



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Mikko Liira

LVI-laskennan dokumentointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Opinnäytetyö

15.4.2020

Tekijä Otsikko	Mikko Liira LVI-laskennan dokumentointi
Sivumäärä Aika	29 sivua + 4 liitettä 15.4.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Aki Valkeapää osastopäällikkö Antti Suvanto
<p>Tässä insinööriyössä tuotettiin Sitowise Oy:n toimeksiannosta talotekninen laskin, jolla voidaan suorittaa ilmanvaihto-, lämmitys- ja käyttövesiverkoston pääkomponenttien mitoitus. Laskimella on tarkoitus varmistaa, että suunnitelmissa esitetyt arvot perustuvat onnistuneesti suoritettuihin laskelmiin. Samalla laskin toimii dokumenttina, jolla voidaan suunnitteluprojektin päätyttyä helposti esittää, mihin suunnitelmissa esitetyt arvot perustuvat.</p> <p>Tällä hetkellä yrityksen sisällä on käytössä useita eri laskimia, jotka sijaitsevat verkkolevyllä pitkien kansiorakenteiden takia. Lisäksi joistain laskimista voi olla käytössä useita toisistaan jossain määrin eroavia versioita. Tämä johtaa siihen, että se mitä laskinta missäkin projektissa käytetään, on täysin riippuvaista projektin vetäjästä. Koska laskimet eivät ole osa malliprojektia, ei voida varmistua siitä, että suoritettua laskennasta jää minkäänlaista dokumenttia jälkitarkastelua varten.</p> <p>Nykyisissä laskimissa ei myöskään oteta kantaa mitoituskriteereihin. Tieto siitä minkä päivän tasopiirustuksiin mitoitus perustuu ja millaisia mitoituskriteereitä laskennassa on käytetty, on ainoastaan kohteen laskennan suorittaneella suunnittelijalla. Tässä piilee suuri riski. Jos kohteen suunnittelija joutuu syystä tai toisesta pikaisesti jättäytymään pois projektista, katoaa projektista samalla se tieto, johon hänen suorittamansa laskelmat perustuvat.</p> <p>Ylempänä esitettyjen ongelmien ratkaisemiseksi luotiin laaja talotekninen mitoituslaskin, joka yhdistää nykyisten laskimien parhaat puolet. Laskimella voidaan laskea taloteknisten järjestelmien pääkomponenttien mitoitusarvot. Samalla laskin toimii dokumenttina, jossa pidetään kirjaa järjestelmien mitoitusperusteista ja mitoituksien erityishuomioista.</p> <p>Lähitulevaisuudessa taulukko on tarkoitus ottaa koekäyttöön tosielämän projektiin. Projektissa tuotettava laskenta tehdään nykyisiä menetelmiä käyttäen sekä tässä insinööriyössä tuotetulla laskimella. Kun laskin on todettu täyttävän yrityksen laatuvaatimukset, laskin tuodaan osaksi malliprojektia.</p>	
Avainsanat	LVI-laskenta, dokumentointi, laatu

Author Title	Mikko Liira Documentation of Building Services Engineering Calculations
Number of Pages Date	29 pages + 4 appendices 15 April 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Design
Instructors	Antti Suvanto, Head of Department Aki Valkeapää, Principal Lecturer
<p>The aim of the final year project was to create a new calculator for building services projects that currently use various, often outdated Excel-based calculators to ensure that the dimensioning and bill of quantities for a project are correctly estimated. The purpose of the calculator was to combine the best aspects of currently used calculators while improving upon their design. Another objective was to unify calculations performed within the design department of a company.</p> <p>The Excel-based calculator developed in the final year project can be used to set operational parameters for ventilation, heating and water distributing systems. In the near future, it will be used to solve and to document calculations of an actual project. Once it has been confirmed that the operational parameters for building services systems can be calculated correctly with the calculator, it will be inserted as a part of the company's default project model.</p>	
Keywords	building services calculations, documentation

Sisällys

1	Johdanto	1
2	LVI-tekniisten laitteiden mitoituslaskenta	2
2.1	IV-koneen komponentit ja mitoitus	2
2.1.1	Puhallin	3
2.1.2	Sulkupelti	4
2.1.3	Suodattimet	5
2.1.4	LTO ja lämmönsiirtimet	8
2.1.5	Kuivaus ja kostutus	10
2.2	Putkistolaskelmat.	15
2.3	Paisunta-astian mitoitus	15
2.4	Kaukolämmön säätöventtiilien mitoitus	18
2.5	Kiertopumppujen mitoitus	22
2.6	VJK mitoitus	23
3	Microsoft Excel-ohjelmisto ja TATE-laskentataulukot	24
4	Jatkokehitys	27
5	Yhteenveto	28
	Lähteet	29
	Liitteet	
	Liite 1. Lämpölaajenemiskertoimet vedelle ja vesi-etyleeniglykoliseoksille.	
	Liite 2. Lämpölaajenemiskertoimet vedelle ja vesi-propyleeniglykoliseoksille	
	Liite 3. Lohkosulatuksen vaikutus vastavirta lämmönsiirtimen hyötysuhteeseen	
	Liite 4. Puhaltimen mitoitusosuus	

Lyhenteet

HEPA	High Efficiency Particulate air filter, korkean erotusasteen suodatin
IV	ilmanvaihto
KL	kaukolämpö
LTO	lämmöntalteenotto
LVI	lämpö, vesi, ilmanvaihto
OY	osakeyhtiö
Pa	pascal, paineen yksikkö
PM2.5	ilmassa olevia alle 2,5 mikrometrin kokoisia kiinteitä hiukkasia
PM10	ilmassa olevia alle 10 mikrometrin kokoisia kiinteitä hiukkasia
RH	ilman suhteellinen kosteus, %
SFP	specific fan power, ominaissähköteho (kW/m ³ /s)
VJK	vedenjäähdytyskone

1 Johdanto

LVI-suunnitteluprojektit ovat laajoja hankkeita, jotka sisältävät valtavan määrän erilaisiin fysikaalisiin ilmiöihin perustuvaa mitoituslaskentaa. Projektin onnistumisen kannalta on kriittistä, että LVI-suunnitelmissa esitetyt järjestelmien mitoitusarvot perustuvat onnistuneesti suoritettuihin laskelmiin. Jotta näitä laskelmia voidaan suorittaa, tarvitsee suunnittelija riittävät lähtötiedot projektin muilta osapuolilta. Tällaisia lähtötietoja voi olla esimerkiksi tilakortti käyttäjältä tai kalusteluettelot projektin muilta suunnittelijoilta. Näitä tai vastaavanlaisia laskennan kannalta tärkeitä lähtötietoja voi projektin mukaan olla hyvin laaja kirjo. Tämän vuoksi on varsin oleellista varmistua siitä, että tietojen dokumentointi suoritetaan mahdollisimman tehokkaalla tavalla. Lisäksi tiedon säilytystavan olisi hyvä olla yhtenäinen koko suunnitteluosaston kesken. Tällöin uusien henkilöiden sisällyttäminen jo käynnissä oleviin projekteihin helpottuu.

Kun tarvittavat lähtötiedot on kerätty, voidaan suorittaa kohteen kannalta tarpeellinen talotekninen laskentatyö. Tällä hetkellä laskentaan ja laskennan dokumentaatioon on osaston sisällä käytössä useita erilaisia laskentataulukkoita. Nämä taulukot ovat toisistaan hyvin eroavia ja sijaitsevat pitkien kansiorakenteiden takana. Se mitä laskentataulukkoja käytetään, onkin nykyään täysin riippuvaista projektinvetäjästä. Laskinten laaja kirjo ja epämääräinen sijainti on suunnitelmien laadun ja niissä tehtyjen laskelmien dokumentaation kannalta epäideaalista. Laskinten heikon löydettävyyden vuoksi esille nousee riski, että suunnittelija kehittää omaan suunnitteluongelmaansa sopivan laskimen. Tällainen laskin ei ole yrityksen laatujärjestelmän mukainen, ja itse tehdyt tuotokset jäävätkin helposti dokumentoimatta. Vaikka suunnittelija ei käyttäisikään itse tehtyä laskinta, laskimien laajasta kirjosta voi aiheutua tilanne, jossa jokainen suunnittelija käyttää eri laskinta. Tällainen tilanne ei ole toivottu, sillä laskimien tulisi olla sellaisia, että kuka tahansa suunnittelija pystyy tulkitsemaan niitä helposti ja nopeasti. Ongelmaksi voikin koitua tilanne, jossa projektin kannalta keskeinen suunnittelija on tehnyt mitoituslaskelmat tietyllä laskimella ja joutuukin yllättäen vetäytymään projektista. Hänen tuuraajalleen ei välttämättä käytetty laskin ole tuttu, joten hänen on vaikea jatkaa toisen suunnittelijan tekemää työtä.

Tämän työn tarkoituksena olikin vastata tähän laskelmien dokumentoinnin ongelmaan. Tavoitteena oli kehittää laaja talotekninen laskin, johon kerätään nykyisten laskimien parhaat puolet ja joka yhtenäistää osastolla suoritettavan mitoituslaskennan. Tällaisella laskimella varmistetaan se, että jokainen suunnittelija pystyy tarvittaessa liittymään omasta

projektista toiseen, itselleen tuntemattomaan projektiin ja jatkamaan toisen suunnittelijan työtä. Samalla laskin toimii dokumenttina, jolla voidaan suunnitteluvaiheen päätyttyä helposti osoittaa mihin suoritettu laskenta perustuu.

Työssä kehitetty talotekniikan mitoituslaskin toteutettiin Sitowise OY:n toimeksiannosta. Sitowise on vuonna 2018 Sito OY:n ja Wisegroup OY:n fuusioitumisesta syntynyt suunnittelu- ja konsultointipalveluita tarjoava yritys. Vuonna 2020 Sitowise:ssä on 1700 työntekijää Suomessa, pohjoismaissa ja Baltiassa. Suunnittelupalveluita Sitowise tarjoaa rakennesuunnittelun, korjausrakentamisen, rakennuttamisen, akustiikan, palotekniikan, liikenteen palveluiden, ympäristön, talotekniikan, infran ja kaupunkikehityksen osalta. [1.]

