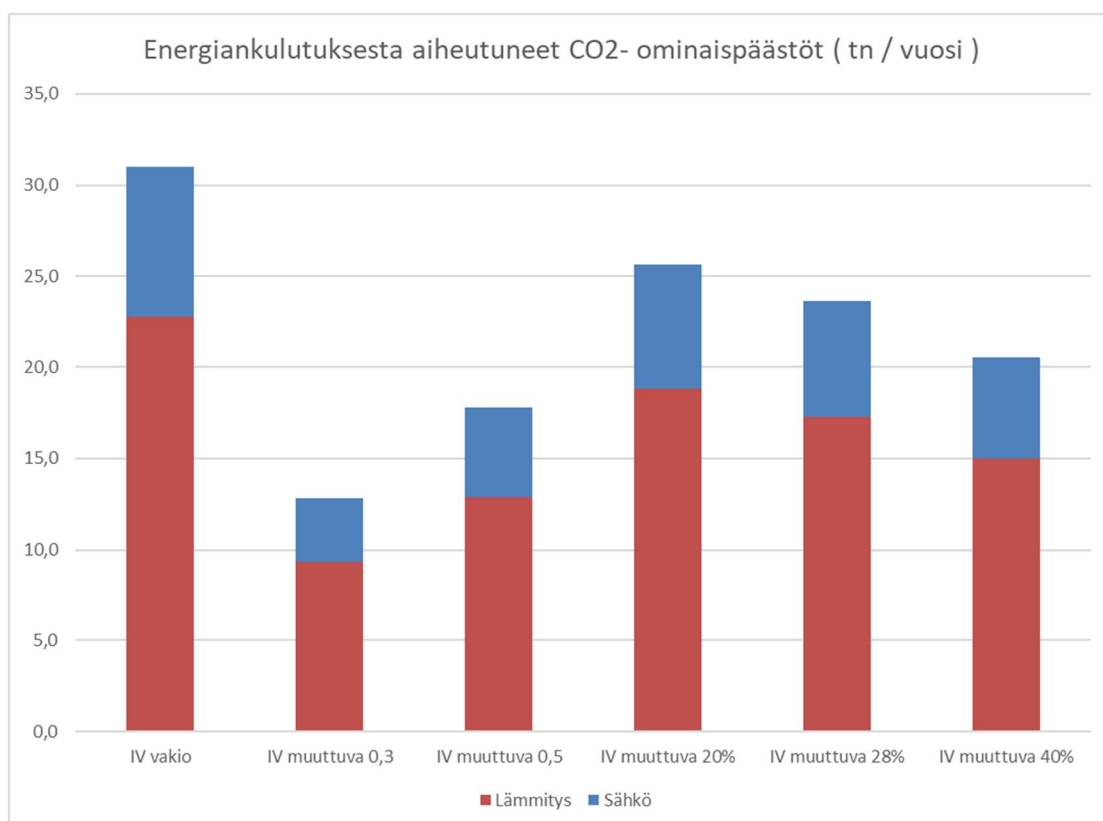


Kuva 4. Elinkaarikustannukset eri toteutustavoille.

Aiemmin energiankulutusta seurattiin lähinnä kustannusten takia, mutta viime aikoina on alettu ajattelemaan myös ilmaston vaikuttavia hiilidioksidi- eli CO₂-päästöjä ja mahdollisuuksia niiden vähentämiseksi. Kuvassa 5 on esitetty vertailtavien ilmanvaihtoratkaisujen CO₂-päästöt, jotka on laskettu Helen Oy:n ilmoittamilla ominaispäästö määrillä myyntyä energiayksikköä kohti. Myyntienergiasta aiheutuneet ominaispäästö määrät on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Myyntienergian CO₂- päästö määrät vuonna 2018 (Helen Oy). [17].

Lämmitys	158	g/kWh
Jäähdytys	72	g/kWh
Sähkö	191	g/kWh



Kuva 5. Ilmanvaihdon energiankulutuksesta aiheutuneet CO₂-päästöt.

