

Instrumentti-ilmayksikön suunnittelu

Iiro Ingreus

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2020

Konetekniikan koulutus
Tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan koulutus
Tuotantotekniikka

INGREUS, IIRO:
Instrumentti-ilmayksikön suunnittelu

Opinnäytetyö 55 sivua

Marraskuu 2020

Opinnäytetyö tehtiin tuotekehitysprojektista Gardner Denver Oy:lle. Yhtiön Tampereen tehtaalla kehitetään ja valmistetaan ruuvikompressoreita Marine- ja Industrial-käyttötarkoituksiin. Marine-kompressorit on kehitetty täyttämään laiva- ja öljynporausteollisuuden asettamat vaatimukset ja Industrial-kompressoreilla pyritään vastaamaan asiakkaan tarpeisiin teollisuuden käyttötarkoituksissa. Tuotekehitysprojektissa suunniteltiin uusi versio teollisuuskäyttöön suunnatusta instrumentti-ilmayksiköstä. Vanhan instrumentti-ilmayksikön pääkehityskohteeksi valittiin kustannustehokas designin optimointi.

Vanhasta instrumentti-ilmayksiköstä ei ollut 3D-mallia, joten uuden yksikön 3D-mallinnoksen suunnittelu ja sen luominen olivat suuressa osassa projektia. 3D-mallintamiseen ja rungon FEM-laskentaan käytettiin Autodesk Inventor Professional -ohjelmistoa. Uudelleen suunnitellulla rungolla pienennettiin tarvittavaa lattiapinta-alaa sekä rungon uusi design mahdollisti tuotteen kokoonpanon jatkossa Tampereen tehtaan tuotantolinjalla. Rungon siirtelyä helpotettiin myös tekemällä trukille nostoreiät rungon etupuolelle. Lisäksi kovat putket korvattiin hydrauliletkuilla kokoonpanon nopeuttamiseksi. FEM-laskennan avulla rungon rakenne saatiin optimoitua mahdollisimman hyväksi, jotta se kestää rungon päälle tulevien komponenttien kuormat. Jatkokehityksenä instrumentti-ilmayksikköön voidaan suunnitella paineilman ohjaukseen tarkoitettu venttiililohko, joka myös helpottaa ja nopeuttaa kokoonpanoa.

Opinnäytetyön yhteydessä kokeiltiin modernien kokoonpano-ohjeiden tekemistä 3DPDF-tekniologian avulla. Uuden instrumentti-ilmayksikön 3D-mallista tehtiin näkymät eri kokoonpanovaiheista. Kokoonpanon eri näkymät lisättiin yhdessä osaluettelon kanssa 3DPDF-työpohjaan. Lopputuloksena asentajille saatiin uudenlainen kokoonpano-ohje, jonka avulla 3D-mallia voidaan tarkastella eri kuvakulmista ja näkymistä mobiililaitteen tai tietokoneen näytöltä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering

INGREUS IIRO:
Instrument Air Unit Redesign

Bachelor's thesis 55 pages

November 2020

This thesis deals with a product development project done for Gardner Denver Ltd. The company's Tampere plant develops and manufactures screw compressors for Marine and Industrial applications. Marine compressors have been developed to meet the requirements of the marine and oil drilling industries, and Industrial compressors are designed to meet the customer's needs in industrial applications. In the product development project, a new version of Instrument Air Unit was designed for industrial applications. The main development target for the old version of Instrument Air Unit was the optimization of the design cost-effectively.

There was no 3D model of the old version of the Instrument Air Unit, so designing and creating a 3D model was in a major part of the project. Autodesk Inventor Professional software was used for 3D modeling and FEM calculation. The redesigned frame reduced the floor area required and made product manufacturing possible in the production line of the Tampere factory. The moving of the frame was also simplified by making holes for lifting with a forklift in the front of the frame. In addition, the hard pipelines were replaced with hydraulic hoses to speed up the assembly. FEM calculation ensures maximum optimization for the structure of the frame, so the frame can withstand the loads of components that come on top of it. As a further development, a valve block for compressed air control can be designed for the Instrument Air Unit, which also simplifies and speeds up the assembly.

As part of the thesis, creating of a modern assembly instruction was tested using 3DPDF technology. The 3D model of the new Instrument Air Unit was used to make views of the various assembly steps. The different views of the assembly were added to the 3DPDF template along with the parts list. As a result, the assemblers received a modern assembly instruction, which allows the 3D model to be viewed from different angles and views on a mobile device or computer screen.

Key words: product development, screw compressor, compressed air, fem, 3dpdf

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	YRITYSESITTELY	8
	2.1 Historia	8
	2.2 Liiketoiminta	9
3	TUOTTEET	10
	3.1 Ruuviyksiköt, Tempestit ja CT-kompressorit	10
	3.2 Ruuvikompressoripaketit	11
	3.3 Paineilmakeskus ja instrumentti-ilmayksikkö	12
4	KOMPRESSORITEORIAA	13
	4.1 Kompressorityypit	13
	4.2 Kompressorin valinta	14
	4.3 Ruuvikompressorin toimintaperiaate	16
	4.4 Öljynerotus	17
	4.5 Ilmajäähdytteinen ruuvikompressori	18
	4.6 Vesijäähdytteinen ruuvikompressori	19
	4.7 Paineilman jälkikäsitteily	21
5	TUOTEKEHITYKSEN TEORIAA	23
	5.1 Tuotekehitys	23
	5.2 Strategia	24
	5.3 Tuotestrategia	24
	5.4 Tuotekehitysprosessi	25
	5.5 Tuotekehitysprojekti	28
6	3D-MALLINNUKSEN TEORIAA	31
	6.1 Tietokoneavusteinen suunnittelu (CAD)	31
	6.2 Finite Element Method (FEM)	32
	6.3 Tuotetiedon hallinta (PDM)	34
	6.4 Tuotteen elinkaarihallinta (PLM)	34
7	OPINNÄYTETYÖN TUOTEKEHITYSPROJEKTI	36
	7.1 Tuotespesifikaatio	36
	7.2 Vanhan instrumentti-ilmayksikön layout ja toimintaperiaate	37
	7.3 Uuden instrumentti-ilmayksikön suunnittelu	38
8	DETALJISUUNNITTELU	39
	8.1 3D-mallinnusohjelmisto	39

8.2 Osien 3D-mallintaminen.....	39
9 TESTAUS	43
9.1 FEM-analyysi	43
9.2 Analyysin tulokset	44
10 3D-KOKOONPANO	46
10.1 Komponenttien sijoittelu.....	46
10.2 Putkitus.....	47
10.3 Lauhteenpoisto	48
11 3DPDF-KOKOONPANOKUVAT	49
11.1 Standardoidut työohjeet.....	49
11.2 Työohjeiden luominen.....	50
12 JATKOKEHITYS	53
12.1 TIC7–22 jatkokehityskohteet	53
12.2 Modernit kokoonpano-ohjeet	53
13 POHDINTA	54
LÄHTEET	55

LYHENTEET JA TERMIT

CAD	Computer Aided Design / Computer Aided Drafting
ERP	Enterprise Resource Planning
FEM	Finite Element Method
FMS	Flexible Manufacturing System
OEM	Original Equipment Manufacturer
PDM	Product Data Management
PLM	Product Lifecycle Management
SCM	Supply Chain Management
TIC	Tamrotor Industrial Compressors
TMC	Tamrotor Marine Compressors

1 JOHDANTO

Ingersoll Rand Inc. on yksi markkinoiden suurimmista paineilmavälinevalmistajista. Yhtiön Tampereen tehtaalla (Gardner Denver Oy) kehitetään ja valmistetaan ruuvikompressoreita Marine- ja Industrial-käyttötarkoituksiin. Marine-kompressorit on kehitetty täyttämään laiva- ja öljynporausteollisuuden asettamat vaatimukset ja Industrial-kompressoreilla pyritään vastaamaan asiakkaan tarpeisiin teollisuuden käyttötarkoituksissa.