2 LVI-tekniisten laitteiden mitoituslaskenta

2.1 IV-koneen komponentit ja mitoitus

Onnistuneilla IV-laskelmilla varmistetaan rakennuskohteen tarkoituksenmukainen ilmanvaihtuvuus. Rakennuksissa syntyy vuorokaudessa tietty määrä epäpuhtauksia, joiden leviämistä ja määrää lisäävät rakennuksen käyttäjät. Näitä ilmassa liikkuvia epäpuhtauksia ei voida välttämättä hallita tai suoraan poistaa, joten puhdistaminen tulee toteuttaa tuomalla tilaan riittävä määrä puhdasta ilmaa [2]. Riittävä ilmanvaihto on merkittävä tekijä rakennuksen terveellisyyden, turvallisuuden ja viihtyvyyden kannalta. Riittämätön ilmanvaihto heikentää rakennuksen sisäilman tasoa, minkä käyttäjät voivat kokea tunkkaisena ja epämiellyttävän hajuisena sisäilmana. Lisäksi heikko ilmanvaihto voi edistää rakenteisiin kohdistuvia kosteusvaurioita.

Jotta rakennuksen tilojen tarpeenmukaiset ilmamäärät pystytään valitsemaan, tarvitaan tilaajalta riittävät lähtötiedot. Ilmamäärämitoitukseen sopivana lähtötietona voidaan pitää esimerkiksi tilakorttia. Tilakortti on luettelo, jossa esitetään huonekohtaisesti tietoa henkilö- ja laitteistokuormasta sekä tilan käyttöajoista. Ilmamäärien mitoitus voidaan tehdä tilakortin tietojen ja ilmamäärien mitoittamiseen laadittujen ohjeistuksien mukaan. Ohjeistuksia löytyy muun muassa eri yhdistyksiltä, joista esimerkkinä voidaan pitää FINVAC ry:tä. FINVAC on tehnyt kaksi opasta rakennuksien ilmamäärien mitoituksen tueksi. Näiden ohjeiden lisäksi erikoiskohteiden ilmamäärien mitoituksiin löytyy ohjeita alan standardeista ja aiemmin toteutetuista tutkimusluonteisista insinööritöistä. Ohjeiden lisäksi ilmamäärien mitoituskriteerinä voi toimia myös muut tekijät, kuten rakennuksen tiloista tehdyt olosuhdesimulaatiot.

Ilmamäärien ollessa selvillä tulee suunnitella ilman jakamiseen tarvittava kanavisto. Kun kanavistolle on varattu sopiva reitti, kanavakoot mitoitetaan niissä kulkevien ilmamäärien mukaisesti. Mitoituksessa tulee sopivan koon valitsemiseen kiinnittää huomiota, liian pienessä kanavassa syntyy tarpeetonta painehäviötä. Kanavaa ei myöskään kannata mitoittaa turhan suureksi, sillä ylimitoitettu kanava aiheuttaa ylimääräisiä hankintakustannuksia ja vie asennustilaa muulta tekniikalta. Kanavakoon valinnan mitoittavana tekijänä uudiskohteessa voidaan pitää sellaista kokoa, jolla kanavan staattinen painehäviö on korkeintaan 1 Pa/m. Kanavien mitoituskriteerinä voidaan myös käyttää koko kanaviston painehäviötä. Lähtökohtaisesti kanavisto pitäisi pyrkiä suunnittelemaan siten, että kanaviston painehäviö olisi korkeintaan 200–300 pascalin välillä. Toki eräissä kohteissa esiintyy kanavistoja, joiden painehäviön täytyy olla edellä mainittua painetta suurempi.

Kun kanaviston painetarkastelu on suoritettu ja kanavakoot lukittu, voidaan ruveta valitsemaan laitokselle sopivaa ilmanvaihtokonetta. IV-koneessa voi olla useita komponentteja, joiden onnistunut mitoitus tulee varmistaa rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa. Kaikille IV-koneille yhteisinä komponentteina voidaan pitää sulkupeltiä, suodatinta, puhallinta ja lämmönsiirintä. Erikoisemmissa kohteissa voi koneissa olla myös harvemmin esiintyviä osia, kuten ilman kostuttimia, HEPA-, elektronisia- ja hiilisuodattimia ja ilman kuivaimia.

2.1.1 Puhallin

IV-koneen pääkomponenttina voidaan pitää puhallinta. Puhallin on koneen komponentti, jolla varmistetaan, että oleskelutiloihin saadaan tuotua ja niistä saadaan poistettua suunnitelmien mukainen määrä ilmaa. Puhallin koostuu moottorista ja siipipyörästä. Pyöriesään puhaltimen siipipyörän siivet siirtävä ilmaa puhaltimen läpi ja kasvattavat ilman kokonaispainetta. Pyöriäkseen puhallin tarvitsee moottorin. Puhallinmoottoreita on pääsääntöisesti kolme eri mallia: oikosulkumoottorillisia, EC-moottorillisia tai PM-moottorillisia. [3, s. 174.]

Jotta puhallin pystytään mitoittamaan, tulee suunnittelijalla olla tieto tarvittavasta ilmamäärästä sekä kanavistopaineesta, jonka puhaltimen täytyy pystyä tuottamaan. Nämä tiedot suunnittelija saa haettua ilmamäärälaskelmien mukaan suunnitteluohjelmalla tehdyistä IV-suunnitelmista. Puhaltimen mitoituksessa kannattaa olla tarkkana, liian pieni puhallin ei pysty siirtämään suunnitelmien mukaista ilmamäärää oleskelutiloihin. Toi-

saalta liian suuri puhallin aiheuttaa tarpeettomia investointikustannuksia ja vie paljon fyysistä tilaa teknisestä tilasta/konehuoneesta, eikä välttämättä toimi optimaalisella hyötysuhteella.

Yleensä kanavistoja mitoittaessa ilmamäärille varataan tietynsuuruinen mitoitusvara. Suunnittelijan olisi hyvä pitää mielessä tämä IV-laitoksen ilmamäärän mitoituskerroin koko suunnitteluprosessin ajan. Jotta suunniteltavasta ilmanvaihtojärjestelmästä saadaan muuntojoustava, tulee mitoitusvara huomioida IV-konetta mitoittaessa. Suunnittelijan pitää varmistaa, että valittu puhallin pystyy käyttöönotettavan ilmamäärän lisäksi tuottamaan myös mitoitusvirtaamaa vastaavan ilmamäärän hyvällä hyötysuhteella. Kohdekohtainen mitoitusvara sovitaan kohteen tilaajan kanssa.

Kun kanavistopaine ja ilmamäärä tiedetään, voidaan laskea IV-koneen SFP luku. Tämä luku kuvastaa, sitä kuinka monta kuutiometriä ilmaa IV-kone pystyy siirtämään yhden kilowatin teholla. SFP voidaan laskea kaavalla 1

$$SFP = \frac{P^*}{q_v} \quad (1)$$

jossa

SFP on puhaltimen ominaissähköteho, kW/m³/s

P on tulo ja poistokoneen yhteenlaskettu sähkönkulutus, kW

q_v on mitoitusilmavirta, m³/s

*Sähkön ottoteho mitoitusilmavirralla, puhtaalla suodattimella ja kuivilla lämmönsiirtimillä

2.1.2 Sulkupelti

Sulkupelti on ilmanvaihtokoneessa ilman virtaussuunnasta tarkasteltuna ensimmäisenä esiintyvä komponentti. Sulkupellin tehtävä on sulkeutua häiriötilanteessa. Tällä estetään ilmavirtojen hallitsematon siirtyminen rakennuksessa. Joissain tilanteissa sulkupeltiä voidaan käyttää myös ilmavirran säätämiseen. Hyvä sulkupelti on ominaisuuksiltaan tiivis, pinta-alaltaan suuri, paineenkestävä ja rakenteeltaan sellainen, että sen kautta tapahtuu vain vähäisiä lämpöhäviöitä [3, s. 166].

2.1.3 Suodattimet

Seuraava komponentti sulkupeltien jälkeen on koneissa yleensä ilmansuodatin. Ilmansuodatus voi olla kaksiportainen, jolloin suodattimia on yhden sijasta kaksi. Kaksiportaisessa suodatuksessa suodattimet sijaitsevat sulkupellin jälkeen ja koneen puhallinosan perässä. Poistokoneissa on yleensä ainoastaan yksi suodatin. Suodattimen tarkoitus on kerätä pois ei toivotut epäpuhtaudet tiloihin siirrettävä raitisilmasta. Epäpuhtauksia ilmassa voi olla erilaiset pienhiukkaset, kuten PM2.5- ja PM10-hiukkaset. Nämä ovat ilmassa leijuvia pienhiukkasia, jotka tutkimuksien mukaan altistuttavat henkilöitä monille terveyshaitoille kuten: allergioille, keuhkosityöväälle, dementialle, keuhkohtaumataudeille, sydän- ja verisuonitaukeille. [4.] Terveystaittojen lisäksi ilman hiukkaset voivat heikentää IV-koneen komponenttien toimintaa.

Jotta kohteeseen voidaan valita tilanteeseen sopivat suodattimet, tulee suunnittelijalla olla tieto alueen ulkoilmaluokasta ja tavoitellusta tuloilmaluokasta. Alueen ulkoilma voidaan jakaa kolmeen luokkaan ilman sisältävän hiukkaspitoisuuden perusteella: ODA1, ODA2 ja ODA3 [4]. Taulukossa 1 esitetään kunkin ODA luokan hiukkaspitoisuuksien raja-arvot.

Taulukko 1. Ulkoilmaluokat [4]

Ulkoilmaluokka	PM2.5-hiukkaspitoisuus	PM10-hiukkaspitoisuus
ODA1	$\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
ODA2	$\leq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
ODA3	$> 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$> 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Vastaavasti tuloilma voidaan luokitella sen sisältämän hiukkaspitoisuuden mukaan viiteen eri luokkaan taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Tuloilmaluokat [4]

Tuloilmaluokka	PM2.5-hiukkaspitoisuus	PM10-hiukkaspitoisuus
SUP1	hiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo $\leq 2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	hiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo $\leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
SUP2	hiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo $\leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	hiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo $\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
SUP3	hiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo $\leq 7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	hiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo $\leq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$
SUP4	hiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo $\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	hiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo $\leq 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
SUP5	hiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo $\leq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	hiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo $\leq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Kun ulkoilmaluokka on selvitetty ja kohderakennuksen tuloilmaluokka on linjattu, voidaan koneeseen valita tarkoituksenmukaiset suodattimet. ISO 16980 antaa ohjeistuksen kohdekohtaiseen suodatinvalintaan, ohjeen suosituksilla saavutetaan kutakin tuloilmaluokkaa vastaava alhaisin hyväksyttävä suodatusaste. Nämä suodatinvalinnat kullekin tulo- ja ulkoilmaluokalle on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Suodatusasteet tulo -ja ulkoilmaluokan mukaan [4]

Ulkoilma			Tuloilma				
			SUP1 *	SUP2*	SUP3**	SUP4	SUP5
Luokka	PM2.5	PM10	ePM1	ePM1	ePM2.5	ePM10	ePM10
ODA1	≤ 10	≤ 20	70%	50%	50%	50%	50%
ODA2	≤ 15	≤ 30	80%	70%	70%	80%	50%
ODA3	> 15	> 30	90%	80%	80%	90%	80%

*Suodatuksen vähimmäisvaatimukset ISO ePM1 50 % koskevat viimeistä suodatinta virtaussuunnassa

**Suodatuksen vähimmäisvaatimukset ISO ePM2.5 50 % koskevat viimeistä suodatinta virtaussuunnassa

Jos kohteen tilaaja ei ole linjannut rakennuksen tarvitsemaa tuloilmaluokkaa, voidaan tuloilmaluokka yrittää arvioida taulukoiden 4 ja 5 mukaisesti.