4.6 Taloteknisten kokonaisratkaisujen elinkaarilaskelmat

Laskennassa vertailtiin hotellihuoneiden olosuhteisiin vaikuttavia taloteknisiä kokonaisratkaisuja, joilla voidaan toteuttaa tilojen lämmitys, jäähdytys sekä ilmanvaihto. Elinkaarikustannusten tarkastelussa on otettu huomioon ilmanvaihdon sekä tilojen vaatima lämmitysenergian tarve, huonelaitteiden käyttöön kuluva sähköenergian tarve sekä vuotuiset huoltokustannukset. Elinkaarijakson aikana huoltokustannukset koostuvat venttiilien sekä toimilaitteiden uusimisesta niiden teknisen käyttöiän jälkeen, suodattimien vaihdoista sekä mahdollisista satunnaisista laiterikkojen korjauksista. Laiterikkojen osuutta ei ole laskennassa otettu huomioon.

Vertailtavien kokonaisuuksien energiankulutus on lämmityksen ja jäähdytyksen osalta kaikissa sama, mutta sähköenergian kulutuksessa on järjestelmäkohtaisia eroja. Elinkaarierien vertailussa suurimmat osajärjestelmäkohtaiset erot koostuvat

investointikustannuksista, laitteiden uusimistarpeesta elinkaaren aikana sekä niiden vaatimasta sähköenergian kulutuksesta. Huoltokustannusten osuus on melko pieni.

Simuloimalla lasketut LCC-elinkaarilaskennassa kaikille osajärjestelmille käytetyt lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutukset sekä niiden kustannukset on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutukset ja kustannukset.

Vuotuinen jäähdytyksentarve	27 500 kWh/a
Vuotuinen jäähdytyskustannus	5 225 €/a
Vuotuinen lämmöntarve	44 000 kWh/a
Vuotuinen lämpökustannus	2 640 €/a

Vertailtavina osajärjestelminä taloteknisten kokonaisuuksien elinkaarilaskennassa on käytetty radiaattoria, lattialämmitystä, puhallinkonvektoria sekä säteilypaneelia. Puhallinkonvektorien ja säteilypaneelien investointikustannukset riippuvat niiden käyttötarkoituksesta, sillä niillä voidaan toteuttaa tilan lämpötilan hallinta kokonaisuudessaan tai vaihtoehtoisesti pelkästään jäähdytys. Laitteita ei ole tarkemmin tyypitetty vaan laskennassa on käytetty mitoitusohjelmaan asetettuja normaaleja laitetyppeille ominaisia arvoja sekä investointikustannuksia. Kustannuksissa ei ole otettu huomioon lämmityksen tai jäähdytyksen runkoputkia vaan pelkästään huoneen sisäiset putkiasennukset. Ilmanvaihto on kaikissa tapauksissa simuloitu vakioilmavirtaiseksi, jolloin sen toteutustavan vaikutus järjestelmiä vertailtaessa näkyy ainoastaan investointikustannuksissa. Jos tilaan mitoitettua raitisilmaa ei tuoda lämmitys- tai jäähdytyslaitteen kautta, se toteutetaan huonetilaan asennettavalla tuloilman päätelaitteella. Vertailukohteet on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Vertailussa olevat talotekniset järjestelmäkokonaisuudet.

	Lämmitys	Jäähdytys	Ilmanvaihto
Kokonaisuus 1	Radiaattori	PKN	PKN
Kokonaisuus 2	PKN	PKN	PKN
Kokonaisuus 3	Radiaattori	Paneeli	Päätelaitteet
Kokonaisuus 4	Paneeli	Paneeli	Päätelaitteet
Kokonaisuus 5	Lattialämmitys	PKN	PKN

Talotekninen kokonaisratkaisu 1

Radiaattorit vastaavat huonetilan lämmityksestä. Jäähdytystä varten asennetaan puhallinkonvektori, jonka kautta toteutetaan myös raitisilman tuominen huoneeseen. Puhallinkonvektori joudutaan uusimaan elinkaaren aikana ja siinä oleva puhallin aiheuttaa sähköenergian kulutusta jäähdytyskaudella aina tilan ollessa käytössä.

Taulukko 13. Lämmitys toteutettu radiaattorilla ja jäähdytys puhallinkonvektorilla.

Investointikustannukset	217 000	€
Järjestelmän uusimisen kustannukset	58 267	€
Vuotuinen sähköntarve	13 808	kWh/a
Voutuinen sähkökustannus	1 380	€/a
Huoltokustannukset	1 260	€/a
LCC / Nykyarvo	403 639	€

Talotekninen kokonaisratkaisu 2

Hotellihuoneiden olosuhteiden hallinta hoidetaan kokonaisuudessaan yhden laitteen kautta. Lämmitys ja jäähdytys toteutetaan puhallinkonvektorilla, jonka kautta tuodaan myös vaadittava raitisilma tilaan. Sähköenergiaa kuluu sekä lämmitys- ja jäähdytyskaudella puhallinkonvektorissa olevan puhaltimen toimintaan. Laitteet joudutaan uusimaan tarkastelujakson puolivälissä, jolloin ne saavuttavat teknisen käyttöikänsä.

