



Teollisuusilmastoinnin esisuunnitteluvaiheen kustannuslaskennan kehittäminen

Otto Lallo

Opinnäytetyö, AMK

Joulukuu 2022

Energia- ja ympäristötekniikka (AMK)

Lallo Otto

Teollisuusilmastoinnin esisuunnitteluvaiheen kustannuslaskennan kehittäminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Joulukuu 2022**, 60 sivua

Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: Kyllä

Tiivistelmä

Jäähdytysratkaisut ovat viime vuosina kehittyneet ja halukkuus toteuttaa ilmaston jähdytystä eri kohteissa on kasvanut. Lisääntynyt kiinnostus järjestelmiin on myös kasvattanut suunnittelupalveluiden tarvetta alalla. Projekteissa suunnitteluprosessi jakautuu eri osa-alueisiin, joista projektin alkuvaihetta kutsutaan myös esisuunnitteluvaiheeksi. Esisuunnitteluvaiheessa määritellään järjestelmän toteutustapoja ja muun muassa lasketaan kustannuksia. Koska projektin kokonaiskustannukset määräytyvät pitkälti jo projektin alkuvaiheessa, tulee kohteissa suorittaa laadukasta kustannuslaskentaa.

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Fimpec Engineering Oy Jyväskylä. Toimeksiantona opinnäytetyölle oli etsiä keinoja ilmaston jähdytysratkaisujen esisuunnittelun kustannusarvioinnin ja laskennan tueksi. Tavoitteena oli luoda työkalu, jonka avulla voitaisiin arvioida kohteen kustannuksia jo esisuunnitteluvaiheessa. Opinnäytetyössä arvioitiin esisuunnittelun tarpeita, kehitettiin laskennan tueksi työkalu, sekä hyödynnettiin kerättyä kustannustietoa. Työssä selvitettiin kustannuslaskennassa ja jäähdytysratkaisuiden arvioinnissa tarvittavaa tietoa alan julkaisuista ja ohjeistuksesta, sekä hyödynnettiin alan valmistajien materiaaleja.

Työ suoritettiin kehittämistutkimuksena käyttäen kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia menetelmiä. Tietoa kerättiin teemahaastatteluilla suunnittelijoilta sekä laitevalmistajilta. Laskentaan haluttiin tarkkuutta, mikä toteutettiin hyödyntämällä laskennassa viitekohde- ja tilastokohtaisia tietoja sekä suoriteosalaskentaa. Laskentapohjaan saatiin luotua menetelmiä, joilla kohteen ominaisuuksia tarkastellen voidaan vertailla kustannustekijöitä.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin esisuunnittelun Excel-työkalu jonka avulla jäähdytysjärjestelmien kustannuksia voidaan arvioida esisuunnitteluvaiheessa karkealla tasolla. Lisäksi saatiin kehitysehdotuksia kustannusarviointiin. Laskentapohja tarjoaa mahdollisen pohjan jatkokehitystä varten myös muihin järjestelmäratkaisuihin.

Avainsanat (asiasanat)

Jäähdytys, ilmastointi, kustannuslaskenta, kustannusarviointi, teollisuus

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Lallo Otto

Development of cost accounting for industrial air conditioning in the pre-design phase

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2022, 60 pages

Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Cooling solutions have developed in recent years and the willingness to implement cooling in different locations has grown. Increased interest in systems has also increased the need for design services in the field. The planning process in projects is divided into different areas, of which the initial phase of the project is also called the pre-design phase. In the pre-design phase, the implementation methods of the system are defined, and the costs are calculated. Since the total costs of the project are largely determined already in this initial phase, high-quality cost accounting must be carried out in projects.

The thesis was commissioned by Fimpec Engineering Oy Jyväskylä. The assignment for the thesis was to find ways to support the cost assessment and cost accounting of the preliminary design of air conditioning cooling solutions. The goal was to create a tool that could be used to estimate the costs of the system already in the pre-design phase. In the thesis, the needs of pre-design were assessed, a tool was developed to support the calculation, and the collected cost information was studied. In the work, the information needed for cost calculation and evaluation of cooling solutions was clarified from the industry's publications and guidelines, and the materials of the manufacturers were utilized.

The work was carried out as a development study using qualitative and quantitative methods. Information was collected through thematic interviews with designers and manufacturers. Accuracy was desired in the calculation, which was implemented by utilizing reference and statistical data. Methods were created in the calculation basis, which can be used to compare cost factors by looking at the systems properties.

As a result of the thesis, an Excel tool for pre-design was created, which can be used to estimate the costs of cooling systems at a rough level in the pre-design phase. In addition, development proposals were found for cost estimation. The calculation base provides a possible basis for further development for other system solutions as well.

Keywords/tags (subjects)

Refrigeration, air conditioning, cost accounting, cost estimation, industry

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Toimeksiantaja	4
1.2	Työn tavoitteet.....	5
1.3	Tutkimusasetelma	5
1.4	Työn eettisyys.....	6
2	Esisuunnittelu ja esiselvitys.....	6
2.1	Suunnitteluvaiheen kustannusarviointi	8
2.2	Kustannuslaskennan menetelmät.....	10
2.2.1	Viitekohde- ja tilastomenettely	11
2.2.2	Rakennusosa- ja tuoteosalaskenta	12
2.2.3	Suoritelaskenta	12
3	Teollisuusilmastointi- ja jäähdytys	13
3.1	Teollisuuskohteiden sisäilmaston vaatimukset	14
3.2	Jäähdytys.....	16
4	Jäähdytysjärjestelmät.....	18
4.1	Suora ja välillinen jäähdytys.....	20
4.1.1	Kylmäaineet	21
4.2	Kompressorijäähdytys.....	23
4.3	Vedenjäähdytyskoneistot.....	25
4.3.1	Lämpöpumput	28
4.3.2	Vapaajäähdytys.....	29
4.4	Jäähdytyksen päätelaitteet	29
4.5	Jäähdytysverkostot.....	30
4.6	Jäähdytysverkoston komponentteja.....	31
4.6.1	Venttiilit	31
4.6.2	Suodattimet ja lianerottimet	32
4.6.3	Mittalaitteet ja anturit.....	32
4.6.4	Pumput	32
4.6.5	Paisunta-astia.....	33
4.6.6	Tasaussäiliö	33
5	Esisuunnitteluprosessi	33
6	Opinnäytetyön tutkimuksen toteutus	35
6.1	Teemahaastattelut.....	35
6.2	Hinnoitteluperusteet.....	36

6.3	Kustannuslaskurin tavoitteet	36
7	Tulokset.....	37
7.1	Haastattelujen tulokset	37
7.2	Esisuunnitteluvaiheen hinnoittelutekijät	38
7.3	Kustannuslaskentatyökalu	41
7.3.1	Laitteiden kustannusarviointi	41
7.3.2	Siirto-osien laskenta	44
8	Yhteenveto	47
9	Pohdinta.....	49
	Lähteet	51
	Liitteet	54
	Liite 1. Jäähdytysjärjestelmät LVI2010-nimikkeistön mukaan	54
	Liite 2. Vaativuuslisät talotekniikka-alan urakkahinnoittelussa, putkiasennus-, eristys- ja IV-ala 55	

Kuviot

Kuvio 1.	Esisuunnittelu investointiprojektin vaiheena	7
Kuvio 2.	Kustannusarvioiden luokitusmatriisi prosessiteollisuudessa.....	9
Kuvio 3.	Kustannusarvioiden virherajat	10
Kuvio 4.	Mollier-diagrammi	15
Kuvio 5.	Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot sisäilmastoluokissa	16
Kuvio 6.	Tilan lämpötaseen keskeisiä osia	18
Kuvio 7.	Jäähdytysjärjestelmän periaatekuva.....	19
Kuvio 8.	Suora höyrytysjärjestelmä	20
Kuvio 9.	Välillinen jäähdytysjärjestelmä	21
Kuvio 10.	Kylmäaineen kiertoprosessi	23
Kuvio 11.	Kylmäprosessi.....	24
Kuvio 12.	Kylmävesiasema	26
Kuvio 13.	Ilmalauhdutteinen vedenjäähdytin.....	26
Kuvio 14.	Nestejäähdytin	28
Kuvio 15.	Jäähdytysenergian hyödyntäminen kaukolämmöntuotannossa	28
Kuvio 16.	Laskentapohjan koontitaulukko	41
Kuvio 17.	Asennuksen normituntiajat kiertoilmakojeilla ja jäähdytyspalkeilla	43
Kuvio 18.	Laskentapohja	44
Kuvio 19.	Metalliputkien ja hitsattavien teräsputkien asennuksen normiajat.....	44

Kuvio 20. Solukumieristykseen asennuksen normituntimäärät	45
Kuvio 21. Rautarakennetöiden normiajat.....	45
Kuvio 22. Putkiston laskentamalli	46
Kuvio 23. Menekkien seurantataulukko	47

Taulukot

Taulukko 1. Tavoitetasot ilman lämpötilalle.....	16
Taulukko 2. Sulkuventtiilien soveltuvuus putkikokoluokittain	31

1 Johdanto

Viime vuosina rakennusten energiankäyttö on ollut yhä useammin esillä julkisessa keskustelussa. Energiatehokkuuden parantaminen nähdään Suomessa merkittävänä keinona vaikuttaa ihmisen aiheuttaman ilmastonmuutoksen vaikutuksiin. Rakennusten energiankäyttö vastaa Suomessa noin 40 % energian loppukäytöstä (Rakentaminen ja rakennukset, 2020). Vaikka suuri osa tästä luvusta tulee rakennusten lämmitystarpeesta, on myös ilmastoinnilla ja jäähdytyksellä tästä osansa. Pitämällä järjestelmät hyvässä toimintakunnossa ja investoimalla energiategokkaisiin ja nykyaikaisiin järjestelmiin, voidaan vähentää järjestelmistä aiheutuvaa ympäristökuormitusta ja säästää samalla käyttökuluissa huomattavia summia. Lisäksi muut seikat kuten kiristyneet vaatimukset ja kylmäai-neiden käyttöä rajaavat asetukset lisäävät kiinnostusta olemassa olevien järjestelmien uusimiselle ja parantamiselle (Fluoratut kasvihuonekaasut, 2021).

Kiinnostuksen lisääntyessä ja järjestelmiä uusittaessa lisääntyy myös tarve järjestelmiin liittyville suunnittelupalveluille. Suunnitteluvaiheessa projektin kokonaiskustannukset määräytyvät jo hyvin pitkälle. Tästä syystä jo esisuunnitteluvaiheessa olisi hyvä olla selvillä mahdollisimman tarkasti projektiin vaikuttavista osatekijöistä ja kustannuksista. Usein projektien alkuvaiheessa, ennen tarkempia projektikohtaisia selvityksiä ja vierailuja, kohteesta saatavat tiedot voivat olla hyvinkin vajavaisia ja tarkentua vasta projektin edetessä. Tämä luo haasteita alustavalle kustannusarvioinnille ja aiheuttaa arvioitujen kustannusten ja todellisten kustannusten suhteessa epätarkkuutta. Haasteita jäähdytysjärjestelmien tapauksessa luo myös järjestelmien yksilöllisyys kohteesta riippuen, erityisesti teollisuuden ratkaisuisissa, jolloin kustannusarviointi on haastavaa ilman viitekohdekohtaisia tai kokemusperäisiä tietoja.

1.1 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Fimpec Engineering Oy. Yritys on projektijohtamiseen ja suunnitteluun erikoistunut insinööritoimisto, jonka toimialoina ovat teollisuus, energia, infrarakentaminen ja kiinteistöt. Yritys palvelee projektikonsulttina niin teollisuuden ja energia-alan suurissa investointihankkeissa kuin erityisasiantuntijana kiinteistö- ja infrasektorilla. (Yritys- Fimpec n.d.) Opinnäytetyö suoritettiin toimeksiantajan Jyväskylän toimipisteeseen.

1.2 Työn tavoitteet

Toimeksiantaja halusi kehittää ja helpottaa projektinsa esisuunnitteluvaiheen kulkua erityisesti kustannusarvioinnin saralla. Opinnäytetyön tarkastelun aiheeksi rajattiin teollisuuden ilmaston ja jäähdytysratkaisut, sillä kyseisellä alueella yrityksessä oli noussut tarvetta järjestelmien kustannusarvioinnin kehittämiseksi. Syynä tähän on muun muassa viime vuosina noussut kiinnostus jäähdytysratkaisuihin, mikä on näkynyt niiden kysynnässä ja suunnittelupalveluiden tarpeessa. Esisuunnitteluvaiheen kustannusarviointi jäähdytysratkaisuille oli koettu haasteelliseksi. Opinnäytetyön tavoitteena työssä oli kartoittaa jäähdytysratkaisuja ja niihin liittyvien projektien kustannuksia ja parantaa näiden LVIJ-projektien esisuunnitteluvaihetta etsimällä keinoja työkuorman keventämiseksi ja arvioinnin tarkentamiseksi. Tavoitteena oli saada aikaan esisuunnittelun työkalu kuten Excel-laskuri, jolla voitaisiin helposti arvioida tulevien projektien kustannuksia karkealla tasolla jo esisuunnitteluvaiheessa. Menetelmä toimisi suunnitteluvaiheessa kustannusten arviointia tukevana ratkaisuna.

1.3 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyö oli luonteeltaan kehittämistutkimus, jolla pyrittiin kehittämään yritykselle menetelmiä käytännön ongelmien ratkaisemiseksi. Tutkimusmenetelmänä kehittämistutkimus on usein monitahoinen ja hieman vaikea määritellä. Kehittämistutkimuksen tapauksessa opinnäytetyö liittyy aina käytäntöön. Opinnäytetyön taustalla on lähes aina jokin ongelma johon etsitään ratkaisua. Kehittämistutkimuksessa on useimmiten kyse jo olemassa olevan ratkaisun soveltamisesta erilaiseen toimintaympäristöön. Tutkimuksen lopputuotoksena saadaan itse opinnäytetyö ja kehittämisprosessin kohteena on usein palvelu, prosessi tai tuote. Kehittämistutkimukselle ei ole määriteltäviä omia tutkimusmenetelmiä, joten se on aina sekoitus laadullista ja määrällistä tutkimusta eli kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia menetelmiä. (Kananen 2012, 13, 25.) Työssä käytettiin menetelmänä muun muassa haastatteluja sekä aineiston numeerista tutkimista, eli yhdistettiin laadullista ja määrällistä tutkimusta.

Työn tutkimuskysymyksiksi asetettiin seuraavat kysymykset

- Millaisia tarpeita esisuunnittelussa esiintyy ja mitä ongelmakohtia vaiheessa on mahdollisesti havaittavissa?

- Minkälaiset tekijät vaikuttavat projektien kokonaiskustannuksiin?
- Miten työ- ja materiaalikustannukset saisi liitettyä kokonaisuutena paremmin osaksi budjettiarviointia?

Työn tietoperusta koostettiin käyttäen lähdemateriaalina alan kirjallisuutta ja ohjeistuksia, joita etsittiin kirjastoista, sähköisistä lähteistä kuten tietokannoista, sekä valmistajien materiaaleista. Lähdemateriaalina käytettiin alan kotimaista sekä työn kannalta soveltuvaa ulkomaista kirjallisuutta. Haasteita tietoperustan koostamiseen loi ajankohtaisen materiaalin niukkuus, sillä jäähdytysratkaisujen toteutukset ovat kehittyneet viime vuosina muun muassa lämpöpumppuratkaisujen myötä. Tämän myötä varsinkin teknisistä toteutuksista kertovassa kirjallisuudessa oli havaittavissa yleisellä tasolla ajankohtaisen materiaalin puutetta ja tästä johtuvaa luotettavuuden heikkene- mistä. Lisäksi jäähdytysratkaisuista kertovaa suomenkielistä lähdemateriaalia oli yleiselläkin tasolla vain muutamia teoksia saatavilla ja julkaisut viittasivat usein samoihin alkuperäisteoksiin.

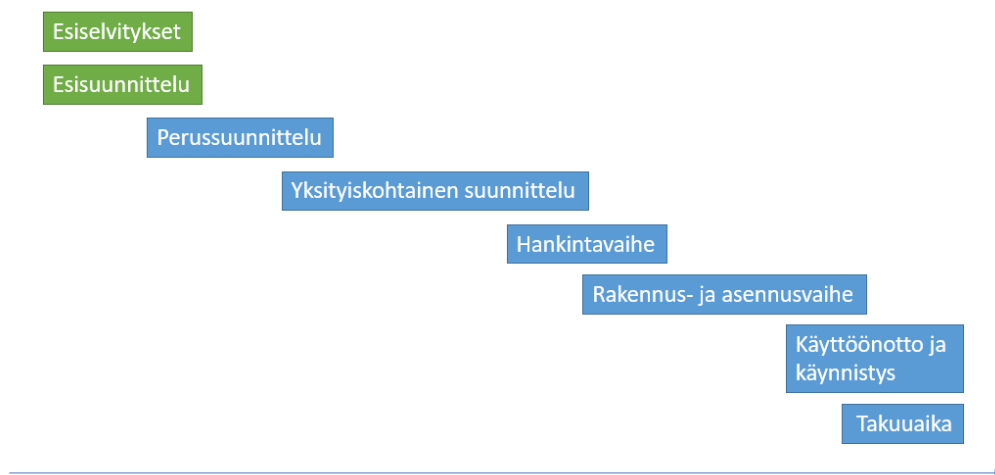
1.4 Työn eettisyys

Opinnäytetyössä noudatettiin hyvää tieteellistä käytäntöä ja Jyväskylän ammattikorkeakoulun raportointiohjeiden mukaista ohjeistusta lähdeviitteiden merkitsemiseen. Työ tehtiin huomioiden parhaalla mahdollisella tavalla korkeakoulun eettiset periaatteet, noudattaen rehellisyyttä, yleistä huolellisuutta sekä tarkkuutta tutkimus- ja kehitystyön suunnittelussa, toteutuksessa, arvioinnissa ja raportoinnissa. Lähdemateriaalina käytettäviin tutkimuksiin ja töihin viitattiin asianmukaisella tavalla ja työssä huomioitiin tarvittavat luvat ja salassapitovelvollisuudet.