Taulukko 4. Yleisilmanvaihdon tuloilmaluokkasuosituksen [4]

Luokka	Yleisilmanvaihto
SUP2	Jatkuvaan oleskeluun tarkoitetut tilat: Päiväkodit, toimistot, hotellit, asuinrakennukset, kokoushuoneet, näyttelyhallit, konferenssisalit, puhe- ja elokuvateatterit, konserttisalit
SUP3	Tilapäiseen oleskeluun tarkoitetut huonetilat: Varastorakennukset, liikekeskukset, pesuhuoneet, palvelin- ja kopiohuoneet
SUP4	Lyhytaikaiseen oleskeluun tarkoitetut huonetilat: WC-tilat, varastohuoneet, porrashuoneet
SUP5	Huonetilat, joissa ei oleskella: Jätehuoneet, datakeskukset, maanalaiset pysäköintitilat

Taulukko 5. Teollisuusilmanvaihdon tuloilmaluokkasuosituksen [4]

Luokka	Teollisuusilmanvaihto
SUP1	Korkean tason hygieniavaatimuksen tilat: Esimerkiksi sairaalat, farmasia-, elektroniikka- ja optiikkateollisuus, tuloilma puhdistiloihin.
SUP2	Keskitason hygieniavaatimuksen tilat: Esimerkiksi elintarviketeollisuus
SUP3	Perustason hygieniavaatimuksen tilat: Esimerkiksi elintarviketeollisuus, jossa perustason hygieniavaatimukset
SUP4	Kohdetiloilla ei ole hygieniavaatimuksia: Esimerkiksi autoteollisuuden yleiset tuotantotilat
SUP5	Raskaan teollisuuden tuotantotilat: Esimerkiksi terästehdas, sulattamo, hitsaamo

2.1.4 LTO ja lämmönsiirtimet

Miellyttävän, turvallisen ja terveellisen sisäilmaston takaamiseksi, pitää sisään puhallettavan ilman olla sopivan lämpöistä. Liian matala sisänpuhalluslämpötila aiheuttaa huoneiloissa vedon tunnetta. Ilman lämmitys pääsääntöisesti tapahtuu IV-koneessa olevalla LTO-laitteella ja lämmityspatterilla. LTO on nykyajan IV-koneisiin kuuluva komponentti, jolla siirretään rakennuksesta poistettavasta ilmasta lämpöä käsiteltävään raitisilmaan. Ottamalla lämpöä talteen LTO-laitteella, saavutetaan suuret säästöt rakennuksien vuosittaisissa energiakustannuksissa. LTO-laitteen lämmöntalteenottokyky on riippuvainen sen tyypistä. Yleisimpiä tyyppisiä LTO-laitteille ovat pyörivät eli regeneratiiviset lämmönsiirtimet, nestekiertoiset lämmönsiirtimet sekä levylämmönsiirtimet. Taulukossa 6 on esitetty yleisimpien LTO tyyppien ominaisuuksia.

Taulukko 6. Lämmöntalteenottolaitteet [3;5]

LTO tyyppi	Tyypillinen lämpötilahyötysuhde	Edut	Haitat
Nestekiertoinen	68 %	*ei vuotomahdollisuutta tulo ja poistoilman välillä *tulo ja poistokone voivat sijaita kaukana toisistaan	*alhainen lämpötilahyötysuhde
Levylämmönsiirrinristivirta	73 %	*hygieeninen *kustannustehokas rakenne *kohtuullisen hyvä lämmöntalteenottokyky *toimintavarma	*huurtumisherkkä
Levylämmönsiirrin vastavirta	80 %	*korkea lämmöntalteenottokyky	*ristivirtasiirrintä huurtumisherkempi
Regeneratiivinen	75-85 %	*suurin lämmöntalteenottokyky *pieni tilantarve *vähäinen jälkilämmityksen tarve *komponentin kohtuullinen painehäviö	*osa poistoilman hajuista ja epäpuhtauksista siirtyy tuloilmaan
Integroitu lämmöntalteenotto	68 %	*hygieeninen *pieni tilantarve *pieni ilman painehäviö	*nestepiirin korkea-painehäviö

LTO-laitetyyppien eri ominaisuuksien vuoksi kaikki LTO-laitteet eivät välttämättä sovellu jokaiseen kohteeseen. Tästä syystä onkin tärkeää, että kohteeseen valitaan siihen sopiva lämmöntalteenottomenetelmä. Esimerkiksi sairaalatiloiissa ilmavirtojen sekoittamista ei sallita, mikä sulkee pois mahdollisuuden käyttää regeneratiivista LTO-laitetta. Myös levylämmönsiirtimissä esiintyy pieni riski ilmavirtojen sekoittumiselle, jonka vuoksi niitäkään ei käytetä sairaalakohteissa. Ainoaksi vaihtoehdoksi jäävät vain nestekiertoiset LTO-järjestelmät. Onnistuneessa LTO:n valinnassa tulee laitetyypin ja sen toimintapisteiden lisäksi kiinnittää huomioita sen lävitse virtaavan poistoilman kosteussisältöön. Tämä kosteussisältö vaikuttaa kriittisesti LTO-laitteen vuosihyötysuhteeseen. Jos tiloissa on paljon kosteuskuormia, voidaan lämmityskaudella joutua pitämään LTO:n huurteensulatus toimintoa päällä usein. Tämän vuoksi onkin tärkeätä, että LTO-laite ja jäteilman lämpötilan asetusarvo valitaan siten, että huurtumisen määrä pidetään minimissään. [6.]

Koska markkinoilla olevilla LTO-laitteilla ei saavuteta 100 % lämpötilahyötysuhdetta, pitää riittävä lisälämmitys järjestää. Lämmitysteho, jota lämmöntalteenotolla ei pystytä tuottamaan, tuotetaan yhdellä tai useammalla lämmönsiirtimellä (lämmityspatterilla). Lämmityspatteria mitoittaessa tulee tietää LTO-laitteelta tulevan ilman lämpötila, ilman tilavuusvirta ja tavoiteltu tuloilman lämpötila. Näillä tiedoilla voidaan mitoittaa lämmönsiirrin siten, että se toimii normaalitilanteessa. Jotta lämmönsiirrin toimisi kaikissa tilanteissa, tulee sen mitoituksessa huomioida myös LTO-laitteen huurtumisenestosta aiheutuva lämpötilahyötysuhteen aleneminen. Kun ulkoilman lämpötila on tarpeeksi matala ja poistoilman kosteus riittävän suuri, alkaa poistoilma hyvin herkästi kondensoitumaan lämmönsiirtimeen pinnoille. Jotta kondensoitunut vesi ei jäähy LTO-laitteen pinnalle, joudutaan käyttämään huurteensulatusa. Huurteensulatus toiminnon ollessa käynnissä LTO-laiteella ei saada lämpöä talteen yhtä paljoa, kuin sen käydessä normaalisti. Huurteensulatuksen vaikutusta lämmöntalteenoton hyötysuhteeseen vastavirtalämmönsiirtimillä on kuvattu liitteessä 3. Liitteen kuva esittää mittaustuloksia siitä, miten lohkosulatuksen vastavirtalämmönsiirtimeen huurteensulatusohjelma vaikuttaa sen hyötysuhteeseen. Mittaustietoa analysoimalla voidaan todeta, että jäteilman alittaessa tietyn lämpötilan, lämmönsiirtimestä sulkeutuu lohko. Tällöin lämmöntalteenoton hyötysuhde laskee ja suljettua lohkoa vastaava ilmavirta ohjautuu ohituspellin kautta suoraan lämmityspatterille. Sulkeutuneen lohko-osuuden lävitse ei virtaa ollenkaan kylmää raitisilmaa, jolloin

kaikki lohkon kautta kulkeva lämmin jäteilma voidaan käyttää sen lämmittämiseen. Lämmin jäteilma sulattaa lohkon aiheuttaen samalla siirtimen hyötysuhteen heikentymisen. Ulkolämpötilan mukaan voidaan joutua sulkemaan kerralla useampikin lohko, mikä laskee siirtimen hyötysuhdetta entisestään sulatustoiminnon aikana. [6].

Kun lämmityspatterille tuleva ilmavirta ja ilman lämpötilat on määritelty, voidaan lämmitysteho laskea kaavalla 2.

$$\phi = q_v \cdot c_{pi} \cdot \rho \cdot \Delta t \quad (2)$$

jossa

ϕ on teho, W

q_v on tilavuusvirta, m³/s

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kg°C

ρ on ilman tiheys, kg/m³

Δt on käsitellyn ja käsiteltävän ilman lämpötilan erotus, °C

Ilman lämmittämisen lisäksi IV-koneessa voi olla lämmönsiirtimiä, joilla viilennetään käsiteltävää ilmaa. Viilentämiseen käytettävää lämmönsiirintä kutsutaan jäähdytyspatteriksi. Jäähdytyspatterilla voi ilmaa käsiteltäessä olla kaksi funktiota, ilman lämpötilaa voidaan laskea haluttuun sisäänpuhalluslämpötilaan tai ilmasta voidaan poistaa kosteussisältöä. Jäähdytyspatterin kosteudenpoisto ominaisuuksia tarkastellaan tarkemmin luvussa 2.1.5 ”Kuivaus ja kostutus”. Kun jäähdytyspatteria mitoitetaan ilman viilentämistä varten, voidaan hyvänä tuloilman lämpötilan tavoitearvona pitää 16°C. Jos ilmaa viilennetään tätä alhaisemmaksi kasvaa oleskelutiloissa vedon riski. Kun jäähdytyspatterille tulevan ja siltä lähtevän ilman lämpötila on määritelty, voidaan jäähdysteho laskea sijoittamalla arvot kaavaan 2 ja kertomalla saatu tulos miinus yhdellä.