Taulukko 14. Lämmitys ja jäähdytys toteutettu puhallinkonvektorilla.

Investointikustannukset	236 000	€
Järjestelmän uusimisen kustannukset	70 518	€
Vuotuinen sähköntarve	49 920	kWh/a
Voutuinen sähkökustannus	4 992	€/a
Huoltokustannukset	1 360	€/a
LCC / Nykyarvo	531 207	€

Talotekninen kokonaisratkaisu 3

Lämmitys toteutetaan radiaattoreilla ja jäähdytystä varten tilaan asennetaan jäähdytyspaneelit. Ilmanvaihto toteutetaan erillisillä ilmanvaihdon päätelaitteilla. Koska ratkaisussa ei ole erillisiä sähköä kuluttavia laitteita, niin ei ole myöskään elinkaarikustannusten vertailuun vaikuttavia energiakustannuksia.

Taulukko 15. Lämmitys toteutettu radiaattorilla ja jäähdytys säteilypaneelilla.

Investointikustannukset	227 000	€
Järjestelmän uusimisen kustannukset	0	€
Vuotuinen sähkötarve	0	kWh/a
Voutuinen sähkökustannus	0	€/a
Huoltokustannukset	1 050	€/a
LCC / Nykyarvo	315 384	€

Talotekninen kokonaisratkaisu 4

Lämmitys ja jäähdytys toteutetaan säteilypaneelilla, johon on liitetty molemmat verkostot. Ilmanvaihto toteutetaan erillisillä ilmanvaihdon päätelaitteilla. Kuten kokonaisuudessa 3, myös tässä vaihtoehdossa ainoat vertailuun vaikuttavat kustannukset ovat investointiin ja vuosittaiseen huoltoon liittyviä.

Taulukko 16. Lämmitys ja jäähdytys toteutettu säteilypaneelilla.

Investointikustannukset	282 000	€
Järjestelmän uusimisen kustannukset	0	€
Vuotuinen sähkötarve	0	kWh/a
Voutuinen sähkökustannus	0	€/a
Huoltokustannukset	1 900	€/a
LCC / Nykyarvo	386 021	€

Talotekninen kokonaisratkaisu 5

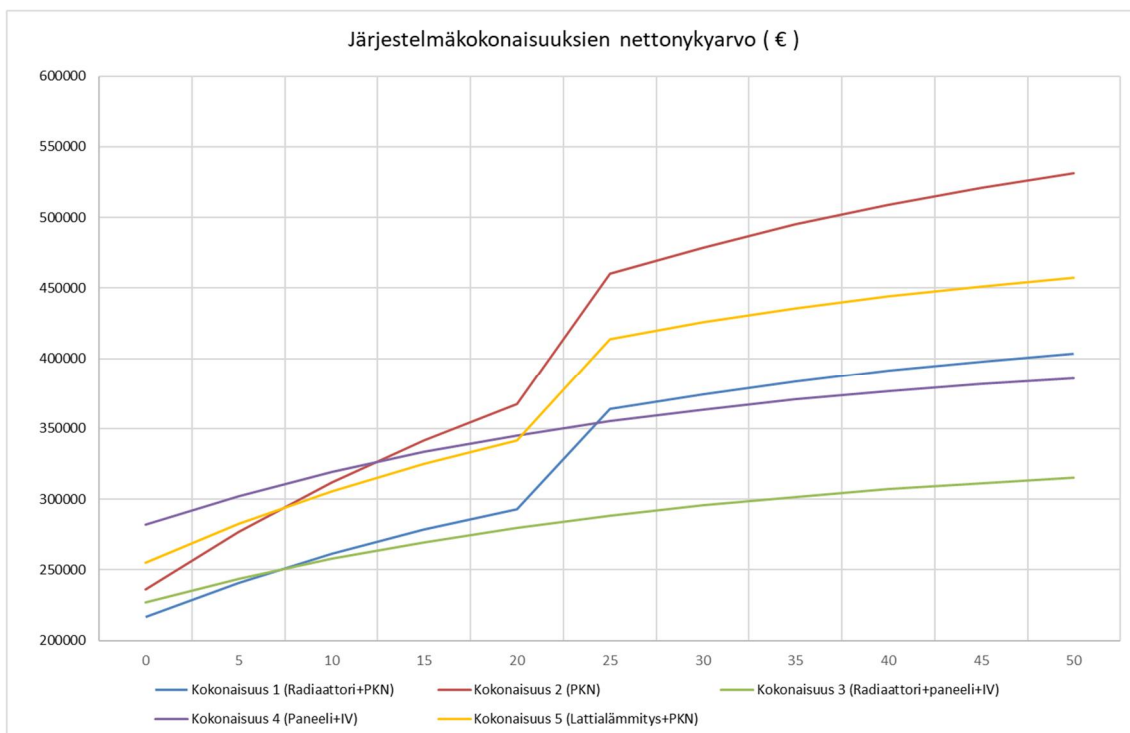
Lämmitys toteutetaan huonekohtaisena vesikiertoisella lattialämmityksellä ja jäähdytystilannetta varten tilaan asennetaan puhallinkonvektori, jonka kautta tuodaan myös raai-tilma huoneeseen. Laitteen teknisen käyttöiän ollessa noin 25 vuotta, ne tulee uusittavaksi tarkastelujakson puolivälissä. Huonetiloja jäähdytettäessä puhallinkonvektorien käyttöön kuluu sähköenergiaa.

