



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tomi Kaukiainen

Ilmajäähdytteisen nestejäähdyttimen lohko- ja putkistosuunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

9.11.2020

Tekijä Otsikko	Tomi Kaukiainen Ilmajäähdysteisen nestejäähdyttimen lohko- ja putkistosuunnittelu
Sivumäärä Aika	41 sivua 9.11.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	energiatekniikka
Ohjaajat	lehtori Janne Nuotio tuotekehityksen esimies Kari Jääskeläinen
<p>Insinööriyön tavoitteena oli perehtyä ilmajäähdysteisten nestejäähdyttimien lohko- ja putki-reitityksen suunnittelun työvaiheisiin. Aiheeseen syventyminen on tapahtunut kokoneempien suunnittelijoiden haastatteluiden, kirjallisten lähteiden ja käytännön töiden kautta. Työssä perehdytään myös jäähdytinsuunnittelun teoriaan, komponentteihin, materiaaleihin ja Fincoil LU-VEn malliston eroihin tukemaan osaamista ja ymmärrystä. Lopputuloksena on kyky mallintaa erilaisia jäähdytinlohkoja ja niiden putkistokiertoja.</p> <p>Työ tulee toimimaan eräänlaisena perehdyttävänä ohjeistuksena uusille suunnittelu- ja tuotekehityspuolen työntekijöille. Yrityksen sisäisiä kirjallisia toimintaohjeita ei ole päivitetty nykyisen tuoteportfolion mukaisiksi ja suurin osa suunnittelun työkaluista on vaihtunut. Tiedon murusia on kerätty eri osastojen väliltä ja pyritty nitomaan ne yhteiseksi selonteoksi aihealueen rajoissa pysyen.</p> <p>Yrityksen omistajavaihdoksen myötä toimiston tuote- ja suunnittelutiedon hallintajärjestelmä on vaihtunut toiseen. Työssä havainnollistetaan, kuinka hallintajärjestelmän kirjastoa käytetään tukena 3D-mallintamisessa ja suunnittelutyön hallinnassa. Työssä avataan myös reitityskokoonpanomallin nimeämisen logiikkaa ja sen tunnistetietojen täyttämistä, joiden avulla muut työntekijät voivat tehokkaammin löytää hakemiaan tiedostoja järjestelmästä. Opinnäytetyössä esitellään muutama kehitysidea nimikkeiden nimeämislogiikkaan ja indeksointiin.</p>	
Avainsanat	jäähdytin, lohko, putkisto, reititys, lamelli, suunnittelu

Author Title	Tomi Kaukiainen Coil and Piping Design of an Air-Cooled Liquid Cooler
Number of Pages Date	41 pages 9 November 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	Energy Production Technology
Instructors	Janne Nuotio, Senior Lecturer Kari Jääskeläinen, R&D Manager
<p>The aim of this thesis was to get acquainted with the work stages of coil and pipe circuiting design of air-cooled liquid coolers. Familiarization with the topic was conducted through interviews with more experienced designers, by reading written sources and doing practical work. This resulted in the ability to model a different radiator coils and pipe circuitings. The thesis also introduces theory of radiator design, components, material choices and key differences of Fincoil LU-VE's product line to support competence and understanding.</p> <p>The thesis will act as a guidance for new employees of the design and product development department. The company's internal written operating instructions have not been updated to reflect the current product portfolio and most of the design tools have changed. Data crumbs have been collected between different departments of the company and then combined into a report based on the topic area.</p> <p>Due to the change of ownership of the company, the product and design management system has been changed to another one in the R&D department. The thesis describes how the management system's library can be used as a support in 3D-modeling and design work control. This thesis also explains the logics of naming a new circuiting assembly model and inserting its identification information, which allows other employees to find data more efficiently in the library of the management system. The thesis also introduces a few development ideas for title naming logic and indexing.</p>	
Keywords	radiator, coil, piping, circuiting, fin, design

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tietoa yrityksestä Fincoil LU-VE	2
2.1	Fincoilin historia	2
2.2	Tänä päivänä ja toimitilat	3
3	Ilmajäähdytteinen nestejäähdytin	4
3.1	Toimintaperiaate	4
3.2	Tuotesarjat	6
3.2.1	Solar	7
3.2.2	Kustomoitava FBL-radiaattori	8
3.2.3	Alfa-V ja kustomoitava Solar Max	9
4	Rakenteet ja materiaalit	10
4.1	Putkien valmistus ja materiaalit	11
4.2	Lamellien valmistus ja materiaalit	12
4.3	Lamelliniput	14
5	Nestejäähdyttimen reititys	14
5.1	Lämmönsiirto-osan putkien reititys	14
5.2	Jäähdyttimen sijoitus	15
5.3	Kaksipiirinen jäähdytin	16
6	Jäähdyttimen mitoitus ja mallin valinta	17
7	Lohkon ja putkireitityksen suunnittelu manuaalisesti	18
7.1	Lamellien asettelu	19
7.2	Putkireititys	21
7.3	Jakotukin alikokoonpano	24
7.4	Reitityskokoonpanon nimeäminen	28
7.5	Liian pitkät nimikkeet ja ratkaisuehdotus	29

7.6	Reitityskokoonpanon indeksointi	31
8	Lohkon ja putkiston suunnittelu makrotökalulla	32
9	Reitityksen kokoonpanokuvan luominen	34
10	Putkireitityksen lämpötekkinen parantaminen	37
10.1	Putkituksen peilaus	37
10.2	Suora- ja hajaputkitus	38
11	Yhteenveto	39
	Lähteet	40

Lyhenteet

ANSI	<i>American National Standards Institute</i> . Yhdysvaltalainen standardisoimisjärjestö.
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i> . Amerikkalainen standardijärjestelmä.
ATEX	<i>ATmosphere EXplosibles</i> . EU-direktiivi, joka koskee välineitä ja työskentelyä alueilla, joissa käsitellään räjähdysvaarallisia aineita.
BOM	Bill Of Material. Osaluettelo.
DN	Putkikokojen nimellismittajärjestelmä.
HT	<i>High Temperature</i> . Korkean lämpötilan nestekierto.
HVAC	<i>Heat Ventilation Air Conditioning</i> . Kiinteistöjen, teknisten tilojen ja niiden laitteiden lämpö, vesi ja ilma -järjestelmät.
HVAC-R	<i>Heat Ventilation Air Conditioning and Refrigeration</i> . Kiinteistöjen, teknisten tilojen ja niiden laitteiden lämpö, vesi, ilma ja jäähdytys -järjestelmät.
IECEX	<i>International Electrotechnical Commission Explosive</i> . Kansainvälinen sähköteknisten tuotteiden komitea, joka sertifioi räjähdysvaarallisten laitteiden standardit.
LT	<i>Low Temperature</i> . Matalan lämpötilan nestekierto.
SAP	Toiminnanohjausjärjestelmä. Ohjelmisto.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aihealueena on ilmajäähdytteisen nestejäähdyttimen lohkon ja putkireitityksen suunnittelu ja sen työvaiheisiin perehtyminen. Työssä on tarkoituksena esitellä teoriaa lohko- ja reittisuunnittelusta ja soveltaa sitä yrityksen tuotteisiin. Työssä perehdytään myös siihen, miten suunnittelun työkalut nivoutuvat yrityksen tuote- ja suunnittelutiedon hallintajärjestelmään. Opinnäytetyö tehtiin pitkän linjan jäähdytinalmistaja Fincoil LU-VELLE.

Yrityksen sisäinen ohjeistusdokumentaatio uudistettiin nykyisen tuoteportfolion mukaiseksi perehdyttäväksi tietopaketti suunnittelu- ja tuotekehitysosaston uusille työntekijöille. Työn lähteenä on käytetty useita yrityksen kokoneempia työntekijöitä, ja tiedonkeruu on tapahtunut haastattelemalla heitä. Jäähdytinsuunnittelun teoriaa on täydennetty alan kirjallisuudella ja verkkoaineistolähteillä. Yrityksen teknistä myynti-insinööriä on haastateltu liittyen jäähdyttimen suunnittelua edeltävään mitoitusprosessiin.

Opinnäytetyössä perehdytään myös lohkojen ja putkitusten komponentteihin ja niiden materiaaleihin, sekä tuotemalliston keskeisimpiin eroavaisuuksiin eheämmän kokonaiskuvan saavuttamiseksi. Työssä käydään läpi muutamia esimerkkejä, miten nestejäähdytteisen ilmajäähdyttimen rakennetta voidaan suunnitteluvaiheessa lämpöteknisesti parantaa.

Työssä paneudutaan myös reitityskokoonpanonimikkeiden nimeämisen logiikkaan ja ohjelmistojen tuomiin rajoittaviin tekijöihin. Opinnäytetyössä on hahmoteltu muutamia ratkaisuehdotuksia näiden aihealueiden tiedossa oleviin ongelmiin. Työssä käsitellään myös, miten reitityksen indeksointi voitaisiin tulevaisuudessa tehdä.

2 Tietoa yrityksestä Fincoil LU-VE

2.1 Fincoilin historia

Fincoilin juuret johtavat vuoteen 1956, jolloin diplomi-insinööri Aulis Pakulan perustama yritys Pakula & Co alkoi valmistamaan autotallissaan ensimmäisenä Suomessa kuparialumiinisia HILE-lamellipattereita. Yrityksen ensimmäinen tavaramerkki Fincoil rekistrettiin vuonna 1967. Tavaramerkin nimi oli lyhenne sanoista finned coil, joka kääntyy suomen kielellä lamellielementiksi. Samana vuonna tehtiin yrityksen ensimmäiset vientikaupat Ruotsiin. [1, s. 1.]

Pakula myi yrityksen eteenpäin vuonna 1975 Puolimatka-yhtiön teollisuusryhmälle. Yrityskauppojen myötä nimi vaihdettiin muotoon Fincoil-teollisuus Oy. Samaan aikaan rakennutettiin tehdas Vantaan Ansatielle, jossa tilat sijaitsevat vielä nykyisinkin (kuva 1). Tuotanto-ohjelmaan kuuluivat tuolloin höyrytimet, lauhduttimet, ilmastointikojeet ja lämmönsiirtimet. Henkilöstöä Vantaan tehtaan lisäksi oli myös Mikkelissä ja Hollolassa. [2.]

Tehtaan omistajuus vaihtui uudestaan vuonna 1996, johtuen osittain Puolimatka-konsernin yrityskauppojen aiheuttamasta pirstaloitumisesta ja lamasta. Maailman johtaviin jäähdytysalan konserneihin lukeutuva yhdysvaltalainen Carrier otti yrityksen ohjokset käsiinsä. Yrityksen nimeksi asetettiin kansainvälisempi Fincoil. [1, s. 2.]

Vuonna 2007 yrityksen omistajuus siirtyi ruotsalaiselle Alfa Lavalille. Alfa Laval on suuri toimija virtaus-, lämpö- ja erotustekniikan saralla. Tehtaan nimeksi vaihdettiin Alfa Laval Vantaa Oy. Fincoil-tuotenimi on säilytetty tuotteissa koko historian ajan.



Kuva 1. Fincoil LU-VE:n Ansatie tehdas- ja toimitilarakennus.

Viimeisin yrityskauppa tapahtui vuonna 2019 keväällä, kun Fincoilin tehdas siirtyi italialaisperäisen LU-VE Groupin omistukseen. Yrityksen nimeksi asetettiin nykyinen Fincoil LU-VE Oy. LU-VE Group on monikansallinen jäähdytysalan konserni, jolla on 13 eri tuotantolaitosta ympäri maailmaa, ja sen päämaja sijaitsee Italian Ubaldossa [3]. LU-VE Group on maailman 3. suurin ilmajäähdytinvalmistaja.

2.2 Tänä päivänä ja toimitilat

Fincoil LU-VE Oy:n toimitilat sijaitsevat 1975 rakennetussa tuotantolaitoksessa Kehä III:n varrella Vantaan Ylästössä, ja kaikki yrityksen Suomen toiminnot tapahtuvat tällä Ansatie toimipisteellä. Yritys on yksi Euroopan johtavista teollisten ilmalämmönsiirtimien, kaupallisen jäähdytyksen ja HVAC-ratkaisujen komponenttivalmistajista. [4.] Suurin osa tehtaan tuotannosta koostuu ilmajäähdytteisten nestejäähdyttimien kokoonpanosta. Käyttökohteita ovat esimerkiksi voimalaitosprosessien jäähdytys, varastojen kylmätekniikka ja ilmastointijärjestelmien jäähdytys.

Yritys on Pohjois-Euroopan suurin jäähdytinvalmistaja. Tuotteita toimitetaan kaikkiin maanosiin. Yrityksen vuosittainen liikevaihto on noin 40 miljoonaa euroa, ja se työllistää

noin 130 henkeä. Näistä vajaa 80 henkilöä työskentelee tehtaan puolella ja loput toimistolla. Koska yrityksen päätoiminnot sijaitsevat kaikki saman katon alla, osastojen välinen yhteistyö sujuu dynaamisesti ja turhaa hierarkiaa välttäen. Ylin päätäntävalta tulee kuitenkin Italiasta konsernin johdolta. [1, s. 1.]

Tehtaan puolella suoritetaan materiaalien työstäminen, kokoonpano, lopputarkistukset ja logistiikkavalmistelut. Tehtaalla on kolme rinnakkaista kokoonpanolinjastoa, joista löytyy muun muassa osastot putkien ja lamellien työstämiseen. Tehdashallista löytyy myös muita yhteisiä osastoja kuten metallipaja, maalaamo, koeponnistuslaitteet, varastot ja logistiikkakeskus.

Materiaalit, komponentit ja tuotteet ovat usein hyvin raskaita, joten linjastot on varustettu useilla nostimilla ja nostopuomeilla läpi linjaston. Koneautomaatiota pyritään lisäämään, mutta suurin osa kokoonpanosta tehdään työntekijöiden operoimana.