2.1.5 Kuivaus ja kostutus

Ilman lämpötilan laskemisen lisäksi jäähdytyspattereilla voidaan poistaa kosteussisältöä ilmasta. Tämä voi olla toivottu toimenpide esimerkiksi sellaisissa teollisuuden laitoksissa, joissa on asetettu tiukat rajoitteet vallitsevan sisäilman olosuhteille. Ilman kuivausta varten asennettavan jäähdytyspatterin rakenne ja toiminta on periaatteessa sama kuin pelk-

kään ilman viilentämiseen tarkoitettun jäädytyspatterin. Näiden kahden erona on lämmönsiirtopintojen lämpötila. Kuivaavan jäädytyspatterin pintalämpötila on alhaisempi kuin käsiteltävän ilman kastepistelämpötila. Tällöin ilman osuessa patterin kylmään pintaan rupeaa ilma kondensoimaan. Kondensoitunut vesi valuu patterin pohjalla olevaan keräysastiaan, josta se johdetaan viemärillä viemärintipisteeseen. Tällä tavalla ilman absoluuttista kosteutta pystytään vähentämään.

Jotta toimintapisteet kuivaavalle jäädytyspatterille voidaan asettaa, tulee tilaajalta saada tieto oleskelutilan vaaditusta ilmakesteydestä ja lämpötilasta. Tätä käyttäjältä saatavaa tilatietoa ja ulkoilman mitoituspistettä 27 °C 50 % RH voidaan lähtökohtaisesti käyttää kuivatuksen mitoitukseen. Mitoituspisteitä määriteltäessä tulee kuitenkin huomioida tilassa suoritettavan prosessin herkkyys ilman lämpötilan ja kosteussisällön muutoksille. Jos prosessi on erittäin herkkä pienillekin ilman olosuhteen muutoksille, voidaan ilmakestelylaskennassa käytettäviä mitoituspisteitä joutua asettamaan tiukemmiksi. Tällöin varmistutaan siitä, että tilassa suoritettavan prosessin kannalta tarpeellinen ilmanolosuhde voidaan ylläpitää jatkuvasti. Mitoitusperuste tuleekin siis tapauskohtaisesti tarkistaa kohteesta ja siellä suoritettavasta toiminnasta riippuen.

Kun mitoituspisteet ovat selvillä voidaan aloittaa kuivauspatterin mitoitus. Kuivauksen teho voidaan selvittää joko Mollier-diagrammia hyödyntäen tai numeerisesti laskien. Tässä työssä on sovellettu matemaattista ratkaisutapaa. Numeerisella menettelyllä ratkaistaan aluksi käsiteltävän ilman vesihöyryn kyllästyspaine kaavalla 3 [7, s. 125].

$$p_{hs} = 100000 \cdot e^{11,78 \frac{T-372,29}{T-43,15}} \quad (3)$$

jossa

p_{hs} on vesihöyryn kyllästyspaine, Pa

e on Neperin luku

T on käsiteltävän ilman lämpötila, K

Kun vesihöyryn kyllästyspaine tiedetään ja mitoitettava piste on määritelty käsiteltävälle ilmalle, voidaan laskea vesihöyryn osapaine kaavalla 4.

$$p_h = \frac{\varphi}{p_{hs} \cdot 100} \quad (4)$$

jossa

p_{hs} on vesihöyryn kyllästyspaine, Pa

p_h on vesihöyryn osapaine, Pa

φ on suhteellinen kosteus, %

Mitoittavan ilman vesihöyryn osapaineen ja kyllästyspaineen avulla voidaan laskea ilman absoluuttinen kosteus kaavalla 5.

$$x = 0,622 \cdot \frac{p_h}{p - p_h} \quad (5)$$

jossa

x on absoluuttinen kosteus, kg/kg

p_h on vesihöyryn osapaine, Pa

p on ilmanpaine, Pa

Kun kaavojen 3, 4 ja 5 mukaiset arvot on laskettu, ja tilaajaosapuolen kanssa on tehty linjaus patterin jälkeisen ilman olosuhteesta, voidaan selvittää käsiteltävän sekä käsitel-
lyn ilman ominaisentalpia kaavalla 6.

$$h = c_{pi} \cdot t + x \cdot (l_{h0} + c_{ph} \cdot t) \quad (6)$$

jossa

h on kostean ilman ominaisentalpia, kJ/kg

c_{pi} on kuivan ilman ominaislämpö, 1,006 kJ/kg°C

t on kostean ilman lämpötila, °C

l_{h0} on veden höyrystymislämpö, 2501 kJ/kg

c_{ph} on vesihöyryn ominaislämpö, 1,85 kJ/kg°C

Kuivaavan jäähdytyspatterin tarvitsema kokonaisteho voidaan määrittää kaavalla 7, kun käsiteltävän ilman sekä tavoiteilman ominaisentalpiat on laskettu.

$$\phi = q_v \cdot \rho \cdot \Delta h \quad (7)$$

jossa

ϕ on kuivaukseen vaadittava kokonaisteho, W

q_v on käsiteltävän ilman tilavuusvirta, m³/s

ρ on käsiteltävän ilman tiheys, kg/m³

Δh on käsiteltävän ja käsitellyn ilman ominaisentalpioiden erotus, J/kg

Tiloissa, joissa vallitsevan ilman olosuhteita täytyy pystyä hallitsemaan hyvin tarkasti, voidaan ilman kosteussisältöä joutua myös lisäämään. Tällaisessa tapauksessa IV-kone tulee varustaa ilmankostutuslaitteistolla. Ilman kostutus voidaan toteuttaa tilanteen mukaan joko haihdutuskostuttimella tai höyrykostuttimella.

Haihdutuskostutuksen periaate on haihduttaa suuri pinta-alaisilta kosteilta pinoilta kosteutta puhallettavaan ilmaan. Tällainen kostutin koostuu kostutinkennosta, jonka läpi ohjataan käsiteltävä ilma. Kenno on valmistettu mikrolasista tai alumiinista ja kostutus tapahtuu luomalla kosteuskuorma kennon pinnalle. Ilman virratessa kostean kennon pinnan lävitse, rupeaa kennon pinnan kosteus höyrystymään ja kosteussisältö sitoutuu ilmaan. Höyrystymisilmiössä ilma luovuttaa lämpöä veden höyrystämiseksi, mikä aiheuttaa ilman lämpötilan alenemisen. Ilman lämpötila laskee noin 2,5K per g/kg. [3, s.190-191.] Tämä lämpötilan muutos on hyvä huomioida lämmönsiirtimien mitoituksessa. Haihdutuskostuttimia on saatavilla kahdella erilaisella kostutusjärjestelmällä. Kostutuksen tarvitsema neste voidaan järjestää kostuttimen vettä kierrättäen, tai tuomalla kaikki kostutuksen tarvitsema vesi käyttövesiverkosta. Kastelujärjestelmää, jossa vesi otetaan vesijohtoverkosta, kutsutaan suorakastelujärjestelmäksi. Vastaavasti järjestelmää, jossa

kostuttimesta pois valuva vesi nostetaan kiertopumpulla takaisin kostuttimen käytettäväksi, kutsutaan kiertovesijärjestelmäksi. [3, s.190-191]

Toinen IV-koneissa käytössä oleva kostutustapa on höyrykostutus. Höyrykostutuksessa käsiteltävään ilmaan suihkutetaan kanavassa tai koneessa olevien jakoputkien kautta höyryä. Kostuttaessa höyryllä käsiteltävä ilma ei jäähdy sillä vesi on jo valmiiksi höyrystynyt ennen kuin se tuodaan ilmaan. Jäätymisen sijaan ilma siis lämpiää hieman. [3, s. 191.]

Kostuttimen kostutustarpeen määrittämiseksi tulee suunnittelijalla olla tieto joko käsiteltävän sekä käsitellyn ilman absoluuttisesta kosteudesta, tai näiden ilmojen suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta. Kosteuden absoluuttisilla arvoilla laskien voidaan määrittää paljonko käsiteltävään ilmaan pitää tuoda kosteutta.

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad (8)$$

jossa

Δx on kostutus määrä, kg/kg

x_2 on käsitellyn ilman absoluuttinen kosteus, kg/kg

x_1 on käsiteltävän ilman kosteus, kg/kg

Kostutuksen määrän voi näitä tietoja hyödyntäen laskea kaavalla 9.

$$m_p = \Delta x \cdot m_i \quad (9)$$

jossa

m_p on kostutuksen määrä, kg/h

Δx on ilman kosteussisällön erotus, kg/kg

m_i on käsiteltävän ilman massavirta, kg/h

2.2 Putkistolaskelmat.

Lähes jokainen rakennus sisältää jonkinlaisen putkiston, jonka tehtävä on kuljettaa väliainetta suunnittelun prosessin mukaisesti. Esimerkkejä putkiston kuljettamasta väliaineesta voi olla esimerkiksi vesihanalle tuotava vesi tai lämmityspatterille siirrettävä lämmin vesi. Eri rakennustyypeissä voi esiintyä monenlaisia putkistoja, kuten taloteknisiä putkistoja sekä teollisuus- ja kuljetusputkistoja. Tässä insinööriyössä keskitytään ainoastaan taloteknisiin putkistoihin ja erityisesti näiden putkistojen pääkomponenttien mitoituksiin.

Pääsääntöisesti putkistoa ja varsinkin runkoputkistoa koskevan mitoituslaskennan voi suorittaa suunnitteluohjelmissa olevilla laskentatyökaluilla. Suunnittelija ei voi kuitenkaan jättää mitoitusyötä täysin suunnitteluohjelman varaan, sillä verkostoissa esiintyy sellaisia komponentteja, joita ohjelmisto ei osaa huomioida laskennassaan. Tämän lisäksi verkostojen mitoituksessa voi joutua huomioimaan sellaisia mitoituskriteereitä, joita ohjelmistot ei sisällytä niiden suorittamaan laskentaan.