Taulukko 17. Lämmitys toteutettu lattialämmityksellä ja jäähdytys puhallinkonvektorilla.

Investointikustannukset	255 000	€
Järjestelmän uusimisen kustannukset	58 267	€
Vuotuinen sähkötarve	13 808	kWh/a
Voutuinen sähkökustannus	1 380	€/a
Huoltokustannukset	2 110	€/a
LCC / Nykyarvo	457 276	€

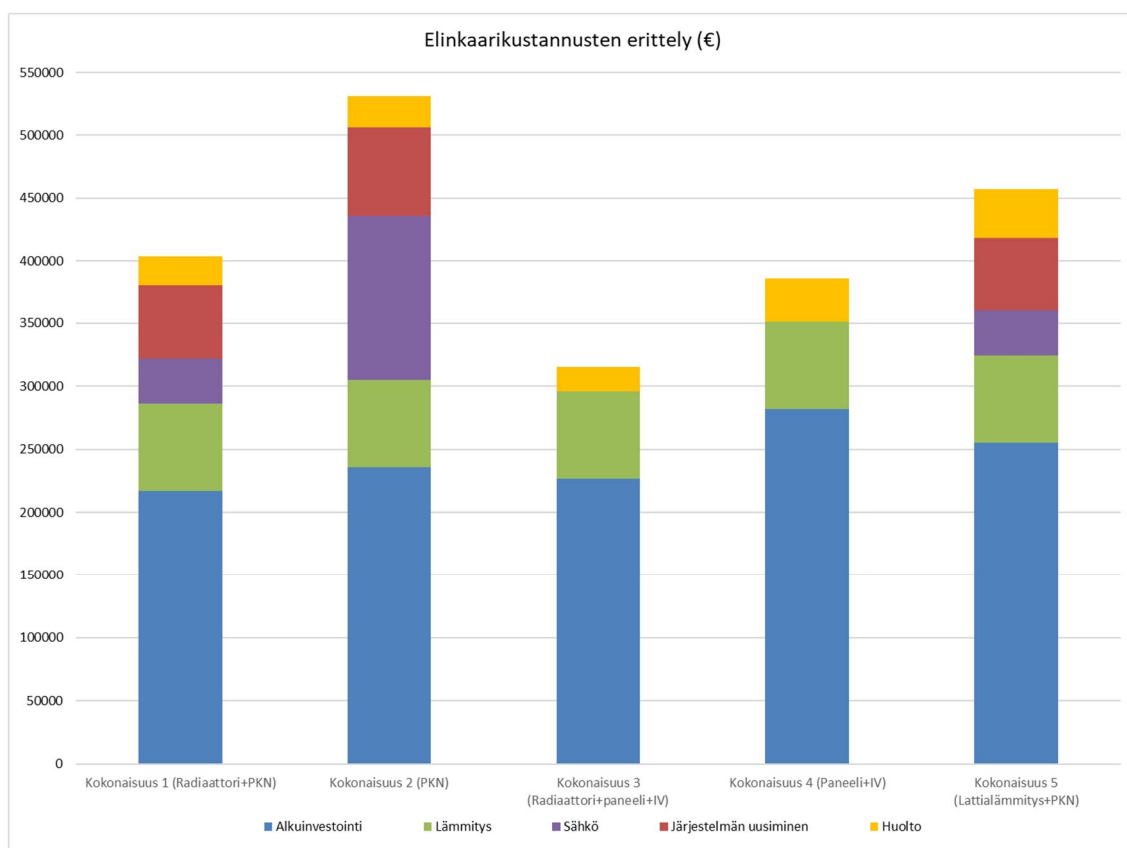
4.7 Taloteknisten kokonaisuuksien vertailun yhteenveto