Yritys tilaa alihankintaverkoston kautta komponentteja ja raaka-aineita ympäri maailmaa. Tuotekehitys- ja tutkimuslaboratorio sijaitsee tehtaan ja toimiston välitilassa. Tiloissa suoritetaan aktiivisesti tuotteiden mittauksia esimerkiksi ilmamäärien ja äänenpainetasojen osalta. Mittaukset ovat tukena, kun kehitetään esimerkiksi hiljaisempia ja energia- tehokkaampia jäähdyttimiä. Mittaustilastointia tehdään tuotekehityksen ja tutkimuksen lisäksi myös sertifiointien ylläpidon vuoksi. Esimerkiksi Eurovent vaatii säännöllisiä mittauksia yrityksen sisäisesti ja kerran vuodessa 3. osapuolen laboratoriotiloissa. [5.]

Toimiston puolella toimivat loput yrityksen osastoista: tuotekehitys- ja tutkimus, suunnittelu- ja tilausvalmistelu, markkinointi, myynti, asiakaspalvelu, laskutus, henkilöstöhallinto ja johto. Yrityksellä on myös lounasravintola toimiston yhteydessä.

3 Ilmajäähdytteinen nestejäähdytin

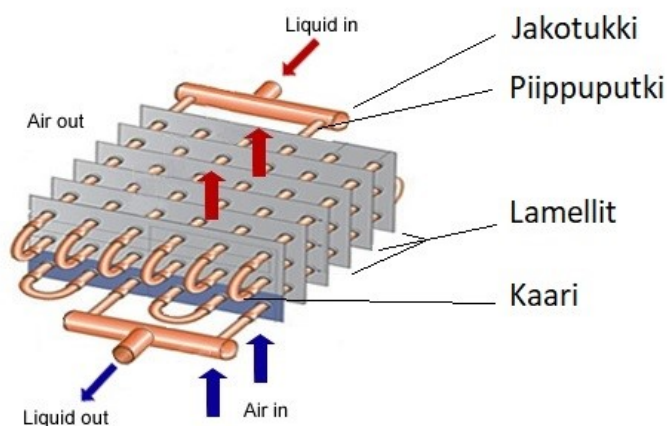
3.1 Toimintaperiaate

Ilmajäähdytteisen nestejäähdyttimen tarkoitus on viilentää kuumaa prosessinestettä hyödyntäen lämmönsiirron fysikaalisia ilmiöitä: kuljettumista (konvektio) ja johtumista

(konduktio). Nämä lämmönsiirron fysikaaliset ilmiöt pystytään saavuttamaan suhteellisen yksinkertaisella tekniikalla.

Prosessissa kuumentunut neste ohjataan paineistettuna jäähdyttimelle. Jäähdyttimen päädyssä oleva jakotukki ottaa nesteen vastaan ja jakaa sen pienempiin piippuputkiin, joista neste kulkeutuu lohkoputkiin. Putket kulkevat alumiinisen rei'itettyjen lamellilevyjen lävitse. Putket tekevät yleensä yhdestä kymmeneen (1...10) kierrosta lamellilevynipuissa. Kierrot toteutetaan lohkoputkien päihin juotettavilla kaariputkillilla. Kierrojen määrä suunnitellaan mm. vaaditun jäähdytystehon ja asennustilan mukaan. Kierron jälkeen putket yhdistyvät ulospäin lähtevässä jakotukissa, josta jäähdytetty neste jatkaa taas eteenpäin prosessikiertoon.

Jäähdytettävä neste kulkee siis putkissa horisontaalisesti lävistäen vertikaalisesti asetetut lamellilevyniput. Putkien ja lamellilevyjen yhdistelmää kutsutaan laitteen lohkoksi. Lamelliniput on pinottu niin, että ilma pääsee virtaamaan niiden välistä. Lamellien välityksiin on vakioitu muutamia jakoja, joiden avulla puhaltimen läpi virtaamaan ilmassaan ja jäähdytystehon määrään pystytään vaikuttamaan. Kuvassa 2 on eritelty lohkon ja putkiston tärkeimmät komponentit, sekä neste- (*liquid*) ja ilmavirran (*air*) kulkusuunnat.



Kuva 2. Ilmajäähdytteisen nestejäähdyttimen toimintaperiaatekuva [6].

Toimintaperiaate nojaa siis pakkokierteisen lauhduttimen tekniikkaan, jossa putkistossa virtaava kuuma neste pakotetaan viileän ilman läpi tehostetulla virtausnopeudella.

Kupariputkien lävistämät lamellilevyt lisäävät lämmönsiirron ripapinta-alaa ja näin ollen tehostavat ilmiötä. [5.]

Putkiston nestekierto menee aina koko jäähdyttimen pituisen matkan lävitse, mutta lamellilevyniput on jaettu osalohkoihin (kammio). Jokaista osalohkoa kohden on oma puhallin ja osalohkot jaetaan erilleen toisistaan välipäädyillä. Näin ollen saadaan mitoitettua jokaiselle puhaltimelle erillinen imu- ja puhallusalue.

Lohkon yläpuolelle kiinnitetyt aksiaaliset puhaltimet imevät ympäröivän ympäristön ilmaa laitteen alakautta, pakottaen sen kulkemaan lohkojen lävitse ja puhaltavat lohkojen läpi käyneen ilman ulos puhaltimien osoittamaan suuntaan. Jäähdyttimen kuoret ja puhallinkaulukset ohjaavat ilmavirran tehokkaasti jäähdytettävän lohkon läpi ja kauas imupuolesta.

Puhaltimien koolla, pyörimisnopeudella ja valituilla siipikonstruktioilla päästään myös vaikuttamaan jäähdytystehoon ja moniin muihin seikkoihin, kuten äänitasoon ja energiankulutukseen [5].

Puhaltimien pyörimisnopeutta säädetään yleensä nestekierron lähtevän nesteen lämpötilan mukaan. Puhaltimien säätö tapahtuu jäähdyttimen sähkökeskuksessa olevalla taaajuusmuuttajalla tai puhaltimien logiikkakeskuksella [5].

Yritys ei valmista tai myy itse prosessineiteitä, vaan tarjoaa ainoastaan tekniikan niiden jäähdyttämiseen. Nestejäähdytin voidaan räätälöidä asiakkaan toiveiden mukaan erilaisille prosessineiteille. Jäähdytettäväksi kiertoaineiksi soveltuvat synteettiset öljyt, käsitelty vesi ja useat kylmäaineet.

3.2 Tuotesarjat

Yrityksen jäähdytinmallisto voidaan jakaa karkeasti neljään eri tuotesarjaan. Kokoluokittelussa pienimmästä suurimpaan ne ovat Solar, FBL, Alfa-V ja Jumbo. Jäähdytinmallit määräytyvät lohkon leveyden mukaan. Jokaista mallia voidaan räätälöidä asiakkaan tarpeiden mukaan, jotta optimaalinen jäähdytys saavutetaan.

Kaikki mallit ovat skaalautuvia pituuden suhteen, leveydet on valittu puhaltimien vaatiman tilantarpeen ja kuljetusmittojen rajoitusten mukaisesti.

Oikean jäähdyttimen valintaan vaikuttavat asiakkaan luomat vaatimukset muun muassa käyttötarkoituksen, jäähdytystehon, laitteistolle suunnitellun pinta-alan, prosessinesteiden ja kustannuksien pohjalta. Kustomointia tehdäänkin lähes poikkeuksetta tilauksille.

3.2.1 Solar

Solar S -jäähdyttimet ovat yrityksen kompaktein ja vakioiduin tuotemalli. Ne soveltuvat hyvin esimerkiksi kauppojen ja varastoinnin viilennykseen, HVAC-jäähdytykseen ja kevyempään teollisuuteen. Tuote on hyvin räätälöitävissä asiakkaan tarpeisiin. Se on Eurovent-sertifioitu tuote ja samalla yrityksen suosituimpia malleja. Eurovent on eurooppalainen akkreditoitu HVAC-alan sertifikaatti, joka noudattaa EN ISO/CEI 17065:2012 -standardeja. [6.]

Solar S -jäähdyttimen pieni koko ja hiljainen toimintaaani antavat enemmän vaihtoehtoja jäähdyttimen sijoituspaikalle, joten tuote voidaan asentaa esimerkiksi lähelle asutusta. Tuotemallin edullisen hinnan, suuren tehon ja matalan sähkönkulutuksen suhde on markkinoiden kärkiluokassa [5].

Solar SR -malli (kuva 3) on teollisempaan tarkoitukseen suunniteltu kustomoitava jäähdytin, joka perustuu S-sarjan mitoitukseen. Tuotteen rakenne on suunniteltu kovempaa käyttötarkoitusta ja kuormittavampaa ympäristöä varten. Komponentit ovat paremmin suojattuja ja metallikuori on paksumpaa materiaalia kuin S-sarjassa. Malli sopii hyvin esimerkiksi moottoreiden jäähdytykseen. Solar SR -mallia voidaan valmistaa myös kaksiertoisena, jolloin yhdellä yksiköllä voidaan jäähdyttää kahta eri prosessinestettä kerralla. [7.] Nesteet eivät sekoitu kierrossa.



Kuva 3. Fincoil Solar SR -malli [7].

Solar-tuotesarjan erikoisuutena on SE-malli, joka soveltuu vaarallisiin, palonarkoihin ja räjähdysherkkiin ympäristöihin. Malli on suunniteltu täyttämään ATEX-direktiivien ja IECEx-standardien vaatimukset. Sen ulkonäkö poikkeaa muista yrityksen jäähdyttimistä, puhaltimet on sijoitettu lohkon alle. [8; 9.]

Solar-mallien pituus voidaan suunnitella kahdesta kolmeentoista (2...13) metriin. Puhaltimia voi olla kokonaisuudessaan yhdestä neljääntoista (1...14) kappaletta, yhteensä kahdessa eri rivissä. Puhaltimien halkaisijan voi valita 0,9- tai 1,2-metrinenä. Solar-mallien etuna on myös edullisemmat logistiikkakustannukset. Se on yrityksen ainut tuotesarja, jota voidaan rahdata myös kylkiasennossa, näin saadaan esimerkiksi yhteen laivakonttiin mahtumaan jopa kolme tuotetta kerralla. Mallit voidaan asentaa myös kylki-asentoon. [5.]

3.2.2 Kustomoitava FBL-radiaattori

FBL-mallisto on suunniteltu raskaaseen teollisuuteen, kuten voimalaitoksiin tai paperi- ja massatehtaisiin. Tyypillisiä käyttökohteita voi olla voimalaitoksen lauhdutus, diesel- ja kaasumootorijäähdytys, turbiinijäähdytys tai prosessiteollisuuden jäähdytyskenttä. Malliston rakenteet ovat järeämpiä ja kookkaampia verrattuna Solar-sarjaan ja FBL-mallit sopivat hyvin haastaviin olosuhteisiin. Puhallinkokoja malliin on valittavana kahdessa eri koossa: 1,2 metrin tai 1,8 metrin halkaisijalla. [10.] Mallin kuljetus ja asennus tulee olla vaaka-asennossa [5].

FBL-mallit voidaan räätälöidä ASME-standardeja vastaaviksi, jolloin tuote läpäisee Pohjois-Amerikan ja muiden ASME-maiden markkinoiden säädökset ja direktiivit.

FBL-malleja voi tilata standardileveydellä 2,6 metrisenä tai merikonttiin mahtuvalla 2,3 metrin leveydellä. Lohko-osion leveyttä voidaan vapaammin kustomoida kuin muissa malleissa. Erikoisuutena myös mahdollisuus valita ruostumattomasta teräksestä valmistettu putkisto. Kummankin materiaalin tapauksessa putkisto voidaan toteuttaa kaksikerrotoisena. Puhaltimia voidaan asettaa maksimissaan 4 kappaletta 1,8 metrin puhaltimilla tai 7 kappaletta 1,2 metrin puhaltimilla. Puhallinrivejä FBL-mallistossa on aina yksi. [10; 11.]

3.2.3 Alfa-V ja kustomoitava Solar Max

Alfa-V (kuva 4) ja Solar Max mallistot eroavat muusta tuotesarjasta V-muotoisella lohkoasettelulla. Näin saadaan kahden lohkon jäähdytysteho mahdutettua pienempään lattia-pinta-alaan. Mallit ovat erittäin massiivisia ja suunniteltu raskaaseen teollisuuteen ja kaupalliseen jäähdytykseen. [12.] Alfa-V ja Solar Max -mallit ovat varsin samankaltaisia ulkonäöltään, mutta Solar Maxin laajempi kustomoitavuus luo eroa mallien välillä.



Kuva 4. Alfa-V (kuvassa) ja Solar Max -tuotesarjoissa lohkot on aseteltu v-kirjaimen muotoisesti [12].

Puhaltimia voidaan valita kolmesta eri koosta ja ne useimmiten asetetaan kahden riviin. Maksimimäärä puhaltimille kaksirivisessä mallissa on 22 kappaletta [12]. Tämä on suurin

koko, jota Fincoil LU-VE:n tehtaalta voidaan logistisesti toimittaa. Laitteen korkeus on vajaa kolme metriä [5].

4 Rakenteet ja materiaalit

Fincoil LU-VE:n valmistamat ilmajäähdytteiset nestejäähdyttimet ovat kaikki pohjimmiltaan lamellilämmönsiirtimiä. Tässä tapauksessa voidaan puhua myös lamellilauhduttimista. Mallien lohkot kasataan samalla tekniikalla läpi tuotesarjan. Jäähdyttimen lohkon lävistävät putket laajennetaan mekaanisesti kiinni lamellien kauluksiin.

Laajentamistekniikalla valmistetut lamellilauhduttimet tehdään sileäpintaisista kupariputkista ja alumiinilamellilevyistä. Nämä materiaalit ovat hyvin muokattavissa, niiden lämmönjohtavuusarvot (kuva 5) ja työstettävyys ovat erittäin hyviä ja ne kestävät korroosiota hyvin. Raaka-ainekustannuksien ja lämmönjohtavuusarvojen suhde kohtaa myös parhaiten näillä materiaaleilla.

Johtuminen

TABLE 1-1

The thermal conductivities of some materials at room temperature

Material	$k, \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}^*$
Diamond	2300
Silver	429
→ Copper	401
→ Gold	317
→ Aluminum	237
Iron	80.2
Mercury (l)	8.54
Glass	0.78
Brick	0.72
Water (l)	0.607
Human skin	0.37
Wood (oak)	0.17
Helium (g)	0.152
Soft rubber	0.13
Glass fiber	0.043
Air (g)	0.026
Urethane, rigid foam	0.026

Kuva 5. Eri materiaalien lämmönjohtavuusarvoja huoneenlämmössä [13, s. 20].