Ennen kuin putkiverkoston pääkomponentit voidaan mitoittaa, tulee tietää rakennuksen tiloihin asennettujen kenttälaitteiden mitoitustiedot. Näitä tietoja voi olla esimerkiksi vesikalusteen virtaama tai lämmityspatterin teho. Mitoitustiedoilla pystytään suunnitteluohjelmaa hyödyntäen laskemaan koko verkoston virtaama sekä jakeluverkoston painehäviö. Verkoston pääkomponentit pitää mitoittaa siten, että kullekin verkoston laitteelle pystytään tuomaan sen tarvitsema virtaama halutussa lämpötilassa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että verkoston lämmönsiirrin mitoitetaan mitoituslaskennan vastaavalle teholle. Lisäksi verkoston kiertopumppu pitää mitoittaa verkoston painehäviötä ja mitoitusvirtaamaa vastaavalle toimintapisteelle.

2.3 Paisunta-astian mitoitus

Paisuntajärjestelmä on lämmitysverkostoihin kuuluva komponentti, jonka tarkoituksena on tasata väliaineen lämpölaajenemista aiheuttavia painevaihteluita putkistossa. Lämpölaajeneminen on ilmiö, jossa väliaineen tilavuus muuttuu sen lämpötilan muutoksen vuoksi. Tämä putkistossa virtaavan aineen tilavuuden muutos aiheuttaa puolestaan paineen kasvua verkostossa. Paineenkasvu putkiston sisällä on haitallinen ilmiö, joka voi aiheuttaa vahinkoa putkistolle tai sen laitteille. Tästä syystä suljettujen putkistojen yhteyteen asennetaan paisunta-astia painetasojen hallitsemiseksi.

Jotta kohteeseen voidaan mitoittaa paisunta-astia, tulee suunnittelijan tietää verkoston kokonaisnestetilavuus. Tämä pystytään selvittämään laskemalla yhteen jakeluverkoston nestetilavuus verkostokomponenttien nestetilavuuden kanssa. Putkistotilavuuden suunnittelija pystyy tarkistamaan suunnitteluohjelmasta, mutta verkostokomponenttien tilavuudet pitää pyytää joko laitetoimittajilta tai katsoa heidän tarjoamilla mitoitusohjelmilla.

Koko verkostotilavuuden ollessa selvä, tulee selvittää verkoston painehäviö ja putkessa siirrettävän väliaineen suurin esiintyvä lämpötila. Verkoston staattisen paineen avulla voidaan määrittää paisunta-astian esipaine ja enimmäislämpötilalla voidaan ratkaista laajenemiskerroin virtaavalle väliaineelle [8].

Paisunta-astian mitoituksen viimeisenä tietona suunnittelija tarvitsee verkoston tehon ja rakennepaineen. Teho pystytään selvittämään putkiverkkoon kytkettyjen kenttälaitteiden mitoitustietojen summasta. Rakennepaine puolestaan määräytyy verkoston heikoimman komponentin paineluokan mukaan. Paineluokka tulee tarkistaa verkostokohtaisesti sen komponenteille. Yleensä verkoston alimman paineluokan omaavana komponenttina voidaan pitää energiavaraajasäiliötä.

Kun ylempänä mainitut tiedot ovat kerätty, voidaan suorittaa paisuntasäiliön mitoitus. Mitoitus aloitetaan määrittelemällä esipaine paisuntasäiliölle. Paisunta-astian esipaine mitoitetaan 1-10 kPa laitoksen staattista painetta suuremmaksi, pyöristäen seuraavaksi suurimpaan tasakymmeneen [8, s. 2]. Kun astian esipaine on onnistuneesti määritelty, asetetaan verkoston vähimmäiskäyttöpaine. Tämä on alhaisin painetaso, jonka sallitaan verkostossa esiintyvän. Vähimmäiskäyttöpaineen oikein määrittäminen on tärkeää, liian alhaiseksi mitoitettu verkoston vähimmäiskäyttöpaine aiheuttaa riskin alipaineen kehittymiselle verkostossa. Alipaineessa kaasut rupeavat kiehumään pois nesteestä synnyttäen kaasutaskuja. Samalla verkoston ilmanpoistimet avautuvat ja päästävät ilmaa verkostoon. Jotta alipaineen syntymiseltä vältytään, mitoitetaan vähimmäiskäyttöpaine tyypillisesti 50 kPa suuremmaksi kuin verkoston esipaine. [8, s. 2.] Kun verkostolle on määritelty vähimmäiskäyttöpaine, tulee vastaavasti myös määrittää korkein sallittu painetaso. Tämä yläraja valitaan verkoston heikoimman komponentin paineluokan ja varoventtiilin avautumispaineen mukaan. Paineluokka määrittää korkeimman painetason putkessa, jonka tarkasteltava komponentti kestää. Luonnollista onkin siis, ettei verkoston paine saa missään tilanteessa nousta yli heikoimman putkistokomponentin paineluokituksen. Jotta tällaista tilannetta ei voi syntyä, asennetaan verkoston yhteyteen varoventtiili, jonka tehtävä on päästää väliainetta ulos verkostosta paineen kasvaessa hallitsemattomasti. Tälle

venttiilille määritetään avautumispaine paisunta-astian mitoituksen yhteydessä. Avautumispaine voi luonnollisesti olla korkeintaan yhtä suuri, kuin verkoston heikoimman komponentin paineenkestävyys. Avautumispaine tulee tarkkaan miettiä, sitä ei välttämättä kannata asettaa yhtä suureksi kuin verkoston heikoimman komponentin paineen kestävyttä. Avautumispainetta määrittäessä kannattaa huomioida muun muassa varoventtiilin resoluutio (toimintaherkkyys) ja putkiston paineenkeston heikentyminen putkiston vanhetessa.

Varoventtiin avautumispaineen valittua voidaan asettaa verkoston enimmäiskäyttöpaine. Tämän paineen tulee olla varoventtiin avautumispainetta alhaisempi, jotta verkostosta ei turhaan pääse väliainetta ulos. Lähtökohtaisesti enimmäiskäyttöpaineeksi voidaan asettaa 50 kPa varoventtiin ulospuhalluspainetta alhaisempi paine tai 90 % varoventtiin avautumispaineesta. Enimmäiskäyttöpaineeksi valitaan näistä kahdesta arvosta pienempi. [8, s. 2.]

Kun nämä toimintapisteet ovat asetettu voidaan aloittaa itse paisunta-astian tilavuuden laskenta LVI-kortin 11-10472 ohjeistuksen mukaisesti. Kortin mukaan astian tilavuus lasketaan verkoston tilavuuden, väliaineen lämpölaajenemiskertoimen ja kalvopaisunta-astian mitoituskertoimen tulona. Tilavuuden laskeminen on esitetty kaavassa 10.

$$V = a \times K_{mit} \times V_0 \quad (10)$$

jossa

a on väliaineen lämpölaajenemiskerroin, %

K_{mit} on paisunta-astian mitoituskerroin

V_0 on laitoksen vesitilavuus, dm^3

V on kalvopaisunta-astian tilavuus, dm^3

Väliaineen lämpölaajenemiskertoimen selvittämistä varten on LVI-kortissa 11-10472 esitetty taulukot veden, etyleeni- ja propyleeniglykolin laajenemiselle. Samat taulukot on esitetty tämän työn liitteinä 1 ja 2.

Kalvopaisunta-astian mitoituskertoimen on kalvopaisunta-astian nettonestetilavuuden suhdeluvun käänteisluku. Tämä suhdeluku pystytään määrittämään bruttonestetilavuuden ja vuotovara nestetilavuuden suhdeluista, jotka puolestaan lasketaan verkostolle määritettyjen painetasojen perusteella. Mitoituskertoimen laskemiseksi tarvittavat laskut on esitetty kaavoissa 11–14.

$$K_{mit} = \frac{1}{H_{netto}} \quad (11)$$

$$H_{netto} = H_{brutto} - H_{vara} \quad (12)$$

$$H_{vara} = 1 - \frac{P_e}{P_{min}} \quad (13)$$

$$H_{brutto} = 1 - \frac{P_e}{P_{max}} \quad (14)$$

jossa

K_{mit} on paisunta-astian mitoituskertoimen

H_{netto} on kalvopaisunta-astian nettonestetilavuus, suhdeluku

H_{vara} on kalvopaisunta-astian häiriö/vuotovara nestetilavuus, suhdeluku

H_{brutto} on kalvopaisunta-astian bruttonestetilavuus, suhdeluku

P_e on paisunta-astian absoluuttinen esipaine, kPa

P_{min} on absoluuttinen vähimmäiskäyttöpaine, kPa

P_{max} on absoluuttinen enimmäiskäyttöpaine, kPa

2.4 Kaukolämmön säätöventtiilien mitoitus

Kaukolämmön lämmönsiirtimien säätöventtiilit mitoitetaan lähtökohtaisesti ”Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet” julkaisun K1:n ohjeistuksien mukaisesti. Tällä ohjeella onnistuu säätöventtiilien mitoitus suurimmassa osassa kohteista. Toisinaan suunnitellaan kuitenkin niin isoja siirtimiä, ettei niiden mitoitusta pysty K1:n ohjeita täysin noudattaen tekemään. Ohjeita ei voida pitää siis täysin yleispätevinä, sillä varsinkin suurissa järjestelmissä esiintyy tarve tapauskohtaiselle tarkastelulle.

Normaalitilanteen mitoituksessa säätöventtiilin määrittäminen aloitetaan laskemalla mitoitettavan verkoston teho ja ensiöpuolen nesteen lämpötilaeroa vastaava nestevirtaama [9, s. 15]. Virtaama ensiöpuolen vedelle saadaan laskettua kaavalla 15.

$$q_v = \frac{\phi}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta t} \quad (15)$$

jossa

q_v on virtaama, l/s

ϕ on siirtimen teho, kW

c_p on ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C

ρ on tiheys, kg/dm³

Δt on meno ja paluuveden lämpötilojen erotus, °C

Kun nestevirtaama ensiöpuolella tiedetään, tulee selvittää säätöventtiilille käytettävissä oleva paine-ero. Jotta tämä voidaan laskea, pitää lämmönmyyjältä saada tieto kaukolämpöverkon paine-erosta. Säätöventtiilin käytettävissä oleva paine-ero pystytään laskemaan kaavalla 16 [9, s. 15]:

$$\Delta p = \Delta p_{ilm} - \Delta p_{siirrin} - \Delta p_{putkisto} \quad (16)$$

jossa

Δp on säätöventtiilin mitoituspaine-ero, bar

Δp_{ilm} on lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero, bar

$\Delta p_{siirrin}$ on siirtimen painehäviö, bar

$\Delta p_{putkisto}$ on putkiston painehäviö, bar

Käytettävissä olevalla paine-erolla ja ensiöpuolen tilavuusvirralla voidaan laskea säätöventtiilille k_v -arvo [9, s15].

$$k_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}} \quad (17)$$

jossa

k_v on venttiilin läpäisykykyä kuvaava suure, m^3/h [10]

q_v on ensiöpuolen mitoitusvirtaama, m^3/h

Δp on mitoituspaine-ero, bar

Kun k_v -arvo on laskettu, valitaan sen perusteella järjestelmän tarvetta vastaava k_{vs} -arvo. k_{vs} -arvolla ilmaistaan suurin nesteen virtaama, joka kulkee venttiilin lävitse sen ollessa täysin auki. k_{vs} -arvon yksikkö on m^3/h ja sillä ilmoitetut arvot pätevät 20°C vedellä ja yhden baarin paine-erolla. [11.] Säätöventtiilejä on saatavilla ko'oilla, joiden k_{vs} -arvot kasvavat Reynard-sarjan mukaisesti. Valittavia k_{vs} -arvoja on: 0.25, 0.4, 0.63, 1, 1.6, 2, 2.5, 4, 6.3, 8.6, 10, 16, 25 ja 40. [12.] Kun venttiilille on valittu k_{vs} -arvo, lasketaan venttiilin aiheuttama todellinen painehäviö kaavalla 18.