Tarkasteltavan kohteen LCC-nykyarvolaskennan perusteella taloudellisesti kannattavinta on toteuttaa hotellihuoneiden lämpötilan hallinta säteilypaneelia käyttäen. Kustannusten perusteella kannattavinta on asentaa lämmitystilannetta varten radiaattorit, jolloin pelkästään jäähdytys toteutetaan paneelien avulla. Selkeästi kallein vaihtoehto on toteuttaa olosuhteiden hallinta kokonaisuudessaan puhallinkonvektorilla. Investointikustannukset ovat lähes samalla tasolla paneelien kanssa mutta laitteiden uusiminen tulee ajankohtaiseksi tarkasteltavan elinkaarijakson puolivälissä. Lisäksi puhallinkonvektorien puhaltimet kuluttavat sähköenergiaa aina huoneen ollessa käytössä toisin kuin muissa järjestelmissä. Kuvassa 6 on esitetty kaikkien kokonaisuuksien elinkaarikustannukset tarkastelujakson ajalta, josta on hyvin erotettavissa alkuinvestoinnin sekä uusittavien laitteiden vaikutus kokonaiskustannuksiin.



Kuva 6. Järjestelmäkokonaisuuksien nettonykyarvon kasvu elinkaarijakson aikana.

Lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutus olosuhteiden saavuttamiseksi on vakio kaikissa vertailtavissa kokonaisuuksissa ja huoltokustannusten osalta järjestelmäkohtaiset erot ovat hyvin pieniä. Tämän takia ainoina vaikuttavina tekijöinä taloudellisen kannattavuuden osalta on järjestelmien investointikustannukset sekä laitteiden teknisen käyttöiän tuoma uusimisen tarve sekä sähköenergian käyttöön liittyvät kustannukset. Kuvassa 7 on esitetty kustannusten koostuminen eri järjestelmäkokonaisuuksissa 50 vuoden elinkaaren aikana.



Kuva 7. Elinkaarikustannukseen vaikuttavat tekijät eriteltynä eri järjestelmäkokonaisuuksissa.

Ilmaston kannalta tärkeiden ostoenergiasta aiheutuvien hiilidioksidi -päästöjen erot vertailtavien kokonaisuuksien välillä liittyvät sähköenergian käyttöön, sillä jäähdytys ja lämmitysenergian määrät järjestelmissä ovat samat. Puhallinkonvektorin ollessa jäähdytyskäytössä se aiheuttaa vuodessa noin 2,6 tonnia CO₂-päästöjä ja jos sillä hoidetaan myös lämmitys niin vuosittaiset CO₂-päästöt ovat noin 9,5 tonnia. Muut järjestelmät eivät aiheuta ylimääräisiä CO₂-päästöjä.

5 Järjestelmien vertailun johtopäätökset

Energiansimuloinnin ja kustannuslaskennan tulosten perusteella tehdyt LCC-elinkaari-laskennat osoittavat, että taloudellisesti ilmanvaihto kannattaa toteuttaa vakioilmavirtaisena. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon investointikustannukset sekä lyhyestä käyttöiästä johtuvat ilmamääräsäätimien uusimisen kustannukset ovat niin suuret, että niitä ei pystytä saavutetulla energiansäästöllä kattamaan. Mitä suurempi käyttöaste hotellilla on,

sitä vähemmän saadaan hyötyä tarpeenmukaisesta ilmanvaihdosta. Tämä johtuu siitä, että huoneiden ilmavirrat saadaan harvemmin ohjattua minimiin.