Opinnäytetyö tehtiin tuotekehitysprojektista, jonka tavoitteena oli suunnitella uudistettu ja kustannustehokkaampi ratkaisu teollisuuskäyttöön suunnatusta instrumentti-ilmayksiköstä. Uudella designilla tehtiin tuotteen kokoonpanosta helpompaa ja nopeampaa yksinkertaistetun rakenteen avulla. Uudelleen suunnitellulla rungolla pienennettiin tarvittavaa lattiapinta-alaa ja rungon uusi design mahdollisti tuotteen kokoonpanon jatkossa Tampereen tehtaan tuotantolinjalla. Rungon siirtelyä helpotettiin myös tekemällä trukille nostoreiät rungon etupuolelle. Lisäksi kovat putket korvattiin hydrauliletkuilla kokoonpanon nopeuttamiseksi.

Aikaisemmasta instrumentti-ilmayksiköstä oli piirretty vain 2D-kuvat, joten opinnäytetyön yksi olennaisia tavoitteita oli tehdä uudesta instrumentti-ilmayksiköstä 3D-mallinnos käyttäen Autodesk Inventor Professional -ohjelmistoa. Pääkomponentteja instrumentti-ilmayksikölle olivat: runko, kompressori, säiliö, jäähdytyskuivain, hienosuodatin, muuntaja, lauhteenpoistimet ja putkisto. Autodesk Inventor Professional -ohjelmistoa käytettiin myös rungon rakenteen optimointiin FEM-laskennan avulla.

Modernien kokoonpano-ohjeiden kokeilemiseksi instrumentti-ilmayksikön 3D-mallista tehtiin 3DPDF-kokoonpanokuvat. Instrumentti-ilmayksikkö kokoonpanon eri asennusvaiheista tehtiin näkymät mallinnusohjelmistolla, jonka jälkeen näkymät lisättiin yhdessä osaluettelon kanssa 3DPDF-työpohjaan. 3DPDF-formaatti mahdollistaa osien ja kokoonpanojen tarkastelun eri kuvakulmista. 3DPDF-kokoonpano-ohjeita on tarkoitus käyttää kokoonpanolinjalla tabletin tai tietokoneen näytöltä.

2 YRITYSESITTELY

2.1 Historia

Tampereen Messukylässä ruuvikompressoreiden valmistus aloitettiin 1960-luvulla Tampella Tamrock nimellä. Vuonna 1963 Tampella Tamrock teki ruuvikompressoreiden valmistuksesta lisenssisopimuksen ruotsalaisen Svenska Rortormaskinerin (SRM) kanssa. Messukylässä valmistettiin vuonna 1969 ensimmäinen epäsymmetrinen roottoriprofiili Holroyd-roottorijyrsinkoneella, jonka jälkeen ruuvikompressorituotanto on kasvanut vuosi vuodelta. (Gardner Denver 2019)

Vuonna 1975 julkaistiin nykymittapuullakin erittäin suureksi ruuviyksiköksi kutsuttu 321 mm -ruuviyksikkö, joka voi tuottaa paineilmaa 7 baarin työpaineella jopa 74 m³/min. 321 mm -ruuviyksiköitä on ajettu alkuperäisillä laakereilla jopa 150 000 tuntia ja niitä on edelleen laajalti käytössä. (Gardner Denver 2019)

1990-luvulla tehtaan vanha nimi "Tampella Tamrock" muutettiin Tamrotoriksi. Norjaan perustettiin myös samoihin aikoihin laivakompressorien myyntiin erikoistunut yritys TMC (Tamrotor Marine Compressors). Tampereen tehtaalle tehtiin näihin aikoihin myös mittavia hankintoja mm. FMS-koneistusjärjestelmien muodossa. 1990-luvun alkupuolella markkinoille tuotiin myös uuden sukupolven Enduro- ja Tempest-tuoteperheet. Tamrotorin kompressoreissa Enduro-ruuviyksikössä tapahtuu ilman puristuminen ja Tempestissä öljynerotus paineilmosta. (Gardner Denver 2019)

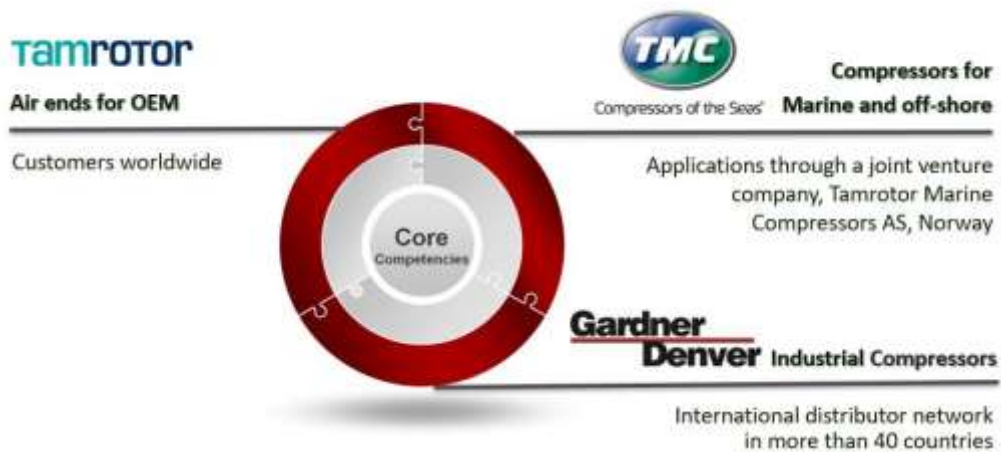
Vuonna 1997 Tamrotor myi liiketoimintansa Gardner Denver Oy:lle, jonka jälkeen 23 vuoden ajan Messukylässä valmistettiin kompressoreita Gardner Denver Oy -nimellä. Gardner Denver Oy fuusioitui keväällä 2020 Ingersoll Rand Inc. yrityksen kanssa, jotka yhdessä muodostavat yhden maailman suurimmista paineilma-ali-nevalmistajista. Tampereen tehtaan nimeksi jäi kuitenkin fuusion jälkeen edelleen Gardner Denver Oy. (Gardner Denver 2019)

2.2 Liiketoiminta

Gardner Denver Oy:n Tampereen tehtaan liikevaihto 2018 oli noin 59.1 miljoonaa euroa. Sen liiketoiminta koostuu kolmesta eri liiketoiminta-alueesta (kuva 1):