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{q_v}{k_{vs}}\right)^2 \quad (18)$$

jossa

Δp_{sv} on valitun venttiilin aiheuttama todellinen painehäviö, bar

q_v on mitoitusvirtaama, m^3/h

k_{vs} on venttiilin läpäisykyky sen ollessa täysin auki, m^3/h

Kun venttiilin todellinen painehäviö on laskettu, selvitetään säätöventtiilin auktoriteetti eli vaikutusaste kaavalla 19.

$$\beta = \frac{\Delta p_{sv}}{\Delta p_{mit}} \quad (19)$$

jossa

β on säätöventtiilin vaikutusaste

Δp_{sv} on valitun säätöventtiilin painehäviö mitoitusvirtaamalla, kPa

Δp_{mit} on lämmönmyyjän ilmoittama paine-ero, kPa

Säätöventtiilin vaikutusaste tulee olla väliltä 0,5-1. Jos valitulla k_{vs} -arvolla säätöventtiilin auktoriteetiksi tulee yli 1 tai alle 0,5, joudutaan valitsemaan toinen k_{vs} -arvo ja suorittamaan laskenta uudelleen kaavojen 18 ja 19 osalta.

Tapauksissa, joissa valittu k_{vs} -arvo ylittää arvon 10, joudutaan mitoitus suorittamaan kahta tai useampaa säätöventtiiliä käyttäen. Kahden säätöventtiilin mitoituksessa prosessin tarvitsema virtaama voidaan lähtökohtaisesti jakaa 1/3 ja 2/3 osavirtaamille venttiileiden kesken. [12.] Toisinaan voidaan kuitenkin joutua valitsemaan venttiileille tästä virtaamajaoista poikkeava mitoituskriteeri. Kun mitoituskriteeri on selvillä, ruvetaan mitoittamaan ensiksi säätöventtiiliparista pienempää. Kuten yhden venttiilin mitoituksessa, myös kahden venttiilin mitoitus alkaa laskemalla pienemmän venttiilin mitoituspaine-eron mitoitusvirtaamalla. Mitoituspaine-ero voidaan laskea virtaaman ja paineen suhteesta kaavalla 20.

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{q_{v1}}{q_{v2}}\right)^2 \quad (20)$$

jossa

Δp_1 on paine-ero mitoitusvirtaamalla q_{v1} , kPa

Δp_2 on paine-ero mitoitusvirtaamalla q_{v2} , kPa

q_{v1} on mitoitusvirtaama paine-eroa p_1 vastaavalla paineella, m³/s

q_{v2} on mitoitusvirtaama paine-eroa p_2 vastaavalla paineella, m³/s

Kun pienemmän venttiilin virtaama on valittu ja mitoituspaine-ero laskettu, määritetään sille k_v -arvo kaavalla 17. Saadun k_v -arvon mukaan valitaan venttiilille sopiva k_{vs} -arvo. Valittu k_{vs} -arvo vähennetään yhdellä venttiilillä lasketun venttiilin k_{vs} -arvosta ja tuloksena saadaan isomman venttiilin k_{vs} -arvo. Venttiilien yhteisen k_{vs} -arvon ja virtaaman mukaan lasketaan venttiiliparin todellinen painehäviö. Lisäksi venttiiliparille lasketaan vaikutusaste, jolle pätee sama auktoriteettivaatimus kuin yhden venttiilin mitoituksissa.

Jos kahden venttiilin mitoituksessa isomman venttiilin k_{vs} -arvo jää yli arvon 10, siirrytään kolmen säätöventtiilin mitoitukseen. Mitoitusta ei käsitellä tarkemmin tässä työssä, sillä

se on hyvin tapauskohtaista, eikä virallista ohjeistusta ole. Kolmen säätöventtiilin mitoituksen lähtökohtana voidaan käyttöveden siirtimissä kuitenkin pitää mitoitusta, jossa pienin venttiili mitoitetaan verkoston kiertopumppua vastaavalle teholle, keskisuuri venttiili mitoitetaan normaali käytön kulutusta vastaavaksi ja suurin venttiili mitoitetaan huipputehoa vastaavaksi. Lämmityksen siirtimien venttiilien mitoitusperiaatteet sovitaan lämmönmyyjän kanssa.

2.5 Kiertopumppujen mitoitus

Kiertovesipumppujen tehtävä verkostossa on varmistaa, että putkissa virtaa jatkuvasti tarvittava määrä nestettä. Pumpun onnistunut mitoitus on tärkeätä, liian pieneksi mitoitettu pumppu ei pysty tuottamaan prosessin vaatimaa tehoa vastaavaa virtaamaa. Tämä näkyy esimerkiksi lämmitysverkostoissa kylminä pattereina ja käyttövesi verkostoissa lämpimän käyttöveden pitkinä odotusaikoina. Toisaalta ylimitoitettu pumppu voi aiheuttaa äänihaittoja ja turhia energiakustannuksia.

Pumpun mitoitus alkaa tarkasteltavan verkoston tehon määrittämisellä. Tämä teho määräytyy kenttälaitteiden tehojen summasta. Verkoston kokonaistehoa ja virtaavaan nesteen lämpötilaeroa hyödyntäen pystytään laskemaan tilavuusvirta pumpattavalle nesteelle. Tämä virtaama määritetään kaavalla 21.

$$q_v = \frac{\phi}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta t} \quad (21)$$

jossa

ϕ on prosessin teho, W

q_v on tilavuusvirta, m³/s

c_p on virtaavan nesteen ominaislämpökapasiteetti, J/kg°C

ρ on nesteen tiheys, kg/m³

Δt on virtaavan nesteen lämpötilojen erotus, °C

Kun virtaama on määritelty, tulee verkostossa tapahtuva painehäviö laskea. Painehäviö muodostuu verkoston komponenttien aiheuttamista kertavastuksista sekä putkiston dynaamisesta ja staattisesta painehäviöstä. Helpointen putkiverkoston painehäviön saa

selville suunnitteluohjelmasta katsomalla. Suunnitteluohjelman ilmoittamaan paineeseen tulee kuitenkin muistaa lisätä sellaisten komponenttien painehäviö, joita suunnitteluohjelma ei osaa laskea. Näitä komponentteja ovat esimerkiksi mudanerotin, eräät säätöventtiilit, varaajasäiliöt ja lämmönsiirtimet. Kun verkoston painehäviöt ovat selvillä ja laskettu yhteen, saadaan selville pumpun tarvitseva paineenkorotus.

Ylempänä mainittujen mitoitustietojen lisäksi pumpulle on turvallista varata pieni mitoitusvara. Työmaavaiheessa on todella suuri määrä erilaisia muuttujia, jotka voivat vaikuttaa tarkasteltavan verkoston toteutuvaan painehäviöön. Esimerkkinä tästä voidaan pitää tilannetta, jossa putkia ei pystytä asentamaan suunnittelijan suunnitteleman reitin mukaisesti. Tällöin putkireitti voi pidentyä ja monimutkaistua, tuottaen sellaisia kertavastuksia, joita laskennassa ei ole huomioitu. Tällaiset muutokset lisäävät tarvittavaa paineenkorotusta, ja jos näihin ei ole suunnitteluvaiheessa varauduttu, pumppu voi jäädä alimitoitetuksi. Vastaavanlaiset poikkeukset voivat huomioimatta jäädessään helposti aiheuttaa riitatilanteita projektin osapuolten välille.

2.6 VJK mitoitus

VJK:n onnistuneella mitoituksella varmistetaan, että kohteeseen suunnitellut jäähdytyslaitteet pystyvät toimimaan niille mitoitetulla teholla. Jotta tarvittava jäähdytysteho voidaan määrittää, tulee selvittää suunniteltavan kohteen jäähdytyksen tarve ja mitoituskriteerit. Jäähdytystehontarve koostuu pääsääntöisesti IV-verkoston jäähdytys- ja kuivauspattereista sekä tilajäähdytyksen laitteista. Ilmanvaihdon jäähdytystehontarve pystytään laskemaan kaavalla 7. Tarvittavan tilajäähdytyksen laskemiseksi ei ole olemassa yleispätevää kaavaa. Tilajäähdytyksen tarve määräytyy täysin tilaan kohdistuvista lämpökuormista ja tavoitellusta sisäilman lämpötilasta. Tilaan voi tuoda lämpökuormaa muun muassa sen käyttäjät, atk-laitteet, valaisimet ja tekniset laitteet. Tilajäähdytystarve lasketaan tilaajalta ja projektin muilta osapuolilta saatavilta lämpökuorma tiedoilla sekä tilaan suoritettujen dynaamisten laskelmien perusteella.

Jäähdytyslaitteistoa mitoittaessa tulee kiinnittää huomiota siihen, ettei järjestelmää ylimitoiteta. Jäähdytystarvetta määriteltäessä tarvittavat tehot on laskettu kunkin tilan suuressa lämmityskuormalla. Tulee kuitenkin muistaa, että varsinkin suurissa laitoksissa, kaikki jäähdytystä tarvitsevat tilat eivät todennäköisesti tule olemaan käytössä samanaikaisesti. Tämän vuoksi onkin tilaajaosapuolen kanssa oleellista sopia yhtäaikaisuuskerroin jäähdytysjärjestelmälle.