Joidenkin huoneiden toteuttaminen ilmamääräsäätimillä vaikuttaisi olevan selvitysten perusteella olevan kannattavaa, jolloin muut tilat toteutetaan vakioilmamääräisinä. Varsinkin jos hotellissa on usein suuri osa huoneista tyhjillään, voisi olla järkevää laittaa useita huoneita vyöhykepeltien taakse. Näin tilojen ilmamäärät voidaan säätää minimiin yhtä ilmamääräsäädinparia käyttäen vyöhykkeen ollessa tyhjillään. Tällä saavutetaan tarpeenmukaisuuden hyöty mutta säästetään investointikuluissa. Vyöhykkeenä voisi olla esimerkiksi kerros tai kerroksen osa. Usein hotelleissa ongelmana vyöhykkeiksi jakamisessa on kuitenkin se, että käytössä olevia huoneita vaihdellaan jatkuvasti, jotta tilat kulusivat tasaisesti käytön myötä [16].

Elinkaarilaskennan perusteella tarpeenmukaisen ilmanvaihdon yhdistäminen vakioilmavirtaiseen järjestelmään on pitkällä aikavälillä hieman halvempi ratkaisu kuin pelkästään vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon järjestelmä. Jos energiakustannukset nousevat tulevaisuudessa ennakoitua nopeammin, voisi energiakustannusten pienentäminen tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ja varsinkin vyöhykepeltien avulla tulla ajankohtaiseksi etenkin pienemmän käyttöasteen hotelleissa. Tämä tosin vaatisi muutosta myös hotellihuoneiden varauskäytännön ja käytön osalta. Energiansäästöön liittyvät toimenpiteet vähentävät kulujen lisäksi ilmastoon liittyviä hiilidioksidipäästöjä, joihin on lähiaikoina alettu kiinnittämään paljon huomiota. Päästöjen vähentämiseksi on asetettu tavoitteita ja vaatimuksia myös kiinteistöjen toimintaan liittyen, joten toimenpiteitä tulee harkita jatkossa tämänkin takia.

Ilmanvaihdon lisäksi tilojen olosuhdetta hallitaan lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmillä. Kaikkien tarkasteltavien järjestelmäkokonaisuuksien investointikustannukset ovat keskenään samaa suuruusluokkaa. Taloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna 50 vuoden elinkaarijakson aikana halvimmaksi jäähdytyksen osalta tulee paneelin käyttäminen. Investointi- ja huoltokustannusten lisäksi niihin ei kohdistu juurikaan muita kuluja. Puhallinkonvektorien käyttäminen jäähdytys- sekä lämmityslaitteina on laskelmien perusteella kalliimpaa kuin muiden järjestelmien, joka johtuu laitteiden uusimisen tarpeesta sekä sähköenergian kulutuksesta. Lämmityksen toteuttaminen radiaattoreilla on

elinkaarikustannuksiltaan halvin vaihtoehto, mutta myös paneelin käyttäminen on kustannustehokas ratkaisu.

Eryisesti lämmitysmuodon valinnassa kannattaa kustannusten lisäksi miettiä käytännöllisyyttä ja tilatehokkuutta, sillä järjestelmiin kohdistuvat kustannukset eivät poikkea paljoa toisistaan. Lattialämmitys, paneelit ja radiaattorit ovat kustannuksiltaan keskenään samaa suuruusluokkaa, mutta niiden toiminnallisuudessa on suuria eroja, jotka kannattaa ottaa huomioon valintaa tehdessä. Jos kustannukset eivät ole suurin järjestelmävalintaan vaikuttava tekijä ja tilaan on päätetty asentaa puhallinkonvektorit jäähdytystä varten, niin kannattaa miettiä lämmityksen toteuttamista myös puhallinkonvektorilla. Näin koko olosuhteiden hallinta voidaan toteuttaa yhdellä hyvin tilaan integroitavalla ja käyttäjäystävällisellä laitteella.

Suurimpana ongelmana hotellihuoneiden energiansäästön ja siitä saavutettavan taloudellisen hyödyn osalta on, että tiloissa on pienet ilmanvaihdon ilmamäärät sekä lämmitys- ja jäähdytystehot. Tämän takia myös mahdollinen tilakohtainen energiansäästö jää pieneksi. Koska kaikkien järjestelmien tulee toimia huonekohtaisesti, pitää kaikkiin huoneisiin asentaa omat laitteet. Tämä kasvattaa laitemäärän suureksi, joka näkyy suoraan investointikustannuksissa. Hotellihuoneista ei näin ollen saada samalla tavalla järjestelmävalinnoilla ja ohjauksilla hyötyä kuin isommissa tiloissa, joissa on suuremmat ilmanvaihdon ilmamäärät, lämmitys- ja jäähdytystehot, mutta kuitenkin pienempi määrä laitteita.