1. Maailmanlaajuinen ruuviväliköiden myynti OEM-asiakkaille Tamrotor-tuotenimellä
2. Teollisuuskompressorien myynti GD-tuotenimellä
3. Marine ja offshore-kompressorien myynti TMC-tuotenimellä

Liiketoimintaan kuuluvat myös kompressorien varaosien myynti sekä kompressorien huoltopalvelu. Lisäksi paineilman jälkikäsittelylaitteita myydään teollisuuskompressoreiden käyttöön. (Gardner Denver 2019)



KUVA 1. Liiketoiminta-alueet Gardner Denver Oy:n Tampereen tehtaalla (Gardner Denver 2019)

3 TUOTTEET

3.1 Ruuviyksiköt, Tempestit ja CT-kompressorit

Tampereen tehtaan tuotantotiloissa valmistettavat Enduro-tuoteperheen ruuviyksiköt ovat tehoalueeltaan 2,2–500 kW suuruisia (kuva 2). Paineilmaa 7 baarin työpaineella kokoluokkansa mukaan ne pystyvät tuottamaan 0,25–74 m³/min. Painealue ruuvikompressoreilla on lähes kautta linjan 3–14 baaria. Ruuviyksiköitä voidaan käyttää kiinteisiin tai liikuteltaviin kompressoripaketteihin. (Gardner Denver Oy)

Tempest-tuoteperheessä ruuviyksikkö on integroitu osaksi öljysäiliötä ja sykklonia. Teholuokaltaan Tempest-tuoteperheen ruuvikompressorit ovat 4–75 kW ja niitä käytetään mm. junien jarruissa ja kaasusovelluksissa (kuva 2). (Gardner Denver Oy)

CT-tuoteperhettä käytetään kaivostoiminnassa, rakennusvälineissä ja huoltoajoneuvoissa (kuva 2). Se on omavarainen ja tiivis kompressoripaketti, joka käyttää ruuviyksikön pyörittämiseen sähkö- tai hydraulimoottoria. (Gardner Denver Oy)



KUVA 2. Ruuviyksiköt, tempestit ja CT-kompressorit (Gardner Denver Oy)

3.2 Ruuvikompressoripaketit

Paineilmakeskus sijaitsee usein erillisessä kompressorihuoneessa, jonne sijoitetaan kaikki paineilman kehittämiseen, jäähdyttämiseen ja jälkikäsittelyyn tarkoitettut laitteet. Kompressorihuoneiden rinnalle on vuosien saatossa kehittynyt kompressoripaketit, joissa yhdistyvät kaikki kompressorihuoneissa olevien komponenttien toiminnot. Kompressoripaketit ovat usein myös äänieristettyjä siten, että ne voidaan sijoittaa myös suoraan työtiloihin tai varastohalleihin. (Airila, Hallikainen, Kääpä & Laurila 1983, 70.)

Gardner Denver Oy:n Tampereen tehtaalla valmistetaan kompressoripaketteja Marine- ja Industrial-käyttötarkoituksiin (kuva 3). Tehoalueeltaan kompressoripaketteja on saatavissa 7–500 kW väliltä ja kompressoripaketit tuottavat paineilmaa 7 baarin työpaineella noin 100–4200 m³/h. (TMC)

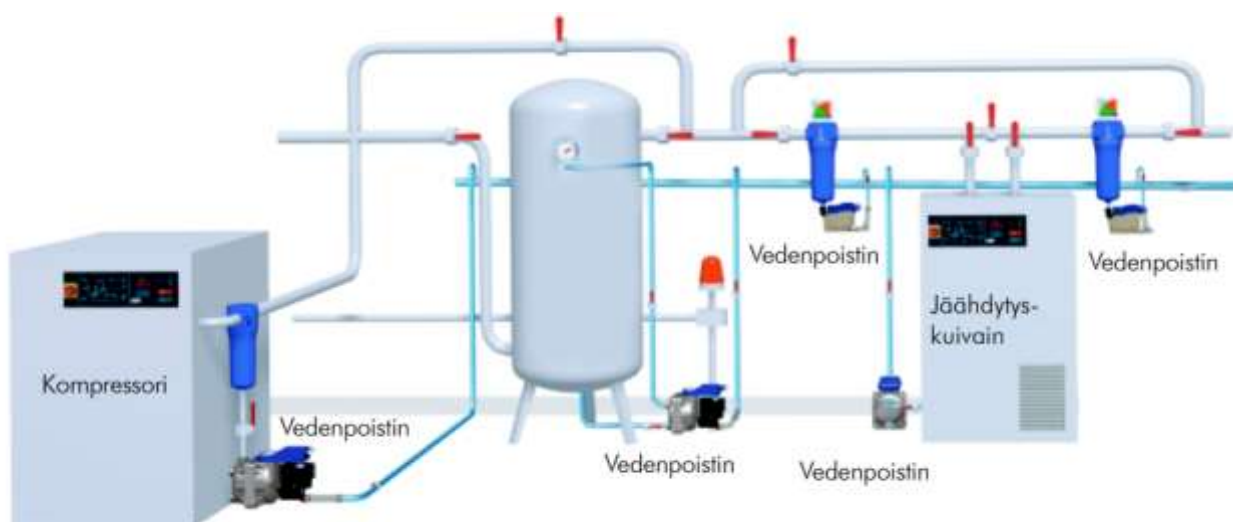


KUVA 3. TMC49–84-tuoteperheen laivakompressoripaketti (TMC)

3.3 Paineilmakeskus ja instrumentti-ilmayksikkö

Instrumentti-ilmalla tarkoitetaan erittäin puhdasta paineilmaa, josta on poistettu paineilman sisältämät epäpuhtaudet kuten vesi ja partikkelit. Instrumentti-ilmaa voidaan käyttää erilaisiin pneumatiikkatyökaluihin, venttiileihin ja elektronisiin ohjaimiin. (Paineilmajärjestelmän suunnittelu, 18.)

Paineilmakeskuksen pääkomponentteja ovat: kompressorit, painesäiliö, suodattimet, jäähdytyskuivain, vedenpoistimet ja putkisto (kuva 4). Instrumentti-ilmayksikkö on puolestaan kompakti kokonaisuus, jossa instrumentti-ilman tuottamiseen tarvittavat laitteet on asennettu saman rungon päälle. (Paineilmajärjestelmän suunnittelu, 18.)