4.1 Putkien valmistus ja materiaalit

Kupariputket tilataan tehtaalle kerittyinä rullina, oiotaan ja leikataan sopivan muotoisiksi aihioiksi. Kupariputkien yhdistäminen juottamalla on nopeaa ja helppoa. Juottamista suorittavan henkilön ei usein tarvitse osata vaativampia hitsaustaitoja, ja työ käy sarjatuotantoon sopivalla nopeudella. Erikoisemmissa projekteissa tai asiakkaan pyynnöstä voidaan järjestää juottajaksi myös luokkajuotosluokituksen suorittanut henkilö.

Kupariputket juotetaan yhteen hopeaa sisältävällä fosforikuparijuotteella. Hopealla saadaan liitokseen lisää sitkeyttä, jota tarvitaan kylmlaitteistoissa tyypillisesti ilmenevän värinän ja lämpölaajenemisen kestämiseen. Fosfori taas muodostaa kuparin kanssa yhdisteen, joka poistaa metallipinnoissa olevan oksidikerroksen ja toimii kovajuotoksessa juoksutteena. [14, s. 109.]

Kupari sietää hyvin monenlaisia prosessineiteitä kuten vettä, öljyjä ja useita eri kylmäaineita, ilman että korroosiota tai muita rakennemuutoksia putkessa pääsisi tapahtumaan. Kupari materiaalina on myös antibakteerista, ja se on huono kasvualusta homeelle tai homesienille, joita kosteudessa muuten voisi syntyä. Jäähdyttimien ei haluta puhaltavan epäpuhtauksia ilmaan tai olevan muutenkaan epähygieenisinä. Yrityksen tuote saattaa päätyä esimerkiksi lähelle ruokateollisuutta tai ilmastointilaitetta.

Asiakkaan tilauksesta voidaan lohkon putkitus valmistaa myös ruostumattomasta teräksestä. Ruostumattomaan teräkseen päädytään yleensä, jos jäähdyttimen kylmäaineena halutaan käyttää ammoniakkia [5].

Yrityksen valmistamissa jäähdytinlohkoissa käytetään useimmiten joko 12,7 x 0,32 mm tai 12,7 x 0,38 mm:n kupariputkityyppejä. Ensimmäinen luku on putken halkaisija, ja seuraava kertoo seinämän paksuuden. Ne ovat DIN1787-standardin mukaisesti kylmävedettyjä ja pehmeäksi hehkutettuja putkia, jotka ovat sileäpintaista standardoitua jäähdytinlaatua. [15, s. 18.]

Jakotukeissa ja sen osissa käytetään myös DIN1787-standardin mukaista kuparilaatua. Tukkiputkien kokohaarukka on huomattavasti isompi, DN32:sta DN125:een. Tukkien osat ja niiden liitokset ovat suunniteltu painelaitedirektiivin (2014/68/EU (PED))

mukaisesti. PED määrittelee muun muassa tukin ainepaksuudet, pätylaipat, yhteiden vaatimukset, rivin ensimmäisen piippuputken sijoituksen, maksimi käyttöpaineen, koeponnistuspaineen ja käyttölämpötila-alueen. [16.]

4.2 Lamellien valmistus ja materiaalit

Lamellit tilataan rullamuotoon pakattuina alumiinilevyinä. Tehdaskoneilla saadaan rullasta suoristettua ja leikattua sopivan kokoisia pala-aihoita. Lamelleille tehdään rei'ityksen yhteydessä poimutus eli korrugointi (kuva 6) ulkopuolisen lämmönsiirron parantamiseksi.

Poimutuksella pyritään lisäämään lamellin pinta-alaa. Isompi lämmönsiirtopinta-ala tehostaa lämmön haihtumista lamelleilta. Poimutetut lamellit luovat myös pientä lisäturbulenssia jäähdyttimen läpi kulkevaan ilmavirtaan [5]. Yrityksessä on päädytty tietynlaiseen muotoiluun, joka tuo riittävän lisän lämmönsiirto-ominaisuuksiin, mutta pitää lamellin rakenteen kiinteänä.

Terävät muodot tai syvät kuvioinnit voivat kostautua poimutuksessa. Liikaksi kasvatetun pinta-alan kääntöpuoleksi voi tulla ongelmat puhtauden ja ilmavirran määrän kanssa. Monimutkainen poimutuskuvio voi kerätä ylimääräistä likaa ja olla hankala puhdistettava, mikä taas vaikuttaa suoraan jäähdyttimen läpi kulkevaan ilmavirtaan [5].



Kuva 6. Alumiinilamelli korrugoinnilla ja sulatussauvojen läpiviennillä.

Lamellilevyihin voidaan tehdä myös ylimääräisiä reikiä (kuva 6) sulatussauvoja varten. Näillä voidaan estää lamellivälkien jäätyminen erityisen viileissä olosuhteissa. Sulatussauvat ovat sähkövirralla toimivia vastuksia, joiden avulla lamellipatteri pidetään sulana. [5.]

Rei'ityskone tekee läpiviennit niin, että reikien ympärille jää levyn toiselle puolelle muutamien millien korkea kaulus. Tämän kauluksen tarkoitus on ylläpitää alumiinilamellien välillä jakoa, että ilma pääsee lamellinippujen lävitse, sekä lujittaa putken ja lamellin kiinnittymistä toisiinsa. Kauluksen korkeudella vaikutetaan suoraan lamellijakoon. [17, s. 210.]

Lamellilevyjen välitykset liikkuvat yrityksen käytännöissä 2,3 mm ja 4 mm:n välillä. Yleisin lamellijako on 2,3 mm. Lamellijakoon vaikuttaa lämmönsiirtoarvojen ja lohkon ilmavirtojen määrän lisäksi jäähdyttimen tuleva sijoituspaikka. Mikäli sijoituspaikan ilma sisältää mahdollisesti isohkoja partikkeleita, on hyvä valita hieman vakiota suurempi lamellijako.

Alumiinin lisäksi on myös muutamia muita materiaaleja, joilla tuotetta voidaan räätälöidä erilaisiin käyttökohteisiin ja olosuhteisiin. Näitä ovat epoksilla pinnoitettu alumiini, magnesiumalumiini ja kupari. Lamellien paksuudella voidaan vaikuttaa jäähdyttimen lämmönsiirtoarvoihin. Paksumpi lamelli tehostaa lämmönsiirtokerrointa [5]. Lamellilaatuja on saatavilla muutamilla eri paksuuksilla 0,14 mm ja 0,25 mm:n väliltä:

- Al: hyvä työstettävyys, hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet, edullinen, kevyt [18].
- AlEp: pinnoitettu, astetta parempi korroosionkesto, hyvin pieni negatiivinen vaikutus lämmönsiirtoon, kestävä, sopii ruoka- ja meriteollisuuteen [19].
- AlMg: korkea ruosteen-, alkaleiden- ja korroosionkesto, astetta kalliimpi, voidaan käyttää ruostumattoman teräksen sijaan, pinnoite kestää hyvin muotoilua ja iskuja, sopii hyvin meriteollisuuteen [20].
- Cu: korkea korroosionkesto, erinomaiset lämmönsiirto-ominaisuudet, kallis, hyvä muokattavuus, pitkä käyttöikä, antibakteerinen, painava, ei siedä teollisuuden päästöjä tai ilman epäpuhtauksia [21].

4.3 Lamelliniput

Jonoon kasattuja lamelleja sanotaan lamellinipuksi. Lamelliniput kasataan aina tilauksen mukaan, ja kasattuna nippu saa laatikkomaisen muodon. Yrityksellä on tiettyjä vakiomitoja lamellinippujen leveyden, korkeuden ja syvyyden suhteen.

Asiakkaan tilaus määrittää tuotemallin ja tuotemalli määrittelee tuotteen leveyden. Tuotteen leveys ohjaa aina käyttämään tietyn levyisiä lamellinippuja. Lamellinipun pituuksilla ja syvyyksillä on kuitenkin huomattavasti enemmän variaatioita. Korkeuteen vaikuttaa putkiston reittien ja kiertojen määrä. Syvyydellä taas voidaan vaikuttaa lohkon ja koko jäähdyttimen pituuteen. Lamellinippu on modulaarinen osa, joten niitä yhdistelemällä voidaan toteuttaa hyvin paljon eri kokoisia ja tehoisia jäähdyttimiä skaalautuvasti. [5.]

Eri kokomäärittelyiden lisäksi lamelliniput jaotellaan kahteen eri luokkaan: F5 ja 4012. Ulkoisesti katsottuna nämä eroavat toisistaan siinä, kuinka paljon niissä on ripapinta-alaa kunkin läpimenevän putken ympärillä.

F5-lamelliniput ovat suurta nestekiertoa vaativille jäähdyttimille. Lohkossa kulkevien putkien välillä on vähemmän ripapinta-alaa. Putkia saadaan siis mahtumaan enemmän, mutta pienemmän lämmönsiirtoalueen kustannuksella. F5 on usein parempi vaihtoehto isoille kokoonpanoille. [5.]

4012-lamelliniput ovat vahvimmallaan pienemmän nestekierron jäähdyttimissä. Putkien välillä on enemmän ripapinta-alaa lämmönsiirrolle, mutta putkia mahtuu pienempi määrä. Tämä vaihtoehto on hyvä, kun halutaan saavuttaa suuri lämpötilaero tulevan ja lähtevän nesteen välillä. [5.]

5 Nestejäähdyttimen reititys

5.1 Lämmönsiirto-osan putkien reititys

Nestejäähdytintä suunnitellessa on oleellista ottaa huomioon nesteen virtausjärjestelyt. Jäähdyttimen viilentämä neste ei saa päätyä takaisin tuloputkistoon, ja sen

mahdollisimman esteetön virtaus lähtöputkiin on taattava. Tämän takia nesteen tuloputkukki on aina oltava ylhäällä. Tästä seuraava putkitus lohkojen sisällä on koko ajan laskeva ja lähtötukki kierron alimmalla tasolla. [16.]

Nestekierron virtausta tuetaan pumpulla. Nestejäähdyttimen toiminnan tehostamiseksi on nesteen tultava paineistettuna. Paineistuksella pystytään vaikuttamaan nesteen mas-savirtaan ja viilennysjärjestelmän tehon säätöön.

Yrityksen valmistamat jäähdyttimet toteutetaan lähes poikkeuksetta vastavirta- tai risti-virtaperiaatteella. Ilmavirtaus puhaltaa alhaalta ylös ja putkessa kulkeva neste ohjataan päinvastaisesti ylhäältä alas.

Vastavirtaisella lämmönsiirtimellä saavutetaan korkeampi rekuperaatioaste kuin myötä-virtaisella, mikä tarkoittaa parempaa lämmönsiirron tehokkuutta ja lämpötilahyötysuh-detta. Ristivirtaperiaatteella toimivia jäähdyttimiä ovat kaikki laitteet, joissa neste menee lohkon läpi vain kerran ilman kiertoja. [16.]

5.2 Jäähdyttimen sijoitus

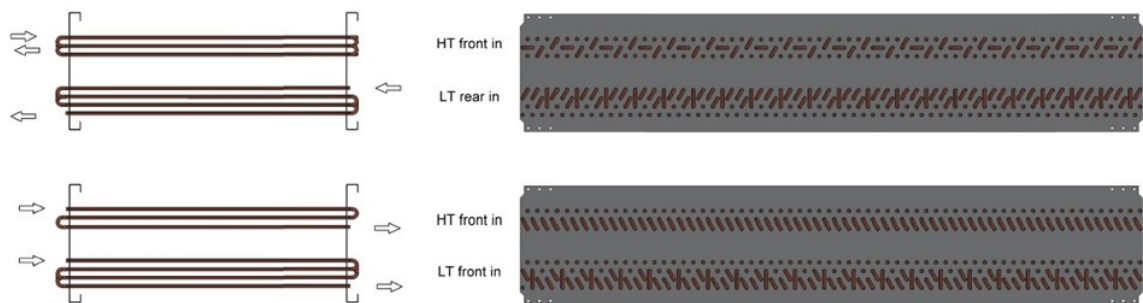
Jäähdytin tulee asentaa alta vapaasti hengittävän rakenteen tai jalkojen päälle, jotta ilma pääsee vapaasti virtaamaan lohkoon ja pois puhaltimelta. Ilmajäähdytteisen nestejäähdyttimen sijoittamisessa on otettava huomioon seuraavia asioita:

- Lohkon lämmönsiirto-osassa lämmennyt ilma ei saa kulkeutua takaisin laitteen imupuolelle.
- Ilman virtaus laitteen ympäriltä ja alta imuosaan on oltava esteetön, ilmavirtauksen pitää tulla tasaisesti joka puolelta laitetta jakautuakseen oikein lohkoihin.
- Ilman poistosuunnassa ei saa olla painehäviöitä aiheuttavia esteitä.
- Matalan pyörimisnopeuden jäähdyttimissä ja etenkin V-mallisissa laitteissa on otettava tuulen vaikutus huomioon. [17, s. 213.]

5.3 Kaksipiirinen jäähdytin

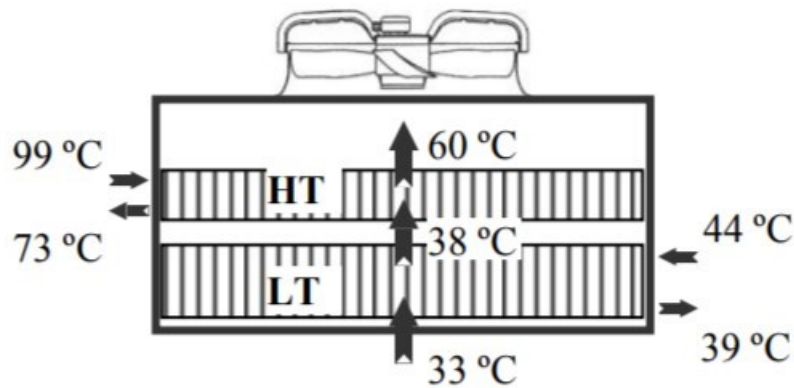
Toisinaan asiakas haluaa tilata jäähdyttimen kaksipiirisenä. Tällä tarkoitetaan sitä, että jäähdyttimen lohkoissa kulkee kaksi erillistä jäähdytettävää putkistoreittiä (kuva 7). Yhdellä jäähdytinkokoonpanolla voidaan näin jäähdyttää samanaikaisesti kahta erilaista prosessinestelaatua tai tuottaa kahta eri jäähdytyslämpötilaa. Nesteet eivät sekoitu kierroissa.