2 Esisuunnittelu ja esiselvitys

Erialaisten järjestelmien suunnittelu ja toteutus on kokonaisuus jota kutsutaan projektiksi. Jäähdytyksen toteutus järjestelmänä kohteeseen suunnittelusta toteuttamisen kautta aina käyttöönottoon asti on projekti. Suunnittelualalla kohteisiin suoritettavat projektit ovat usein erilaisia investointi- tai toimitusprojekteja. Jotta projektit selkeytyisivät ja niiden hallinta helpottuisi, ne jaotellaan tavanomaisesti eri vaiheisiin (kuvio 1) ja näistä kukin vaihe jakautuu sisäisesti vielä pienempiin osaprojekteihin (Pelin 2020, 87). Esisuunnittelu on suunnittelun osa-alue, joka ajoittuu hankkeen alkuvaiheeseen ennen varsinaista perussuunnittelua. Esisuunnittelun alkuvaiheilla kohteesta ei välttämättä ole vielä saatavilla kovinkaan tarkkaa tietoa ja kohteesta

tehdään tarpeen mukaan esiselvityksiä. Tarkoitus on muun muassa selvittää kohteen vaatimuksia ja rajoitteita eli kohteen nykytila, tarvittavien työvaiheiden määrää, sekä muita kustannuksiin vaikuttavia osatekijöitä. Vaihe käynnistyy kun kohteesta tulee tarve määrittellä tiettyjä ehtoja, joilla voidaan projektin edetessä siirtyä varsinaiseen suunnitteluvaiheeseen. Esisuunnitteluvaiheessa keskitytään projektin kannalta oleellisiin seikkoihin sekä kriittisiin tekijöihin karkealla ja yleisellä tasolla, sillä esisuunnittelun ajankäytön tulisi olla kohtuullista. Vaihe saattaa sisältää esimerkiksi analyyseja kohteesta, rakentamiskustannusten arviointia ja projektibudjetin suunnittelua. (Pre-Design Phase, 2015).



Kuvio 1. Esisuunnittelu investointiprojektin vaiheena (Pelin 2020, 87, muokattu).

Mitä tarkemmin jo alkuvaiheessa osataan määrittellä hinnoittelutekijät, sitä sujuvammin projektit yleensä kulkevat. Kustannuksiin vaikuttavat monet seikat, kuten työpanosten määrä ja materiaalikulut, sekä muut välittömät ja välilliset kustannukset. Tehtävien työkustannusten ja määrien arviointi on erityisen tärkeää, sillä arviointiin nojaa koko projektin aikataulus ja toteutus. Työmäärien arvioinnissa määritetään tai lasketaan tehtävän koko, kesto ja kustannukset sekä vaadittavat resurssit. Ihanteellisesti arviointia suoritetaan myös projektin kuluessa. Pelinin (2020, 107.) mukaan mitään oikeaa arviointimenetelmää ei ole ja työmääräarviointiin on olemassa useita eri keinoja. Esimerkiksi rakennusprojekteissa työmäärät arvioidaan usein suunnitelmien ja määräluetteloiden perusteella, tai alustavassa vaiheessa tilastoitujen menekkitietojen perusteella. Paras vaihtoehto olisi arvioida kukin työmäärä räätälöitynä tiettyyn työsuoritteeseen sopivaksi, joka poh-

jautuisi esimerkiksi aiempien vastaavien projektien tuntitilastoihin. Tällaisia kaavoja voi olla esimerkiksi prosessiautomaatiosuunnittelu 100 h/ säätöpiiri. Kyseisenlaista laskentaa varten yrityksessä tulisi kuitenkin seurata ja tilastoida selkeästi työsuoritusten toteutuneita lukemia. (Pelin 2020, 107–111.) Työsuoritteita voi arvioida myös yleisten tilastojen perusteella, mikäli kohteeseen soveltuvia tilastoja on saatavilla.

2.1 Suunnitteluvaiheen kustannusarviointi

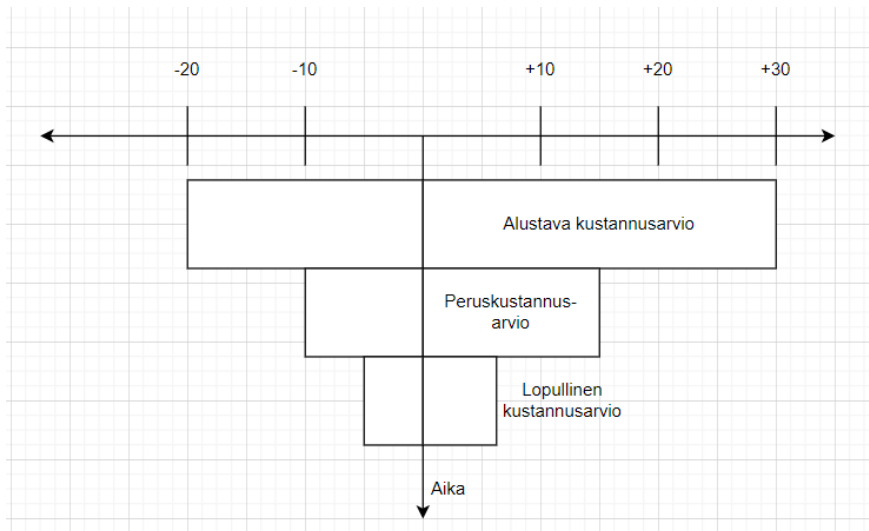
Projekteille muodostuu kustannuksia useiden lähteiden kautta, joten laadukas kustannusohjaus on tärkeää projektin sujuvuuden kannalta. Enkovaaran, Haverin ja Jeskasen (2008) mukaan esimerkiksi rakennushankkeiden kustannusten muodostumiseen voidaan vaikuttaa eniten jo suunnitteluvaiheessa. Myös teoksessa Rakennushankkeen kustannushallinta (2018, 8) mainitaan, että kustannusten raamit asettuvat suurelta osin jo projektien tarveselvitys- ja hankesuunnittelun vaiheessa. Toimiva kustannusohjaus painottuukin projektin alkuvaiheisiin. Pelin (2020, 159) näkeekin tärkeänä, että suunnittelijoiden kustannustietoisuutta ja taloudellista ajattelua kehitetään ja että suunnitteluvaiheen aikana kaikki suunnitelmat osattaisiin hinnoitella. Lisäksi kustannusarvioiden paikkansapitävyyttä on hyvä tarkkailla projektin edetessä, eli suorittaa hankkeen aikaista kustannusvalvontaa.

Kustannusarviot toimivat pohjana projektien kannattavuutta laskettaessa. Alustavia kustannusarvioita hyödynnetään, kun esiselvitysvaiheessa tehdään kannattavuuslaskelmia ja rahoitustarvearvioita. (Pelin 2020, 162). Tehtäessä kustannusarvioita, on kuitenkin huomioitava, etteivät ne voi olla lähtötietojansa tarkempia ja alustavat kustannusarviot ovat lähinnä ennusteita. Projektien alkuvaiheessa tiedon ollessa vielä suuntaa antavaa, ovat myös kustannusarviot vain suuntaa antavia ja ne tarkentuvat projektin edetessä. Kustannusarviot jaetaan usein kolmeen tarkkuusluokkaan, jotka ovat alustava kustannusarvio, peruskustannusarvio sekä lopullinen kustannusarvio. (Pelin 2020, 163). Kustannusarvioiden tarkkuudesta on erilaisia määritelmiä ja ohjeistuksia. Esimerkiksi AACE International (Christensen, P. Dysert, L. 2005, 2) määrittelee prosessiteollisuuden projekteissa kustannusten tarkkuuden viidellä eri luokalla, jotka määräytyvät projektin valmiusasteen perusteella. Luokat on esitetty kuviossa 2.

ESTIMATE CLASS	Primary Characteristic	Secondary Characteristic			
	LEVEL OF PROJECT DEFINITION Expressed as % of complete definition	END USAGE Typical purpose of estimate	METHODOLOGY Typical estimating method	EXPECTED ACCURACY RANGE Typical variation in low and high ranges [a]	PREPARATION EFFORT Typical degree of effort relative to least cost index of 1 [b]
Class 5	0% to 2%	Concept Screening	Capacity Factored, Parametric Models, Judgment, or Analogy	L: -20% to -50% H: +30% to +100%	1
Class 4	1% to 15%	Study or Feasibility	Equipment Factored or Parametric Models	L: -15% to -30% H: +20% to +50%	2 to 4
Class 3	10% to 40%	Budget, Authorization, or Control	Semi-Detailed Unit Costs with Assembly Level Line Items	L: -10% to -20% H: +10% to +30%	3 to 10
Class 2	30% to 70%	Control or Bid/Tender	Detailed Unit Cost with Forced Detailed Take-Off	L: -5% to -15% H: +5% to +20%	4 to 20
Class 1	50% to 100%	Check Estimate or Bid/Tender	Detailed Unit Cost with Detailed Take-Off	L: -3% to -10% H: +3% to +15%	5 to 100

Kuvio 2. Kustannusarvioiden luokitusmatriisi prosessiteollisuudessa (Christensen, P. Dysert, L. 2005, 2).

Pelin (2020, 163) taas arvioi, että alustavien kustannusarvioiden tarkkuudet voivat vaihdella -20 % ja +40 % välillä verrattuna toteutuviin kustannuksiin (kuvio 3.) Alustavat kustannusarviot laaditaan yleensä melko nopeasti työryhmän tai muutaman asiantuntijan avulla. Alustavissa kustannusarvioissa haasteena on arvioinnin epätarkkuus puutteellisten tietojen pohjalta. Teollisuuskohteissa alustava kustannusarvio perustuu usein esimerkiksi kohteen päälaitteiden ja putkistojen, sekä muiden tarvittavien materiaalien hintatietoihin, sekä kokemusperäisiin lukemiin ja muihin arvioitavissa oleviin kustannuksiin. Kustannuksia voidaan myös arvioida viitekohtaisilla menetelmillä aiemmin toteutuneiden samankaltaisten projektien perusteella, mutta tässä tapauksessa on huomioitava kustannustasojen muuttuminen ajan kuluessa, eli aikavälin kustannusindeksi. (Pelin 163–164).



Kuvio 3. Kustannusarvioiden virherajat (Pelin 2020, 164, muokattu)

Peruskustannusarviot tehdään esisuunnittelun tuottamien määrittelyjen pohjalta. Peruskustannusarvioiden tarkkuutena pidetään yleensä +/- 10 % todellisiin kustannuksiin nähden ja niihin perustuen tehdään myös lopullinen hankkeen investointipäätös. Peruskustannusarviota koostaessa tulee kohteesta olla jo selkeä kuva, tehtäväluettelo luotuna, laite- ja putkistoluettelot ja toimittajilta saatuja tarjouksia laitevalinnoista ja materiaaleista. Kustannuksiin vaikuttavat merkittävästi laitevalinnat ja kohteen olosuhteet, sekä monet muut mitoittavat tekijät. Myös esimerkiksi kertaostojen suuruus ja yrityksen asiakassuhteet vaikuttavat kustannusten määräytymiseen. (Pelin 2020, 163; Rakennusosien kustannuksia 2022, 7).

Peruskustannusarviota seuraa hankkeen lopullinen kustannusarvio. Lopullinen kustannusarvio luodaan kun kohteesta laaditut suunnitelmat ovat jo valmiit tai lähes valmiit, ja projekti on jo hyvin pitkällä. Kustannusarvion tässä vaiheessa suurin osa vaadittavista hankinnoista on jo sovittu ja urakkaan liittyvät sopimukset solmittu. Lopullisen kustannusarvion tulisi projektin kannattavuuden kannalta olla mahdollisimman paikkaansa pitävä. Tarkkuutena voidaan pitää noin 3–8 % eroa verrattuna todellisiin kustannuksiin. (Pelin 2020, 164).

2.2 Kustannuslaskennan menetelmät

Kustannuslaskenta on prosessi, jossa selvennetään ja kohdennetaan projektin eri vaiheiden kustannuksia. Laskentaa suoritetaan projektin esisuunnitteluvaiheessa kustannusten arvioinnissa sekä

projektin aikana, ja mahdollisesti vielä projektin jälkeen. Kustannuksella tarkoitetaan tuotannontekijän rahassa mitattu kulutusta tai käyttöä (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 7). Hankkeiden alussa määritettävillä kustannusarvioilla varmistetaan, että projektin tilaaja ja toteuttaja ovat yhteisymmärryksessä hankkeen taloudellisista vaikutuksista ja laajuudesta.

Kustannuslaskentamenetelmiä on monenlaisia. Menetelmät voivat vaihdella alakohtaisesti ja miten hyvin mikäkin tapa soveltuu projektin kohdetta ajatellen. Jokaisella yrityksellä on usein myös hieman omanlaisensa tavat määritellä kustannuksia. Suunnittelijan näkökulmasta olennaisia kustannuslaskentamenetelmiä ovat ainakin viite- ja tilastopohjainen menettelytapa, laajuus- ja tilapohjainen menettelytapa, sekä esimerkiksi rakennus- ja tuoteosien määriin ja hintoihin perustuva laskenta tai suoritelaskenta (Rakennusten kustannushallinta 2018, 36,42) Tässä opinnäytetyössä keskitytään esisuunnittelutyön kannalta oleellisiin menetelmiin.

2.2.1 Viitekohde- ja tilastomenettely

Viitekohde- ja tilastomenettelyt ovat erityisesti käytössä selvitys- ja suunnitteluvaiheessa, jossa kohteen tiedot ovat vielä epämääräiset ja vajaat. Menetelmät perustuvat tarkasteltavan kohteen, sekä jo toteutuneiden samankaltaisten kohteiden vertailuun ja eroavaisuuksien tunnistamiseen. Viitekohdemennettelyssä tarkoituksena on hyödyntää samankaltaisen kohteen tietoja jonka kustannustekijät ovat selvillä, ja verrata kohteita keskenään joko suoraan tai indeksikorotuksen avulla. Viitekohdemennettelyä hyödynnettäessä varsinaisen kohteen tulee olla hyvin samankaltainen arvio pohjana käytettävän kohteen kanssa, joten jos samankaltaisia kohteita ei ole tarpeeksi, on vertailu pahimmillaan epätarkkaa. Tästä johtuen viitekohdemennettely on käytössä vain jos yrityksessä on tarpeeksi dataa samankaltaisista toteutuksista menetelmän onnistuneeseen hyödyntämiseen. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 37.)

Tilastomenettely on tapa, jossa kohteen kustannusarvion laskenta perustuu useiden kohteiden toteutuksista kerättyihin tilastotietoihin. Tämä vaatii sitä, että yrityksessä on saatavilla ja kerättyinä hyödynnettävissä olevaa dataa kuluneista toteutuksista omiin tilastoihin, tai että kohteen ominaisuuksista riippuen on saatavilla tarpeeksi soveltuvaa tilastotietoa, esimerkiksi erilaisten kustannuslaskentaohjelmien tai kortistojen kautta. Tilastomenettelyssä on myös varmistettava että tilastot ovat ajan tasalla, koska kustannukset vaihtelevat vuosien saatossa. Myös kohteen ominaisuudet ja

sijainti, sekä toteutettavat ratkaisut vaikuttavat kaikki tilastomenettelyn tarkkuuteen, joten menetelmää käytettäessä on varmistuttava, että tieto perustuu juuri kohteeseen soveltuviin ratkaisuihin. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 38.)

2.2.2 Rakennusosa- ja tuoteosalaskenta

Rakennusosa- ja tuoteosalaskenta on laskentamenetelmä, joka on käytössä muun muassa rakennusalalla. Kyseisessä menetelmässä projektin toteutukseen tarvittavien osien määrä arvioidaan esimerkiksi piirustuksista ja tietomalleista, joten hanke on yleensä jo melko pitkällä. Menetelmää käytetään esimerkiksi suunnitteluratkaisujen kustannusarvioita tehtäessä ja vertaillessa, sekä esimerkiksi toimittajan tarjoushintoja määrittäessä. Tietyillä aloilla on saatavilla runsaasti tilastoja ja kirjallisuutta, sekä erilaisia laskentaohjelmia helpottamaan hinnoittelua, esimerkiksi Rakennusteollisuudessa käytettävä RT-kustannuslaskentaohjelma. Kuitenkin haasteena kustannusten arvioinnin luotettavuuden kannalta tavassa on se, että voidaan varmistua yksikkökustannusten sisällön vastaavan hinnoiteltavan kohteen rakennusosien sisältöä. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 42.)

2.2.3 Suoritelaskenta

Suoritelaskenta perustuu suunnitelmien ja määräluetteloiden pohjalta saatuihin suoritemääriin. Suoritteilla tarkoitetaan tietyn rakennusosan tuottamiseen vaadittavaa työkokonaisuutta. Suoritteet koostuvat panoksista, joihin luetaan materiaalikustannukset, työkustannukset sekä muut kustannukset. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 45). Alasta riippuen työmenekkimääristä ja suoritteista on saatavilla erilaisia tilastoja kustannusten arviointia helpottamaan. Esimerkiksi rakennusalalla ja LVI-alalla tällaisia on julkaistuna Rakennustiedon RT-tietoväylässä ja eri julkaisuissa kuten Rakennustöiden menekit 2020, johon on koottu uudis- ja korjausrakentamisen työ- ja materiaalimenekkitietoja (Rakennustöiden menekit 2020, 5). LVI-alalla esimerkiksi ilmastointitöiden menekit eri rakennustyypeille on annettu LVI-kortissa LVI 04-10411. Lisäksi LVI-alan työehtosopimuksessa on annettu putkiasennuksille urakkahinnoitteluun normituntiaaikoja, joita voi hyödyntää työpanoksia arvioitaessa. (Ilmastointityöt 2007, 1; Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimus työntekijöille, 96).

3 Teollisuusilmastointi- ja jäähdytys

Ilmastoinnilla tarkoitetaan sisäilman lämpötila- ja kosteusolosuhteiden asettelua toivottuihin arvoihin siihen tarkoitettulla järjestelmällä. Ilmastoinnilla pyritään siis saavuttamaan ne sisäilman raja-arvot, jotka kohdetila vaatimuksillaan asettaa. Oikea lämpötila on perustana terveelliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle ja se takaa myös lämpötilariippuvaisten laitteiden oikeanlaisen toiminnan. Kuumen ja kylmän ääripäät sekä huono ilmanlaatu aiheuttavat esimerkiksi tuotannollisissa tiloissa tuotannon sekä työtehon laskua ja kuormittavat laitteita. Kuten Seppänen (2004, 19) kirjoittaaakin, jäähdytys kannattaa sillä sen tuomilla säästöillä onnistutaan hyvin usein kattamaan investoinneista ja energiankulutuksen lisääntymisestä aiheutuvat kulut.

Teollisuusilmastoinnin tarpeet ovat usein erilaisia asuinkiinteistöihin verrattuna. Prosesseissa syntyy usein monenlaisia muita epäpuhtauksia, jotka tulee saada johdettua pois tilasta turvallisen ja terveellisen oleskelun sekä prosessien oikeanlaisen toimivuuden takaamiseksi. Myös tuotantoprosesseilla on omanlaisensa vaatimukset, joten laitevalinnat sekä mitoitusolosuhteet ovat hyvin tapauskohtaisia. Teollisuudessa ilmankäsittelyn tarpeet määritteleekin usein tuotantoprosessi ja tilojen vaatimukset. (Sandberg 2016, 25; Tähti 2002, 6.)

Teollisuusilmastoinnilla tarkoitetaan pääosin nimensä mukaisesti teollisuustilojen ilmastointia. Teollisuusilmastointi on kuitenkin laaja käsite, joka kattaa myös perinteisten tuotantolaitosten ja teollisuustilojen lisäksi esimerkiksi sairaaloiden toimenpidetilat, erilaiset tunnelit ja kaivokset, autohallit, ammattikeittiöt, voimalaitokset sekä muut vastaavanlaiset tilat. Tähden (2002, 6) mukaan teollisuusilmastointi voidaan määritellä siten, että teollisuusilmastoinnilla pyritään saavuttamaan virtausteknisiin, sekä muilla ilmanhallinnan keinoilla teollisuustiloihin ja tiloihin joissa tapahtuu tuotantoprosessia hallittu sisäilma, joka on ominaisuuksiltaan turvallinen, terveellinen ja viihtyisä. Teollisuusilmastoinnin toteutustapoja on monenlaisia, mutta pääperiaate on samanlainen kuin yleisissäkin ilmastointijärjestelmissä. Toteutustapaan vaikuttavat suuresti kohteen tarpeet.