KUVA 4. Paineilmakeskus (Paineilmajärjestelmän suunnittelu, 18)

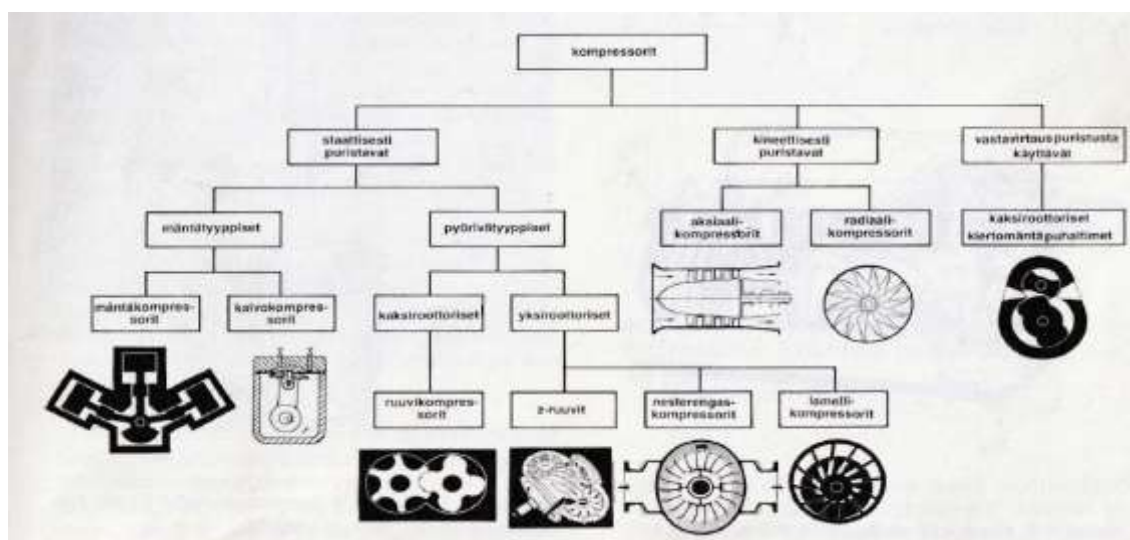
4 KOMPRESSORITEORIAA

4.1 Kompressorityypit

Kompressoriksi nimitetään ilmanpaineen kasvattamiseen tarkoitettua laitetta, jonka kasvattama loppupaine on vähintään kaksinkertainen verrattuna imupaineeseen. Paineilmaksi kutsutaan puolestaan ilmaa, jota pidetään ilmanpainetta suuremman paineen alaisena. Paineilman käyttöala on erittäin laaja ja tarvittavat laitteen ovat hyvin erikokoisia. Monilla teollisuudenaloilla paineilma onkin elinehto yrityksen toiminnalle. (Airila ym. 1983, 7.)

Paineilman käyttökohteita voivat olla esimerkiksi: työilma, automaatioilma, instrumentti-ilma, käynnistysilma, hengitysilma, sairaalailma, elintarvikeilma ja prosessi-ilma. Lähes kaikki käyttökohteet asettavat tavalla tai toisella omia vaatimuksiaan paineilman ominaisuuksille, joten yhdellä kompressorityypillä tai jälkikäsitelymenetelmällä ei pystytä hallitsemaan kaikkia vaihtelevia vaatimuksia. (Airila ym. 1983, 7–8.)

Tarve erilaisille käyttökohteille onkin kehittänyt joukon erityyppisiä kompressoireita. Tavallisimmat kompressorityypit voidaan mekaanisen rakenteensa ja puristustapansa mukaisesti sijoittaa ”sukupuuhun” kuvan 5 mukaisesti. (Airila ym. 1983, 25.)



KUVA 5. Erityyppisten kompressoireiden jaottelu (Airila ym. 1983, 25)

Paineilman puristuksessa tehdään työtä, jolloin ilman eksergia ja usein myös sisäinen energia lisääntyvät. Puristus voi tapahtua staattisesti, kineettisesti tai vastavirtausperiaatteen mukaisesti. Kineettisessä puristuksessa kaasu kiihdytetään juoksupyörän avulla, kun kaasun virtausta jarrutetaan voimakkaasti, aiheutuu tästä paineen nousua. Kineettisessä puristustavassa kaasun puristus tapahtuu jatkuvana virtauksena. Kompressorin imu- ja painetila ovat jatkuvasti yhteydessä toisiinsa ja kaasun dynaamiset voimat estävät virtauksen takaisinpäin. Staattisessa puristuksessa puolestaan kaasu suljetaan muuttuvan tilavuuden omaavaan kammioon, jossa puristus tapahtuu esimerkiksi mäntäkompressorin sylinterin edestakaisen liikkeen avulla. (Airila ym. 1983, 15-16.)

4.2 Kompressorin valinta

Paineilmajärjestelmä hankitaan vuosien tai vuosikymmenien käyttöä varten, joten hyvän kompressorin elinikä onkin noin 5–30 vuotta. Jatkuvassa käytössä olevan kompressorin käyttökustannukset ovat korkeat, joten paineilman kulutuskohteen vaatimukset on syytä selvittää hyvin ennen suuria investointeja. Tärkeimpiä vaatimuksia paineilmajärjestelmälle ovat: ilmamäärä, paineilman laatu, tarvittava paine, kulutuksen vaihtelu ja vaadittava käyttövarmuus. (Airila ym. 1983, 9.)

Tarvittava ilmamäärä tulee määritellä mahdollisimman tarkoin, koska sillä on olennainen vaikutus kompressorin kokoluokkaan, kuormitusasteeseen ja hyötysuhteeseen. Käyttökohteeseen vaadittu paineilmanlaatu täytyy myös huomioida, sillä kompressorilla tuotetussa paineilmassa on aina epäpuhtauksia, joista haitallisimpia ovat: vesi, öljy, pöly, ympäristön kaasut, bakteerit ja virukset. Paineilman käyttötarkoitus ratkaisee, mitkä epäpuhtauksista on poistettava. Esimerkiksi, jos vaatimuksena on öljytön paineilma, tulee öljyttömän kompressorin käyttö lähes poikkeuksetta halvemmaksi aikaa myöden. Bakteerit ja virukset voidaan poistaa paineilmasta suodattamalla. (Airila ym. 1983, 10–11.)

Vasta kun tiedetään käyttökohteessa vaadittava paine ja paineilman siirrossa sekä jälkikäsitellyssä tapahtuvat painehäviöt, voidaan kompressorilta vaadittava

työpaine määritellä. Kompressorin työpaine tulisi pitää niin alhaisena kuin mahdollista, sillä työpaineen noustessa myös tehontarve nousee ja samalla kompressorin tuotto pienenee. Siirron ja jälkikäsitteilyn aiheuttamat painehäviöt nostavat aina kompressorin työpainetta, kuten myös, jos toimilaitteelle toimitetaan korkeampaa painetta kuin se tarvitsee. Esimerkiksi verkonpainetta matalammalla paineella toimivan sylinterin eteen kannattaa tällöin asentaa paineenalennusventtiili. (Airila ym. 1983, 11.)