Periaatteessa kaksikiertoisen jäähdyttimen lohko- ja putkitusrakenne on samanlainen kuin yksikiertoisessa, mutta putkireittejä menee laitteen sisällä kaksi. Kierrot erotellaan toisistaan lyhenteillä LT (*Low Temperature*) ja HT (*High Temperature*). HT-kierto sijoitetaan aina lohkoissa päällimmäiseksi.



Kuva 7. Esimerkkejä kaksikiertoisesta putkituksesta.

Jäähdytettävistä nesteistä kuumempi ohjataan HT-kiertoon. HT-kierrolla saavutetaan myös suurempi ΔT , eli suurempi lämpötilaero tulevan ja lähtevän nesteen välillä. LT-kiertoon ohjataan alemman lämpötilan neste. Ympäristön lämpötilassa oleva ilma kulkee ensin LT-kierron läpi ja on huomioitavaa, että ilma lämpenee jäähdytysprosessissa ennen saapumista HT-kiertoon (kuva 8). [22, s. 5.]



Kuva 8. Esimerkki lämpöarvoista kaksikiertoisessa jäähdyttimessä [21, s. 5].

LT-kiertoon ei saa ohjata liian kuumaa nestettä, koska LT-kierrossa lämmennyt poistuva ilma on HT-kiertoon saapuvaa ilmaa, eikä se saa olla liian lämmintä. LT-kierrolla ei kuulu tavoitella suurta lämpötilaeroa jäähdytysprosessissa. LT-kierron jäähdytyspinta-ala on suunniteltava isommaksi, jotta saadaan HT-kiertoon saapuva ilma pidettyä tarpeeksi viileänä. [22, s. 5.]

Verrattuna kahta erillistä jäähdytintä yhteen kaksikiertoiseen jäähdyttimeen voidaan säästää asennuspinta-alaa, puhaltimien määrää, sähkönkulutusta ja muita rakennemateriaalikustannuksia [22, s. 5–7]. Kaksikiertoisen jäähdyttimen yksikköhinta on kuitenkin korkeampi.

6 Jäähdyttimen mitoitus ja mallin valinta

Jäähdyttimen mitoitus ja mallin valinta tapahtuu yrityksen myyntiosastolla. Yrityksen myyjät ovat korkeasti koulutettuja teknisiä asiantuntijoita. Osaston laskennassa käytetään erikoisrätälöityä algoritmipohjaista ohjelmistoa, jonka lähdedata perustuu lämpöfysiikkaan, yrityksen sisäisiin mittaustuloksiin ja laskelmiin. Mittauksia suoritetaan jatkuvasti ja tuloksia päivitetään järjestelmään säännöllisesti. [23.]

Ohjelmisto on pyritty tekemään käyttäjäystävälliseksi, ja sen käyttö on verrattain suoraviivaista. Lähtötietoja syötetään pudotusvalikoiden ja numeeristen arvojen kautta.

Jäähdyttimen mitoitus aloitetaan useimmiten vaaditun jäähdytystehon määrästä, joka ilmoitetaan kilowatteina. Jos asiakas ei tiedä vaadittavaa jäähdytystehoja (Q), se voidaan laskea (kaava 1) muiden lähtötietojen avulla. Näihin lähtötietoihin tarvitaan massavirta (\dot{m}), jäähdytysaineen ominaislämpökapasiteetti (c_p), sekä jäähdytysaineen lämpötilaerotus sisään- ja ulostulosta (ΔT).

$$Q = \dot{m} \times c_p \times \Delta T \quad (1)$$

Ympäröivä käyttölämpötila (*ambient air*) on arvo, joka täytyy olla tiedossa jäähdytintä mitoittaessa. Mitä lähempänä ulospäin lähtevän nesteen lämpötila ja ympäröivä käyttölämpötila ovat toisiaan, sitä enemmän tarvitaan jäähdytyspinta-alaa. [23.]

Asiakkaan antamat lähtötiedot ja vaatimukset ohjaavat valintaa hyvin pitkälle. Toisinaan asiakkaalla on tarkkoja vaatimuksia esimerkiksi asennuspinta-alan, äänitason tai jäähdytysaineen suhteen. Jos toiveena on esimerkiksi hyvin hiljainen äänitaso, puhaltimien kierrosluku joudutaan pitämään matalana. Kierrosluvun laskiessa jäähdyttävä ilmamäärä laskee. Tällöin saatetaan tarvita pidempi kierto jäähdytysaineelle tai asentaa useampi jäähdytin rinnan kytkettynä, jotta haluttu äänentaso saavutetaan vaadittua tehoa menettämättä. [23.]

Jäähdyttimen tulevan kohdemaan sähköverkon taajuus ja olosuhteet on myös hyvä tietää. Mitoitusohjelmaan voidaan asettaa myös monia muita yksityiskohtaisia parametreja haluttaessa.

Tietojen syöttämisen jälkeen ohjelmisto listaa parhaiten vaatimuksia vastaavat laitekokoonpanot ja arvioi niiden hinnat. Listaa voidaan suodattaa ja parametreja vielä säätää parhaan lopputuloksen löytämiseksi. [23.]

7 Lohkon ja putkireitityksen suunnittelu manuaalisesti

Lohkon ja putkireitityksen 3D-mallit ja mittakuvat luodaan yleensä käyttäen SolidWorksin makrotyökaluja. Erikoisemmat tilaukset ja nyt yrityksessä vallitseva ohjelmistojen

siirtymävaihe ovat tuoneet enemmän manuaalista työskentelyä mallintamiseen ja mittakuvien luomiseen. Makrotyökalusta kerrotaan myöhemmässä luvussa 8.

Seuraavissa suunnitteluvaiheissa on käytetty eri tuotemallien lohko- ja putkitusosia havainnollistamaan mahdollisimman hyvin suunnittelua, eivätkä vaiheet siis seuraa minäkään yhden tietyn mallin valmistumista. Esimerkit perustuvat yksikiertoisen jäädyttimen mallintamiseen.

7.1 Lamellien asettelu

Lohkon ja putkireitityksen suunnittelu toteutetaan SolidWorks-nimisellä 3D-mallinnusohjelmalla. SolidWorksiin avataan tyhjä kokoonpanoprojekti. Suurin osa komponenteista ja alikokoonpanoista on jo mallinnettu yrityksen käytäntöjen mukaisesti ja tuotu Teamcenter-kirjastoon.

Lohkon ja putkituksen suunnittelu aloitetaan etsimällä Teamcenteristä tilauksen arvoja vastaava lamellinippu. Lamellinipuille on määritelty projektisuunnitelmassa kokoluokitus, lohkon putkikerrosten määrä, lamellin materiaali ja paksuus sekä lamellijako. Teamcenteristä etsitään samalla myös lamellinipun mittoihin ja reiitykseen sopiva päätylamelli. Reikiä on oltava pystyrivissä yhtä paljon kuin lohkossa suunniteltuja putkikerroksia. Putkireittien määrästä voi tarkistaa paljon reikiä tulee olla vaakarivissä.

Tuodaan SolidWorksin kokoonpanoon halutunlainen lamellinippu ja siihen sopiva päätylamelli. Lamelliniput ovat mallinnettu laatikon muotoisiksi säästämään tietokoneen grafiikkatehoja. Haluttu puhallinkammioden määrä sanelee asetettavien lamellinippujen määrän. Yksi tai kaksi vierekkäistä lamellinippua täyttää yhden kammion. Yhden kammion ilmavirtauksesta huolehtii yksi puhallin. Jos jäädytyn on kaksirivisille puhaltimille suunniteltu, yhden kammion ilmavirtauksesta vastaa kahden puhaltimen kokonaisuus. Mitoitus määrittelee kammioden määrän jäädyttimessä.

Kammiot erotellaan toisistaan päätylamelleilla. Päätylamellit ovat lamellia paksumpaa materiaalia ja ne ovat osa laitteen lujuusteknistä ratkaisua. Niiden tarkoituksena on antaa lohkolle mekaanisesti vahva rakenne, ja ne helpottavat lohkon kasaamista.

Lohko alkaa päätylamellilla, jonka jälkeen tulee vuorotellen lamelinippu ja päätylamelli. Lohko päättyy myös päätylamelliin. Päätylamellit ja lameliniput ovat identtisiä koko lohkon pituuden. Järjestys on siis esimerkiksi päätylamelli – kammio – päätylamelli – kammio – päätylamelli.

Lamelinippujen ja päätylamellien asettelu tehdään SolidWorksin 3D-virtuaaliavaruudessa. Tilaan voidaan luoda näkymättömiä tasoja (*planes*), joiden avulla kokoonpanoa pyritään nopeuttamaan ja helpottamaan. Voidaan asettaa esimerkiksi kolme eri tasoa määrittelemään päätylamellin paikka. Tasolla voidaan määrittellä tällöin päätylamellin paikka suhteessa avaruuden horisontaalisen (X), vertikaalisen (Y) ja syvyyden (Z) kenttien mukaan.

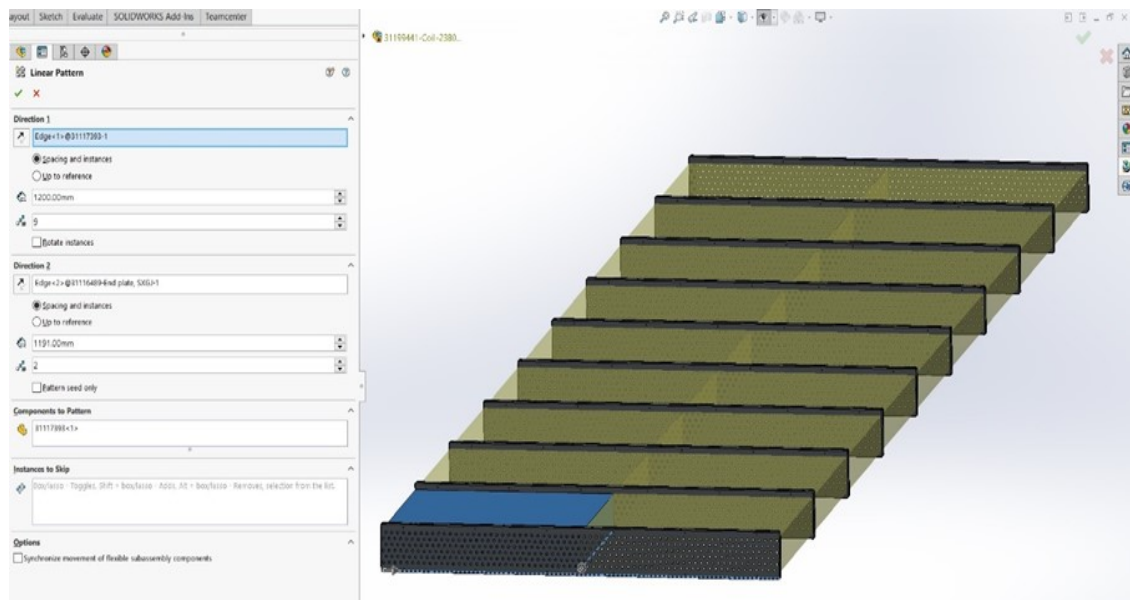
Kun on määritelty yhden päätylamellin sijainti tasojen avulla, lamelinippu voidaan yhdistämiskomennolla (*mate*) kohdistaa samoille tasolle, mutta parametrilla säätää lamelinippu alkamaan 2 mm syvemältä kuin päätylamellin syvyys on. Näin ollen lamelinippu alkaa siitä mihin päätylamelli loppuu, eikä mallinnuksessa tule päällekkäisyyksiä. Yhdistämiskäskyn samankeskisyystoiminnolla (*concentric*) voidaan kohdistaa reikien sijainnit vastaamaan toisiaan päätylamellin ja lamelinipun välillä. Toiminto voidaan toistaa vielä toisella reiällä, jos asettelun kohdistaminen sitä vaatii.

Eri komponenteille voidaan tallettaa omia tasoja niiden alakansioihin. Kokoonpanon hierarkiapuun ylimmälle tasolle voidaan myös tallettaa omia tasoja. Näin voidaan järjestellä eri kappaleiden tasoja, niin että niihin on helppo palata jälkikäteen, tai että kollegan on helppo muokata kokoonpanoa. Kappaleita voidaan yhdistää toisiinsa lähestulkoon pelkkien tasojen avulla.

Kappaleiden yhdistäminen tasojen avulla on kannattavaa, etenkin kun 3D-mallin kokoonpanolle joutuu tekemään muutoksia. Kun kappaleet yhdistetään (*mate*) toisiinsa kappalepintojen mukaan ja kokoonpanosta halutaan vaihtaa komponentti, SolidWorks hukkaa helposti aiemmin luodut yhteydet kappaleiden ja alikokoonpanojen välillä ja kokoonpano menee palasiksi. Tasojen (*planes*) avulla voidaan tehdä pysyvämpiä ja joustavampia yhdistämistasoja, jotka eivät ole komponentista tai sen tietyistä pinnoista riippuvaisia.

Kun lamelinippu ja päätylamelli on saatu yhdistettyä, niitä voidaan monistaa, niin että saavutetaan halutun lohkon koko. SolidWorksin lineaarisella monistustyökalulla (*linear patterning*) voidaan valita halutut kappaleet, suunta, etäisyydet ja kopioiden määrä. Ohjelma hahmottelee tulevien kopioiden sijainnit ja muodot keltaisella ennen komennon suorittamista. Näin voi tarkastella onko monistaminen menossa kohti haluttua suuntaa ja sopivalla välityksellä, ennen käskyn lopullista suorittamista.