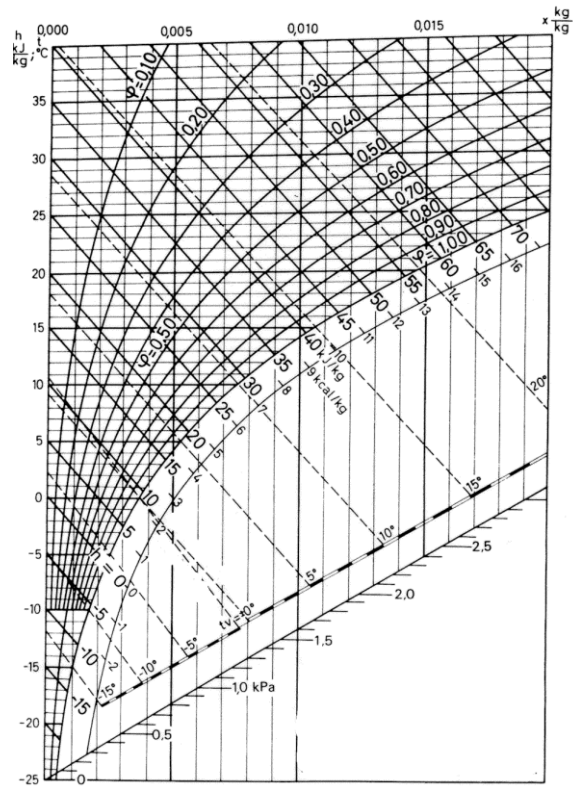
Esimerkiksi usein laitetiloihin ilmankäsittelyn tulee olla ympärivuorokautista ja katkeamatonta. (Hundy, Trott, Welch 2008, 303.)

Teollisuusilmastointi voidaan jakaa kahteen osaan. Prosessi-ilmastointiin sekä tilailmastointiin, joista käytetään myös termejä prosessi-ilmatekniikka ja yleisilmanvaihto. Prosessi-ilmastoinnilla tarkoitetaan nimensä mukaisesti varsinaisen prosessitilan ilmankäsittelyä. Prosessi-ilmastoinnilla

estetään ilman epäpuhtauksien ja lämmön pääsy tuotantotilaan ja työntekijöiden oleskelualueelle. Sandbergin (2016, 25.) mukaan prosessi-ilmastointi on avainasemassa monissa tuotantoprosesseissa, kuten kemianteollisuudessa ja prosesseissa joissa kuivatetaan tuotteita. Teollisuudessa monet laittilat kuten sähkötilat vaativat myös ilmastoinnin. Tosin teollisuudessa on myös tiloja, joissa prosessilla ei ole erityisvaatimuksia. Tilailmastointi taas kuvaa yleisten tilojen kuten henkilöstön tilojen, valvomoiden ja muiden huoneiden ilmanvaihtoa, jossa ihmiset viettävät yleisesti aikaa.

3.1 Teollisuuskohteiden sisäilmaston vaatimukset

Suunnittelussa lähtökohtana on tunnistaa suurimmat ilmapäästelyn tarpeeseen vaikuttavat osatekijät. Tekijöitä ovat muun muassa ulkoilman lähtötiedot ja perusteellinen kuvaus prosessista. Ilmastoinnin kohdetilaan kohdistuu erilaisia kuormia joita ovat ulkoiset kuormat, sisäiset kuormat ja monenlaiset epäpuhtauskuormat. Yhdessä tavoitetasojen kanssa näistä muodostuvat mitoitusperusteet ilmastointijärjestelmälle. (Tähti 2002, 36). Teollisuudessa vaatimuksena on usein lämpötilan lisäksi myös sopiva ilmapäästö. Esimerkkinä tällaisista tiloista ovat tietyt sähkö- ja laittilat. Ilmastointitekniikassa kostean ilman ominaisuuksia voidaan tarkastella kostean ilman h-x-piirroksen eli Mollier-diagrammin avulla (Kuvio 4). Diagrammin avulla voidaan tarkastella ilman ominaisuuksia eri lämpötiloissa ja se toimii suunnittelijan apuna mitoittaessa laitteita. Teollisuudessa lämpötilat ja kosteudet voivat olla korkeampia kuin kiinteistöissä yleensä, joten teollisuuden tarpeisiin on tehty samalla periaatteella toimivia diagrammeja korkeammille lämpötiloille ja kosteusalueille. (Sandberg, 2016, 123.)



Kuvio 4. Mollier-diagrammi (Moist air – the Mollier diagram, 2003).

Sisäilmaston vaatimuksista on annettu rakennustiedon ohjekortissa RT 07-11299 Sisäilmasto 2018 tavoitearvoja rakennusten sisäilmasto-olosuhteille. Sisäilmastoluokitus on ohjeistus, jota käytetään muun muassa kiinteistön käyttäjän, omistajan, rakennuttajan ja suunnittelijoiden apuna sisäilmaston tavoitetasojen määrittelemisessä. Sisäilmastoluokitus määrittelee kolme luokkaa, tyydyttävä sisäilmasto S1, hyvä sisäilmasto S2 ja yksilöllinen sisäilmasto S3, joiden tavoitearvot on esitetty kuviossa 5. (Sisäilmastoluokitus 2018, 5.)

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			21
$t_u \leq 0$ °C	21,5 ¹⁾	21,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,15 \times t_u$ ¹⁾	$21,5 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	24,5 ¹⁾	25,5	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama ylöspäin			
$t_u \leq 0$ °C	< 22,5	< 23	
$0 < t_u \leq 15$ °C	< $22,5 + 0,166 \times t_u$	< $23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 25	< 26	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama alaspäin			
$t_u \leq 0$ °C	> 20,5	> 20,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	> $20,5 + 0,075 \times t_u$	> $20,5 + 0,025 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	> 22	> 21	
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]			
$t_u \leq 0$ °C	< 23	< 23	
$0 < t_u \leq 20$ °C	< $23 + 0,2 \times t_u$	< $23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 27	< 27	
$t_u \leq 10$ °C			< 25 (26) ²⁾
$t_u > 10$ °C			< 27 (32) ²⁾
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	> 20	> 20	> 20 (18) ²⁾
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjästä]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	
asunnot	90 %	80 %	

Kuvio 5. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot sisäilmastoluokissa (Sisäilmastoluokitus 2018, 6).

Teollisuudessa usein on tiloja joissa ilmanlaadulle on erilaiset tavoitteet ja mitoitus tehdään prosessin tarpeiden tai laitevaatimuksien mukaan. Teollisuuden olosuhteisiin sisäilmastoluokituksen kaltaisia täsmällisiä ohjeistuksia ei ole, mutta esimerkiksi teoksessa Teollisuusilmastoinnin opas (Tähti 2002) on annettu viitteellisiä ohjearvoja erilaisille työskentelytiloille. Tavoitetasot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Tavoitetasot ilman lämpötilalle (Tähti 2002, 35)

Työn fyysinen raskaus	Ilman lämpötila				
	I (Erikoistilatase)	II (Hyvä teollisuustase)	III (Yleinen teollisuustase)	IV (Minimiteollisuustase)	V (Jäätymistä ja korroosiota estävä tase)
Kevyt istumatyö (<150W)	21–23°C	20–24°C	19–25°C	17–28°C	$T_i > T_s + 3$ °C
muu kevyt työ (150-300kW)	20–22°C	19–24°C	18–25°C	16–28°C	$T_i > T_s + 3$ °C
Keskiraskas työ (300-450W)	18–20°C	17–22°C	15–25°C	13–25°C	$T_i > T_s + 3$ °C
Raskas työ (450-600W)	14–16°C	12–18°C	11–21°C	10–25°C	$T_i > T_s + 3$ °C

3.2 Jäähdytys

Jäähdytyksellä tarkoitetaan prosessin tai tilojen yllämmön poistoa suhteessa syntyviin lämpökuormiin. Lämpö voi siirtyä paikasta toiseen johtamalla materiaalista materiaaliin, konvektion avulla

jolloin neste tai ilma virtaa paikasta toiseen vieden lämpöenergiaa mukanaan, tai säteilemällä. Ilmastointijärjestelmissä lämpöä pyritään siirtämään yleensä ilmavirran kautta kylmä- tai väliaineeseen, jolloin kyseessä on konvektioon perustuva lämmönsiirtomenetelmä. (Section B. Energy Transfer, n.d.)

Ilmastoinnin jäähdytyksen tehtävä on siis poistaa tilasta ylimääräinen lämpökuorma, jotta saavutetaan tavoitellut sisäilman arvot. Jäähdytystarve on riippuvainen monesta osatekijästä, joihin vaikuttavat rakennuksen sisäiset ja ulkoiset kuormat. Vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi ilmastoitavan tilan suuntaus, kuormat eri laitteista ja ihmisistä, auringon tuoma lämpökuorma tilaan ja ikkunapinta-ala. Lämpökuormat vaihtelevat suuresti tilan käyttötarkoituksen mukaan. (Seppänen 2004, 176–178). Paljon ikkunapinta-alaa omaavassa tilassa suuri osa tilaan saapuvasta lämpökuormasta aiheutuu auringon säteilyn vaikutuksesta. Teollisuudessa prosesseista aiheutuvat lämpökuormat voivat olla jäähdytyksen mitoittava tekijä. Erilaisissa laite- ja sähkötiloissa taas lämpökuormaa tilaan aiheuttaa koneiden ja laitteiden kuluttama sähköenergia, joka muuttuu lämpöenergiaksi. Usein esisuunnitteluvaiheessa sähkölaitteiden lämpökuormia ei tunneta, jolloin tarpeet ovat tapauskohtaisia. Lämmön varastoitumisesta johtuen jäähdytystarpeen arvo ole yhtä suuri lämpökuormien kanssa. (Seppänen 2004, 167).

Seppäsen (2004, 151) mukaan rakennusten ja huoneiden jäähdytystarpeen laskenta on oleellisesti haastavampaa kuin lämmitystarpeen laskenta. Keskeisimmät ongelmat jäähdytystarpeen arvioinnissa ovat lämmön varastoituminen, auringon säteilyn vaikutuksen arviointi ja eri pintojen säteilylämmönsiirto. Jotta tilojen jäähdytystarve saadaan määriteltyä, tulee ratkaista tilojen lämpötase. Huoneen lämpötaseella tarkoitetaan huoneeseen sisään tulevien, siellä syntyvien ja huoneesta poistuvien lämpötilojen matemaattista käsittelyä. Lämpötaseen keskeiset osat on esitetty kuviossa 6. Energia joka tulee sisään huoneeseen aina vaihtoehtoisesti joko lämmittää huonetta tai poistuu sieltä. Jäähdytystarvetta arvioitaessa huomioidaan erityisesti lämpövirtoja, mutta on huomioitava myös, että kaikki huoneeseen tuotava sähköenergia muuttuu lämpöenergiaksi. (Seppänen 2004, 165.)



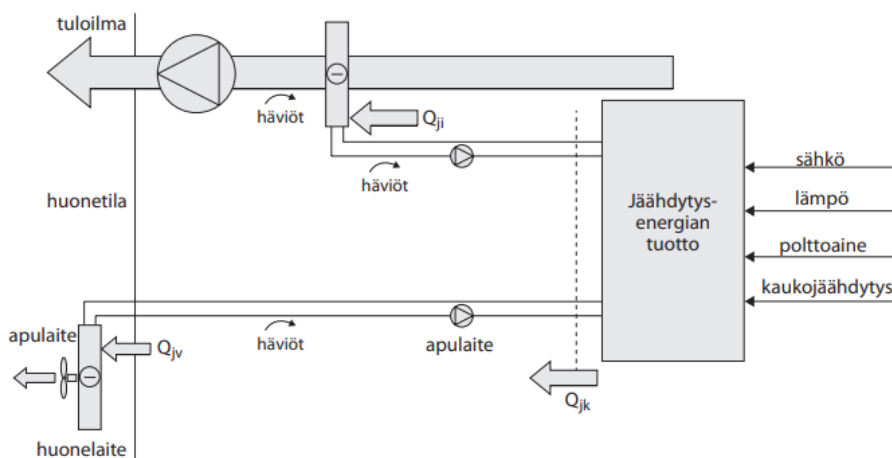
Kuvio 6. Tilan lämpötaseen keskeisiä osia (Seppänen 2004, 165).

Lämpökuormat voivat vaihdella vuosien saatossa uusien koneiden ja laitteiden sijoittelun myötä. Sähkö- ja laitetiloissa voi tapahtua ajan kuluessa muutoksia, jolloin tilan lämpökuorma voi muuttua oleellisesti. Tämä on usein tarpeellista huomioida jo suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Jäähdytysjärjestelmien laskentaoppaan (2011, 4) mukaan jäähdytysenergian nettotarve määritetään yleensä simuloimalla ja tarkka tarkastelu vaatii aina dynaamista laskentaa, jotta voidaan huomioida lämpökuormien sekä ulkolämpötilan vaihtelu vuorokauden eri tunteina sekä rakennuksen lämpökapasiteetti. Tätä mieltä on myös Seppänen (2004, 151.) Teollisuuskohteissa haasteena tosin on, ettei simulointiin käytetty IDA ICE suoraan sovellu teollisuuskohteiden jäähdytystarpeen laskentaan, eli soveltuvia laskentaohjelmia ei esisuunnitteluun ole. Tällöin jäähdytystarpeen arviointi perustuu usein karkeaan arviointiin.

4 Jäähdytysjärjestelmät

LVI2010-nimikkeistön (2010, 3) mukaan jäähdytysjärjestelmä on käsite, joka kattaa rakennuksen sekä tilakohtaisen ilmastoinnin jäähdytyksen, kylmiöiden ja muiden vastaavien tilojen jäähdytyksen kuten pakastuksen, sekä laitteiden jäähdytyksen edellyttämät jäähdytysjärjestelmät. Järjestelmä voidaan jakaa jäähdytyksen keskusosiin, siirto-osiin, pääteosiin sekä alueosiin. Jäähdytysjärjestelmiä on monenlaisia eri kohteisiin ja käyttötarkoituksiin. Järjestelmien koot ja ominaisuudet vaihtelevat kohteen tarpeiden mukaan aina pienistä yksittäisistä split-koneistoista suuriin vedenjäähdytyskoneella varustettuihin järjestelmiin. Perusajatuksena on, että koneellisessa jäähdytysjärjestelmässä ulkoisen energianlähteen avulla huonetilasta poistetaan ylijäämälämpöä apulaitteiden avulla.

Sandbergin (2014, 315) mukaan suuremmissa kiinteistöissä jäähdytysjärjestelmä toteutetaan tavallisesti liuoslauhdutteisella vedenjäähdytyskoneella, jolla syötetään jäähdytyksen päätelaitteita kuten jäähdytyspattereita, puhallinkonvektoreita tai jäähdytyspalkkeja. Tähdén (2002, 47) mukaan taas teollisuustiloissa koneellinen jäähdytys on yleensä kytketty osaksi koko kiinteistön ilmanvaihtojärjestelmää. Vedenjäähdytyskoneen liuosputkisto liittyy ulkona sijaitsevaan nestejäähdyttiin, jonka avulla voidaan tuottaa esimerkiksi talviaikaan vapaajäähdytys siirtimellä jäähdytystä sitä tarvitseville tiloille. (Sandberg 2014, 315; Tähti 2002, 47). Kuviossa 7 on esitetty koneellisen jäähdytysjärjestelmän perustoiminta.



Kuvio 7. Jäähdytysjärjestelmän periaatekuva (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta 2018, 26).

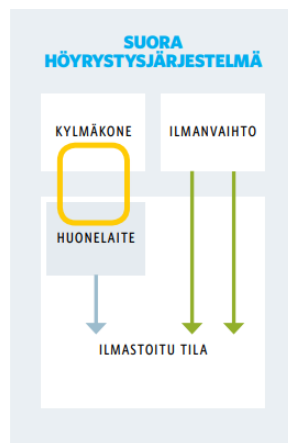
Ilmastoinnin jäähdytys toteutetaan joko paikallisesti tai keskitetysti. Paikalliset jäähdytyslaitteet sijoitellaan nimensä mukaisesti suoraan jäähdytettävään tilaan. Tapa on yleinen ja suositeltu jos jäähdytystarve poikkeaa muista rakennuksen tiloista tai jos tilassa jäähdytykselle on tarve ympäri vuoden. Tällaisia kohteita voivat olla esimerkiksi sähkötilat. Esimerkkejä paikallisista jäähdytyslaitteista ovat muun muassa split- ja multisplit-jäähdytyslaitteet, vesilauhdutteiset konsolikoneet sekä erilaiset kaappikoneet. Välillisten järjestelmien ratkaisuja ovat esimerkiksi ulkoyksiköillä varustetut konvektorit, kattopalkit tai vakioilmastointikoneet. (Seppänen 2004, 211.)

Keskitetyt jäähdytysjärjestelmät jäähdyttävät sen sijaan koko rakennusta tai jotain sen osaa. Keskitetyssä ratkaisussa tuloilmakoneessa tai IV-kanavassa on yleensä suora höyrystyspatteri joka on

kytketty kompressorikoneelle. Keskitetyissä välillisissä ratkaisuissa jäähdytyspattereissa, kaappikoineissa tai esimerkiksi puhallinkonvektoreissa kierrätetään vedenjäähdytyskoneella jäähdytettyä nestettä kuten vettä tai vesi-glykoliseosta. (Seppänen 2004, 211.)

4.1 Suora ja välillinen jäähdytys

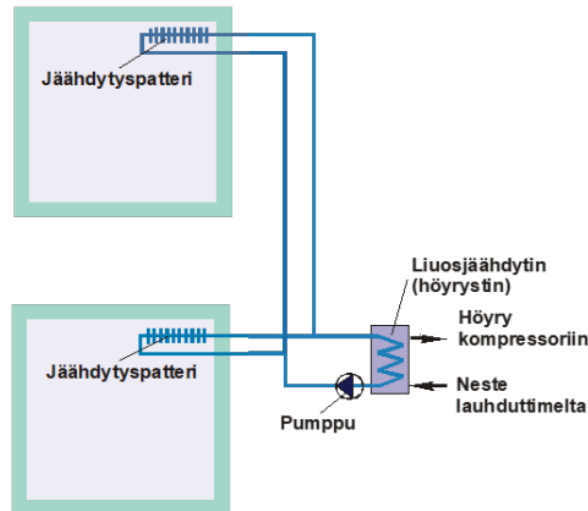
Suorassa jäähdytysjärjestelmässä lämpö siirtyy suoraan höyrystimen välityksellä kylmäaineeseen. Järjestelmiä kutsutaan myös suorahöyrysteisiksi järjestelmiksi. Suoraa jäähdytystä suositetaan erityisesti alle 70kW jäähdytystarpeilla ja kun kustannukset halutaan pitää edullisina. Järjestelmän säädölle ei kuitenkaan voida asettaa kovia vaatimuksia, sillä suorassa järjestelmässä jäähdytyslaitteiden ilma- tai nestevirtauksen tulisi olla lähes vakio. Järjestelmä soveltuu esimerkiksi kohteeseen, jossa ei syystä tai toisesta voida käyttää vettä tai liuosta jäähdytykseen. Suorassa järjestelmässä kylmäaineputkien pituuden tulisi olla kohtuullinen, yleensä enintään 20–30 m. (Sandberg 2014, 243.) Kuviossa 8 on esitetty suora höyrystysjärjestelmä.