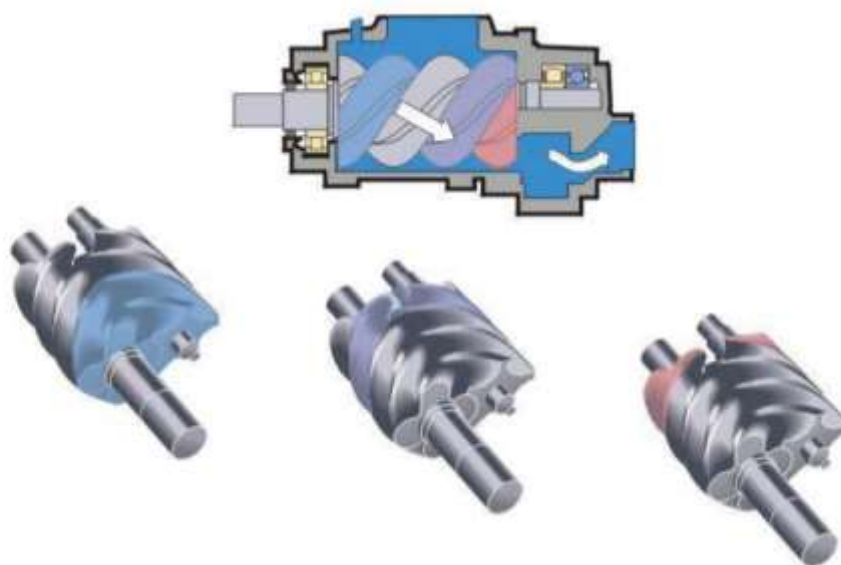
Paineilman kulutusvaihteluilla on myös suuri vaikutus kompressorityypin valintaan, sillä käyttökohteesta riippuen paineilman kulutus voi olla joko jatkuvaa tai vaihtelevaa, esimerkiksi tunti tai pari päivässä. Jatkuvässä kulutuksessa olevan ruuvikompressorin voidaan esimerkiksi edellyttää käyvän täydellä kuormalla 50 000 tuntia ennen suurempaa huoltoa, kun taas pienelle kulutukselle sopivan mäntäkompressorin kokonaiskäyttöikä voi olla vain 2000 tuntia. (Airila ym. 1983, 12.)

Vallitseva kuormitusaste ratkaiseekin useimmiten, onko kannattavampaa käyttää esimerkiksi mäntä- tai ruuvikompressoria, ja onko edullisempaa käyttää kahta tai useampaa pientä kompressoria yhden suuren kompressorin sijaan. Vaadittavan käyttövarmuuden takaamiseksi on hyvä varautua kompressoreihin tuleviin käyttökatkoksiin varakompressorilla. Esimerkiksi hankkimalla kolme kompressoria, joista kaksi riittää tyydyttämään paineilman tarpeen ja joista yksi on varalla. (Airila ym. 1983, 12.)

4.3 Ruuvikompressorin toimintaperiaate

Ensimmäiset ruuvikompressorit on kehitetty 1930-luvulla ruotsalaisen Alf Lysholmin toimesta. Aluksi ruuvikompressorit kehitettiin tuottamaan öljytöntä paineilmaa. (Airila ym. 1983, 30.)

Ruuvikompressorin toimintaperiaatteena on kahden toisiensa kanssa rynnössä pyörivän roottorin luoma ilman puristuminen (kuva 6). Rungossa olevan imuaukon kautta roottorit imevät ilmaa hampaiden väliin, kun roottorien urat ovat imuaukon kohdalla. Roottoripesä ja päätykannet tiivistävät roottoreiden urissa tapahtuvan ilman puristumisen. Roottoreiden pyöriessä yhteys imuaukkoon loppuu, ja ilma jää suljettuun tilaan. Roottoreiden pyöriessä lisää, alkaa hampaiden muodostaman tilan tilavuus pienentyä, jolloin imetty ilma alkaa puristua. Tuottopaineen saavutettuaan kokoon puristunut paineilma virtaa poistoaukon kautta säiliöön. (Airila ym. 1983, 30.)



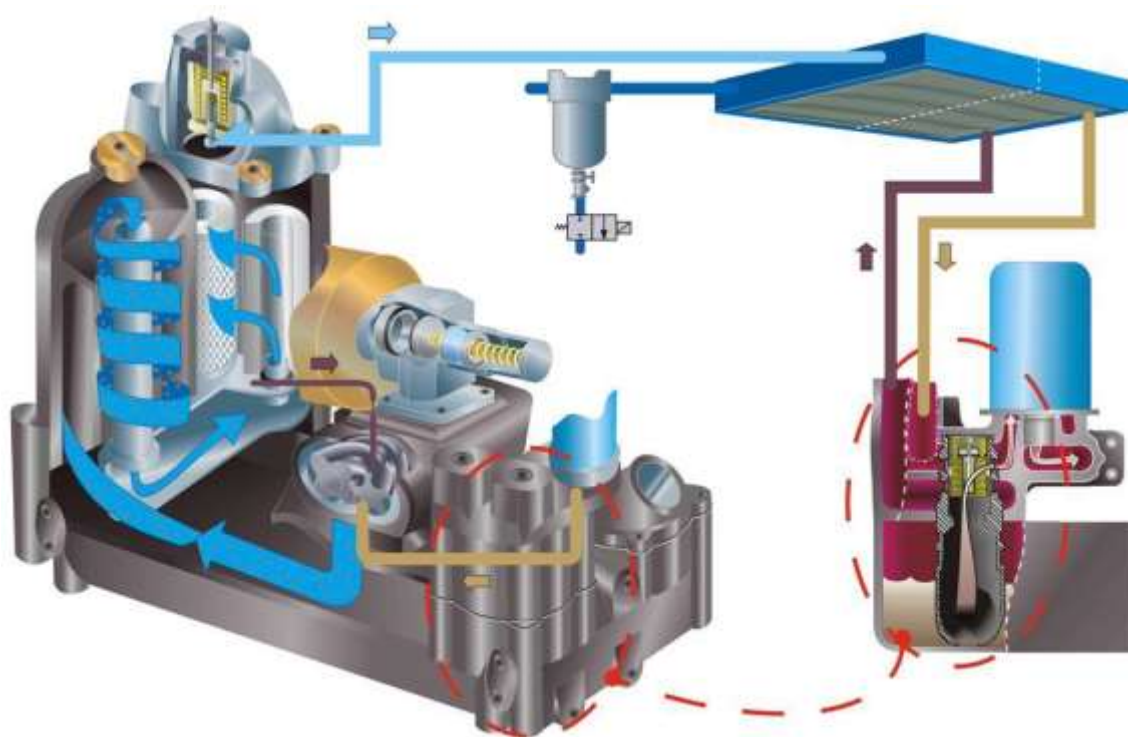
KUVA 6. Ilman puristuminen ruuviyksikössä (Gardner Denver, 2012)

Gardner Denver Oy:n Tampereen tehtaalla valmistettavat ruuvikompressorit ovat öljyllä voideltuja, joten niiden tuottama paineilma sisältää öljypartikkeleita. Voidelluissa ruuvikompressoreissa puristustilaan ruiskutetaan jatkuvasti öljyä noin yksi tilavuusprosentti ilman määrästä. Öljyn tehtävänä on roottoreiden voitelu, vuotojen tiivistys sekä puristuslämmön johtaminen pois ruuviyksiköstä. Voiteluöljy on puristuksen jälkeen erotettava paineilmosta. (Airila ym. 1983, 31.)

4.4 Öljynerotus

Voidellun ruuviyksikön tuottama paineilma sisältää ruuviyksikön voiteluun, jäähdytykseen ja vuotojen tukkimiseen käytettyä öljyä. Öljyn esierotus tapahtuu ilman ja öljyn tiheyseroon perustuen mekaanisesti. Tällöin ruuviyksiköstä tullut ilmaöljyseos pyörii säiliön reunoja pitkin, jolloin ilmaa raskaampi öljy erottuu paineilmasta (kuva 7). (Airila ym. 1983, 32.)