Kuvassa 9 on esimerkki lineaarisen monistustyökalun käytöstä. Lamelinippuja monistetaan yhdellä komennolla yhdeksän kammion pituudelle ja kahdelle puhallinriville. Päätylamellit on monistettu lamelinippujen väleihin erottamaan osalohkot toisistaan.



Kuva 9. Lamelinippujen ja päätylamellien monistaminen SolidWorksilla.

7.2 Putkireititys

Päätylamellien ja lamelinippujen asettelun jälkeen voidaan alkaa suunnitella jäähdyttimen putkireititystä. Projektisuunnitelma kertoo putkituksen kiertojen määrän, putkien halkaisijat sekä liitoskohtien suunnat.

Ensin voidaan tuoda kokoonpanoon yksi mitoiltaan ja materiaaliltaan sopiva suora putkimalli. Putkimalli sovitetaan taso- ja yhdistämiskomentoja käyttäen lamellien reiityksen lävitse, mieluiten alimman rivin kulmaan. Koska lamellien reiitykset alkavat eri kohdista vuororivein, on hyvä laittaa myös toinen putki lohkon läpi yhtä riviä ylempää. Tämä tulee auttamaan putkien monistamisessa. Ensimmäinen putkirivi alkaa 10 mm:n ja seuraava 30 mm:n päästä päätylamellin kylkireunaa.

Reikien välimatkat toisiinsa ovat 35 mm tai 40 mm, riippuen siitä onko jäähdytin mitoitettu F5- tai 4012-mittojen mukaan. Kun kaksi putkea on saatu paikalleen, ne voidaan monistaa lineaarisella monistustyökalulla täyttämään lamellien kaikki reiät. Lohko sisältää nyt päätylamellit, lamelliniput ja niitä horisontaalisesti lävistävät lohkoputket.

Seuraavaksi suunnitellaan nesteen kulku putkistossa. Reittien lukumäärä, lohkon päällekkäisten putkikerrosten määrä, kiertojen määrä ja yhdeliitoksien suunnat ovat projektisuunnitelmassa kerrottuna. Kuten aiemmin sanottu, ilma puhalletaan alhaalta ylös, joten nestekierto menee ylhäältä alas. Tällä vastavirtaputkituksella saadaan aikaan paremmat lämmönsiirto-ominaisuudet.

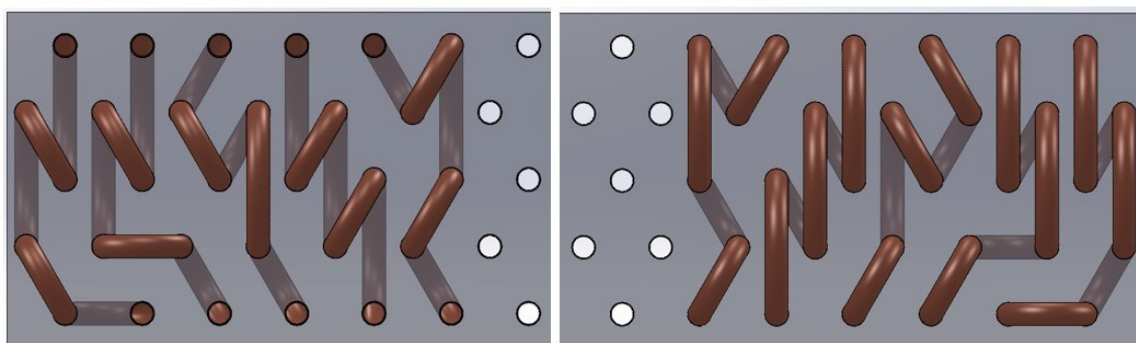
Yrityksellä on valtava määrä aiemmin suunniteltuja mallinnuksia, joista löytyy usein tarpeeksi lähellä oleva malliesimerkki nestekierrolle. Jos malliesimerkkiä ei löydy, voidaan kierto suunnitella itse. Todella harvassa ovat kuitenkin tilanteet, joissa ei löydy mitään vastaavanlaista mallia tai piirustusta esimerkiksi. Teamcenteriin pyritään kirjastoimaan kaikki mahdolliset komponenttimallit ja alikokoonpanot nopeampaa tiedonhallintaa ja mallintamista varten. Mallien tiedostot sisältävät myös yksityiskohtaista metadataa mm. komponenttien ominaisuuksista ja yhteensopivuuksista.

Voidaan avata projektisuunnitelmaa vastaavan näköinen reititys toiseen ikkunaan ja katsoa sen kaarista, minkälainen reitti voisi olla järkevä. Vastaavanlaisen putkireitityksen löytämiseen tietokannasta voidaan käyttää apuna niiden nimeämiskäytäntöä. Nimikoodi kertoo mallin putkikerrosten määrän, kiertojen määrän ja reittien määrän.

Nestekierto muodostetaan kokoonpanossa asettelemalla erilaisia kaariputkia suorien lohkoputkien päihin. Kaaret haetaan Teamcenter-kirjastosta ja tuodaan SolidWorksin kokoonpanoon.

Kaarien asettelu tapahtuu tuttuun tapaan yhdistämis- ja tasokomentojen avulla. Kaarille on talletettu omia tasoja putkihalkaisijalle, yhdistämispinnalle ja kulma-asetteluun. Putkihalkaisijalla saadaan kaaren ja lohkoputken halkaisijan keskipisteet kohtaamaan. Yhdistämispinnalla saadaan kaari kohdistettua oikealla puolelle lohkoa ja lamelleja. Kulma-asettelulla saadaan säädettyä kaaren kulma sopivaksi.

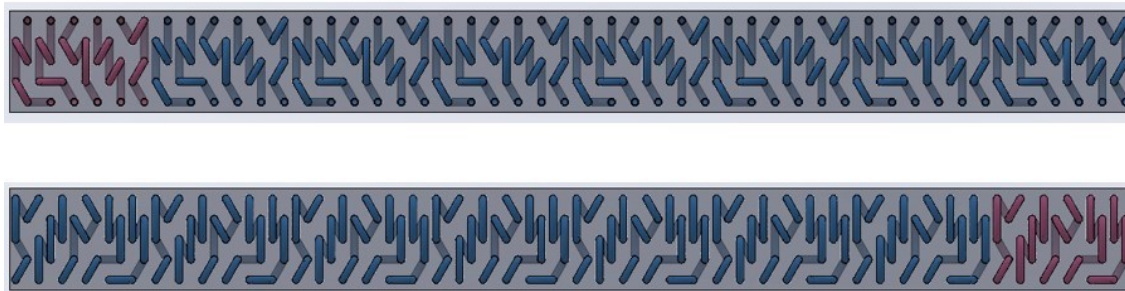
Kokoonpanolle on asetettu omat tasot etu- ja takapuolen päätylamelleille, sekä pystytassossa oleva nollakulma. Reitityksen hahmottamiseksi on hyvä asettaa päätylamellit läpinäkyviksi (kuva 10). Näin pystytään näkemään reitit kokonaisuudessaan yhdestä päädyistä katsottuna. [24.]



Kuva 10. Kaariputkien asettelu lohkon etu- ja takapuolelta katsottuna.

Kaarien asettelu aloitetaan päätylamellin kylkireunasta. Kaarien asetteluun kuvio alkaa usein muutamien pystyrivien jälkeen toistumaan, joten on järkevää tuoda ja yhdistää vain ensimmäinen rypäs kaaria ja hoitaa loput lineaarisella monistustyökalulla (kuva 11).

Kaarituksia voi tulla jäähdyttimen takapuolelle tai etu- ja takapuolelle. Lämpötekniinen laskenta, kiertojen määrä ja asiakkaan toiveet päätytukkien suunnasta määräävät pitkälti kaaripuolien sijoittelut. Kuvassa 11 kaarituksia tulee jäähdyttimen molemmille puolille. Ilman kaaria jäävät putket ovat nestekierron sisään- ja ulostuloja varten. Nestekierto syötetään ja kerätään tässä tapauksessa lohkon etupuolelta.



Kuva 11. Kaariputket monistettuna lohkon koko leveydelle etu- ja takapuolelta katsottuna.

7.3 Jakotukin alikokoonpano

Seuraavaksi kokoonpanoon tehdään jakotukit (tukit). Tukkien ideana on tuoda jäähdytettävä neste, jakaa se putkistoihin tasaisesti ja kerätä se talteen seuraavaa prosessivaihetta varten. Kokoonpanoon luodaan kaksi kappaletta tukkiälikokoonpanoja: sisään- ja ulostulevalle. Tukin pituus määräytyy lohkon leveyden mukaan. Sisään- ja ulostulotu-keilla on samat DN-mitat ja putkireittien määrät ovat yhteneväiset.

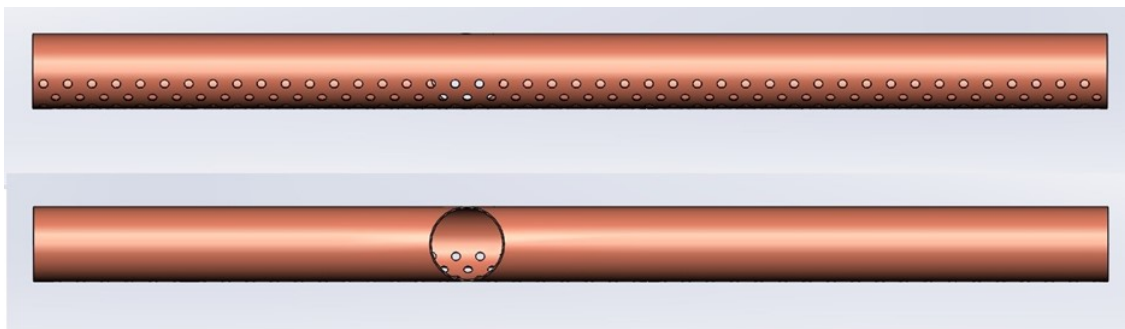
Tukin halkaisija ja seinämän paksuus ovat standardoituja DN-mittoja. Tapauskohtainen DN-mitta on laskettu myynnissä mitoitusohjelmistolla nesteen massavirran mukaan. Ohjelma tietää nesteen massavirran liikkeelle optimaalisen nopeushaarukan putkessa ja mitoittaa tukin DN-mitan sen mukaan. Sopiva virtausnopeus putkessa ehkäisee putkien kulumista sisäpuolelta. Sopiva nesteen virtausnopeus mitoitetaan jäähdyttimen kiertoai- neen, sen paineen ja halutun jäähdytysmäärän mukaan. [16.]

Tukkiputken pituus määrittelee jakotukin pituuden. SolidWorksilla voidaan avata jakotu- kin alikokoonpanon tukkiputki erilliseen käsittelyyn. Sen pituus voidaan uudelleen mää- ritellä kaksoisklikkaamalla tukkiputkea ja asettamalla sen pituusmitta halutunlaiseksi. Kun halutaan muuttaa tukkiputken DN-mittaa, säädetään putken halkaisija ja seinämän paksuus standardoitujen DN-arvojen mukaisiksi.

Jakotukkien nestekierron jakavat ja keräävät piippuputket tarvitsevat lohkon putkituk- seen sopivat rei'itykset. Ensinnäkin on otettava huomioon, kuinka monta pystyriiviä piip- puputkia tukkiputkeen tulee. Useimmiten rivien määrä on yhdestä kolmeen. Tukkiputken reunaan tehdään rivien ensimmäiset reiät, tiettyjen yrityksessä vakioitujen halkaisija- ja

kulmamittojen mukaan. [24.] Reiät monistetaan lineaarisella monistustyökalulla lohkon sisään- ja ulostulojen mukaisiksi (kuva 12).

SolidWorksin leikkaustyökalulla voidaan tehdä reikä myös tukkiputken yhdettä varten (kuva 12). Reiän halkaisija määritellään tukkiputken DN-mitan mukaan. Yhdereiät sisään- ja ulostulotukeissa tulee sijoittaa niin, että niiden yhdeliitoskohdat jäävät tarpeeksi kauas toisistaan.



Kuva 12. Tukkiputken piippureikien ja yhdenputken reikä mallinnettuna.

Tukkiputkiin luodaan vielä yhdet lisäreiät, jotka laitetaan joko tukin yhdeputkeen tai tukkiputkeen. Näihin reikiin sovitetaan myöhemmässä vaiheessa tukkien palloventtiilit. Tulotukin venttiili tulee ilmausta varten ja lähtötukissa se on nestetyhjennystä varten. [16.]

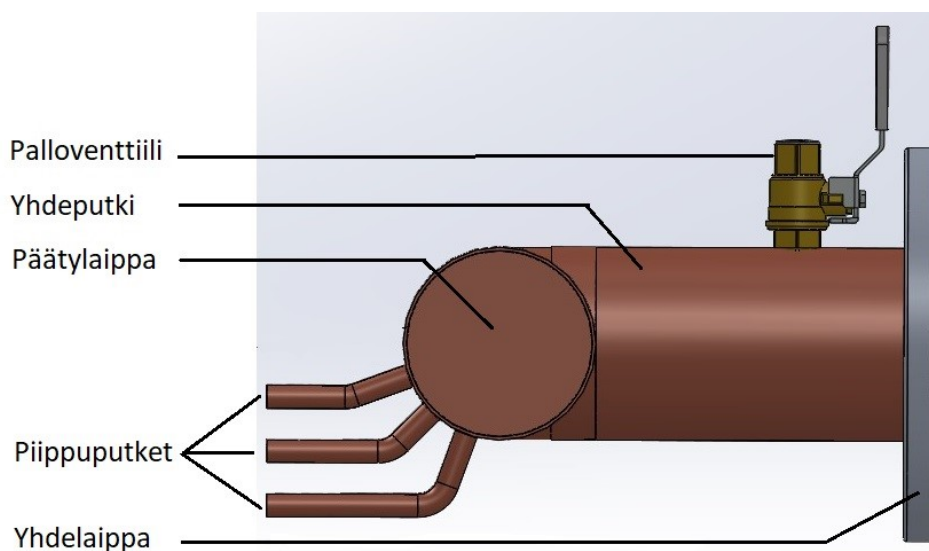
Yritys valmistaa omien vakiomittojensa mukaan useissa eri astekulmissa, kokoluokissa, halkaisijamitoissa ja pituuksissa olevia piippuputkia. Jakotukin alikokoonpanoon tuodaan sopivat piippuputket ja yhdistetään ne ensimmäisiin reikiin, minkä jälkeen ne monistetaan tukkiputken reikien mukaan koko pituudelle.