Kun mitoituskriteereistä on sovittu ja jäähdytystehontarve selvitetty, niin voidaan jäähdytysverkon ja lauhdeverkon virtaamat laskea kaavalla 22.

$$q_v = \frac{\phi}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta t} \quad (22)$$

jossa

q_v on tilavuusvirta, m³/s

ϕ on teho, W

c_p on virtaavan nesteen ominaislämpökapasiteetti, J/kg°C

ρ on nesteen tiheys, kg/m³

Δt on vedenjäähdyttimelle tai nestejäähdyttimelle tulevan ja lähtevän nesteen lämpötilojen erotus, °C

3 Microsoft Excel-ohjelmisto ja TATE-laskentataulukot

Insinööriyössä laadittu talotekninen laskuri toteutettiin Microsoftin Excel-taulukko-työkalulla. Excel on vuonna 1985 Macintosh-tietokonealustalle julkaistu taulukkolaskentaohjelma. Vuonna 1987 ohjelmasta julkaistiin Windows-käyttöjärjestelmälle sopiva versio ja tämän jälkeen ohjelmaan on julkaistu laaja määrä päivityksiä.

Excel on taulukkopohjainen laskin, jonka käyttöliittymä koostuu solumatriisista. Ohjelman käyttäjä pystyy syöttämään kuhunkin soluun arvoja, minkä jälkeen tietoa sisältäviä soluja hyödyntäen voidaan suorittaa laskentaa sekä tiedon käsittelyä. Yksinkertaisena esimerkkinä Excelin soluihin syötettyjen arvojen pohjalta tehdystä laskennasta on kahdessa eri solussa olevien arvojen yhteenlasku.

Tässä työssä toteutetulla laskimella pyrittiin vastaamaan nykyisten laskimien laajasta kirjosta ja vaikeasti löydettävyydestä aiheutuviin ongelmiin. Tarkoituksena oli luoda laaja talotekninen laskin, joka yhdistää nykyisin käytössä olevien laskimien parhaat puolet ja yhtenäistää osastolla suoritettavan laskennan. Luodulla laskimella pystytään suorittamaan suunniteltavan kohteen ilmanvaihtokoneiden, lämmönsiirtimien, paisunta-astioiden, vedenjäähdytyskoneiden ja kaukolämmön säätöventtiilien mitoitukset. Laskenta,

jota Excel-laskimella suoritetaan, on kuvailtu luvuissa 2.1–2.6 esitetyillä kaavoilla. Laskennan lisäksi luotu Excel toimii suunnittelijaa tukevana mitoitussoppana. Excelissä on syötetty mitoitusta koskevia ohjeita niihin soluihin, joihin lasketaan sellaisia arvoja, joita ei voi ratkaista yksiselitteisillä ja yleispätevillä kaavoilla. Näiden lisäksi laskentaa ohjataan siten, että taulukko varoittaa käyttäjää värikoodilla, jos hän syöttää johonkin soluun sopimattoman arvon. Käyttäjä saa esimerkiksi varoituksen syöttäessään kanavistopaineeksi yli 400 pascalia. Liitteessä 4 on esitetty kuvakaappaus laskimen IV-mitotus välilehden puhaltimen mitotusosuudesta.

Laskennan ja mitoitustuen lisäksi Excel toimii kohteeseen tehtyjen laskelmien dokumenttina. Nykyisin suunnittelussa toisinaan törmätään sellaiseen ongelmaan, ettei kohteeseen tehdyistä mitoituksista ole tallella tarpeeksi tarkkoja laskelmia. Tästä voi aiheutua ongelmia, jos suunniteltu järjestelmä ei toimi eikä voida osoittaa millaisiin laskelmiin järjestelmän toiminta-arvot perustuvat. Tarkoitus olisikin tulevaisuudessa lisätä työssä tehty Excel-laskin osaksi malliprojektia. Tällöin tämän työn Excelin laskut löytyvät projektista riippumatta samasta paikasta, ja tehtyihin laskelmiin on tarvittaessa helppo viitata myös projektin päätyttyä.

Näiden lisäksi kehitetty Excel sisältää tasopiirustusten tarkistuslistan. Listan on tarkoitus toimia laadunvarmistusmenetelmänä ja projektin tasopiirustuksien tarkastuksen seuranta-työkaluna. Tasopiirustuksien tarkastuslista hakee Excelin laskenta sivuilta automaattisesti ne systeemit, joille on suoritettu mitoituslaskentaa. Tarkastuslista lajittelee haetut systeemit järjestykseen niiden nimen perusteella ja esittää kullekin systeemille suositeltavia tarkastustoimenpiteitä. Jokaiselle tarkastustoimenpiteelle voidaan osoittaa vastuuhenkilö, joka kuittaa toimenpiteen valmiiksi sen suoritettuaan. Kuvassa 1 on esitetty kuvankaappaus luodun Excelin IV-verkoston tarkastustoimenpide sivusta.

Systeemi	Toimenpide	Vastuuhenkilö	Kuittaus	Arvo	Päiväys	Erityishuomiot
Suodata <input type="text"/>						
301	TK painetarkastelu (Pa)	mlii	Valmis	400	8.4.2020	
	PK painetarkastelu (Pa)		Valmis	450	8.4.2020	7.315 450Pa (vetokaappiverkosto)
	Ilmamäärätarkastelu	mlii	Valmis		5.4.2020	
	päätelaitekohtanen säädettävyyys		Kesken			
	Reittitarkastelu		Kesken			
	Eristeet	mlii	Valmis		5.4.2020	
	Palon/savunrajoitus huomioitu	mlii	Kesken			
	Tekstit	mlii	Valmis		5.4.2020	
	Laitetunnukset ja positiot	mlii	Valmis		5.4.2020	
	Äänitarkastelut	mlii	Valmis		5.4.2020	
	Verkoston puhdistettavuus	mlii	Kesken			
	Huoltovälit	mlii	Valmis		5.4.2020	
	Mitoitusvara huomioitu kanavistossa	jhaa	Kesken			
	LVI-sähköistystiedot	jhaa	Kesken			
	node ID:t	jhaa	Valmis		6.4.2020	
	Viivatyytit	jhaa	Kesken			
		jhaa	Kesken			
	IV-koneiden mitoitukset	jhaa	Kesken			
	Systeemien nimet	jhaa	Kesken			

Kuva 1. Excel laskimen IV-järjestelmien tarkistuslista systeemille 301.

4 Jatkokehitys

Taloteknisessä suunnittelussa esiintyy valtava määrä laskentaa, jonka monimutkaisuus ja laajuus riippuu tarkasteltavasta kohteesta. Yleisimmin suunniteltavissa kohteissa tekniikka on suhteellisen yksinkertaista ja helposti mitoitettavissa. Tällaisia yksinkertaisia kohteita voivat olla esimerkiksi toimistorakennukset, ravintolat, varastot jne. Tässä työssä toteutettu laskin soveltuu ainoastaan näiden yksinkertaisten, yleisimmin esiintyvien kohteiden LVI:n mitoitukseen. Teknisesti haastavimmissa kohteissa, kuten sairaaloissa tai lääketeollisuuden laitoksissa, joudutaan onnistuneen mitoituksen saamiseksi tekemään monimutkaisempaa laskentatyötä. Esimerkkinä tällaisesta monimutkaisemmasta laskennasta voidaan pitää erikoisjärjestelmien kuten höyrylaitoksien tai sairaala-kaasuverkostojen mitoitusta.

Laskin ei nykyisessä tilassaan myöskään ota kantaa oleskelutilassa sijaitsevien laitteiden mitoituksiin. Näitä kenttälaitteita koskeva mitoitus on keskeisessä osuudessa kohteeseen suoritettavassa laskennassa, ja niiden kautta määräytyvätkin verkoston pääkomponenttien mitoituservot. Tuomalla kenttälaitteista tieto osaksi laskinta voitaisiin järjestelmien pääkomponenttien mitoitustiedot hakea suoraan kenttälaitteiden tiedoista. Laskimeen voitaisiin esimerkiksi lisätä tilakohtaiset lämpöhäviöt ja ilmamäärälaskelmat, jolloin pääkomponenttien mitoitustiedot voitaisiin hakea tieto ilmamäärästä ja lämmitystehontarpeesta näiltä välilehdiltä.

LVI-suunnittelutyössä erilaisten ratkaisujen hinnat ja kannattavuus on suuressa osuudessa järjestelmävalintoja tehdessä. Varsinkin energian hinnan jatkuvan kasvun myötä laskimeen olisi hyvä integroida tarvittavat laskentakaavat, joilla voitaisiin suorittaa energiakustannus vertailuja järjestelmille

5 Yhteenveto

Tässä työssä oli tarkoituksena luoda kattava talotekninen mitoituslaskin, jolla voidaan yhtenäistää osaston sisäinen mitoituslaskenta. Excelin on tarkoitus toimia rajapintana tasopiirustuksien ja laiteluetteloiden välillä. Laskimella pyritään varmistamaan se, että tiedot, jotka syötetään laiteluetteloihin, perustuvat oikein suoritettuihin laskelmiin. Samalla varmistetaan, että laskennasta jää projektin päätyttyä selkeä dokumentti, jolla pysyttään osoittamaan, mihin suunnitelmissa ja laiteluetteloissa esiintyvät mitoitusarvot perustuvat.

Kehitetyllä laskimella onnistuu taloteknisten verkostojen pääkomponenttien mitoitus. Tässä tapauksessa pääkomponenteilla tarkoitetaan puhaltimia, verkostojen kiertopumpuja, paisunta-astioita, vedenjäähdytyskoneita, lämmönsiirtimiä sekä kaukolämpöverkon säätöventtiileitä. Laskin laskee kullekin komponentille laiteluetteloon sijoitettavat arvot suunnittelijan syöttämällä lähtötiedoilla. Samalla Excel laskin ohjeistaa suunnittelijaa, monimutkaisempien mitoituslaskujen tekemisessä.

Excel toimii myös suunnitteluohjelmalla piirrettyjen tasojen laadunvarmistustyökaluna. Laskin on toteutettu siten, että se luo jokaisen lasketun systeemin perusteella systeemi-kohtaisen tarkastuslistan. Tarkastuslistassa on esitetty tarkastustoimenpiteitä, jotka olisi hyvä suorittaa kullekin kuvalle ennen kuvien tulostamista. Esimerkiksi jos laskimen laskenta sivulle lisää puhaltimen 301, niin tarkistus välilehdelle ilmestyy myös 301 systeemi. Samalla systeemin yhteydessä listataan ne tarkastustoimenpiteet, jotka olisivat suositeltavaa suorittaa kullekin systeemille.