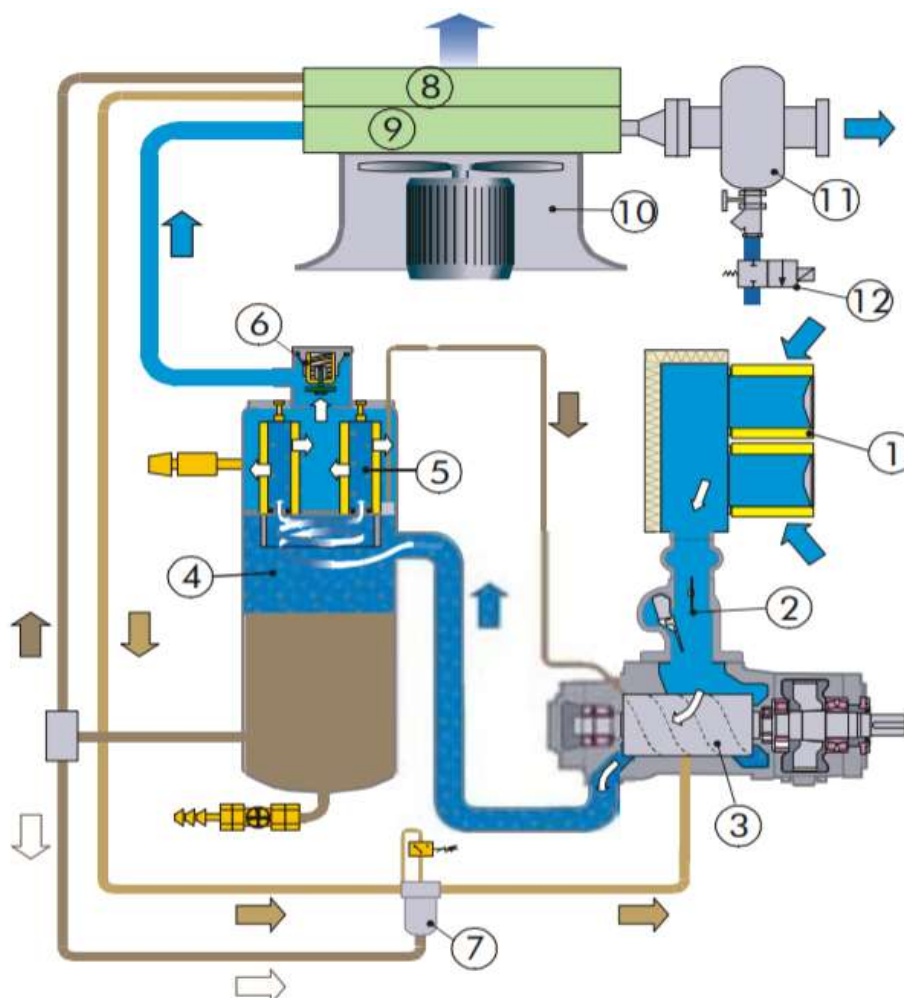
Paineilma sisältää esierotuksen jälkeen vielä öljypartikkeleita, joten paineilma ohjataan hienoerotukseen käytettävien kuidusta valmistettujen öljynerottimien läpi tuottoventtiilille. Erotuksen jälkeen öljyä joudutaan jäähdyttämään, koska puristuslämmöstä kulkeutuu jopa 60–80% öljyn mukana kompressorista. (Airila ym. 1983, 32.)



KUVA 7. Öljynerotus paineilmasta Tempest-tuoteperheen sykronissa (Gardner Denver, 2006)

4.5 Ilmajäähdytteinen ruuvikompressor

Ilmajäähdytteisessä ruuvikompressorissa puristuessaan kuumentunut paineilma, sekä roottorien ja laakereiden voiteluun käytetty kuumentunut öljy jäähdytetään yhdistelmäjäähdyttimellä ja puhaltimella. Kuvassa 8 on esitetty ilmajäähdytteisen ruuvikompressorin paineilman ja öljyn kulku systeemissä, sekä kompressorin toimintaan liittyvät komponentit. (Paineilmajärjestelmän suunnittelu, 15.)



KUVA 8. Ilmajäähdytteisen ruuvikompressorin toiminta ja komponentit (Paineilmajärjestelmän suunnittelu, 15)

Ilmajäähdytteisen ruuvikompressorin osat kuvassa 8:

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. Imusuodatin | 7. Öljynsuodatin |
| 2. Imuventtiili | 8. Öljynjäähdytin |
| 3. Ruuviyksikkö | 9. Jälkijäähdytin ja vedenerotin |
| 4. Öljysäiliö/keskipakoiserotin | 10. Termostaattiventtiili |
| 5. Öljynerotuselementti | 11. Paineilman ulostulo |
| 6. Minimipaine-/tuottoventtiili | 12. Lauhteenpoistin |

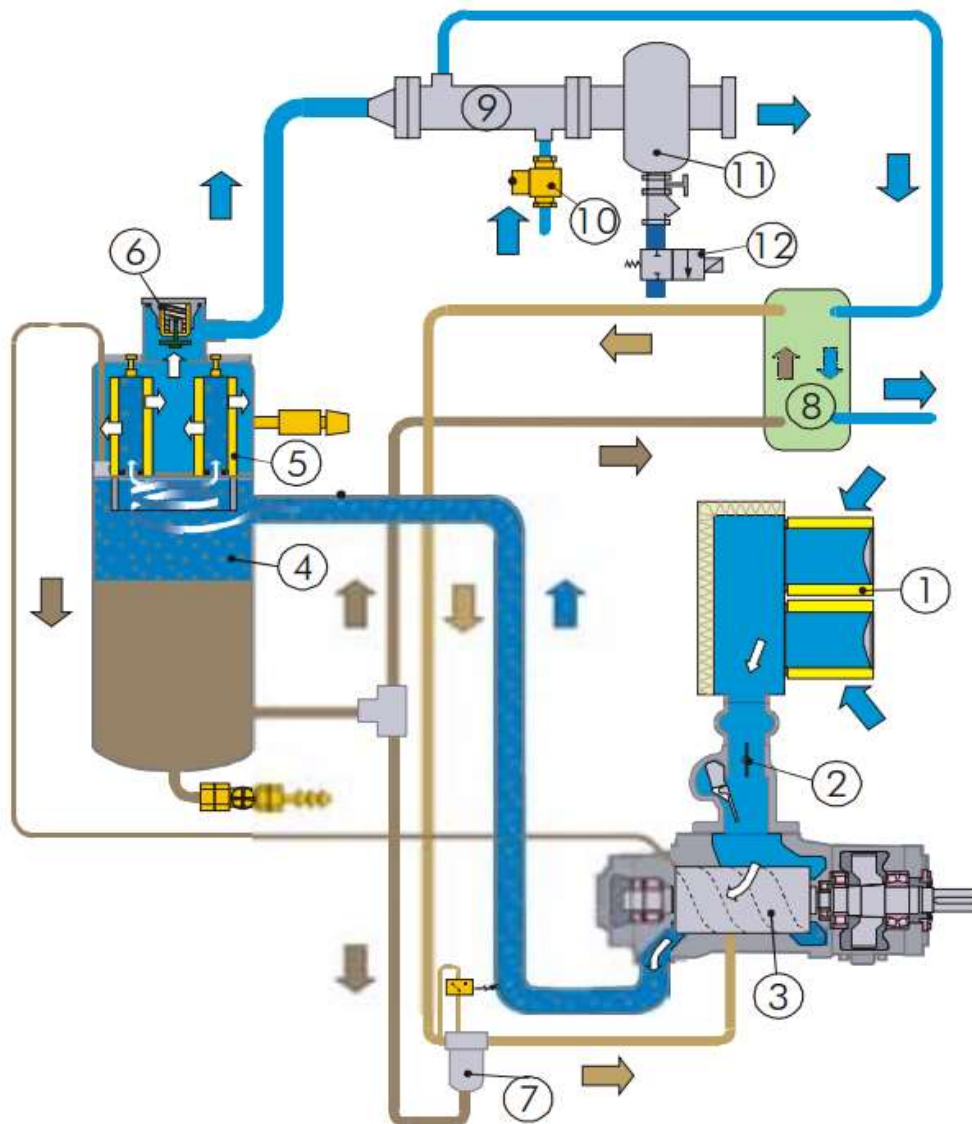
Ruuviyksikön pyöriessä öljysäiliöön virtaa paineilmaa ja öljyä. Öljysäiliössä olevan paineen kasvaessa haluttuun pisteeseen, alkaa tuottoventtiili päästää paineilmaa läpän kautta yhdistelmäjäähdyttimelle, jossa sijaitsee öljynjäähdytin sekä paineilman jälkijäähdytin. Samaan aikaan termostaattiventtiili ohjaa myös kuumenneen öljyn yhdistelmäjäähdyttimelle. Yhdistelmäjäähdyttimessä kulkevaa kuumaa paineilmaa ja öljyä jäähdytetään puhaltimen avulla. Viilentynyt öljy ohjataan öljynsuodattimen läpi takaisin ruuviyksikköön. (Paineilmajärjestelmän suunnittelu, 15.)