Tiloihin asennettavien järjestelmien valinta voi riippua useista tekijöistä kuten kustannuksista, käyttäjäystävällisyydestä, energiansäästöstä tai tilalle asetetuista erityispiirteistä. Oikeaa tai väärää ratkaisua valinnoille ei ole. Kuitenkin valinnan helpottamiseksi järjestelmien toimintaan, käyttöön ja kustannuksiin liittyvät erityispiirteet tulee osata erotella ja tunnistaa. Näin saadaan tehtyä parhaiten kiinteistöä, tilan käyttötarkoitusta ja tilaajan tahtotilaa palvelevat järjestelmävalinnat.

6 Yhteenveto

Hotellien tarve Suomen suurimmissa kaupungeissa ja turistikohteissa on lähivuosina kasvanut ja kasvaa edelleen. Jatkuvasti kehittyvät talotekniset ratkaisut, muuttuvat rakennusmääräykset ja ympäristötekijät vaikuttavat hotelleissa käytettäviin taloteknisiin ratkaisuihin, joilla hotellihuoneiden olosuhteita hallitaan. Kiinteistön ominaisuuksiin ja tilaajan tavoitteisiin sopivaa ratkaisua tulee aina pohtia tapauskohtaisesti.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää eri taloteknisiin järjestelmiin liittyviä hyötyjä ja haittapuolia pidemmällä aikavälillä. Tarkastelua tehtiin ilmanvaihdon ohjaustapoihin sekä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiin liittyen. Tarkasteltavina asioina oli toiminnallisuus, käytettävyys, energiankulutus ja elinkaarikustannukset.

LCC-elinkaarilaskentaa varten otettiin referenssikohteeksi Helsingin keskustaan rakennettava hotellirakennus, jonka pohjalta tarkastelu tehtiin. Elinkaarijaksona laskennassa käytettiin 50 vuotta. Kiinteistön mallinnettiin IDA ICE -simulointiohjelmalla, josta saatiin energiankulutustiedot eri järjestelmille ja järjestelmäkokonaisuuksille tehtyä elinkaarilaskentaa varten.

Elinkaarilaskennassa ilmanvaihdon osalta vertailtiin hotellihuoneissa käytettävää vakioilmavirtaista sekä tarpeenmukaista ilmanvaihtoa sekä niihin liittyviä eri variaatioita. Laskelmien perusteella vakioilmavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä on kustannuksiltaan halvempi kuin ilmamääräsäätimillä varustetun järjestelmän käyttö kaikissa hotellihuoneissa. Mahdollisuuksien mukaan on hyvä tarkastella vaihtoehtoa, jossa jaetaan tilaa sektoreihin ja varustetaan kanavat vyöhykelleillä.

Ilmanvaihdon lisäksi vertailtiin huoneissa käytettäviä jäähdytys- ja lämmitystapoja. Laskelmien perusteella lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien kustannukset investointien ja huollon osalta ovat samaa suuruusluokkaa. Suurimmat erot kustannuksissa tulevat laitteita uusittaessa teknisen käyttöiän loputtua sekä mahdollisesta sähköenergian kulutuksesta.

Opinnäytetyö ja sen laskelmat mahdollistavat jatkossa hotellihuoneisiin asennettavien taloteknisten järjestelmien vertailua ja mahdollisesti helpottaa valintoja, jos tiedetään suunnittelulle asetetut tavoitteet sekä muut lähtötiedot.

Lähteet

- 1 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitto ry.
- 2 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Suomen LVI-liitto ry.
- 3 Seppänen, Olli / Seppänen, Matti. 2004. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Suomen LVI-liitto ry.
- 4 Kattolämmityksen opas. 2001. Verkkoaineisto Lindab Climate. <http://www.lindab.com/fi/Documents/Ilmastointi/esitteet%20ja%20dokumentit/Kattol%C3%A4mmitys.pdf>. Luettu 20.3.2020
- 5 Oleskelutilojen lämpötila ja ilmanvaihto. 2016. Verkkoaineisto. Valvira. https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/fysikaaliset_olosuhteet. Päivitetty 26.2.2016, Luettu 7.2.2020.
- 6 Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2017. Finvac Ry.
- 7 Elinkaarikustannuslaskenta - LCC. 2018. Verkkoaineisto. Motiva. [https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/elinkaarikustannuslaskenta_lcc_\(life_cycle_costing\)](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/elinkaarikustannuslaskenta_lcc_(life_cycle_costing)). Päivitetty 14.6.2018, Luettu 7.2.2020.
- 8 Majoitustilasto 2020. Verkkoaineisto. Suomen virallinen tilasto (SVT). <https://www.stat.fi/til/matk/tie.html>. Luettu 7.2.2020.
- 9 Energiakatselmustoiminnan tilannekatsaus 2015. 2016. Verkkoaineisto. Motiva. https://www.motiva.fi/files/12518/Energiakatselmustoiminnan_tilannekatsaus_2015.pdf. Julkaistu 2016, Luettu 7.2.2020.
- 10 Siren, Kai. 2015. Rakennusten energiainvestointien kannattavuuden laskenta. Aalto yliopisto.
- 11 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta, 1009/2017. Julkaistu 27.12.2017.
- 12 RT 18-10922, Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajakset. 2008. Rakennustietosäätiö.
- 13 LVI 10-10527, Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen. 2013. Rakennustietosäätiö.