Kuvio 8. Suora höyrystysjärjestelmä (Viihtyisä työympäristö ilmastointi ja jäähdytys 2016, 8)

Välillisessä jäähdytysjärjestelmässä (kuvio 9) taas lämpö siirtyy ensin lämmönvaihtimen välityksellä väliaineeseen kuten veteen tai vesi-glykoliseokseen ja siitä verkoston välityksellä höyrystimen kautta kylmäaineeseen. Välillinen jäähdytysjärjestelmä vaatii siis jäähdytysverkoston, jolla jäähdytysenergia jaetaan ilmastoitaviin tiloihin. Välillistä jäähdytystä suositetaan kun kriteereinä on esimerkiksi huonekohtainen tarkka säätö. Välillinen järjestelmä vaatii suoraa järjestelmää pienemmän kylmäainetäytön, sillä kylmäaine kiertää vain jäähdytysenergiaa tuottavassa laitteistossa. Välillinen järjestelmä soveltuu paremmin kohteeseen jossa esiintyy kuormitushuippuja, tai jos kohteessa

jäähdyttävä ilmavirta vaihtelee ja laitteiden väliset putkimatkat ovat pitkiä. Muita etuja ovat vaapajäähdytyksen hyödyntämisen helppous sekä parempi mahdollisuus varautua järjestelmän laajennuksiin. Haittapuolena mainittakoon välillisen järjestelmän suurempi energiankulutus ja kalliimmat investointikustannukset, johtuen pääosin verkostokuluista. (Hakala, 2019 51.)



Kuvio 9. Välillinen jäähdytysjärjestelmä (Välilliset jäähdytysjärjestelmät 2019, 9).

4.1.1 Kylmäaineet

Jäähdytyksessä käytetään useita erilaisia kylmäaineita. Aineet voidaan jaotella niiden kemiallisen koostumuksen mukaan eri ryhmiin. Erityisesti vanhoja järjestelmiä uusittaessa on huomioitava, että jotkin vanhat kylmäaineet voivat olla hyvinkin haitallisia ympäristölle ja täten jo asetuksilla kiellettyjä. Kylmäaineiden ominaisuuksia tarkastellessa törmäekin termeihin ODP eli otsonin haitallisuuskerroin, sekä GWP eli vaikutus kasvihuoneilmiöön. Kylmäaineiden ominaisuuksilla on merkitystä, sillä nykyään niille on määritetty tiukkojakin rajoituksia ilmastovaikutuksiin perustuen. Kylmäaineiden ominaisuudet voivat jopa vaikuttaa kokonaisten järjestelmien hankintapäätöksiin, esimerkiksi jos kohteessa on käytössä ympäristöluokituksia kuten LEED tai BREEAM (Rantanen, Hiltunen, Mero, Tähtinen, Nopanen, Kovanen & Huynh, 2017.)

CFC-aineet ovat täysin halogenoituja kylmäaineita. CFC-lyhenne tulee sanasta Chlorofluorocarbons, eli yhdisteet sisältävät klooria, fluoria ja hiiltä, mutta eivät vetyä. CFC-aineet ovat lainsää-

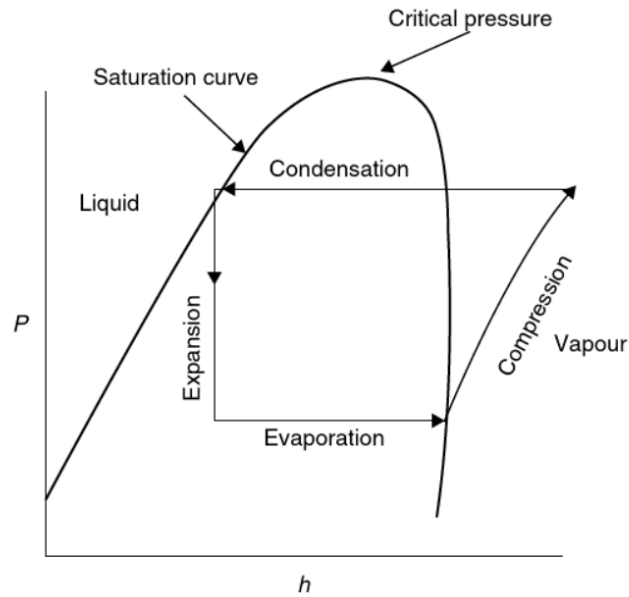
dännöllä täyttökiellossa ja niille on asetettu rajoituksia, sillä ne ovat hyvin haitallisia otsonikerrokselle ja niitä on pyritty korvaamaan muilla ominaisuuksiltaan vastaavilla aineilla. CFC-yhdisteitä ovat muun muassa kylmäaineet R11, R12, R502 ja R131B. (Hakala & Kaappola 2019, 23).

HFC-aineet ovat kokonaan kloorittomia hiilivetyjä. HFC on lyhenne sanasta Hydrofluorocarbons, eli yhdiste sisältää fluoria, hiiltä ja vetyä. HFC-aineet ovat turvallisia otsonikerrokselle ja yhdisteitä on useissa järjestelmissä käytössä. HFC-yhdisteitä ovat esimerkiksi kylmäaineet R132a ja R404A. (Hakala & Kaappola 2019, 23).

HCFC-aineet ovat osittain halogenoituja hiilivetyjä, joiden kemiallinen koostumus on klooria, fluoria, hiiltä sekä vetyä. HCFC on lyhenne sanoista Hydro-Chlorofluorocarbons. HCFC-aineiden uusiokäyttö on lainsäädännöllä kielletty, sillä yhdisteet ovat haitallisia otsonikerrokselle. Näitä yhdisteitä ovat esimerkiksi kylmäaineet R22, R401A ja R402A/B. (Hakala & Kaappola 2019, 23).

Luonnonmukaisia kylmäaineita ovat esimerkiksi propaani, butaani, ammoniakki tai hiilidioksidi. Luonnonmukaisiksi kylmäaineiksi luetellaan usein halogeenittomat kylmäaineet. Luonnonmukaisen kylmäaineiden OPD on nolla tai lähes nolla. Aineilla voi kuitenkin olla muita rajoituksia, esimerkiksi ammoniakkia käytettäessä tarvitaan aina erikoiskonehuonetilat sen myrkyllisyyden vuoksi, ja se sopiikin vain välillisiin järjestelmiin. (ASHRAE HANDBOOK 2010, 2.1; Hakala & Kaappola 2019, 23).

Kylmäaineen kiertoprosessia kuvataan kylmäaineen log p, h-piirroksella, jossa x-akselilla kuvataan aineen entalpiaa ja y-akselilla painetta. Kaaviolla saadaan kuvattua aineen neste- ja kaasufaasi ja ymmärretään paremmin aineen käyttäytyminen. Kyllästyskäyrä määrittelee puhtaan kaasun tai höyryn rajan. Käyrän toisella puolella aine on tulistettua höyryä ja toisella puolella alijäähtynyttä nestettä. Käyrän yläosan yläpuolella olevassa paineessa nesteen ja höyryn välillä ei ole eroa. Tämän paineen yläpuolella kaasua ei voida nesteyttää ja tätä pistettä kutsutaan kriittiseksi paineeksi. Käyrän alla olevalla alueella aine on nesteen ja höyryn seosta. (Hundy ym. 2008, 16–17.) Yksinkertaistettu kylmäaineen kiertoprosessi on esitetty kuviossa 10.

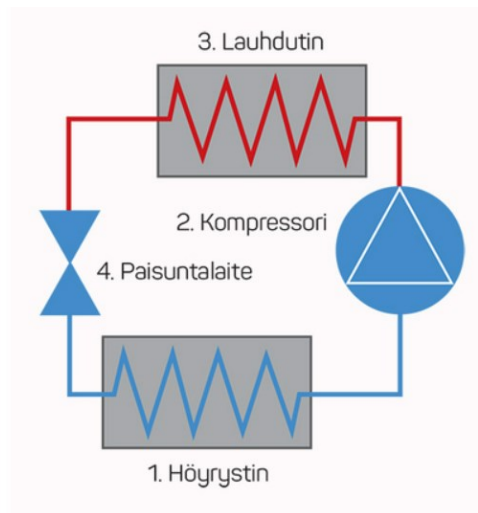


Kuvio 10. Kylmäaineen kiertoprosessi (Hundy ym. 2008, 17).

4.2 Kompressorijäähdytys

Tässä opinnäytetyössä keskitytään tarkastelun osalta pitkälti kompressorijäähdytykseen, sillä kompressorijäähdytys on kiinteistöjen jäähdytysenergian tuotannossa yleisimmin käytetty jäähdytysteknologia, jolla on toteutettu yli 90 % kaikista kylmäteknikan ja jäähdytyksen kohteista. Nykyisin käytössä olevia kompressorivaihtoehtoja ovat kierukka-, mäntä-, ruuvi- ja turbokompressorit. Kompressorijäähdytyksellä voidaan saavuttaa hyvinkin suuria jäähdytystehoja, sillä niiden tehoalue vaihtelee pienistä kilowattien järjestelmistä aina 30 megawattiin asti. (Laitinen 2016, 11–13.)

Kompressorijäähdytys perustuu kylmäainekiertoon. Kiertoprosessissa jäähdytysteho tuotetaan koneistossa kiertävän kylmäaineen avulla. Kylmäkoneisto rakentuu neljästä pääkomponentista, joita ovat höyrystin, kompressori, lauhtutin sekä paisuntalaite. Kuviossa 11 on esitetty yksinkertainen kiertoprosessi.



Kuvio 11. Kylmäprosessi (Kylmäprosessi eli miten kylmä syntyy, 2020).

Kylmäprosessissa kylmäaine höyrystyy höyrystimessä (1) ympäristöä matalammassa lämpötilassa samalla sitoen ympäristöstään lämpöä itseensä. Kompressori (2) imee matalassa paineessa kylmäainehöyryn ja puristaa sen korkeampaan paineeseen. Samalla höyryn lämpötila nousee. Seuraavaksi ympäristöä korkeammassa lämpötilassa oleva höyry nesteytyy lauhduttimessa (3), luovuttaen lämpöä ympäristöönsä. Paisuntalaitteessa (4) nestemäisen kylmäaineen paine laskee, muuttaen nesteen neste-höyryseokseksi. Samalla seoksen lämpötila laskee. (Seppänen 2004, 212).

Kylmäprosessin hyötysuhteesta käytetään nimitystä kylmäkerroin, jonka tunnus on ε . Tämä kuvaa koneesta saadun kylmätehon ja kompressorin kuluttaman sähkön suhdetta. Prosessin hyötysuhde voidaan laskea kaavalla (1) (Seppänen 2004, 106).

$$\varepsilon = \frac{Q_h}{P} \quad (1)$$

missä

Q_h on höyrystimen sitoma lämpö eli jäähdystysteho (W)

P on kompressorin sähköverkosta ottama teho (W)

Seppänen (2004, 107) kertoo, että useimmiten ilmastoinnin kylmäkertoimesta käytetään lyhennettä COP. Tässä on tosin havaittavissa eroavaisuuksia eri lähteiden välillä sillä nykyään yleensä

puhuttaessa lämmitysjärjestelmistä termi COP on kyllä käytössä, mutta sen sijaan jäähdytysjärjestelmissä käytetään useimmiten lyhennettä EER, joka tarkoittaa energiatehokkuusluokkaa (Mitä termit COP ja EER tarkoittavat? N.d.) Laskentaperiaate on samanlainen. Siihen lasketaan mukaan kaikki kylmä- tai vedenjäähdytyslaitokseen kuuluvat laitteet sähkönkulutuksineen. COP, tai EER, saadaan kaavasta (2) (Seppänen 2004, 107).

$$EER = \frac{Q_h}{\sum P_i} \quad (2)$$

missä

Q_h on höyrytimen sitoma lämpö eli jäähdytysteho (W)

$\sum P_i$ on kaikkien jäähdytyslaitokseen kuuluvien laitteiden yhteenlaskettu sähköverkosta ottama teho (W)

4.3 Vedenjäähdytyskoneistot

Vedenjäähdytyskoneistot ovat kompressorikoneikkoja, joita on saatavilla ilma-, vesi- tai liuoslauhdutteisina. Vedenjäähdytyskoneistojen avulla voidaan saavuttaa suuriakin jäähdytystehoja ja niitä valmistetaan laajalla tehoalueella. Vedenjäähdytyskoneistoihin lukeutuvat myös kylmävesiasemat, jotka ovat käytännössä lisälaitteilla varustettuja vedenjäähdytyskoneistoja. (Seppänen 2004, 219–220). Kylmävesiasema on esitetty kuviossa 12.

Vedenjäähdytyskone mitoitetaan sille liitetyn jäähdytysvesiverkoston kuormien yhteistehon perusteella. Useimmissa tapauksissa vedenjäähdytyskoneen jäähdytysteho mitoitetaan täydelle kuormalle, tosin joissain tapauksissa voi kuitenkin riittää osatehomitoitus. Suuremman kokoluokan järjestelmissä VJK jaetaan usein kahdeksi tai useammaksi erilliseksi yksiköksi, toisinaan rinnakkain jos jäähdytystehontarve on välttämätöntä. Näin saadaan pienemmällä osateholla parempi hyötysuhde ja häiriötilanteessa kyetään vastaamaan suurempaan tehontarpeeseen. (Sandberg 2016, 345).

Jäähdytyskoneet kuten vedenjäähdyttimet sijoitetaan useimmiten konehuoneisiin tai rakennusten katolle. Ulos sijoitettaessa on huomioitava että jäähdyttimet ovat merkittäviä melunlähteitä, jolloin niiden valintaan vaikuttavat kohteessa sallitut äänentason rajat. Teollisuusalueilla tosin voidaan usein sallia suuremmat äänentason. Jäähdyttimien meluhaittoja voi ehkäistä eri tavoin, kuten

rakenteellisilla ratkaisuilla tai painottamalla laitevalintoja hiljaisempiin malleihin. Tällöin tosin nousevat myös kustannukset. (Sandberg 2016, 64).



Kuvio 12. Kylmävesiasema (Kylmävesiasemat ja vedenjäähdyttimet, n.d).

Jos jäähdytystarvetta on vain kesäkuukausina, on järjestelmät voitu toteuttaa ilmalauhdutteisina (Kuvio 13). Nykyään tosin jatkuvasti kehittyvät lämpöpumppuratkaisut ovat pitkälti syrjäyttäneet ilmalauhdutteiset ratkaisut, sillä usein ne ovat huomattavasti energiatehokkaampia toteutuksia, mikäli jäähdytyksestä saatava lämmitysteho voidaan hyödyntää esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen. Ulkoasenteisissa koneikoissa tulee huomioida talviolosuhteet ja varmistaa ettei koneisto pääse jäätymään. Seppäsen (2004, 222) mukaan talviaikainen jäähdytystarve on järkevämpää tilanteen salliessa toteuttaa erillisellä koneistolla kyseisen tilan talviaikaista jäähdytystä varten, tai vapaajäähdytystä hyödyntämällä.



Kuvio 13. Ilmalauhdutteinen vedenjäähdytin (Ulkoasenteiset vedenjäähdyttimet ja lämpöpumput 2017, 68).

Vesilauhdutteiset koneistot ovat suositeltavia silloin, kun saatavilla on tarpeeksi edullista hyvälaatuista lauhdutusvettä jonka käyttö on teknisesti mahdollista. Teollisuudessa tämä voi tarkoittaa esimerkiksi jäähdytystornien tai joki- ja järiveden hyödyntämistä. Jäähdytykseen käytettävän veden on kuitenkin oltava riittävän puhdasta laitteiden toimintakyvyn varmistamiseksi. Lisäksi käytettäessä luonnonvettä lauhduttimelle veden lämpötila vaihtelee paljolti vuodenaikojen mukaan. Tästä syystä lauhduttimelle tulevaan putkeen tulee asentaa venttiili, jolla säädetään lauhduttimelle tulevaa vesivirtausta lauhtumispaineen mukaan. Erityisesti teollisuudessa käytettäessä levylämmönsiirtimiä lauhduttimina, venttiili asennetaan tuloputkeen. Tällä estetään paineiskujen aiheuttamat laiterikot. (Seppänen 2004, 224.)

Liuoslauhdutteisia koneistoja käytetään silloin, kun kompressorin ja jäähdyttimen välinen etäisyys on pitkä esimerkiksi sijoitettaessa vedenjäähdytyskoneisto konehuoneeseen ja jäähdytin katolle, tai kun lauhdelämmön talteenottoa harkitaan. Liuoslauhdutteisissa järjestelmissä hyödynnetään usein myös vapaajäähdytystä. (Seppänen 2004, 225.) Liuoslauhdutteisissa järjestelmissä käytetään usein erillisiä, yleensä katolle asennettavia nestejäähdyttimiä. Nestejäähdyttimissä jäähdytetään liuosjäähdytteisten vedenjäähdytyskoneiden tai lämpöpumppujen lauhdutinpiirissä kiertävää nestettä, usein vesi-glykoliliuosta. Nestejäähdytin on esitetty kuviossa 14.

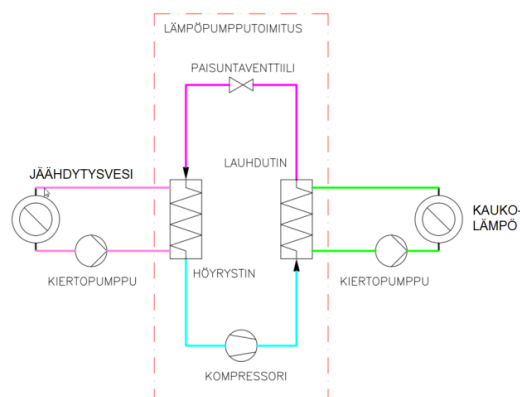
Joskus puhutaan myös nestelauhduttimista, mutta on tärkeää ymmärtää termien ero. Nestelauhduttimia on käytetty pääosin ilmalauhdutteisissa järjestelmissä suoraan höyrysteisten ilmastointilaitteiden kylmäaineen lauhduttamiseen. (Chiller, Nestejäähdyttimet ja lauhduttimet N.d.) Nestelauhduttimia on vielä käytössä erilaisissa kohteissa nykyisissä järjestelmissä, mutta pääosin niiden vaatiman kylmäainemäärän ja tämän tuoman ilmastokuorman takia uusiin kohteisiin niitä ei nykyään juurikaan asenneta (Vanhala 2022). Nestejäähdyttimen mitoituksen perusteena on vedenjäähdytyskoneen täysi lauhdutustehontarve. Eräs nestejäähdyttimen mitoittava tekijä on myös äänentaso. Teollisuudessa usein voidaan sallia korkeammat äänenvoimakkuudet, kuin jos laite tulisi asuinalueelle. (Sandberg 2016, 347).