Piippuputkia on useita variaatioita, joten niitä on usein yhdessä SolidWorksin komponenttiedostossa useampi konfiguraatio. Näin voidaan nopeasti vaihtaa piippuputken mallia alikokoonpanossa. Sivuperspektiivistä katsoen piippuputkien päiden tulisi joka pystyrivillä tulla yhtä kauas tukkiputken pystyhalkaisijasta. Kuvasta 13 voi nähdä miten piippuputket päättyvät samalle etäisyydelle joka pystyrivillä.

Piippujen lisäksi tukkiputkeen kiinnitetään yhdeputki ja siihen sopiva yhdelaippa (sovitelaippa). Nämä osat tukissa ovat jäähdyttimen prosessikiertoon yhdistäviä

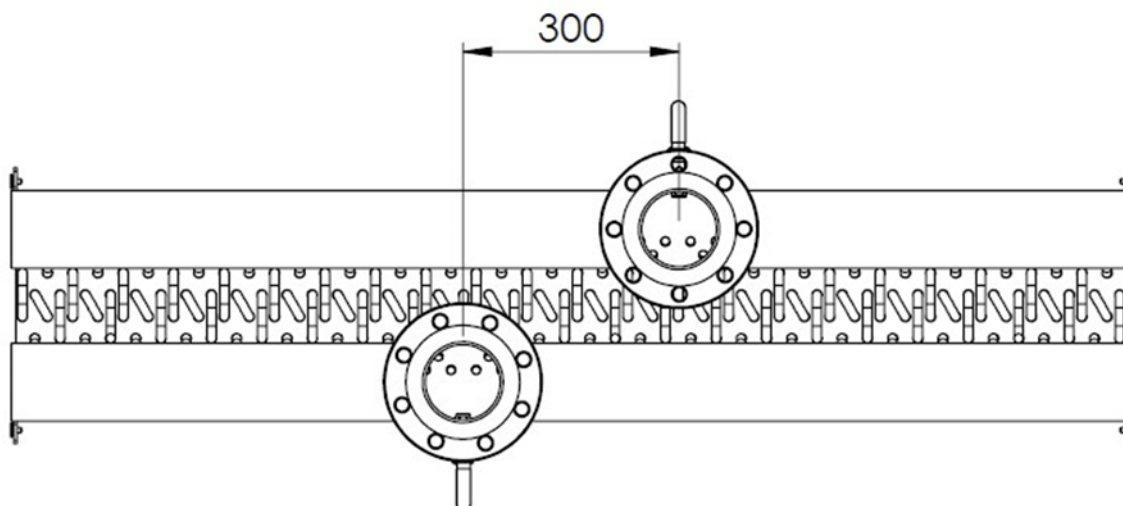
komponentteja. DN-mitan mukaan asetetaan sopiva yhdeputki ja siihen sopiva ANSI-standardin mukainen yhdelaippa. Yhdeputken pituus voidaan valita tarpeen mukaan.

Lopuksi tukkien päihin lisätään vielä sopivat päädyt. Päädyn materiaali ja paksuus tulee olla yhteneväinen tukkiputkien kanssa.



Kuva 13. Jakotukkikokoonpano sivuperspektiivistä katsottuna.

Tukkeja sovittamalla pääkokoonpanoon voidaan tarkastella jäävätkö ne riittävän kauas toisistaan. Jakotukkien välillä tulisi olla useita senttimetrejä ilmatilaa, ettei lämmönsiirtoa tapahdu tukkien välillä ja että tukkien yhteiden ympärillä on tarpeeksi varaa juotosten ja liitoskytkentöjen mahdollistamiseksi. [5.] Päätytukkien yhteet tulee olla 300 mm:n päässä toisistaan niiden halkaisijoista katsottuna (kuva 14).

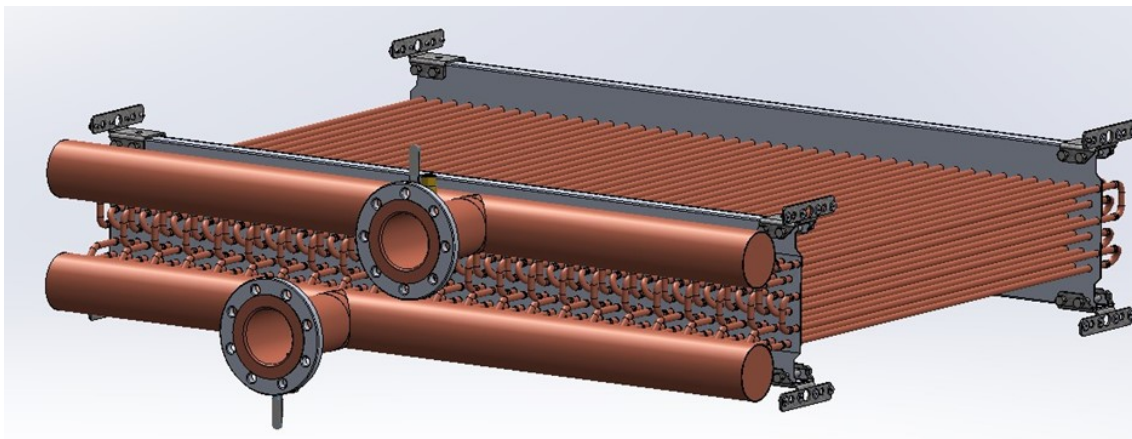


Kuva 14. Tukkien sijoittelu lohkon päätyyn.

Jakotukkeihin voidaan tehdä myös kaksi yhdettä per tukki. Tämä on tyypillistä, kun jäähdytintä mitoitetaan suurille massavirroille. Jakotukin muu kokoonpanorakenne pysyy tuolloin kuitenkin samanlaisena.

Sisään- ja ulostulevan nesteen jakotukit voidaan sijoittaa myös lohkon etu- ja takapuolelle. Tämä voi olla joissain tapauksissa käytännöllisempi ratkaisu jäähdyttimen sijoittelun tai putkikiertojen kannalta. Jakotukkien puolet määritellään mitoitusvaiheessa.

Kun tukit sopivat pääkokoonpanon lohkoputkistoon, voidaan ne kiinnittää yhdistämiskomennolla. Päätylamellien kulmiin asetetaan vielä kannakkeet sivulevyjen tulevaa kiinnitystä varten (kuva 15).



Kuva 15. Esimerkki reitityskokoonpanosta ilman lamellinippuja.

7.4 Reitityskokoonpanon nimeäminen

Kokoonpanomallin valmistuttua voidaan se siirtää yrityksen sisäiseen Teamcenter-tiedonhallintakirjastoon. Ennen kokoonpanotiedoston siirtämistä tulee sille luoda selkeä ja kuvaava nimi, jota osaavat myös muut työntekijät tarvittaessa hakea.

Teamcenter antaa nimeämiselle tiettyjä rajoituksia:

- Nimessä ei saa olla erikoismerkkejä tai ääkkösiä.
- Kirjastossa ei saa olla toista samannimistä tiedostoa.

Yrityksen tilausprosessissa nimike tulee siirtymään myös SAP-toiminnanohjausjärjestelmään. SAP antaa rajoitteen nimikkeen merkkien määrästä, nimike saa olla maksimissaan 40 merkkiä pitkä. Yli 40 merkin nimikkeet leikkautuvat rajoitteen kohdalta poikki ja näin syntyy tilanteita, joissa nimen tiedot jäävät vaillinaisiksi [25]. Nimike halutaan pitää samanlaisena Teamcenterissä ja SAPissa, joten nimikkeen pituus tulee olla alle 40 merkkiä pitkä. [5.]

Kokoonpanon nimestä tulisi kuitenkin selvittää seuraavat asiat:

- mihin tuotemalliin kokoonpano on suunniteltu ja puhallinrivien määrä
- yhdeputkien määrä jakotukeissa
- mikä on käytetty tukkikoko

- päällekkäisten putkikerrosten määrä
- reitityksen kiertojen määrä lohkossa
- Teamcenter ID-koodi (valinnainen). [24.]

Esimerkiksi edellisen kappaleen kuvassa olevan kokoonpanon nimeksi tulisi näillä vaatimuksilla:

SxM-1xFCT-DN100-S6-LC4-XXXXXXXX

Nimikekoodin logiikkaa tullaan avaamaan vielä lisää seuraavassa luvussa.

7.5 Liian pitkät nimikkeet ja ratkaisuehdotus

Koska tiedonkulun kannalta on välttämätöntä, että nimi säilyy ehjänä koko tilausprosessin läpi, tulee nimikkeen merkkimäärän pituuteen kiinnittää erityistä huomiota. Yksipiirissä reitityksessä harvemmin tulee ongelmia, mutta kaksipiirisen reitityksen nimike on huomattavasti pidempi.

Otetaan esimerkkinimike kaksipiirisen FBL-mallin LT/HT-reitityksestä:

FBLGC-1xFCT-DN125-1xFCT-DN100-D-2+2-LC16-HC4-XXXXXXXX

Merkkien määrä nimikkeessä on 53. Ensimmäinen ratkaisuehdotus on poistaa Teamcenter ID nimen perästä. Teamcenter ID voidaan etsiä nimen ja indeksien avulla Teamcenter-tietokannasta tarvittaessa. ID voidaan myös liittää mallin piirustukseen ja kuvaukseen. SAP generoi oman ID-tunnuksen kokoonpanolle tulevissa vaiheissa, eikä sekään tule olemaan osa reitityksen nimeä.

Ilman ID-koodia nimike sisältää vain teknistä tietoa reitityskokoonpanosta. Kaikki alla olevat tiedot tulee löytyä nimikkeestä, mutta nimikkeen pituus on 44 merkkiä. Väliviivat ovat tärkeitä nimekkeen rakenteessa luettavuuden vuoksi.

FBLGC-1xFCT-DN125-1xFCT-DN100-D-2+2-LC16-HC4

Taulukko-ohjelmalla saadaan nimikkeen rakennetta avattua ja perään voidaan asettaa laskuri merkkilukumäärälle. Taulukkoon 1 on generoitu esimerkiksi muutamia mahdollisimman pitkiä, mutta realistisia nimikkeitä. Nimikkeet ylittävät tai ovat hyvin lähellä 40 merkin raja-arvoa.

Taulukko 1. Nimikekoodistoa avattuna ja merkkimäärät laskettuina.

2-piiriset putkitukset									
Tuotemalli ja leveys	LT Yhteet	LT Tukkikoko	HT Yhteet	HT Tukkikoko	Yhdepuolet (N/D)	Putkikerrokset	LT Kierrot	HT Kierrot	Merkkilukumäärä
SxM-	1xFCT-	DN50-	1xFCT-	DN80-	N-	2+2-	LC8-	HC1	39
SxM-	1xFCT-	DN100-	1xFCT-	DN80-	N-	2+2-	LC8-	HC1	40
SxM-	2xFCT-	DN125-	1xFCT-	DN100-	D-	2+2-	LC16-	HC2	42
FBLGC-	1xFCT-	DN125-	1xFCT-	DN100-	D-	2+2-	LC16-	HC4	44

Nimikkeistä voitaisiin karsia kertomerkit yhdetiedoista. Yrityksen työntekijät ymmärtävät yhdeluvun määrän ilman kertomerkkiäkin, ja yhdeluku on aina yksi tai kaksi.

Kaksikiertoisen reitityksen viimeiset luvut kertovat piirien kiertojen määrät lohkoissa. Yrityksen työntekijät tietävät, että nämä arvot tulevat nimikkeessä viimeisenä. Näitä voitaisiin lyhentää poistamalla C-kirjaimet ja viimeinen väliviiva (taulukko 2).

Taulukko 2. Nimikkeen lyhennetyt kohdat ovat lihavoituna.

2-piiriset putkitukset									
Tuotemalli ja leveys	LT Yhteet	LT Tukkikoko	HT Yhteet	HT Tukkikoko	Yhdepuolet (N/D)	Putkikerrokset	LT Kierrot	HT Kierrot	Merkkilukumäärä
SxM-	1xFCT-	DN50-	1xFCT-	DN80-	N-	2+2-	LC8-	HC1	39
SxM-	1xFCT-	DN100-	1xFCT-	DN80-	N-	2+2-	LC8-	HC1	40
SxM-	2xFCT-	DN125-	1xFCT-	DN100-	D-	2+2-	LC16-	HC2	42
FBLGC-	1xFCT-	DN125-	1xFCT-	DN100-	D-	2+2-	LC16-	HC4	44
Ratkaisuehdotus:									
SxM-	2FCT-	DN125-	1FCT-	DN100-	D-	2+2-	L16	H2	37
FBLGC-	1FCT-	DN125-	1FCT-	DN100-	D-	2+2-	L16	H4	39

Tieto säilyy vielä ymmärrettävänä ja nimikkeen pituus saadaan alle 40 merkkiin.

FBLGC-1FCT-DN125-1FCT-DN100-D-2+2-L16-H4

7.6 Reitityskokoonpanon indeksointi

Mallien ja piirustusten haku tehtiin aiemmin eri palveluntarjoajan tiedonhallintakirjastossa selaamalla kansioita tai hakukenttiin kirjoittamalla. Omistajavaihdoksen myötä tullut uusi tietokantakirjasto on tuonut mahdollisuuden indeksoida ja hakea malleja joustavammin.

Tietokantahakujen nopeuttamiseksi ja helpottamiseksi malleihin on tarkoitus lisätä yhteisesti sovittuja indeksejä, eli eräänlaisia hakusanatageja. Näin voidaan yksinkertaistaa tiedon löytämistä hakukirjastosta, eikä hakua välttämättä tarvitse kirjoittaa sanallisesti, vaan voidaan valita tiettyjä hakusanoja (attribuutteja) pudotusvalikoista ja suodattaa hakutuloksia nopeasti. Putkireititysten indeksointia ei ole otettu vielä käyttöön Vantaan toimipisteellä, mutta se voitaisiin toteuttaa alla olevan kuvakaappauksen (taulukko 3) logiikalla.