Tarkoituksena olisi tuoda tuotettu Excel osaksi malliprojektia, näin voitaisiin saada suu-rehko varmuus siitä, että osaston kaikki suunnittelijat käyttävät sitä mitoituksissa. Ennen, kuin laskin voidaan siirtää osaksi malliprojektia, tulee sitä vielä kehittää laitetoimittajien kanssa. Lisäksi laskin pitää ottaa käyttöön tosielämän projektin mitoituksessa ja todentaa, että mitoitukset voidaan toteuttaa laskimella yrityksen laatu järjestelmän mukaisesti.

Lähteet

- 1 Sitowise. Verkkoaineisto. Sitowise Oy. <<https://www.sitowise.com/fi/sitowise/yri-tys>>. Luettu 23.3.2020
- 2 Ilmavaihdon perusteet. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. <<https://www.sisail-mayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>>. Luettu 23.3.2020
- 3 Sandberg, Esa. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointiteknikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy
- 4 Ilmansuodattimien en iso 16980 -luokituksen mukaisen suodatinluokan valinta yleisilmanvaihdon sovelluksiin, toinen painos. 2018. Verkkoaineisto. Eurovent. <https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/eurovent_rec_4-23_-_selection_of_en_iso_16890_rated_air_filter_classes_-_second_edition_-_2018_-_fi_-_web.pdf>. Luettu 7.4.2020
- 5 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanosta ilmanvaihtokoneiden ekologisen suunnittelun vaatimusten osalta. Verkkoaineisto. Euroopan Komissio. <<https://op.europa.eu/fi/publication-detail/-/publication/a65efd48-747b-11e4-b593-01aa75ed71a1/language-fi>>. Luettu 21.4.2020
- 6 Lönnstrom Jyrki. 2020. Avainasiakastiimin päällikkö. FläktGroup Finland OY. Keskustelu: 14.4.2020
- 7 Sandberg, Esa 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointiteknikka osa 2. Helsinki: Talotekniikka-julkaisut Oy
- 8 Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus (LVI-11-10472). 2011. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy.<<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2011-10472>>. Luettu 15.3.2020
- 9 Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Energiategollisuus. Julkaisu K1/2013.
- 10 Calculation authority valve kvs kv cv coefficient pressure loss. Verkkoaineisto. Mecaflux. <<https://www.mecaflux.com/en/autorite%20de%20vanne%20kv%20kvs%20cv%20et%20coefficient%20de%20perte%20de%20charge.htm>>. Luettu 15.3.2020
- 11 Säätoventtiilin valinnan perusteet. Verkkoaineisto. Konwell. <<https://www.konwell.fi/fi/blogit/kuinka-hankkia-saatoventtiili>>. Luettu 15.3.2020
- 12 Säätopiirien säätäminen. Verkkoaineisto. Vantaan LVI-yhdistys ry. <<http://vantalvi.fi/wp-content/uploads/2014/05/ta-k%3%84sikirja-s%3%a4%3%a4t%3%b6piirien-s%3%a4%3%a4t%3%a4minen-2011.pdf>>. Luettu 15.3.2020

Lämpölaajeneminen

Lämpölaajenemiskertoimet vedelle ja vesi-etyleeniglykoliseoksille.

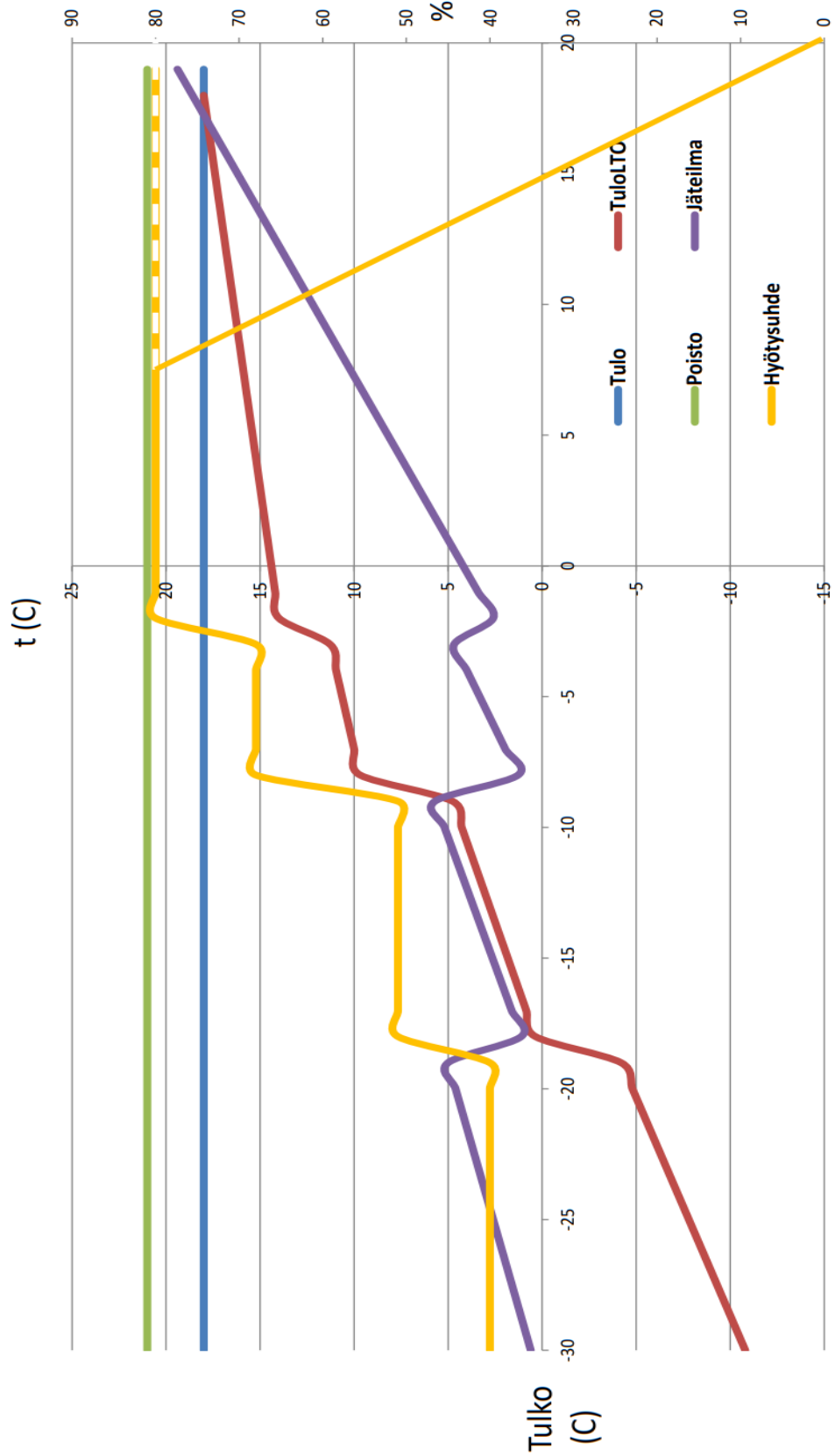
Laitoksen mitoitus- lämpötila °C	Lämpölaajenemiskerroin a			
	Vesi %	Vesi-glykoliseos 30 % %	40 % %	50 % %
10	0,04	0,96	1,40	1,69
20	0,18	1,40	1,88	2,18
30	0,44	1,88	2,38	2,72
40	0,79	2,39	2,92	3,28
50	1,21	2,94	3,50	3,89
60	1,71	3,52	4,12	4,54
70	2,28	4,15	4,77	5,22
80	2,96	4,81	5,47	5,94
85	3,21	5,15	5,84	6,31
90	3,59	5,52	6,21	6,70
95	3,94	5,88	6,60	7,10
100	4,35	6,26	6,99	7,51
105	4,74	6,65	7,39	7,92
107	4,99	6,90	7,65	8,19
110	5,15	7,06	7,82	8,36
120	6,06	7,89	8,69	9,25
130	6,94	8,78	9,61	10,20

Lämpölaajeneminen

Lämpölaajenemiskertoimet vedelle ja vesi-propyleeniglykoliseoksille

Laitoksen mitoitus- lämpötila °C	Lämpölaajenemiskerroin a			
	Vesi %	Vesi-glykoliseos 30 % %	40 % %	50 % %
10	0,04	0,66	1,07	1,56
20	0,18	1,07	1,53	2,07
30	0,44	1,52	2,04	2,62
40	0,79	2,03	2,59	3,22
50	1,21	2,59	3,20	3,88
60	1,71	3,20	3,87	4,58
70	2,28	3,88	4,58	5,36
80	2,96	4,61	5,36	6,17
85	3,21	5,00	5,77	6,61
90	3,59	5,41	6,20	7,07
95	3,94	5,82	6,65	7,52
100	4,35	6,26	7,11	8,01
105	4,74	6,71	7,59	8,50
107	4,99	6,91	7,78	8,71
110	5,15	7,19	8,08	9,03
120	6,06	8,19	9,12	10,11
130	6,94	9,25	10,23	11,27

Lohkosulatuksen vaikutus vastavirtalämmönsiirtimen hyötysuhteeseen



Puhaltimen mitoitusosuus Excel laskimen IV-laskenta välilehdeltä. Harmaat solut ovat laskimen laskemia arvoja, valkoiset käyttäjän syöttämiä ja punaiset solut varoittavat korkeista arvoista.

Konetunnus	Systemi	mitoitettava ilmamäärä (m ³ /s)	Kanavistopaine mitoitettava (Pa)	Käyttöön otettava kanavistopaine	IV-koneen painehäviö (Pa)	Puhaltimen paineenkorotus (Pa)	Puhaltimen kokonais hyötysuhde (%)	SFP (kWh/m ³ /s)	Puhaltimen sähköteho (kW)
TK	301	4,9	400	300	600	1000	0,68	1,34	7,5
PK	301	4,8	450	350	400	850	0,68		5,5
TK	302	4,7	500	400	600	1100	0,68	1,41	7,5
PK	302	4,6	400	300	400	800	0,68		5,5
TK	303	3,9	500	400	500	1000	0,68	1,21	5,5
PK	303	4,0	350	300	430	780	0,68		4,0
TK	304	1,7	500	400	500	1000	0,68	1,21	2,2
PK	304	1,3	400	300	350	750	0,68		1,5
TK	305	2,9	400	300	500	900	0,68	1,37	4,0
PK	305	3,0	400	300	400	800	0,68		4,0