Kuvio 14. Nestejäähdytin (Ilmajäähdytteiset nestejäähdyttimet N.d).

4.3.1 Lämpöpumput

Lämpöpumput ovat viime vuosina yleistyneet huomattavasti järjestelmävalintoina niiden energiatehokkaiden ominaisuuksien vuoksi. Lämpöpumpun toimintaperiaate on hyvin samanlainen kuin vedenjäähdytyskoneilla, mutta siinä missä vedenjäähdytyskone vie jäähdytettävästä kohteesta otetun lämpöenergian ulos rakennuksesta suoraan ulkoilmaan, voidaan lämpöpumpulla hyödyntää hukkaenergiaa eri lämmitystarpeisiin. Erityisesti jos kohteesta löytyy hyödyntämistapa jäähdytyksen tuomalle hukkalämmölle, on lämpöpumppujärjestelmä usein energiatehokkuuden näkökulmasta varteenotettava vaihtoehto. (Teollisuuslämpöpumput, n.d.; Maaskola, I. Kataikko, M. 2014, 63). Jäähdytyksestä saatavaa hukkalämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi lämpimän käyttöveden tuotannossa, tai suurissa järjestelmissä kaukolämmöntuotannossa. Kuviossa 15 on esitetty lämpöpumppuratkaisun periaate osana jäähdytysjärjestelmää.



Kuvio 15. Jäähdytysenergian hyödyntäminen kaukolämmöntuotannossa (Maaskola, I. Kataikko, M. 2014).

4.3.2 Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytyksellä tarkoitetaan jäähdytystapaa, jossa jäähdytysenergia otetaan esimerkiksi ulkoilmasta tai vesistöistä, jolloin vältetään kuluttamasta tuontienergiaa varsinaiseen jäähdytysenergian tuotantoon. Tästä syystä vapaajäähdytys on edullinen tapa tuottaa jäähdytysenergiaa. Järjestelmä voi olla yksinkertaisimmillaan esimerkiksi vesikiertoinen järjestelmä, johon on asennettu jonkinlainen ulkolämmönsiirrin. Vapaajäähdytyksessä ainoa energiantarve on pumpuille ja puhaltimille sen kattaessa koko jäähdytysenergian tarpeen. Vapaajäähdytyksen hyödyntäminen on täysin riippuvaista ympäristön olosuhteista, erityisesti lämpötilasta (Brochard, Kamath, Corbalan, Holland, Mittelbach, Ott, 2019, 54).

Vapaajäähdytystä voidaan Suomessa hyödyntää käytännössä ympärivuotisesti maamme pohjoisen sijainnin ja tätä kautta varsin viileiden ulkolämpötilojen vuoksi. Jos vapaajäähdytyksellä ei saada katettua koko jäähdytystarvetta, voidaan se toteuttaa esimerkiksi vedenjäähdytyskoneiston yhteydessä. Tällöin ulkoilmalämmönsiirrin asennetaan jäähdytyskoneeseen kylmäaine- ja lämmönkeruupiirien väliin. Tietyn ulkolämpötilan alapuolella, yleensä noin 10 °C asteessa, vesi jäähdytetään vapaajäähdytyksellä ulkoilmalla jäähdytyskoneen sijaan. (Vapaa- vai kompressorijäähdytys n.d.)

4.4 Jäähdytyksen päätelaitteet

Jäähdytyksen päätelaitteilla tarkoitetaan laitteita ja komponentteja, joilla varsinainen jäähdytysenergia tuodaan huonetilaan. Näitä voivat olla esimerkiksi suora- ja välillisen jäähdytyksen patterit, erilaiset ikkunakoneet, split- ja konsolikoneet, kaappi- ja vakioilmastointikoneet, kierrätysilmakoneet, konvektorit tai ilmastointipalkit ja lämpöpumppujen sisäyksiköt. (LVI2010 nimikkeistö 3, 2011). Jäähdytyksen päätelaitteet voivat jäähdyttää tilaan tuotavaa ilmaa ja niillä voidaan joskus toteuttaa myös muita ilmapuhalluksen tarpeita, kuten kostutusta.

Esimerkiksi vakioilmastointikoneita käytetään usein tiloissa, joissa huoneilman olosuhteille on asetettu erityisvaatimuksia. Tällaisia tiloja ovat muun muassa konesalit, sähkö-, ja laitetilat, laboratoriot, arkistot taikka museot. Usein kaappikoneiden kohteita ovatkin laite- ja sähkötilat, joissa on tarve ympärivuotiseen jäähdytykseen. Vakioilmastointikoneilla voidaan huomioida jäähdytysominaisuuksien ohella myös muu ilmapuhalluksen tarve, kuten kostutus tai jälkilämmitys. (Seppänen 2004, 232.)

Puhallinkonvektoreilla on mahdollista toteuttaa korkeatasoinen huonekohtainen ilmastointi, jonka takia niitä käytetään usein esimerkiksi toimistorakennusten huonetilojen ilmastoinnissa. Puhallinkonvektorissa kiertää jäähdytysvesi, joka on tuotettu yleensä jäähdytysjärjestelmässä esimerkiksi vedenjäähdytyskoneessa, lämpöpumpulla tai vaikka maaviileällä. Puhallinkonvektori voidaan liittää vanhaan vesikiertoiseen verkostoon, tai sille voidaan tuoda oma putkisto jäähdytyksen tuotantopisteestä. Konvektoreilla voidaan toteuttaa joustava ilmastointijärjestelmä. (Sandberg 2016, 137.)

Jäähdytyspalkkijärjestelmää käytetään taas silloin, kun halutaan huonekohtainen korkeatasoinen ilmastointi. Jäähdytyspalkeissa kiertää jäähdytysvesi, joka voi olla tuotettu esimerkiksi vedenjäähdytyskoneella. Jäähdytyspalkkien tyyppejä ovat passiivipalkit ja aktiivipalkit. Passiivipalkeissa lämmönsiirto tapahtuu pääosin konvektion ja säteilyn avulla. Aktiivipalkkeihin on yhdistetty tuloilma, jolloin hyödynnetään pakotettua konvektiota ja lämmönsiirto on usein passiivipalkkeja tehokkaampaa. (Sandberg 2016, 145–146.)

4.5 Jäähdytysverkot

Jäähdytysjärjestelmissä putkistoissa virtaa yleensä joko kylmäaine tai vesi, riippuen onko kyseessä suora vai välillinen järjestelmä. Jäähdytys- ja lauhdejärjestelmien putkistomateriaalit ovat yleensä samoja mitä käytetään lämmitysjärjestelmissäkin. Käytetyimpiä materiaaleja ovat:

- Teräs
- Ruostumaton teräs
- Kupari
- Muovi
- Sinkitetty teräs
- Komposiitti

Putkien eristeillä varmistetaan ettei putken sisältö lämpene haitallisesti ja myös estetään kondenssiveden muodostuminen. Teräsputkistoissa putkiston eristystyöt on tehtävä erityisellä huolella kosteuden aiheuttaman voimakkaan korroosiovaaran vuoksi. Sandbergin (2014, 339) mukaan eristys on aina tehtävä siten, että siinä syntyy samalla höyrysulku. Ruostumattomalla teräksellä korroosiovaara ei ole kovin suuri, joten sen käyttö erityisesti teollisuudessa on varsin yleistä. Kupariputkea voidaan käyttää mikäli käytettävä putkikoko on alle 54 mm ja virtausnopeus pysyy alle 2,0

m/s. Muoviputkia voidaan käyttää tiloissa, joissa tulitöitä ei suositella tai ole mahdollista suorittaa. Tällaisia tiloja ovat muun muassa ullakot ja tilat sairaalaympäristöissä. (Sandberg 2014, 339–340.)

Sandbergin (2014, 333) mukaan jäähdytysputkistojen mitoitukseen ei ole olemassa varsinaista ohjetta, mutta mitoituskriteereinä käytetään maksimipainehäviötä ja veden virtausnopeutta. Ilmastoinnin jäähdytysvesiverkostojen mitoittaviksi lämpötiloiksi on vakiintunut usein +7/+12°C, jolloin jäähdytysverkostoon liitettävien laitteiden mitoituslämpötilaero on yleensä siis noin 5 astetta.

4.6 Jäähdytysverkoston komponentteja

4.6.1 Venttiilit

Jäähdytysjärjestelmissä venttiilien oikeanlaisella sijoittelulla ja tarkoituksenmukaisella valinnalla on suuri vaikutus koko järjestelmän talouteen ja käytön helppouteen sekä turvallisuuteen. Venttiililyyppiä ovat sulk- ja linjasäätöventtiilit, takaiskuventtiilit, ryhmäventtiilit joita ovat mm. syöttö- ja täyttöventtiilit, sekä magneetti-, varo, ja säätöventtiilit. (Välilliset jäähdytysjärjestelmät 2019, 36.) Sulkuventtiileinä käytetään useimmiten palloventtiilejä edullisen hinnan ja soveltuvien ominaisuuksien vuoksi, mutta esimerkiksi suuremmissa putkistoissa voidaan käyttää läppäventtiilejä tai tietyin varauksin luistiventtiilejä. Suositeltavat venttiililyydit putkikokoluokittain on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Sulkuventtiilien soveltuvuus putkikokoluokittain (Välilliset jäähdytysjärjestelmät 2019, 38).

DN	PALLOVENTTIILI	LÄPPÄVENTTIILI	LUISTIVENTTIILI
10...50	Käy	Ei käy	Ei käy
50...150	Käy	Varauksella	Ei käy
200...300	Käy	Käy	Varauksella
350...	Varauksella	Käy	Varauksella

4.6.2 Suodattimet ja lianerottimet

Jäähdytysputkistoissa virtaavassa nesteessä esiintyy ilman lisäksi erilaisia kiintoaineita jotka ovat peräisin mm. pumppujen kulumisesta tai putkiston korroosiosta. Jotta järjestelmän käyttöikä pysyisi mahdollisimman pitkänä varustetaan putkisto suodattimilla. Suodatintyyppinä ovat täysvirtaussuodattimet, joissa koko virtausmäärä kulkee suodattimen läpi, sekä sivuvirtaussuodattimet, joissa yleensä noin 10 % virtaavasta liuksesta suodatetaan. (Välilliset jäähdytysjärjestelmät 2019, 38–39.)

4.6.3 Mittalaitteet ja anturit

Jotta jäähdytysjärjestelmää voidaan hallita ja sen toimivuutta seurata luotettavasti, tulee se varustaa erilaisilla antureilla ja mittalaitteilla. Nestekiertoisten jäähdytysverkostojen anturityyppejä ovat erilaiset lämpötila-anturit ja -kytkimet, virtaus- ja pintakytkimet, sekä paineanturit ja -kytkimet. Mittalaite on usein anturi liitettynä jonkinlaiseen osoittimeen. Anturien sijainnilla on suuri merkitys mittaustulosten luotettavuuteen, joten niiden sijoittelu verkostossa tulee suunnitella huolella oikean mittaustuloksen varmistamiseksi. (Välilliset jäähdytysjärjestelmät 2019, 41.)

4.6.4 Pumput

Jäähdytysjärjestelmissä pumpuilla siirretään esimerkiksi kylmäainetta tai vettä. Pumppuja on monenlaisia, mutta tyypillisimpiä pumppuja ovat keskipakopumput ja hydrostaattiset pumput joihin lukeutuvat muun muassa kalvopumput ja mäntäpumput. Keskipakopumppujen saralla erityisesti kylmäliuosjärjestelmissä tyypillinen pumppumalli on in-line pumppu. Virtauksen kannalta kriittiset pumput ovat usein kahdennettu rinnakkain, jolla taataan järjestelmän käyttövarmuus. Pumppuja säädetään yleensä joko kuristussäätöventtiilillä, on/off-säädöllä, tai taajuusmuuttajalla. Pumppujen oikea mitoitus on tärkeää sillä se varmistaa taloudellisen ja oikein toimivan järjestelmän. (Välilliset jäähdytysjärjestelmät 2019, 44–47, 53.)

4.6.5 Paisunta-astia

Jäähdytysverkostossa paisunta-astia tasaa nesteen lämpötilan vaihtelun aiheuttaman tilavuudenmuutoksen verkostossa. Paisunta-astiaa mitoittaessa on hyvä varautua mahdollisiin järjestelmän laajennuksiin huomioimalla varmuusvara. Säiliön laajentumistilavuuden tulee kuitenkin vastata ainakin nesteen suurinta mahdollista tilavuudenmuutosta. Yleensä paisunta-astia sijoitetaan laitoksen konehuoneeseen muiden laitteiden yhteyteen. (Välilliset jäähdytysjärjestelmät 2019, 42.) Valmiissa laitetoimituksissa paisunta-astia voi olla myös osa tehdasvalmista koneistoa.

4.6.6 Tasaussäiliö

Tasaussäiliö on komponentti, jonka käyttö on välttämätöntä ilmastoinnin jäähdytyksessä. Tasaussäiliö varmistaa välillisessä jäähdytysjärjestelmässä kylmäkoneiston höyrystimen ja paisuntaventtiilin vakaan toiminnan kun olosuhteet vaihtelevat ja muuttuvat. Sen voidaan ajatella olevan putkisto-osan laajennus, jolla saadaan kylmäkoneiston läheisyydessä verkostoon lisää tilavuutta. Säiliö helpottaa kylmäkoneiston säätöä ja tasaa koneen käyntiä, sillä sen avulla saadaan höyrystimeen haluttu vakiovirtaama. (Välilliset jäähdytysjärjestelmät 2019, 65). Monissa tehdasvalmiissa jäähdytyskoneikoissa tasaussäiliö sisältyy varsinaisen laitetoimituksen kokonaisuuteen, jolloin sitä ei tarvitse erikseen hankkia.

5 Esisuunnitteluprosessi

Kuten luvussa 2 on esitetty, esisuunnitteluvaihe on projektin osa-alue jossa muun muassa tehdään kohteesta esiselvityksiä, selvitetään järjestelmävalintoja, sekä hinnoitellaan hankkeen rakentamiskustannuksia. Järjestelmävalintaa määritteleviä seikkoja ovat muun muassa sen elinkaarikustannukset, investointikustannukset, kohteen jäähdytystehon tarve, jäähdytystarpeen ajoittuminen sekä muut ilmastoinnin tarpeet kuten kostutuksen ja lämmityksen tarve. Myös monet muut seikat, kuten mahdolliset ympäristöluokitukset kohteessa tai järjestelmän laajennuksiin varautuminen asettavat suunnitteluvaiheessa raameja. Yleensä käyttökustannukset määrittelevät hankinnat, jolloin eri toteutusvaihtoehtojen elinkaarikustannuksia verrataan suunnitteluvaiheessa keskenään. Jäähdytyksen toteutustapoja on monenlaisia, joten ihanteellisesti suunnitteluvaiheessa olisi tiedossa:

- Jäähdytettävien tilojen lämpökuormat ja lämpötilat

- Jäähdytettävään tilaan johdettavat ilmamäärät
- Nykyisten olemassa olevien järjestelmien tiedot
- Tilojen pohjapiirustukset ja mahdollisten nykyisten järjestelmien prosessikaaviot
- Laitepaikkatiedot
- Tilavaraukset
- Toteutukseen varattu kokonaisbudjetti

Projekteille muodostuu kustannuksia useista lähteistä niin sanotuista välittömistä ja välillisistä kustannuksista, joista välittömiä kustannuksia tuovat esimerkiksi kohteen vaatimat materiaalit ja laitehankinnat, sekä niiden asennukseen liittyvät työt. Välillisiä kustannuksia taas aiheuttavat muut työmaakulut kuten työlaite- ja tilavuokrat. Tietojen ollessa vajaita täytyy ymmärtää, että tällöin heikkenee myös arvioiden luotettavuus. Alkuvaiheen kustannusarviot voivat perustua kokemusperäiseen tietoon tai viitekohdekohtaisiin ja tilastollisiin menetelmiin, sillä kustannusten arviointi nopealla aikataululla on haastavaa muilla menetelmillä. Kuten luvussa 2.1 on esitetty, voivat alkuvaiheen kustannusarviot heitellä teollisuudessa jopa -50 ja +100 % välillä suhteessa todellisiin kustannuksiin.

Myös laitteiden ja komponenttien hinnat vaihtelevat suuresti niiden ominaisuuksista riippuen. Jäähdytyslaitteilla kohteessa sallittu äänentaso vaikuttaa suuresti valittavan koneen hintaan, vaikka jäähdytystehon tuotto olisi sama samankaltaisen mutta äänekkäämmän laitteiston kanssa. Hiljaisemmat koneet taas vaativat enemmän tilaa, joka vaikuttaa koneen sijoittelun mahdollisuuksiin. Sijoittaessa laitteita katolle täytyy varmistaa kattorakenteen kestävyys, joka tuo osaltaan lisää työtä ja kustannuksia projektille rakennuskulujen ja selvitystöiden muodossa. Ulos asennettaessa laitteet vaativat usein jonkinlaisia alustoja tai muita rakenteellisia ratkaisuja kuten katoksia. Nykypäivänä kohteissa halutaan myös yleensä huomioida lämmön talteenoton mahdollisuudet hukkalämmöstä, jotka useimmiten voidaan parhaiten hyödyntää jonkinlaisella lämpöpumppuratkaisulla. Hukkalämmön hyödyntäminen voi tuoda kohteessa säästöjä energiankulutuksessa, jolloin perinteistä pelkkää jäähdytystä tuottavaa järjestelmää ei kohteeseen ole järkevää hankkia. Tällöin jäähdytyksestä saatavan hukkalämmön tulee kuitenkin olla taloudellisesti järkevästi hyödynnettävissä, esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen.

Jäähdytyksen päätelaitteilla jäähdytettävän tilan vaatimukset asettavat rajoitteita toteutuksille. Esimerkiksi sähkö- ja laitetiloissa ilmaa on usein tarpeen käsitellä poistamalla siitä kosteutta. Lisäksi tiloissa saattaa olla puhtausvaatimuksia. Samalla jäähdytystehontarve voi olla ympärivuorokautista.

tista. Oleskelutiloissa taas jäähdytettävien ilmavirtojen tulisi olla tasaisia ja tilan vedoton oleskelumukavuuden varmistamiseksi, jolloin yleinen valinta on esimerkiksi jäähdytyspalkkiratkaisu. Rakennuksissa ja huonetiloissa voi olla myös rajoitteita putkiston sijoittelun tai ominaisuuksien kannalta.