Taulukko 3. Sinisellä maalatut ovat indeksiluokkia ja vihreällä maalatut ovat indeksiluokan antamia vaihtoehtoja (attribuutteja/parametreja).

1-piiriset putkitukset									
Indeksi:	Malli ja leveys	Yhteet	Tukkikoko	Putkikerrokset	Kiertojen määrä				
Valintaparametrit:	SxM	1xFCT	DN32...DN125	S1...S6	LC1...LC24				
	SxD	2xFCT							
	FBLGC	1xA (ASME)							
	FBLGE	2xA (ASME)							
	FBLGS								
	ALFAV								
	SMAX								
2-piiriset putkitukset									
Indeksi:	Malli ja leveys	LT Yhteet	LT Tukkikoko	HT Yhteet	HT Tukkikoko	Yhdepuolet	Putkikerrokset	LT kierrot	HT kierrot
Valintaparametrit:	SxM	1xFCT	DN32...DN125	1xFCT	DN32...DN125	N/D	1...2 + 1...4	LC1...LC24	HC1...HC24
	SxD	2xFCT		2xFCT			(Solar-sarja)		
	FBLGC	1xA (ASME)		1xA (ASME)			1...2 + 1...6		
	FBLGE	2xA (ASME)		2xA (ASME)			(FBL-sarja)		
	FBLGS								

Indeksointia tullaan todennäköisesti tulevaisuudessa käyttämään apuna myös nimikkeiden nimeämisessä. Näin voidaan välttää mahdolliset kirjoitusvirheet ja varmistaa yhtenäinen kirjoitusasu. Samalla mallit indeksoituisivat automaattisesti järjestelmään. Indeksointijärjestelmään voisi samalla yhdistää 40 merkin rajoituksen, pohjautuen aikaisemman kappaleen logiikkaan nimikkeen lyhentämisestä.

8 Lohkon ja putkiston suunnittelu makrotyökalulla

Makrotyökaluilla pyritään nopeuttamaan ja helpottamaan 3D-mallien ja työpiirustusten luomista. Yrityksellä on käytössä useita makrotyökaluja pohjautuen SolidWorks-ympäristöön, ja niillä toteutetaan eri osavaiheita tuotteiden mallintamisessa.

Makrotyökalulla voisi tehdä lähestulkoon koko tuotteen mallin, mutta makron koodin pituuden ja mallien tiedostonhallinnan vuoksi mallintaminen on parempi jakaa pienempiin osiin. Makrotyökalut pyritään koodaamaan yrityksessä sisäisesti joustavuuden, tietotaidon ja kustannustehokkuuden vuoksi. [24.]

Makrotyökalun kehittäminen on pitkäjänteistä ja aikaa vievää työtä. SolidWorksin makrotyökalua voidaan ohjelmoida koodikielillä ja nauhoittamalla käskyautomaatioita. Yrityksessä käytetään Visual Basic (VBA) -koodikieltä ja automaatioita yhdistettynä. [24.]

Koodikieli ja automaatiot ohjailevat makrotyökalua valitsemaan kokoonpanoon oikeat komponentit, niiden halutut konfiguraatiot, säätämään komponenttien eri mitta-arvoja, valitsemaan niiden yhdistämiskohdat ja yhdistämään komponentit kokoonpanoksi. [24.]

Jotta näitä valintoja olisi mahdollista tehdä, kaikki tuotemallin mahdolliset komponentit, alikokoonpanot sekä niiden konfiguraatiot on tuotu esivalmisteltuina makrotiedostoon. Makron käytössä olevat mallinnukset löytyvät myös Teamcenter-kirjastosta ja makro hälyttää, jos osien synkronoimisessa on ongelmia.

Makrotyökalulle on määriteltävä mm., minkä osien tiettyjä mittoja se voi muuttaa ja mitä vakioituja mitta-arvoja sillä on käytettävissä. Makroon on syötetty paljon pohjadataa sisältäen lukuisia variaatioita alikokoonpanoista. Makro valitsee oleelliset mallit ja muokkaa niitä parametrien määritysten mukaisesti ja pakkaa (*suppress*) tarpeettomat mallit pois kokoonpanosta. [24.]

Makrotyökalun luominen on monimutkaista ja siinä on huomioitava lukuisia asioita, joten tässä työssä avataan lähinnä makrotyökalun käyttöä 3D-mallin ja työpiirustuksen luomisessa.

Eri tuotemalleille ja työvaiheisiin on tehty omia makrotyökaluja. Tässä työssä käytetään esimerkkinä yhdellä puhallinrivillä varustetun Solar-mallin reititysmakroa. Makrotyökalu saadaan käyttöön SolidWorksissa napauttamalla *design binder* -ikkunasta käskyä *run macro*. Esiin tulee ponnahdusikkuna (kuva 16), jolla määritellään putkireitityksen parametrit.

SxM_UserForm

Circuiting SxM

Coil Depth: SR

All Headers Same End

LT Tube Number: 4

LT - Size: DN80 (3")

HT Tube Number: 2

HT - Size: DN100 (4")

Flange Type

DN ANSI

FCT-DN FCT-ANSI

Header End Option

Closed End Flat End (End Cap)

Front View Back View Right View Left View

Circuiting Code

Build

Kuva 16. Solar-mallin makrotyökalu putkireitityksen luomiseen.

Parametrien määrittely tehdään projektisuunnitelman mukaisesti:

- Coil Depth: putkikerrosten määrä lohossa
- LT Tube Number: putkireittien kiertojen määrä lohossa
- LT – Size: jakotukkien DN-mitta
- HT Tube Number: toisen reitityksen kiertojen määrä lohossa (kaksipiiriselle jäähdyttimelle)
- HT – Size: toisen reitityksen jakotukkien DN-mitta (kaksipiiriselle jäähdyttimelle)

- Flange Type: jakotukkien yhteiden liitoslaipan valinta
- Header End Option: tukkiputken päätyjen valinta.

Yksipiiristä reititystä luodessa HT-alkuiset kentät jätetään valitsematta. Kun arvot on syötetty makrotyökaluun, annetaan *build*-käsky. SolidWorks luo alustavan mallin annettujen arvojen perusteella. 3D-mallia voidaan tarkastella eri suunnista painamalla ponnahdusikkunan *View*-valintoja. Tällä on hyvä esimerkiksi tarkistaa, että tukkien ja yhteiden välillä on riittävästi tilaa.

Kun makrotyökaluun luoma malli voidaan hyväksyä, annetaan hyväksymiskäsky. 3D-kokoonpanon lisäksi makro on tehnyt alustavan mittakuvapiirustuksen mallista, sekä erilliset alikokoonpanot jakotukeista ja osamallit tukkiputkista.

Mittakuvapiirustus tulee yrityksen mallipohjaan. Otsikkotaulu ja osaluettelo (BOM) ovat liitetty piirustukseen automaattisesti. Mittamäärät, otsikkotaulut ja osaluettelo on hyvä vielä tarkistaa ja lisätä mahdollisesti puuttuvat arvot.

Malli ja piirustukset voidaan tallentaa seuraavaksi Teamcenter-tiedonhallintajärjestelmään. Luodaan uusi yhteinen ID-numero kokoonpanolle ja mittakuvalle. Nimetään kokoonpano samalla logiikalla kuin luvussa 7.4 Reitityskokoonpanon nimeäminen. Jakotukeille ja tukkiputkille luodaan myös omat ID-numerot.

Kokoonpanon ja edellä mainittujen osien erilliset ID-numeroinnit tehdään kirjastoinnin helpottamiseksi. Luotua reitityskokoonpanoa tullaan tulevaisuudessa todennäköisesti käyttämään eri projekteissa mallipohjana. Jakotukit joudutaan yleensä kuitenkin luomaan uudestaan eri tilausvaatimusten täyttämiseksi. Reititys- ja lohkomalleista on huomattavasti vähemmän variaatioita kuin jakotukkikokoonpanoista. [24.]

9 Reitityksen kokoonpanokuvan luominen

3D-mallinnus pystytään muuttamaan myös manuaalisesti työpiirustukseksi. Voidaan valita SolidWorksissa mallin ylävalikosta *File* ja painaa komentoa *Make Drawing from Assembly*. Aukeaa tyhjä piirustuskenttä, johon voidaan avata yrityksen oma mallipohja. Mallipohjassa on logoilla ja kopiosuojaustiedoilla varustettu otsikkotaulu sekä

arkkireunukset. Reitityksen kokoonpanokuva luodaan tehdasta ja kollegoita varten, joten otsikkotaulun kaikkia sarakkeita ei tässä tilanteessa tarvitse täyttää. Otsikkotaulu osaa hakea myös automaattisesti syötettyjä tietoja 3D-mallista.

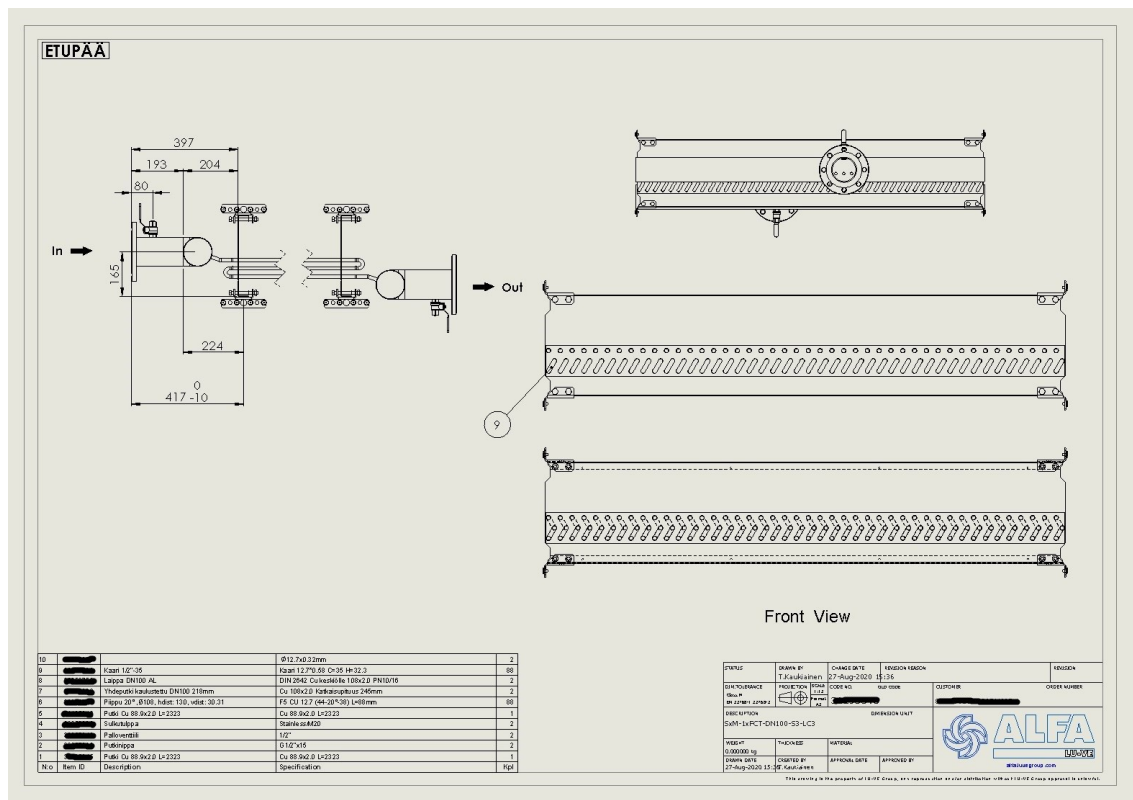
Kokoonpanokuvassa halutaan nähdä sivuperspektiivit, joista selviää jakotukkien ja päätylamellien väliset mitat. *View Palette* ikkunasta voidaan vetää halutun puolen kuvanto mallista piirustus pohjaan.

Reitityksen etu- ja takapäätä luodaan myös näkymät, joista näkyy putkien kaaritukset ilman tukkeja (kuva 17). Selkeyden vuoksi laitetaan päädyistä myös läpikuultavat kuvannot, joista näkee katkoviivoilla vastakkaisen puolen piiloon jäävät kaaritukset. Annotatiomerkillä voidaan osoittaa mitä kaaritusta mallissa käytetään. Lisätään myös etu- ja takaperspektiivin kuvannot tukkien kera. Etu- ja takapäälle tehdään omat piirustussivut. [24.]

Eri kuvantoja varten joutuu tekemään muutamia konfiguraatioita, jotta kuvasta saadaan esille halutut kohdat. Esimerkiksi konfiguraatio ilman tukkeja auttaa saamaan paremman kuvannon päätylamellien kaarituksista. SolidWorksissa voidaan valita, minkä mallin ja konfiguraation pohjalta kaksiulotteinen kuvanto piirustukseen luodaan.

Piirustuksen vasempaan alareunaan halutaan kokoonpanon osaluettelo BOM. Se voidaan luoda valitsemalla *Insert -> Tables -> Bill of Materials*. Taulukko muodostetaan yrityksen mallipohjaan. SolidWorks pyytää osoittamaan halutun kokoonpanon piirustuksesta, jonka pohjalta se luo taulukon ja tuo taulukkoon kokoonpanon komponenttien tiedot (kuva 17). Jokaiselle sivulle luodaan oma osaluettelo, josta selviää kyseisellä sivulla esiintyvät komponentit. Osaluettelosta tulee ilmetä jokaisen osan

- positionumero piirustuksessa
- Teamcenter ID
- nimi
- mitat
- kappalemäärä.



Kuva 17. Kokoonpanopiirustus reitityksen etupuolelta.

Lähtö- ja tulotukeille tehdään myös omat mittakuvasivut. Näihin asetetaan kuvannot tukkien sivuperspektiivistä, joista ilmenee piippukulmat, yhteen pituus, putken halkaisija ja positiomerkinnot. Näille sivuille laitetaan myös kuvannot tukkiputkista mittojen ja reikien kera. Selkeyden vuoksi laitetaan myös kuvat kummankin jakotukkipuolen päätylamelleista, joista näkyy mahdolliset kaaritukset. Tästä voidaan vielä varmistaa jakotukkien ja päätylamellien reikien yhteneväisyys.