- 14 Yrjölä, Jukka. 2016. Elinkaarikustannuslaskelmat. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 15 Haahtela, Yrjänä, Kiiras, Juhani. 2013. Talonrakennuksen kustannustieto. Haah-tela-kehitys oy.
- 16 Ekström, Arto. 2020. Johtava LVI-asiantuntija, Granlund Oy. Keskustelu 15.1.2020
- 17 Energian ominaispäästöt. 2020. Verkkoaineisto. Helen Oy. <https://www.helen.fi/helen-oy/energia/energiantuotanto/sahkon-ja-lammon-ominaispaastot>. Lu-ettu 2.3.2020.

LCC -laskennassa käytettyjen järjestelmien kustannuslaskenta

Järjestelmien kustannuslaskenta on toteutettu kokonaisuudessaan Haahtelan Talonrakennuksen kustannustieto (2013) kirjan perusteella. Joissakin tapauksissa on jouduttu soveltamaan kirjan kustannuksia, jotta ne on saatu tilanteeseen sopivaksi ja oikeaan suuruusluokkaan. Kustannuslaskennassa on käytetty suurinta alueellista hintatasoa. Elinkaarilaskennassa käytetyt järjestelmäkohtaiset kustannukset on esitetty tummennettuna. [7.]

Laskentaan tarvittavat lähtötiedot:

Huoneiden pinta-ala: 2078 m²

Hotellihuoneiden lukumäärä: 125 kpl

Simuloitu keskimääräinen huoneiden tarvitsema jäähdytystehontarve: 27,5 kW

Järjestelmäkohtaiset kustannukset:

Ilmanvaihto:

Vakioilmavirtaisen ilmavaihdon tuloilman päätelaitteet:

6,1 €/brm² x 2078 m² = 12 676 €

~13000 €

Ilmamääräsäätimien kappalehinta:

Koska elinkaarilaskennassa käytetään vaihtelevaa määrää ilmamääräsäätimiä, tulee niille laskea yksikköhinta.

0,01 säädinparia/brm² = 4,6 € / brm²

Tämä tarkoittaisi noin 20 kpl ilmamääräsäätimiä tarkasteltavalle pinta-alalle.

Koska jokaiseen huoneeseen tulee oma säädinpari, tulee kustannuslaskentaa varten laskea uusi suhdeluku => ilmamääräsäätimiä 250 kpl

250 kpl / 20 kpl ~ 0,12 säädinparia/brm²

⇒ 12 x 4,6 € / brm² = 55,2 € / brm²

⇒ 55,2 € / brm² x 2078 m² = 114 706 €

⇒ 114 706 € / 250 kpl

⇒ **459 € / ilmamääräsäädin**

Lämmitys ja jäähdytys:Radiaattorit:

10,4 € / brm² x 2078 m² = 21 611 €

~22 000 €

Lattialämmitys:

29 € / brm² x 2078 m² = 60 262 €

~60 000 €

Puhallinkonvektori:

(Jäähdytys)

1560 € / kpl x 125 = **195 000 €**

(Jäähdytys ja lämmitys)

1890 € / kpl x 125 = 236 250 = **~236 000 €**

Säteilypaneelit:

Paneelien tehona on käytetty 40 W / m²

Jäähdytysteho 41500 W

⇒ 41 500 W / 40 (W / m²) = 1037,5 m²

(Lämmitys tai jäähdytys)

185 € / m² x 1037,5 m² = 191 937,5 €

~192 000 €

(Lämmitys ja jäähdytys)

(185 x 1,4) € / m x 1037,5 m = 268 712,5 €

~269 000 €