Teollisuuskohteissa arvioitaessa projektien työ- ja materiaalimenekkejä, haastavuutta lisää soveltuvan lähdemateriaalin puute. Talonrakennus- ja LVI-alalla on saatavilla hyvin lähdemateriaalia eri työmenekkeistä. Kustannusarviointiin onkin saatavilla suhteellisen helposti dataa esimerkiksi eri ohjelmistoista kuten Kustannustieto TAKU tai RT-kustannuslaskenta. Arvioinneissa epätarkkuutta tuonaisten tilastojen lähdemateriaali, joka alalla kohdistuu pääosin asuinkiinteistöistä ja pienemmistä kohteista tutkittuun menekkitietoon. Tilastot voivat poiketa teollisuuden tarpeista, jolloin niiden käyttäminen kustannuslaskentaan tuo epätarkkuutta arviointien paikkansapitävyydelle.

6 Opinnäytetyön tutkimuksen toteutus

Opinnäytetyö toteutettiin kolmessa osassa, pyrkimyksenä vastata tutkimuskysymyksiin. Työ aloitettiin teemahaastattelulla, joilla pyrittiin selvittämään esisuunnittelun nykytilaa. Laitevalmistajilta tiedusteltiin karkean tason laitehintoja sekä järjestelmien hinnoitteluun vaikuttavia seikkoja. Lisäksi tutustuttiin yrityksen projektikannan toteutettujen järjestelmien materiaaliin, jonka avulla pohdittiin hinnoitteluperusteita. Lopuksi toimeksiantajan toiveesta luotiin kustannuslaskentapohja Excelille.

6.1 Teemahaastattelut

Opinnäytetyön ensimmäiseen tutkimuskysymykseen esisuunnittelun tarpeista pyrittiin vastaamaan teemahaastatteluiden pohjalta. Teemahaastattelu on haastattelutyyppi joka ei etene tiukkojen valmiiksi muotoiltujen kysymysten pohjalta, vaan on enemmänkin vapaamuotoista keskustelua liittyen löyhästi ennalta mietittyihin teemoihin. Teemahaastattelu on tavallisen keskustelun kaltainen tilanne, jossa haastattelija ja haastateltava ovat vuorovaikutuksessa toisiinsa. Haastattelun kulkua ei ole yleensä sovittu ennalta, vaan aihe ja keskustelu pidetään melko avoimina. (Teemahaastattelu n.d.)

Teamsin kautta haastateltiin yrityksen asiantuntijoita (5kpl) jotka olivat olleet mukana toteuttamassa projektien kustannusarviointia sekä laskentaa, ja joilla oli kokemusta jäähdytysjärjestelmistä. Heiltä kysyttiin myyn muassa heidän kustannusarviointitapojaan ja laskentaperiaatteita, sekä mahdollisia ongelmakohtia joita projekteissa olisi esiintynyt. Haastatteluilla pyrittiin siis selvittämään esisuunnittelun nykytilaa. Haastateltaessa esiin nousi yksityiskohtia jotka listattiin työn jatkokohitysehdotuksiin.

6.2 Hinnoitteluperusteet

Esisuunnittelussa usein haasteena on saada tarpeeksi tarkkaa hinnoittelutietoa selville, jonka takia joudutaan käyttämään saatavilla olevaa tietoa arviointiin, ennen kuin urakoitsijoilta saadaan tarkempia urakka- ja laitehintoja. Tällä hetkellä hinnoittelua vaikeuttavat myös yleinen maailmantilanne ja koronapandemian aiheuttamat toimitusketjuvaikeudet sekä komponenttipula, josta johtuen ajantasaista hintatietoa laitteista ja järjestelmistä saa vain suoraan laitetoimittajilta.

Materiaalihintojen heittelyn voidaan arvioida tuovan osaltaan epäluotettavuutta myös tilastopohjaiseen tietoon. Projektin kokonaiskustannuksiin vaikuttavia seikkoja ja hinnoitteluperusteita kerättiin niin laitetoimittajilta ja suunnittelijoilta saatujen kommenttien, kuin projektikannasta kerättyjen toteutettujen projektien materiaalin perusteella. Ilmastoinnin jäähdytysjärjestelmien kannalta oleellisia kustannustekijöitä ja kustannuksiin vaikuttavia seikkoja tutkittiin ja listattiin.

6.3 Kustannuslaskurin tavoitteet

Toimeksiantajan toiveesta laskennassa käytettiin laskentatapaa, joka perustui ulkoiseen lähdetietoon. IV- ja putkiurakointiin liittyvien töiden arvioinnissa käytettiin hyödyksi Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimuksen liitteenä olevaa urakkalaskentaopasta, jossa on annettu ohjeistus putkisto-, eristys-, sekä IV-alan suoran urakkasumman laskentaan. Sähkö- ja automaatiourakointiin liittyviä kustannuksia kysyttiin toimeksiantajayrityksen sähkö- ja automaatiopuolelta. Jäähdytysurakointiin ja rakennusurakointiin liittyvät työt olivat haastavia arvioida, sillä vapaasti saatavilla olevaa lähdemateriaalia ei ollut juurikaan käytettävissä. Näihin etsittiin tietoa toteutuneiden projektien dokumenteista viitekohdekohtaisilla menetelmillä. Tarkastelu tehtiin täysin uuden järjestelmän näkökulmasta, ja pois jätettiin vanhojen järjestelmien purkukustannukset niiden haasteellisuuden vuoksi. Lisäksi pois tarkastelusta jäivät järjestelmiin liittyvät rakennustekniset työt kuten laitteiden alustat ja katos-/ tukirakenteet, jotka ovat yleensä hyvin kohderiippuvaisia. Suunnittelu-

ja projektinhoitokustannukset, muut työmaakustannukset kuten laitevuokrat, sekä riskiarviot arviointiin prosenttiosuudella kokonaiskustannuksista yrityksen omiin tietoihin perustuen.

7 Tulokset

Tutkimuskysymyksiin vastattiin kehittämistutkimuksen menetelmillä. Kunkin tutkimuskysymyksen tuloksista on kerrottu seuraavissa luvuissa.

7.1 Haastattelujen tulokset

Haastatteluissa käytyjen keskustelujen perusteella voidaan todeta, että yrityksessä koettiin alustavan esisuunnitteluvaiheen kustannusten arvioinnin sujuneen projekteissa pääosin melko hyvällä tasolla. Suurelta osin omiin menetelmiin ja kokemuseräisiin tietoihin oltiin tyytyväisiä ja arvioiden koettiin vastanneen toteutuneita kustannuksia. Tosin esisuunnitteluvaiheen kustannusarvioinnin haastavuus ja ajantasaisten hintojen saamisen vaikeus nykyhetkellä tunnistettiin. Kustannuksia voitiin arvioida esimerkiksi omilla kokemuseräisillä tiedoilla ja nyrkkisäännöillä, eri kustannuslaskentaohjelmien avulla, erilaisia hinnastoja hyödyntämällä, sekä suoraan laitevalmistajilta ja urakoitsijoilta tiedustelemalla.

Haasteiksi nousi seikkoja, kuten kustannusarvion antaminen nopealla aikataululla asiakkaan tarpeisiin. Yritys ja suunnitteluosasto ovat viime vuosina kasvaneet muun muassa yritysostojen seurauksena jonka vuoksi toivottiin, että kokemuseräistä ammattitaitoa voisi yrityksen sisäisesti hyödyntää paremmin ja joustavammin. Tosin joskus kokemuseräinen tieto koettiin myös tietyllä tasolla ongelmalliseksi, esimerkiksi tilanteissa joissa esisuunnitteluvaiheessa kohteesta oli saatavilla vielä hyvin vähän tietoa ja oli tarve antaa alustava hinta-arvio kohteesta. Tällöin arvioissa joskus koettiin nähtävän heittoa eri asiantuntijoiden välillä. Tosin haastattelujen perusteella hinnoittelumenetelmät olivat suunnitteluosastolla hyvin yhteneväisiä.

Useimmiten jokainen suunnittelija vastasi omista laskennoistaan ja projektimateriaaleista löytyikin monenlaisia kustannusarvioita ja laskentapohjia alustavaan arviointiin. Vaikka kustannusarvio on yleensä esisuunnitteluvaiheessa nopeasti luotava arvio, yleensä yhteen dokumenttiin selostettu tiivistelmä, yrityksessä olisi hyvä yhtenäistää ja selventää dokumenttipohjia ja laskentatapoja. Yri-

tyksen materiaaleista löytyi myös yleisiä pohjia arvioinneille ja dokumenteille, mutta niistä ei läheskään aina oltu tietoisia ja niitä ei ollut otettu yleiseen käyttöön. Erikseen luotavat pohjat vievät aina osaltaan hieman työaikaa ja poikkeavat toisistaan sisällöltä ja ulkoasultaan. Kehitysehdotuksina haastattelujen perusteella nousivat tarkempi palaute kustannusarvioiden toteutumisesta ja lisäresurssit suunnittelupuolelle kustannustekijöiden arviointiin, seurantaan ja tilastointiin. Tosin samanaikaisesti työmenekkien seuranta koettiin osaltaan haastavaksi, sillä urakoitsijat harvoin kertovat tarkkoja hinnoitteluperusteitaan.

7.2 Esisuunnitteluvaiheen hinnoittelutekijät

Kuten luvussa 5 on esitetty, esisuunnitteluvaiheen hinnoitteluun vaikuttaa moni tekijä. Jäähdytysjärjestelmien tapauksessa projektille kustannuksia oleellisesti tuovat ainakin:

- Laite- ja materiaalikustannukset
- Ilmastointi- ja IV-osien, jäähdytyslaitteiden sekä komponenttien ja pumppujen asennukset
- Järjestelmien putkistotyöt ja niiden läpiviennit
- Putkiston ja laitteiden eristetyöt
- Järjestelmien sijoitteluun liittyvät rakennustekniset työt kuten laitteiden alustat, katos- ja tukirakenteet
- Nostot ja haalaukset
- Sähkö- ja automaatiotyöt
- Vanhojen järjestelmien purkutyöt
- Suunnittelu- ja projektinhoidokustannukset
- Muut työmaakustannukset, kuten palosuojelu ja laitevuokrat

Laitehankintojen vaikutukset hankkeen kokonaiskustannuksiin ovat merkittäviä, ja ne muodostavat putkiston ohella yleensä suurimman osan suorista kustannuksista, joten työssä keskityttiin pääosin laitteista ja putkistosta aiheutuviin kustannuksiin sekä niihin liittyviin kustannuksiin. Järjestelmien välillä hinnat vaihtelevat usein laajasti toteutuksesta riippuen, jolloin järjestelmien yleistä hintatasoa on vaikea määritellä tarkempien lähtötietojen puutteessa. Opinnäytetyön yhtenä tarkoituksena oli kerätä teholuokittain jäähdytyksen komponenteille ja laitteille karkeita budjettihintoja valmistajilta ja vapaasti hyödynnettävistä lähdemateriaaleista tueksi esisuunnittelun karkeaan

arviointiin. Laitetoimittajilta selvitettiin myös hintoihin vaikuttavia seikkoja, rajaten kyselyt tehdasvalmiille jäähdytyslaitteille. Laitekustannuksissa teholuokasta riippumatta merkittävästi hintatasoon vaikuttavia seikkoja ovat ainakin:

- Laitteiden varustelutaso ja lisäosat
- Kohteessa sallitut melutasot
- Kylmälaitteen kompressorin tyyppi ja kylmäaine
- Kohteen muu ilmankäsittelyn tarve

Laitetoimittajien mukaan hinnoittelu on nykyhetkellä haastavaa toimitusketjujen pituuden ja koronapandemian aiheuttaman markkinoiden epävarmuuden vuoksi. Tämän seurauksena jäähdytyslaitteilla hintatasot vaihtelevat laajalti ja hyvinkin nopeasti ja laitehinnat on mielellään saatava suoraan toimittajilta senhetkiselä hintatasolla. Budjettihintoja kerättiin muun muassa vedenjäähdytyskoneille, lämpöpumpuille, puhallinkonvektoreille sekä vakioilmastointikoneille. Hintoja oli kuitenkin haasteellista kerätä riittäväällä laajuudella. Lisäksi saatuja lukuja ei voi suositella varsinaiseen kustannuslaskentaan tai hinnoitteluun, vaan niitä tulee ajatella lähinnä karkeana suuntaa antavana tietona kustannushaarukasta. On huomioitava, että alustavat laitehinnat voivat vaihdella hyvinkin paljon todellisiin kustannuksiin verrattuna. Lopullisten kustannusarvioiden antaminen vaatii aina tarkkoja lähtöarvoja kohteesta ja projektin dokumenttien pohjalta saatuja tarjouksia urakoitsijoilta ja laitetöimittajilta.

Kustannuksia arviotaessa on huomioitava laitteiden nostoista ja haalauksista, vanhojen järjestelmien purkutöistä sekä laitteiden vaatimista rakenteellisista muutoksista johtuvat kulut. Nämä ovat yleensä hyvin riippuvaisia kohteesta. Haastattelujen perusteella voidaan todeta, että yleensä laitetöimittajat antavat laitteista tietyllä urakoitsijan alennuksella alustavat budjettihinnat. Jäähdytysurakoitsija tuo laitteet työmaalle ja asentaa ne, ottaen hinnasta itselleen tietyn katteen kuten 20 %. Todellisia kustannuksia voidaan arvioida karkeasti esimerkiksi vähentämällä laitteiden listahinnoilla 10–15 %. Asennushintojen arviointi perustuu pääosin kokemuseräisen tietoon, jonka oppii riittäväällä kokemuksella työmaalta. Työkustannusten voidaan arvioida olevan tietty osuus laitehinnoista kuten 30 %, mutta tämän lukeman koetaan olevan melko epätarkka. Työkustannusten järjestelmällinen seuraaminen onkin tästä syystä tärkeää.

Laitteisiin liittyvät sähkö- ja automaatiokustannukset riippuvat muun muassa laitteiden sijoittelusta, laitemääristä ja automaatioliitännöiden tarpeesta ja toteutuksesta. Jäähdytyslaitteet liitetään yleensä automaatiourakoitsijan toimesta rakennusautomaatiojärjestelmään. Automaatiourakoitsija asentaa myös toimilaitteelliset säätöventtiilit, automaatioinstrumenttien ja mittauksen johdotukset ja kytkennät, sekä tekee tarvittavat ohjelmoinnit ja säädöt. Laitteet, pumput sekä muut kulutuskohteet vaativat sähkösyötöt jotka sähköurakoitsija asentaa. Asennus- ja materiaalihinnat ovat riippuvaisia esimerkiksi kohteen sulakekoosta, kaapeloinnin pituudesta ja soveltuvien alakeskusten riittävydestä ja asennustilasta. Jos soveltuvaa alakeskusta ei ole riittävän lähellä, nousevat kustannukset oleellisesti. Sähkö- ja automaatioasennusten kustannuksia arvioidaan esimerkiksi automaatiopisteiden tai Modbus-liitännöiden sekä sähkösyöttöjen määrän perusteella.

Teollisuuskohteissa putkisto on usein laitehankintojen ohella toinen merkittävä kuluerä. Putkiurakoitsija toimittaa ja rakentaa jäähdytysjärjestelmän tarvitsemat putkistot ja varusteet. Tyypilliseen putkiurakkaan kuuluvat kaikki putkitukset ja putkistojen osat, kannakointi sekä varusteet ja instrumenttiyhteet, putkiston eristykset, mittaukset, säädöt ja kokeet, sekä vanhojen osien purku. Putkistokustannuksia voidaan arvioida karkeasti esimerkiksi materiaalihintojen perusteella, joista asennushinnat eri putkisto-osille huomioidaan tietyllä kertoimella suhteessa materiaalihintoihin, kuten käyrien hinta kolminkertaisina ja t-haarojen asennushinnat nelinkertaisena. Putkistokustannuksia arvioitaessa kohteesta on käytännössä pakko olla ainakin alustavat piirustukset, jotta pituudet voidaan arvioida oikein. Verkostokomponenttien kustannuksia voidaan arvioida viitekohdekohtaisilla tiedoilla määrällisesti ja laskemalla näistä materiaalihinnat.

Lopullista laskentoa suorittaessa putkiston kustannukset saadaan urakoitsijalta, joka hinnoittelee työn esimerkiksi €/putkimassa, €/jm tai vastaavalla yksiköllä. Työmaan ominaisuudet tuovat omalta osaltaan myös lisää työkustannuksiin. Asennuskustannukset voivat nousta merkittävästi, mikäli kohde luokitellaan ominaisuuksiltaan haastavaksi. Haastavuudella tarkoitetaan kohteen ominaisuuksia, jotka vaikeuttavat tai hidastavat asennustöiden suorittamista. Urakoitsija laskee tällöin asennushintoihinsa haittalisiä, joita voivat tuoda esimerkiksi haasteelliset asennuskorkeudet, työmaan käyttöaste eli muu käyttö asennustyön aikana, tai hitsattavien putkien osuus.

7.3 Kustannuslaskentatyökalu

Kustannusarvioinnin tueksi luotiin pohja, johon projektikustannuksia ja hinnoittelutekijöitä luettiin eli vastattiin opinnäytetyön kolmanteen tutkimuskysymyksen. Laskentataulukon pohja luotiin Excel-työkalulla. Taulukon rakenne muotoiltiin LVI2010-nimikkeistön (liite 1) pohjalta tuoden lasurin etusivulle koontitaulukkoon jokaisen jäähdytysjärjestelmän osa-alueen kustannukset helposti luettavaan muotoon. Järjestelmät jaoteltiin alaotsikkoina jäähdytyksen pääteosiin, keskusosiin, siirto-osiin ja vastaaviin osiin nimikkeistön mukaan. Kuviossa 16 on esitetty laskentapohjan etusivun koontitaulukko.

Fimpec		Asiakas :	
		Projekti:	
		Suun.:	
		Pvm:	
Nimike	Kustannusarvio	Kustannus (€)	
1. Jäähdytysjärjestelmät			
	Pääteosat		€
	Keskusosat		€
	Alueosat		
	Siirto-osat		€
	Muu sähkö- ja automaatio		
	Rakennustyöt		€
	Varaukset		€
	Väilliset kustannukset		€
	Yhteensä		€
2. Ilmastointijärjestelmät			
	Pääteosat		€
	Putkistokustannukset kuuluisi eristeet ja työ		€
	Sähkö- ja automaatio		€
	Ilmastointityöt		
	Rakennustyöt		€
	Varaukset		€
	Väilliset kustannukset		€
	Yhteenveto		
	Väilliset kustannukset		
	Pääteosat		
	Siirto-osat		
	Keskusosat		
	Kiinteistöautomaatio		
	LAITE- JA KOMPI...		

Kuvio 16. Laskentapohjan koontitaulukko

Jokaiselle alaotsikolle luotiin Exceliin välilehti, johon koottiin kyseisen osa-alueen kustannuksia. Työvaiheiden ja urakoiden rajausten perusteena käytettiin laitetoimittajien ohjeistusta sekä toteutuneiden projektien tietoja. Laskentapohjaan luotiin projektikannasta malliprojektin perusteella liuoslauhdutteen vedenjäähdytyskoneen, liuoslauhdutteen ja vesikiertoisen vakioilmastointikoneen, sekä puhallinkonvektorin mallit, joihin koottiin laitteiden vaatimia komponentteja ja työvaiheita.