Kompressorista poistuttuaan paineilman lämpötila on niin korkea, että kaikki sen sisältämä vesi on höyrymäisenä. Paineilman jälkijäähdyttimellä pyritään laskemaan paineilman lämpötilaa mahdollisimman matalaksi, jolloin saadaan maksimimäärä kosteutta tiivistymään. Jälkijäähdyttimeltä paineilma ohjataan vedenerottimelle, jossa lauhdevesi erotetaan ja poistetaan lauhteenpoistimella järjestelmästä. (Paineilmajärjestelmän suunnittelu, 18.)

4.6 Vesijäähdytteinen ruuvikompressor

Vesijäähdytteisen ruuvikompressorin jäähdyttämiseen voidaan käyttää normaalia vettä tai merivettä. Molemmille vesityypeille on omanlaiset jäähdyttimensä. Ilmajäähdytteisestä ruuvikompressorista poiketen paineilman ja öljyn jäähdytys tapahtuu erillisissä lämmönvaihtimissa yhdistelmäjäähdyttimen sijaan. (Paineilmajärjestelmän suunnittelu, 17.)

Kuvassa 9 on kuvattu vesijäähdytteisen ruuvikompressorin toiminta ja siihen kuuluvat komponentit. Jälkijäähdyttimessä ja öljynjäähdyttimessä virtaava jäähdytysvesi voi olla kytketty joko sarjaan tai kokonaan eri jäähdytyspiireihin. Jäähdytysvesi tarvitsee toimiakseen 1,5 baarin paine-eron. Käytettävän jäähdytyspiirin mukaan kompressorista poistuvan jäähdytysveden lämpötilan nousu voi olla n. 30–50°C. Kompressorin sisäinen automatiikka säätää oikean käyntilämpötilan kompressorille. (Paineilmajärjestelmän suunnittelu, 17.)



KUVA 9. Sarjaan kytketty vesijäähdytyspiiri (Paineilmajärjestelmän suunnittelu, 17)

Vesijäähdytteisen ruvikompressorin osat kuvassa 9:

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. Imusuodatin | 7. Öljynsuodatin |
| 2. Imuventtiili | 8. Öljynjäähdytin |
| 3. Ruuviyksikkö | 9. Jälkijäähdytin ja vedenerotin |
| 4. Öljysäiliö/keskipakoiserotin | 10. Termostaattiventtiili |
| 5. Öljynerotuselementti | 11. Paineilman ulostulo |
| 6. Minimipaine-/tuottoventtiili | 12. Lauhteenpoistin |

4.7 Paineilman jälkikäsitteily

Paineilman jälkikäsitteilyn tarkoituksena on tehdä kompressorin tuottamasta paineilmasta käyttökohteeseensa soveltuvaa. Jälkikäsitteily kuluttaa aina energiaa ja yksittäinen suodatinkin aiheuttaa painehäviötä, joten paineilman käsitteleminen parempaan laatuun kuin todella tarvitaan aiheuttaa pelkästään kustannuksia. Siinä missä kompressorikin, myös jälkikäsitteilylaitteet hankitaan vuosien käyttöä varten, joten eri jälkikäsitteilylaitteiden ja niistä aiheutuvien käyttökustannusten huomioiminen on tärkeää. Jälkikäsitteilylaitteistosta muodostuva kokonaispainehäviö on myös huomioitava kompressoria valittaessa. (Airila ym. 1983, 48.)

Paineilman jälkikäsitteilylaitteilla pyritään poistamaan paineilmasta epäpuhtauksia. Epäpuhtauksia voivat olla esimerkiksi: vesihöyry, öljy, hiukkaset, bakteerit ja virukset, ympäristön kaasut sekä jälkikäsitteilystä lähtevät epäpuhtaudet. Epäpuhtauksista päästään eroon erilaisilla suodattimilla, kuivaimilla ja imuilman otto paikan valikoinnilla. (Airila ym. 1983, 48.)

Paineilman sisältämän veden haittavaikutukset voidaan poistaa ainoastaan kuivaamalla paineilma. Kompressoripaketissa oleva paineilman jälkijäähdytin toimii varsinaisen kuivaimen esiasteena. Jälkijäähdytyksen avulla paineilman kastepiste alenee huomattavasti, mutta jäähdyttimestä poistuvan paineilman suhteellinen kosteus on melkein poikkeuksetta 100%. Yleisimmät paineilman kuivausmenetelmät ovat jäähdytys- ja adsorptiokuivaus. Jäähdytyskuivaimesta tuleva ilma soveltuu sisäkäyttöön ja adsorptiokuivaimesta tuleva ilma puolestaan ulkokäyttöön. Yhdistelmäkuivaus on kuivausmenetelmä, jossa yhdistyvät jäähdytys- ja adsorptiokuivausmenetelmät. (Suodatus ja kuivaus, 1–7.)