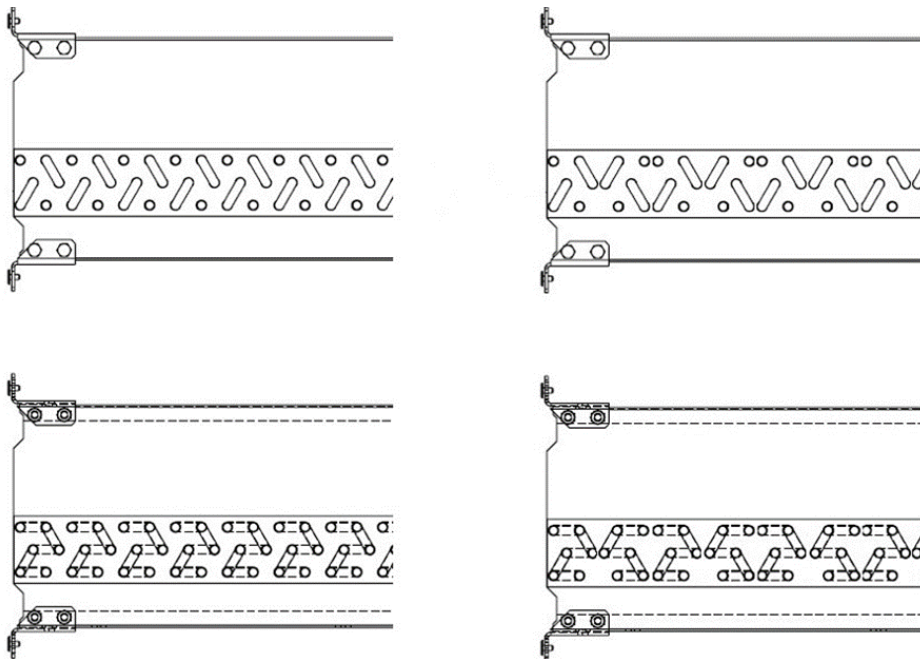
Lopuksi mittakuva tallennetaan Teamcenter-tiedonhallintakirjastoon saman ID:n alle kuin reitityksen 3D-malli ja nimetään samalla tavalla kuin luvussa 7.4 Reitityskokoonpanon nimeäminen.

10 Putkireitityksen lämpötekniinen parantaminen

10.1 Putkituksen peilaus

Jäähdyttimen lämmönsiirtoa voidaan toisinaan parantaa peilaamalla (*mirroring*) putkireitityksiä (kuva 18). Tämä lämpötekniinen parantelu vaatii putkireiteiltä eräänlaista symmetrisyyttä ja tarpeeksi useita kiertoja lohkoissa. Kaikille putkireitityksille tämä parantelu ei sovellu.

Tekniikan ideana on, että samassa lämpötilassa olevat putket kulkisivat vierekkäin mahdollisimman paljon reitin aikana. Tällä pyritään välttämään eri lämpötiloissa olevien putkien välinen lämmön siirtyminen toisiinsa. Vältetään esimerkiksi sitä, ettei jäähtyneen nesteen putki kulkisi kuuman putken vieressä, vaan että putkiston kuumat osiot ja kylmät osiot kulkisivat vierekkäin mahdollisimman paljon lohkon sisällä.

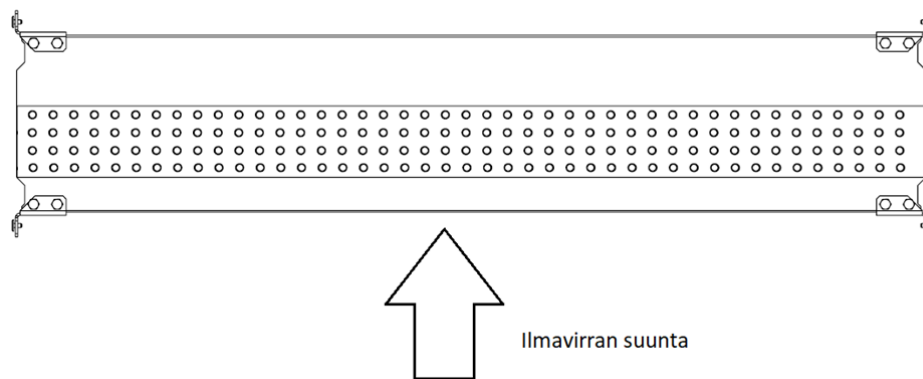


Kuva 18. Putkitus ennen peilausta vasemmalla ja peilauksen jälkeen oikealla.

Tämä tekniikka tuo pientä parannusta lämmönsiirtotehoon. Sen suunnittelu on kannattavaa etenkin pitkissä putkistoreiteissä. Saatava lämpötekniinen parannus on sitä merkittävämpi, mitä isompi lämpötilaero on sisään- ja ulostulevalla kiertoaineella. [5.]

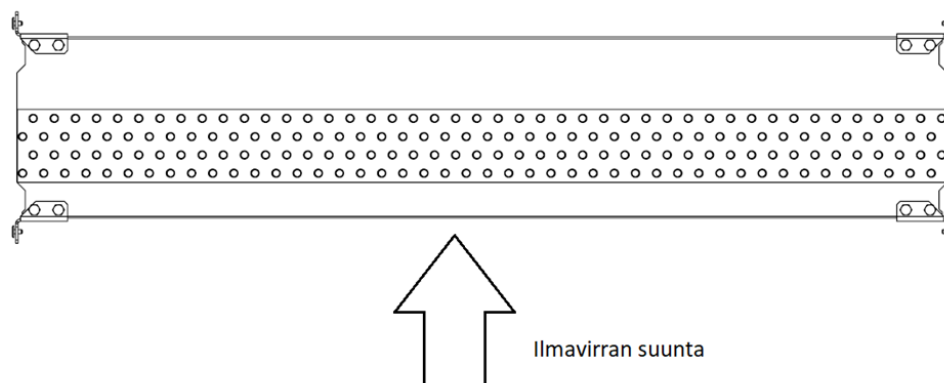
10.2 Suora- ja hajaputkitus

Lohkon putkituksen asettelulla pystytään vaikuttamaan jäähdyttimen läpi virtaavan ilmavirran muotoon. Putkiston yhteneväiset pystyivät (kuva 19) antavat ilman virrata tasaisesti rinnakkaisissa kerroksissa lohkon lävitse. Näin ilmavirtaan syntyy vähemmän turbulenssia ja viilentävä vaikutus jää kohtalaiseksi. Putkistoreitteihin jää useita kohtia, joissa ilmavirta ei saa kunnon kontaktia putkiin, kuten esimerkiksi päällekkäisten putkiryöyhien väliset ylä- ja alapinnat.



Kuva 19. Esimerkki suoraputkituksesta (*inline piping*).

Asettelemalla päällekkäiset putkirivit epätasaisesti (kuva 20), saadaan lohkon läpi kulkeva ilmavirtaus kulkemaan enemmän turbulentsisesti. Turbulenttisessa virtauksessa ilma pyönteilee lohkon sisällä putkien pinnoista toisiin ja ilmavirran kerrokset sekoittuvat tehokkaasti. Tällä ilmiöllä saadaan tehostettua ilmavirtauksen jäähdytystehoa. [5.]



Kuva 20. Esimerkki hajaputkituksesta (*staggered piping*).

11 Yhteenveto

Insinöörityössä koostettiin yhteen ilmajäähdytteisen nestejäähdyttimen lohko- ja reitityssuunnittelun tietoa, teoriaa ja käytännön töitä. Yrityksen suunnitteluosaston käytäntöjä on pyritty avaamaan mahdollisimman selkeästi lukijalle. Aiheeseen liittyviä työtehtäviä on suoritettu runsaasti insinöörityön kirjoittamisen aikana, ja ne ovat tukeneet oppimis- ja kirjoitusprosessia. Kirjoittajan tietotaidon määrä ja ymmärrys aiheeseen on opinnäytetyön aikana kasvanut huomattavasti ja moni epävarma asia hahmottui projektin edetessä.

Työssä tuotiin muutamia ratkaisuehdotuksia käytännön ongelmiin, kuten liian pitkien nimikkeiden nimeämiseen. Näihin kehitysideoihin tullaan vielä palaamaan yrityksen sisäisesti tulevaisuudessa. Teamcenterin, SAPin ja SolidWorksin saumaton käyttö rinnakkain vaatii yleisesti kehittämistä monella tasolla. Parhaiden mahdollisten toimintatapojen löytäminen yrityksessä tulee vielä kestäämään.

Insinöörityö tulee tukemaan uusien työntekijöiden perehdyttämistä yrityksen suunnittelu- ja tuotekehitysosastolle. Työ on kerännyt jo alustavasti kiitosta informatiivisuudesta ja kirjoitusasuun selkeydestä. Lohko- ja reitityssuunnittelun sisäistä ohjeistusta ei ole kerätty yhtenäiseen kirjalliseen muotoon vuosikymmeniin, edes arkistoitua ohjeistusta ei kirjoittamisprosessin aikana löytynyt.

Haasteita opinnäytetyön kirjoittamiseen toivat yrityksen englanninkielisten ohjelmistojen käskyjen, termien, sekä alan sanaston muuttaminen ymmärrettävään suomen kielen muotoon. Yleisesti hyväksytyt termit laitekomponenteille vaihtelevat lähteen mukaan. Työn aikana selkeni myös, että kollegoiden käyttämät termit laiteosista ja teknisistä lyhenteistä eivät aina ole yhteneväisiä. Nimikkeiden ja käytettävien termien yhtenäistämistä ja selkeyttämistä tullaan kehittämään tulevaisuudessa. Apuna tullaan todennäköisesti käyttämään opinnäytetyössä kehiteltyä indeksoinnin logiikkaa.

Lähteet

- 1 Karsikas, Jukka. 2020. Koestuspaikan suunnittelu tuotantotiloihin. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 2 Rakennustoimisto A. Puolimatka Oy. 30.10.2003. Verkkoaineisto. <<https://www.vuodenyrittaja.fi/file/337/download?token=yxqt93DS>>. Luettu 14.9.2020.
- 3 The LU-VE Group. Verkkoaineisto. LU-VE Group. <<https://alfa.luvegroup.com/en/group/group.html>>. Luettu 15.9.2020.
- 4 Fincoil LU-VE Oy. Verkkoaineisto. Alfa Laval. <<https://www.alfalaval.fi/tietoa-alfalavalista/our-company/alfa-laval-suomessa/fincoil-lu-ve-oy>>. Luettu 15.9.2020.
- 5 Jääskeläinen, Kari. 2020 Tuotekehityksen esimies, Fincoil LU-VE, Vantaa. Kes- kustelut syys- ja lokakuussa 2020.
- 6 Solar S. Verkkoaineisto. LU-VE Group. <<https://alfa.luvegroup.com/en/solar-s.html>>. Luettu 21.9.2020.
- 7 Solar SR. Verkkoaineisto. LU-VE Group. <https://alfa.luvegroup.com/media/docs/44/ahe00024en_1901_solar-sr.pdf>. Luettu 21.9.2020.
- 8 Solar SE. Verkkoaineisto. LU-VE Group. <<https://alfa.luvegroup.com/media/docs/43/ahe00008en.pdf>>. Luettu 22.9.2020.
- 9 Räjähdyksivaarallisten tilojen laitteet – ATEX. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat/rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet-atex>>. Luettu 22.9.2020.
- 10 Fincoil FBL. Verkkoaineisto. LU-VE Group. <https://alfa.luvegroup.com/media/docs/41/ahe00043en_fblg.pdf>. Luettu 24.9.2020.
- 11 Fincoil Introduction. Powerpoint-esitys. 22.5.2019. Kuoppala, Juha-Matti. Myynti- osaston esimies, Fincoil LU-VE. Vantaa. Luettu 25.9.2020.
- 12 Alfa-V. Verkkoaineisto. LU-VE Group. <<https://alfa.luvegroup.com/en/alfa-v-vdd.html>> <<https://alfa.luvegroup.com/en/alfa-v-vdd.html>>. Luettu 26.9.2020.
- 13 Cengel, Yunus; Ghajar, Afshin. 2015. Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. 5. painos. New York: McGraw-Hill Education.

- 14 Kaappola, Esko. 2011. Kylmätekniiikan perusteet. 1. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- 15 Kiilunen, Iikka. 2012. Nestejäähdyttimen tukkiputkikoneen investointitarkastelu. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu.
- 16 Rouvinen, Timo. Vanhempi mekaaninen suunnittelija, Fincoil LU-VE, Vantaa. Haastattelu 1.10.2020.
- 17 Aittomäki, Antero. 1996. Kylmätekniiikka. 2. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 18 Corrosion Protection Options. Verkkoaineisto. <<http://www.criterionhvac.com/options.htm>>. Luettu 2.10.2020.
- 19 Epoxy Coated Fins. Verkkoaineisto. <http://www.colmaccoil.com/media/90677/epoxy-fins-flyer_e.pdf>. Luettu 2.10.2020.
- 20 Zinc Aluminum-Magnesium Coated Steel Sheet in Coil. Verkkoaineisto. <<http://www.sinowellmetal.com/zinc-aluminum-magnesium-coated-steel/>>. Luettu 2.10.2020.
- 21 All Copper Heat Exchangers. Verkkoaineisto. <<https://www.antimicrobial-copper.org/sites/default/files/upload/media-library/files/pdfs/uk/brochures/all-copper-heat-exchangers.pdf>>. Luettu 2.10.2020.
- 22 Bolazar, Firat; Acul, Hasan. 26.5.2006. LT-HT radiators used in power plants (dry coolers). Verkkoaineisto. Friterm. <<https://www.friterm.com/Uploads/Document/ea491c21-d722-4b06-a352-9054c033939b.pdf?v=636865504460000000>>. Luettu 9.10.2020.
- 23 Penttinen, Marjut. 2020. Vanhempi myynti-insinööri, Fincoil LU-VE, Vantaa. Haastattelu 16.10.2020.
- 24 Kim, Hyun. 2020. Tekninen suunnittelija, Fincoil LU-VE, Vantaa. Haastattelu 6.10.2020.
- 25 Mattila, Päivi. 2020. Tilausten käsittelyn esimies, Fincoil LU-VE, Vantaa. Keskustelu 27.10.2020.