7.3.1 Laitteiden kustannusarviointi

Jäähdytyksen osien asennuskustannuksia arvioitaessa pohjana käytettiin vuosien 2022–2024 Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimuksen liitteiden 3,4 ja 5 suorituspalkkaustyömääräyksiä,

jossa on annettu putkialan, putkieristysalan sekä IV-alan suorituspalkkauksen perusteet. Mallissa putkiasennusten suora urakkasumma saadaan kertomalla työehtosopimuksen perusteella määräytyvällä urakatöiden normituntikertoimella normituntien summa. Urakkasumma lasketaan kaavalla 3 (Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimus 2022–2024, 88).

$$US = NHS \times NHK \quad (3)$$

missä

US on työn urakkasumma

NHS on työn normituntisumma

NHK on työn normituntikerroin

Normituntisummalla tarkoitetaan kaikkien komponenttien normituntien yhteenlaskettua summaa. Normituntien summa saadaan laskettua kaavalla 4 (Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimus 2022–2024, 96).

$$NHS = NH/kpl \times kpl + (\text{Haittalisät}) \quad (4)$$

missä NH/kpl on laitteen tai komponentin normituntikerroin eli asennustuntien määrä yksikköä kohti. Normituntikertoimet kuvastavat normaaliolosuhteissa laitteen asennukseen kuluvaan aikaan.

1.6.2022 alkaen suoran urakan normituntikertoimena (NHK) on 17,56 €/NH (LVI-toimialan työehtosopimus työntekijöille 2022, 88). Normituntisummaan lisätään kohteen ominaisuuksien perusteella arvioitavissa olevat haittalisät, esimerkiksi teollisuushalleissa 16 % haittalisä rakennustyyppin perusteella. Haittalisät riippuvat kohteen ominaisuuksista ja ne on esitetty liitteessä 2. Ohjeistuksessa on annettu normiaikoja tietynlaisten kojeiden ja laitteiden asennukselle. Esimerkiksi kiertoilmakojeille ja jäähdytyspalkeille asennusten normituntiajat on annettu kuviossa 17.

***KIERTOILMAKOJEET, JÄÄHDYTYSKALKEIT,
TALOTEKNIKKAPALKEIT JA PASSIIVIPANEELIT**

Kiertoilmakojeeit ja jäähdytyskalkeit

Paino kg	1 NH/kpl	2 NH/kpl
- 15	1,04	1,28
- 35	1,16	1,39
- 60	1,74	1,97
- 100	2,32	2,55
- 150	2,90	3,13
- 200	3,48	3,71

1. Yhteen virtauspiiriin kytkettävät
2. Useampaan kuin yhteen virtauspiiriin kytkettävät

Kuvio 17. Asennuksen normituntiajat kiertoilmakojeeilla ja jäähdytyskalkeilla (Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimus 2022, 149).

Esimerkki: laskentatavalla laskettuna kolmen massaltaan 50 kg kiertoilmakojeein asennusaika teollisuushallissa asennettuna saadaan arvioitua laitteen painon ja siitä laskettujen normituntien perusteella kaavalla 4

$$\text{NHS} = \text{kpl} * \text{NH/kpl} + \text{haittalisät} = 3\text{kpl} * 1,74 \text{ NH/kpl} + (1,74 * 16 \%) = 10,96 \text{ NH}$$

mistä saadaan laskettua asennuskustannukset urakkasummana kaavalla (3)

$$\text{US} = \text{NHK} * \text{NHS} = 17,56 \text{ €/NH} * 10,96 \text{ NH} = 188,77 \text{ €} / 3\text{kpl kiertoilmakojeeita}$$

Tähän lisätään koneen materiaalikulannukset eli hankintahinta sekä koneen sähkö- ja automaatioliitosten kulannukset. Sähkösyötön kulannusten voidaan arvioida olevan kaapelin hinta * yleinen laskentapituus (35 m) + kytkentä- ja asennuskulannukset. Laitteiden nostoista ja haalauksista aiheutuvia kulannuksia arvioidaan keskimääräisten nostinlaitevuokrien ja työmäärän perusteella. Järjestelmän välillisiä kulannuksia kuten suunnittelu- ja projektinhoitokulannuksia sekä työmaakuluja voidaan arvioida tietyllä prosenttiosuudella järjestelmän kokonaiskulannuksista, perustuen yrityksen omiin tietoihin. Kuviossa 18 on esitetty laskentapohjan malli.

Nimike	Urakka	Mitoitus	Yksikkö	Määrä	Haittalisä	materiaalikustannus (€/yks.)	materiaalikustannus yht. (€)	asennuksen normiaika (NH)	normituntisät	normiaika / yks.yhteensä (h)	työkustannus yhteensä (€)	materiaali- ja työkustannukset yhteensä
Vakioilmastointikone, vesikiertoinen	JU	Paino	260kg	1,00	60 %	20 000,00	20 000,00	6,00	9,60	15,60	268,63	20 268,63
Jaähdytysputkisto, kytkentäjohto 3m	PU	Pituus	m	3,00	60 %	18,02	54,06	3,94	6,30	30,73	529,21	583,27
Putkiston eristykset 0,9"i	PU	Pituus	m	2,70	60 %	12,06	32,56	0,42	0,67	2,95	50,77	83,33
Läpiviennit 2xpi	RU	Määrä	kpl	2,00							500,00	500,00
Venttiilit 2xpi	PU		kpl	2,00		48,00						96,00
Länerotinnit DN32 1kpl	PU			1,00		73,00	73,00					73,00
Kondenssiviemäri 10m	PU	Pituus	m	10,00		8,28	82,80					148,90
Poistalimittaukset 2xpi	PU	määrä	kpl	2,00		30,00		0,25	0,25	5,00	60,00	60,00
Sähkötyöt 10A, 1kpl	SU	Sulakotoko	kpl	1,00		140,35	140,35					47,25
Automaattilähtökäytöt 5kpl	AU	IO-pisteet	kpl	5,00		136,00	680,00				500,00	1 180,00
Nostot ja haalaukset	RU	Aika	pv	2,00		300,00	600,00				0,00	100,00

Kuvio 18. Laskentapohja

7.3.2 Siirto-osien laskenta

Jäähdytysverkoston kustannuksia voidaan arvioida käyttämällä aiemman kappaleen normituntimäärään perustuvaa laskentatapaa arvioimalla yksikköhinnat putkimetriä kohden. Putkimetrin asennuksen normiaika esimerkiksi metalliputkille ja hitsattaville teräsputkille saadaan kuvioista 19 putken ulkohalkaisijan mukaan.

Sarake	1	2	3
Ulkohalkaisija Du	Hitsattavat NH/m	Kierrelitoksien NH/m	Puristamalla NH/m
- 22	0,40	0,40	0,30
- 35	0,50	0,45	0,34
- 54	0,55	0,50	0,38
- 63	0,60	0,55	0,41
- 76,1	0,65	0,60	0,45
- 88,9	0,70	0,65	0,49
- 114,3	0,80	0,70	0,53
- 139,7	0,90	0,80	
- 168,3	1,10	0,90	
- 219,1	1,30	1,10	
- 273,0	2,00	1,80	
- 323,9	2,10	2,00	

Kuvio 19. Metalliputkien ja hitsattavien teräsputkien asennuksen normiajat (Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimus 2022, 104).

Putkimetrin normitunteihin lisätään kohteen ominaisuuksien vaatimat haittalisät, joista saadaan kokonaisnormituntisumma NHS. Normituntisumman ja normituntikertoimen avulla saadaan urakkasumma putkimetrille kaavalla 3, johon lisätään putken materiaali- ja komponenttikustannukset, sekä eristetyöt. Eristetyöt lasketaan normituntien mukaan samoilla kaavoilla 3 ja 4, jossa esimerkiksi kuvioista 20 saadaan arvioitua solukumieristykselle asennuksen normitunnit.

IIA1 Solukumieristys suljetuissa kuiluissa ja konehuoneissa letkusta tai levystä liimattuna

Putken ulko Ø mm	Solukumieristysten paksuus, mm					
	6	10	13	19	25	32
0 - 36	0,42	0,42	0,42	0,55	0,55	0,55
37 - 54	0,42	0,42	0,42	0,55	0,55	0,59
55 - 76	0,42	0,42	0,44	0,56	0,59	0,66
77 - 114	0,51	0,54	0,57	0,69	0,75	0,82
115 - 146	0,69	0,72	0,75	0,87	0,93	1,00
147 - 178	0,80	0,83	0,86	1,00	1,06	1,13
179 - 220	1,02	1,05	1,08	1,24	1,30	1,37
245	1,18	1,21	1,24	1,41	1,47	1,54
273	1,31	1,34	1,37	1,55	1,61	1,68
324	1,55	1,58	1,61	1,81	1,87	1,94
365	1,69	1,72	1,75	1,97	2,03	2,10
406	1,92	1,95	1,98	2,22	2,28	2,35
508	2,39	2,42	2,45	2,73	2,79	2,86

II A 2 Solukumieristys suljettujen kuilujen ja konehuoneiden ulkopuolella

Putken ulko Ø mm	Eristyspaksuus mm	yks./m
0 - 89	6, 9, 13	0,65
0 - 89	19	0,85

Kuvio 20. Solukumieristysten asennuksen normituntimäärät (Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimus 2022–2024, 129).

Järjestelmän kannakoinnin ja rautarakennetöiden vaatimat normitunnit saadaan materiaalin kilomäärän mukaan arvioitua kuvion 21 mukaan. Normitunneista laskettuun urakkahintaan lasketaan materiaalikustannukset mukaan, josta saadaan arvioitua urakan kokonaissumma.

Mom. 8. RAUTARAKENNETYÖT

Putkistoja varten tehtävien rakenteiden ja kojeiden kannakkeiden teko ja asennus sekä valmiiden savupiippujen ja savuhormien asennus.

*Teko ja asennus	0,10 NH/kg
*Valmiina toimitetun asennus	0,02 NH/kg

Kuvio 21. Rautarakennetöiden normiajat

Putkistokomponenttien määrät voidaan arvioida viitekohdekohtaisilla menetelmillä samankaltaisten järjestelmien avulla. Suunnitelmien tarkentuessa määrät saadaan piirustuksista ja lopulliset hinnat saadaan aina määriteltäjä urakoitsijoiden tarjousten perusteella. Kuviossa 22 on esitetty putkiston laskentamalli.

Jäähdytysvesiputkisto												
Nimi	Urakka	Mitoitus	Yksikkö	Määrä	Haittaisuus	materiaalikustannus (€/yks.)	materiaalikustannus yht. (€)	asennuksen normaika (NH)	normituntisat	normaika / yks.yhteensä (h)	työkustannus yhteensä (€)	materiaali- ja työkustannukset yhteensä
HST-putki DN10	PU	Pituus	m	0,00	41 %	6,28	0,00	0,40	0,564	0,00	0,00	0,00
HST-putki DN15	PU	Pituus	m	0,00	41 %	7,79	0,00	0,40	0,564	0,00	0,00	0,00
HST-putki DN20	PU	Pituus	m	0,00	41 %	9,80	0,00	0,40	0,564	0,00	0,00	0,00
HST-putki DN25	PU	Pituus	m	0,00	41 %	12,20	0,00	0,50	0,705	0,00	0,00	0,00
HST-putki DN32	PU	Pituus	m	0,00	41 %	15,32	0,00	0,50	0,705	0,00	0,00	0,00
HST-putki DN40	PU	Pituus	m	0,00	41 %	17,52	0,00	0,50	0,705	0,00	0,00	0,00
HST-putki DN50	PU	Pituus	m	0,00	41 %	21,64	0,00	0,55	0,7755	0,00	0,00	0,00
HST-putki DN65	PU	Pituus	m	0,00	41 %	33,50	0,00	0,60	0,846	0,00	0,00	0,00
HST-putki DN80	PU	Pituus	m	0,00	41 %	39,60	0,00	0,70	0,987	0,00	0,00	0,00
HST-putki DN100	PU	Pituus	m	0,00	41 %	42,14	0,00	0,80	1,128	0,00	0,00	0,00
Koonti												0,00

Kuvio 22. Putkiston laskentamalli

Laskurin etuina voidaan pitää sitä, että sillä voidaan huomioida kohteen ominaisuuksista johtuvia kustannuksiin, jolloin kohteen ominaisuudet voidaan huomioidaan tarkemmin. Vaihtoehtoisena tapana laskennassa olisi käyttää yksinkertaistettuna kerättyjä kokemukseräisiä lukuja ja menetelmiä.

Laskurin puutteena on, ettei läheskään kaikille komponenteille ja laitteille ole niille soveltuvia normituntimääriä, jolloin työmääriä joutuu arvioimaan samankaltaisten laitteiden ja niiden painoon perustuvien normituntien perusteella. Esimerkiksi vedenjäähdytyskoneista ei ole olemassa normitunteja, jolloin vertailua joutuu tekemään samankaltaisten laitteiden välillä, joista normitunnit on annettu. Mallin jatkokehitykseksi jääkin laskennan tarkastelu ja vertailu toteutuviin projektikustannuksiin nähden. Mallissa tulisi tarkastella, voiko samankaltaisia kohteita hyödyntää eri kohteiden laskentaan luotettavasti. Mikäli laskenta todetaan toimivaksi, voisi pohjaa käyttää mallina muihinkin järjestelmiin.

Laskurissa tuleekin huomioida tiettyjä epävarmuustekijöitä kuten se, että talotekniikka-alan LVI-toimialan urakkahinnoitteluopas on varsin rajallinen. Laskentapohja toimiikin lähinnä esisuunnittelun tukena, sillä moni työvaihe sisältää kustannuksia joihin menekit ja hintatiedot saadaan tarpeeksi luotettavasti ainoastaan suoraan urakoitsijoiden ja toimittajien senhetkisten tarjousten perusteella. Lisäksi seikkoja kuten urakoitsijan alennuksia on vaikea huomioida ennalta, ellei urakoitsija ole ollut esimerkiksi aiemmissa projekteissa mukana. Kustannusseuranta mahdollisuuksien rajoissa voisi tosin helpottaa tätä.

Koska yhtenä työn kehitysehdotuksena heräsi työnaikaisen kustannusseurannan parantaminen, luotiin työmenekkieurannalle pohja (kuviokuva 23), johon projektitiedon kertyessä voitaisiin kerätä työmenekkitietoa ja materiaalikustannuksia selkeälle pohjalle. Tällöin tieto tulisi kerättyä helpom-

vussa 2.1 on todettu, lähdemateriaalin perusteella kustannusarvioiden tarkkuus vaihtelee projektin valmistumisasteen mukaan, jolloin arvion voidaan myös olettaa heittävän alustavassa vaiheessa melko paljon riippuen kohteesta. On muistettava ettei arvio voi olla lähtötietojansa antamia edellytyksiä tarkempi. Haastattelujen pohjalta esiin nousi myös kehittämissuhteita.

Kokonaiskustannusten rakennetta selvitettiin haastattelujen, sekä toteutettujen projektien dokumenttien ja kustannuslaskentapohjien perusteella. Laitteiden suoriin hankintakustannuksiin vaikuttavia seikkoja saatiin selvitettyä ja pohdiskeltua valmistajilta saatujen tietojen pohjalta. Tietojen pohjalta arvioitiin kustannusarvioiden paikkansapitävyyden tarkkuutta ja soveltuvaa rakennetta laskentapohjassa huomioitaviin seikkoihin ja työvaiheisiin. Tarkemmin määritellyt laitevalinnat olisivat tosin sujuvoittaneet tutkimuksen kulkua erityisesti alkuvaiheessa.

Työ- ja materiaalikustannusten arvioinnin tueksi saatiin luotua työn ensisijaisena tavoitteena ollut Excel-tilukkolaskentapohja. Pohjan toimivuutta ei kuitenkaan voi pitää ennen tarkempaa vertailua täysin luotettavana ja jatkossa jää tarkasteltavaksi, antaako se lisäarvoa esisuunnitteluvaiheeseen verrattuna jo käytössä oleviin kustannusarvioinnin ja -laskennan menetelmiin. Mikäli laskentamalli todetaan hyödylliseksi, voi laskentapohjan menetelmiä pohtia käytettäväksi muissa järjestelmissä.

Lisäksi haasteita toi Talotekniikka-alan urakkahinnoitteluoppaan rajallisuus. Vaikka teollisuuskohteille ominaisia haittalisia voi työmäärien laskennassa huomioida, oppaan normituntisummaa on rajallisesti esitettyä ja ne keskittyvät selkeästi lämmityspuolelle peruskomponenteille ja laitteille. Teollisuuskohteissa kokemukseräiset lukemat voivatkin antaa todenmukaisemman kuvan kustannuksista. Työn aikana heräsikin kysymyksiä menetelmän soveltuvuudesta teollisuuskäyttöön. Työkalun menetelmät toimivat todennäköisesti paremmin pieniin järjestelmiin ja jäähdytyksen pääte-laitteille, mutta suuremmissa järjestelmissä valitut menetelmät saattavat antaa liian pienet työkustannukset. Jotta laskentamallia voisi luotettavasti tarkastella, tulisikin tämänhetkisin hinnoilla tarkastella laskentaa soveltuvissa projekteissa ja suorittaa vertailua.

Työssä saavutettiin myös toissijaisia tavoitteita lähinnä haastattelujen pohjalta. Työn teoriaosioon koostettu materiaali toi yritykselle uutta tietoa esisuunnitteluvaiheen kustannusarvioiden raja-arvoista ja tarkkuusluokituksista sekä niihin liittyvästä teoriasta, joka antaa mahdollisuuden tarkastella ja määritellä esisuunnittelun edellytyksiä ja mahdollisuuksia.

Tutkimuksen pohjalta nousi kehitys- ja jatkotutkimusaiheita:

- Projektinaikaista ja jälkeistä kustannusseuranta, dokumentointia ja menekkien seuranta voisi kehittää suunnitteluosastolla siinä laajuudessa kuin se on mahdollista ja resurssien puitteissa hyödyllistä. Yrityksen sisäisiä voimavaroja voisi olla mahdollista hyödyntää paremmin koko yrityksen laajuudella
- Mikäli esisuunnittelua haluttaisiin tuotteista enemmän suunnittelupalveluna, tulisi suunnitteluosastolla määritellä tarkemmin haluttuja kriteerejä kustannusarvioiden tarkkuudelle ja menetelmille
- Kustannusten arvioinnin tarkentamiseksi olisi hyödyllistä tutkia syvällisemmin projektin eri osa-alueiden merkityksellisimmät kuluerät. Esimerkiksi mitkä komponentit ja työvaiheet ovat merkityksellimpiä verkosto-osien kohdalla kokonaiskustannuksiin nähden. Näin tunnistettaisiin kohteet, joihin laskennan resursseja tulisi kohdentaa

9 Pohdinta

Kustannusten arviointi yleiselläkin tasolla on jäähdytysratkaisujen monipuolisuuden vuoksi haasteellista ja arvioinnin tulisi mielellään perustua suoraan tarkkoihin lähtötietoihin. Esisuunnitteluvaiheen karkeakin kustannusarviointi vaatii ammattitaitoa sekä kokemusta projektien läpiviennistä. Kokemusperäinen tieto on usein taustalla kustannusarvioinneissa teollisuuteen soveltuvan viite- ja tilastokohtaisen lähdemateriaalin puutteen vuoksi. Lisäksi tämänhetkinen maailmanlaajuisen komponenttipula ja toimitusketjuvaikeudet tuovat haasteita ajantasaisten hinnoittelutiedon saatavuudelle, jolloin jopa järjestelmäkohtaisia hintatekijöitä on vaikea huomioida. Laittevalintoja mietittäessä onkin suotavaa kertoa suoraan asiakkaalle nykyhetken haasteista ja hinnoittelun vaikeudesta. Hyvät yhteydet urakoitsijoihin helpottavat ja nopeuttavat hinnoittelua.

Teoriaosiota kirjoittaessa huomasi, että jäähdytysjärjestelmiin liittyvä lähdemateriaali tuntui olevan hieman vanhentunutta. Jäähdytyksen toteutuksessa on viimeisten vuosien aikana tapahtunut

laitevalmistajien mukaan kehitystä tekniikan osalta erityisesti lämpöpumpputekniikassa. Yleisesti-kin jäähdytysratkaisuista löytyi varsin niukasti suomenkielistä lähdekirjallisuutta. Työn edetessä oli haasteellista löytää tarpeeksi luotettavaa ja ajankohtaista kustannustietoa yrityksen projektikannasta sekä ulkoisista lähteistä. Projektikannasta oli saatavilla työn kannalta alkuperäistä arviota vähemmän ajankohtaista materiaalia laskennassa hyödynnettäväksi, jolloin dataa ei ollut riittävän luotettavan tuloksen takaamisen kannalta tarpeeksi taikka käytännöllisessä muodossa, jotta sitä olisi voinut suoraan hyödyntää laskennassa. Lähdemateriaalin puute koski myös työvaiheiden hinnoittelua, jonka vuoksi opinnäytetyön sisältö uhkasi jäädä puutteelliseksi.

Kustannusarvioita tehdessä tulisi pohtia arvioinnin haluttua tarkkuutta ja mitkä osa-alueet ovat merkityksellisimpiä kokonaiskustannusten muodostumisen kannalta. Jos esimerkiksi laitteiden arvioidut hinnat heittävät todellisista kustannuksista paljon, syödään kokonaisuuden kannalta hyöty tarkemmasta laskennasta pienemmille kustannustekijöille, sillä laitekustannukset muodostavat suurimman osan suorista kustannuksista. Lisäksi projekteissa on usein hyvin paljon sijoituskoh- teesta riippuvaisia tekijöitä jotka osaltaan lisäävät kustannuksia projekteille. Näitä lukemia on haastava arvioida ilman tarkkoja lähtötietoja. Arvioinnin eri vaiheiden toivotuille tarkkuuksille tuli- sikin määritellä rajat. Kohteen vaativuus määrittelee mahdollisuudet asettaa kustannusarviolle tarkkuusvaatimuksia. On muistettava, että kohteen kustannusarvio on riippuvainen lähtötiedo- tansa.

Lähteet

2010 ASHRAE Handbook. 2010. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Brochard, L. Kamath, V. Corbalán, J. Holland, S. Mittelbach, W. Ott, M. 2019. Energy-Efficient Computing and Data Centers. Iste Ltd, John Wiley & Sons, Inc. Viitattu 6.9.2022. <https://janet.finna.fi>. ProQuest Ebook Central

Christensen, P. Dysert, L. 2005. Cost estimate classification system – as applied in engineering, procurement, and construction for the process industries. Verkkojulkaisu. AACE International. Viitattu 9.10.2022. https://www.costengineering.eu/Downloads/articles/AACE_CLASSIFICATION_SYSTEM.pdf

Enkovaara, E. Haveri, H. Jeskanen, P. 2008. Rakennushankkeen kustannushallinta. 4. muuttamaton painos. Rakennustieto.

Fluoratut kasvihuonekaasut. 2021. Artikkelit Ympäristö.fi-sivustolla. Viitattu 20.10.2022. <https://www.ymparisto.fi/fkaasut>

Hakala, P. Kaappola, E. 2019. Kylmälaitoksen suunnittelu. 4. painos. Opetushallitus. Helsinki.

Hundy, G. Trott, A. Welch, T. 2008. Refrigeration and Air Conditioning. Neljäs painos. Burlington, MA. Elsevier Science & Technology. Viitattu 6.9.2022. <https://janet.finna.fi>. ProQuest Ebook Central

Ilmajäähdysteiset nestejäähdyttimet. N.d. Carrier. <https://www.carrier.com/commercial/fi/fi/tuotteet/ilmastointi/ilmajaahdytteiset-nestejaahdyttimet/>

Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas. 2011. Ympäristöministeriö. Energialaskentaopas. Viitattu 17.8.2022. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Jaahdytys_laskentaopas_12.9.2011-v2-B9D6D2F2_A816_4ECF_BE33_B8D56869253D-30752.pdf/c64fdabc-dcfc-a5a4-1488-2eef53b8d676/Jaahdytys_laskentaopas_12.9.2011-v2-B9D6D2F2_A816_4ECF_BE33_B8D56869253D-30752.pdf?t=1603260212349

Kylmäprosessi eli miten kylmä syntyy. 2020. KylmäExtra- lehti. Artikkelit lehden sivuilla. Viitattu 2.10.2022. https://www.kylmaextra.fi/lehdet/kylmaextra_2_2020/kylmaprosessi_eli_miten_kylma_syntyy

Kylmävesiasemat ja vedenjäähdyttimet. N.d. Chiller- sivusto. Viitattu 2.10.2022. <https://www.chiller.eu/fi/tuotteet/kylmavesiasemat/chillquick/>

Laitinen, A. Rämä, M, Airaksinen, M. 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut. VTT asiakasraportti. Viitattu 12.9.2022. https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf

LVI-toimialan työehtosopimus työntekijöille. 2022. Talotekniikka-alan työehtosopimus. Waasa Graphics, Vaasa 2022. LVI-Tekniset Urakoitsijat LVI-TU, Rakennusliitto. Viitattu 2.10.2022. <https://rakennusliitto.fi/wp-content/uploads/2022/03/Talotekniikka-alan-tyoehtosopimus-1.3.2022n29.2.2024.pdf>

LVI 04-10411. 2007. Ilmastointityöt. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 2.10.2022. <https://janet.finna.fi/>. RT-kortisto.

Maaskola, I. Kataikko, M. 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Motivan julkaisu. Viitattu 14.10.2022. https://www.motiva.fi/files/13513/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu_ja_ORC-sovellukset.pdf

Mitä termit COP ja EER tarkoittavat? N.d. Daikin. Tietoartikkeli Daikin sivuilla. Viitattu 7.10.2022. https://www.daikin.fi/fi_fi/faq/what-is-meant-by-the-terms-cop-and-eer-.html

Moist Air – the Mollier diagram. 2003. Engineering ToolBox. Verkkosivusto. Viitattu 12.10.2022. https://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d_27.html

Pelin, R. 2020. Projektihallinnan käsikirja. 8. uudistettu painos. Projektijohtaminen Oy Risto Pelin

Pre-Design Phase. 2015. University of California. Verkkosivusto. Viitattu 7.10.2022. <https://www.ucop.edu/construction-services/facilities-manual/volume-2/vol-2-chapter-6.html#6-1>

Rakennushankkeen kustannushallinta. 2018. Rakennustieto. Helsinki.

Rakentaminen ja rakennukset. 2020. Artikkelit Motivan sivuilla. Viitattu 22.9.2022. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ja_rakennukset

Rantanen, Hiltunen, Mero, Tähtinen, Nopanen, Kovanen, Huynh. 2017. Kaukoenergia kiinteistöjen ympäristöluokituksessa. Raportti, Energiateollisuus. Ramboll. Viitattu 21.10.2022. https://energia.fi/files/2096/Kaukoenergia_rakennusten_ymparistoluokituksissa_Loppuraportti.pdf

RT 07-11299. 2018. Sisäilmasto 2018. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 2.10.2022. [Kirjautu | Janet Finna](#), RT-kortisto.

Ratu KI-6035. 2020. Rakennustöiden menekit 2020. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 2.10.2022. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

RT RakMK-103174. 2018. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta. RT-säännöskortti. Rakennustieto. Viitattu 2.10.2022. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

Sandberg, E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. Talotekniikka-Julkaisut. Toinen painos.

Sandberg, E. 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Talotekniikka-Julkaisut. Toinen painos.

Section B. Energy Transfer. N.d. University of Wisconsin-Stevens Point. Verkkosivusto. Viitattu 2.10.2022. <https://www3.uwsp.edu/cnr-ap/KEEP/nres633/Pages/Unit2/Section-B-Energy-Transfer.aspx>

Seppänen, O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan Kirjapaino.

Tähti, E. 2002. Teollisuusilmastoinnin opas. Suomen talotekniikan kehityskeskus. Helsinki.

Ulkoasenteiset vedenjäähdyttimet ja lämpöpumput 2017. 2017. Rhoss. Tuotekatalogi. Viitattu 22.9.2022. https://koja.materiaali.fi/media/media/materiaalipankki/rakennukset/jaahdytys/ulkoasenteiset-vedenjaahdyttimet-ja-lampopumput/esitteet/Ulkoasenteiset_Esite.pdf

Vanhala, J. 2022. Myynti-insinööri. Swegon. Haastattelu 11.10.2022.

Vapaa- vai kompressorijäähdytys. N.d. Opas Swegon Oy:n verkkosivuilla. Viitattu 6.9.2022. <https://www.swegon.com/fi/oppaat/tekniikat/vapaaajaahdytys-vai-kompressorikylma/>

Viihtyisä työympäristö ilmastointi ja jäähdytys. 2016. Verkkojulkaisu Motivan sivuilla. Viitattu 22.9.2022. https://www.motiva.fi/files/11023/Viihtyisa_tyoymparisto_Ilmastointi_ja_jaahdytys_2016.pdf

Välilliset jäähdytysjärjestelmät. 2019. Suomen Kylmäyhdistys ry. PDF-julkaisu Suomen kylmäyhdistyksen sivuilla. Viitattu 12.9.2022. http://www.kylmaextra.fi/files/127/Valilliset_Jaahdytysjarjestelmat_2019.pdf

Yritys N.d. Fimpec. Yritysesittely. Viitattu 12.9.2022. <https://fimpec.com/yritys/>

Liitteet

Liite 1. Jäähdytysjärjestelmät LVI2010-nimikkeistön mukaan

21.4 Jäähdytysjärjestelmät

Ryhmä kattaa rakennus- ja tilakohtaisten ilmastoinnin jäähdytyksen, kylmiöiden ja kylmäkalusteiden jäähdytyksen sekä pakastuksen, pakkastilojen ja -kalusteiden sekä laitteiden jäähdytyksen edellyttämät LVI-järjestelmät.

Jäähdytysjärjestelmiä ovat esimerkiksi kaukojäähdytysjärjestelmä, vapaan jäähdytyksen järjestelmä, keskitetty jäähdytysjärjestelmä suoran tai välillisen jäähdytyksen patterein, tilakohtaiset suoran höyrystyksen tai välillisen jäähdytyksen jäähdytyslaitteistot sekä kylmä- ja pakastusjärjestelmät.

21.41 Jäähdytyksen keskusosat

Vedenjäähdytyskoneet, suora höyrystyslaitteet, lämpöpumput sekä kompressorilaitteistot, höyrystimet, levylämmönsiirtimet, ilma-, vesi- tai liuoslauhduttimet, liuosjäähdyttimet, säiliöt, pumput, paisuntaventtiilit ja muut jäähdytysjärjestelmien keskusosat.

21.42 Jäähdytyksen siirto-osat

Suora höyrystysputkistot, kylmälaitoksen putket kuten kondenssivesi-, sulatusvesi-, jäähdytysvesi-, jäähdytysliuos-, lauhdutusvesi- ja liuosputket sekä muut jäähdytys- ja kylmäaineputkistot ja muut jäähdytysjärjestelmien siirto-osat.

21.43 Jäähdytyksen pääteosat

Suora höyrystys- ja välillisen jäähdytyksen patterit, ikkunakoneet, split-jäähdytyslaitteet, konsolikoneet, kaappikoneet, vakioilmastointikoneet, kierrätysilmakoneet, puhallinkonvektorit, suutinkonvektorit, ilmastointipalkit, säteilyjäähdyttimet, lämpöpumppujen sisäyksiköt, kylmä- ja pakkaskalusteet, jäähdytettävät laitteet ja muut jäähdytyspatterit, höyrystimet ja lauhduttimet ja muut jäähdytysjärjestelmien pääteosat.

21.44 Jäähdytyksen alueosat

Kaukojäähdytysverkosto, vapaajäähdytyskeskukset, jäähdytys- ja kylmäkeskukset, lauhdutin- ja liuosjäähdytyskeskukset, putkistot ja muut jäähdytysjärjestelmien alueosat.

Liite 2. Vaativuuslisät talotekniikka-alan urakkahinnoittelussa, putkiasennus-, eristys- ja IV-ala

PUTKIASENNUSALAN URAKKAHINNOITTELU 2022–2024 PUTKIALAN NORMIAJAT RAKENNUSTYÖMAIDEN PUTKITÖILLE

Vaativuuslisät

Hitsattavat HST-putket	+ 10 %	metrinormiaikoihin
Hitsattavat RST-putket	+ 10 %	metrinormiaikoihin
Hitsattavat HST- ja RST-putket suojakaasulla hitsattaessa	+ 20 %	metrinormiaikoihin
Luokkahitsattavat teräsputket	+ 20 %	metrinormiaikoihin
Höyry- ja lauhdevesiputket	+ 10 %	metrinormiaikoihin
Sairaalakaasuputket	+ 10 %	metrinormiaikoihin
Sairaalakaasuputket koteloon asennettuina lisäkorotus	+ 20 %	metrinormiaikoihin
Laboratoriokaasuputket	+ 10 %	metrinormiaikoihin
Hammaslääkärintuolin imu- ja kaasuputket	+ 10 %	metrinormiaikoihin
Sairaaloiden ja laboratorioiden di-ionivapaat, ionivapaat ja tislattun veden putket	+ 10 %	metrinormiaikoihin
Yksinomaan sairaala- ja laboratoriokalusteisiin liittyvät paineilma-, vesijohto- ja viemäriputket	+ 10 %	metrinormiaikoihin
Yksinomaan laitoskeittölaitteisiin liittyvät vesijohto- ja viemäriputket	+ 15 %	metrinormiaikoihin

Olosuhdelisät

Työskentelytila kanavassa jonka leveys on alle 0,6 metriä ja syvyys yli 1,2 metriä	+ 25 %
Vapaan työskentelytilan korkeus 0,9 metriä	+ 50 %
Vapaan työskentelytilan korkeus 1,8 metriä	+ 25 %
Työskentelykorkeus lattiasta tai maasta putkeen yli 5,0 metriä	+ 25 %
Työskentelykorkeus lattiasta tai maasta putkeen yli 8,0 metriä	+ 50 %

Huomautus:

Työskentelykorkeus mitataan putken keskikorkeuteen tai kojeen alapintaan siitä lattian, katon tai maan pinnasta, jolle teline on pystytetty paitsi kuilujen kohdalla siitä tasosta, josta kuiluun voidaan siirtyä.

RAKENNUSTYYPPI	HAITTAISÄ %	SANEERAUSLISÄ		
		Rakennus poistettu käytöstä %	Rakennus käytössä, työalue ei %	Työalue käytössä %
Asuinrakennukset (kerros, rivi- ja pientalot, vapaa-ajan asunnot, asuntolat ja vastaavat)	7	7	13	18
Palvelutalot, majoitusrakennukset, hotellit ja vastaavat	7	8	13	18
Varastorakennukset, parkkihallit, teollisuushallit, myymälä hallit, pysäköintitalot ja vastaavat	16	6	7	13
Sairaalat, hoitolaitokset ja vastaavat	16	13	20	23
Lasten päiväkodit, monitoimitalot, opetusrakennukset ja vastaavat	16	7	13	21
Liikerakennukset, myymälät, toimistorakennukset ja vastaavat	16	7	13	22
Muut rakennukset	16	7	13	22
Sellaisissa tapauksissa, joissa työ on verrattavissa uudistytöihin	Rak.tyypin mukaan	0	0	0
Suojelukohde	Rak.tyypin mukaan	Suojelukohdeissa saneeraustaulukkolisiin lisätään 5 %-yksikköä		

PUTKIERISTYSALAN URAKKAHINNOITTELU

Asuinrakennukset	Korotus
Asukkaat ja/tai asukkaan huonekalut asunnossa	26 %
Asunto tyhjennetty	20 %
Muut rakennukset	Korotus
Rakennus käytössä	23 %
Rakennus poistettu käytöstä	17 %

LVI-TOIMIALAN IV-ALA

SANEERAUSLISÄ			
Rakennustyyppi	Rakennus poistettu käytöstä	Rakennus käytössä, työalue ei	Työalue käytössä
Asuinrakennukset (kerros, rivi- ja pientalot, vapaa-ajan asunnot, asuntolat ja vastaavat) majoitusrakennukset, hotellit ja vastaavat	7	13	18
Sairaalat, palvelutalot, hoitolaitokset ja vastaavat	13	20	23
Muut kohteet (Varastorakennukset, parkkihallit, teollisuushallit, myymälä hallit, pysäköintitalot ja vastaavat Lasten päiväkodit, monitoimitilat, opetusrakennukset ja vastaavat Liikerakennukset, myymälät, toimistorakennukset ja vastaavat)	6	7	13
Sellaisissa tapauksissa, joissa työ on verrattavissa uudistamiseen	0	0	0

Suojelukohteissa saneeraustaulukkolisiin lisätään 5 % - yksikköä

Vaativuuslisät

Kuilulisä	+ 20 %
RST – HST – tai pinnoitettu materiaali	+ 10 %
Asennukset laboratorioissa ja erityistä puhtautta vaativa työt, vaativampi kuin P1-luokka	+ 30 %
Yli 1 mm pellistä tehty kanava	+ 20 %

Savunpoistokanavat

pyöreäkanava	+ 15 %
suorakaidekanava	+ 30 %

Olosuhdelisät

Konehuone, lisä, koskee kanavistoja	+ 30 %
Vapaan työskentelytilan korkeus 0,90 m	+ 50 %
Vapaan työskentelytilan korkeus 1,8 m	+ 25 %

Työskentelykorkeus lattiasta tai maasta kanavaan yli 5,0 m + 25 % Työskentelykorkeus lattiasta tai maasta kanavaan yli 8,0 m + 50 %

Työskentely korkeus mitataan kanavan keskikorkeuteen tai kojeen alapintaan siitä lattian, katon tai maan pinnasta, jolle teline on pystytetty paitsi kuilujen kohdalla siitä tasosta, josta kuiluun voidaan siirtyä.