Jäähdytyskuivaimen avulla paineilman lämpötilan alentaminen tapahtuu kylmäkoneeseen kytketyn lämmönvaihtimen avulla. Paineilman lämpötila pyritään laskemaan paineenalaiseen kastepisteeseen, jolloin vesihöyry saadaan tiivistymään nesteeksi ja poistettua jäähdytetystä ilmasta. Menetelmän avulla lämpötilaa voidaan alentaa hieman 0°C yläpuolelle, alempiin lämpötiloihin meneminen ei ole mahdollista lämmönvaihtimen jäätyksen takia. Jäähdytyksen ja vedenpoiston jälkeen paineilma jälkilämmitetään ilma/ilma lämmönvaihtimen avulla,

jotta kuivaimesta poistuvan paineilman suhteellista kosteutta saadaan laskettua. Keskikokoisen kompressorin jälkijäähdyttimestä, jonka tuotto on noin 16 m³/min, poistuu noin 70 litraa vettä yhden työpäivän aikana. Jäähdytyskuivaimen avulla poistettavan veden määrää paineilmasta voidaan kasvattaa vielä noin 35 litralla sekä pudottaa kuivaimesta poistuvan ilman suhteellista kosteutta alle 20%.

(Suodatus ja kuivaus, 7.)

Adsorptiokuivaimessa paineilman sisältämät vesimolekyylit adsoroidaan kuivausaineeseen. Kuivausaineina voidaan käyttää alumiinioksidia, piidioksidia tai tarkoitukseen soveltuvia molekyyliseuloja. Adsorptiokuivauksen avulla paineilmasta voidaan poistaa lähes kaikki sen sisältämät vesimolekyylit. Tässä kuivausmenetelmässä kuivattavan paineilman lämpötilaa ei alenneta, joten kuivaimesta poistuvan paineilman suhteellinen kosteus on erittäin pieni. Adsorptiokuivain koostuu kahdesta erillisestä kammioista, joiden sisässä on kuivausainetta. Kuivausainetta elvytetään aina toisesta kammioista, toisen kammion ollessa käytössä. Kuivausaineen elvytys voi tapahtua paineilman avulla tai kuumentimen kuumentamalla ilmalla, jolloin kuivausaine luovuttaa siihen kertyneen kosteuden virtaavan ilman mukaan. (Suodatus ja kuivaus, 8.)

5 TUOTEKEHITYKSEN TEORIAA

5.1 Tuotekehitys

Tuotekehitys on määrätietoista toimintaa uusien tuotteiden ja palveluiden kehittämiseksi tai jo olemassa olevien tuotteiden sekä palveluiden parantamista. Uusien tuoteideoiden kehittämiseksi yritys voi tutkia asiakkaiden tai ihmisten toimintaa ja arkielämää. Tätä kautta voidaan tunnistaa sieltä kumpuvia tarpeita ja kehittämisaikajatuksia. (Villanen 2016, 104.)

Tuotekehitys on parhaassa tapauksessa yrityksessä jatkuva prosessi, jossa kehitystyö voi lähteä mistä tahansa tuotekehitysprosessin vaiheesta. Yrityksessä tulisikin olla jatkuva pyrkimys synnyttää uusia tuotteita ja palveluita, joilla pystytään entistä paremmin ja kustannustehokkaammin luomaan ratkaisuja asiakkaiden tarpeisiin. Lisäksi yrityksen omaa toimintaa on syytä arvioida jatkuvasti ja karsia kannattamattomia ja kilpailukykynsä menettäneitä tuotteita. (Villanen 2016, 104.)

Luova työ ja luovuus ovat suuressa merkityksessä tuotekehitystoiminnassa. Uusia tuotteita syntyy yrityksissä vain päästämällä luovuus valloilleen ja uskomalla kehityksen tärkeyteen. Yrityksen tulisikin laajentaa ajatteluaan totuttujen käytäntöjen ulkopuolelle, jotta mullistavien innovaatioiden synnyttäminen on mahdollista (Villanen 2016, 119). Luovaan ongelmanratkaisuun kuuluu ongelman tai parannusmahdollisuuden huomaaminen, siihen liittyvien tosiasioiden, näkemysten ja tavoitteiden tunnistaminen, sekä lähestymistapojen ja ideoiden tuottaminen, ideoiden arvioiminen, valitseminen ja toteuttaminen. (Hietikko 2008, 16.)

Kehittäjän on kyettävä hahmottamaan myös tuotteen valmistukseen liittyvät seikat sekä arvioimaan potentiaalisia markkinoita siten, että tuotteen valmistaminen pysyy kannattavana (Hietikko 2008, 15). Uuden teknisen ratkaisun kehittämisprosessin alkupuolella kannattaa selvittää, että mitkään tekijät kuten turvallisuusmääräykset tai aiemmin tehdyt patenttihakemukset eivät estäisi tuotteen myyntiin asettamista. (Villanen 2016, 133.)

Mikäli uudelle tekniselle ratkaisulle ei löydy ennestään patenttia, kannattaa siihen hakea patenttia ennen teknisen ratkaisun esittelyä tai mainostamista. Patenttia haettaessa kannattaa kuitenkin arvioida keksinnön tuotto-odotukset verrattuna patentoinnin kustannuksiin. (Villanen 2016, 136.)

5.2 Strategia

Menestyvällä yrityksellä tulee olla hyvä strategia, joka nivoo yrityksen perusarvot, vision ja mission yhteen, sekä kertoo kuinka mission pohjalta, perusarvoja noudattaen kurkotetaan kohti visiota. Yrityksen perusarvot heijastavat usein perustajien ja omistajien näkemykseen ja maailmankatsomukseen, mutta yleensä ne kohdistuvat liiketoimintaan liittyviin tärkeinä pidettäviin asioihin. Visio puolestaan kuvastaa yrityksen tulevaisuuden näkymää. Yrityksen visiot asetetaan usein 5-15 vuoden päähän, mutta ne voivat olla myös eräänlaisia tavoittamattomia haaveita. Missio tarkoittaa yrityksen toiminta-ajatusta, josta käy ilmi miksi yritys on olemassa, ketkä ovat sen asiakkaita, mitä tuotteita ja palveluita se tuottaa, sekä millaisia tarpeita yritys tyydyttää. (Hietikko 2008, 25.)

Strategia asettaa yrityksen kehitykselle suuntaviivat ja kehykset, jotka ohjaavat sen operatiivista toimintaa ja prosesseja. Strategian avulla voidaan määrittää esimerkiksi yrityksen ydinosaaminen, kriittiset menestystekijät, kilpailuedut ja sen kuinka näitä käytetään hyödyksi liiketoiminnassa. (Hietikko 2008, 26.)

5.3 Tuotestrategia

Tuotekehitysprosessi edellyttää yrityksessä voimassa olevaa tuote- tai innovaatiostrategiaa, jonka tulee olla linjassa yrityksen liiketoimintastrategian kanssa. Tuotestrategia on yrityksen strategian tärkeä osa, mistä käy ilmi millä keinoin yritys pyrkii kohti päämääräänsä innovaatiotoiminnan avulla. Tuotestrategian tärkeimpiä elementtejä ovat tuotteen olennaisen tarkoituksen määrittäminen ja asiakkaiden muuttuvien tarpeiden seuraaminen. (Hietikko 2008, 27.)

Tuotekehitysprojekteista onnistuu yleensä vain osa, sillä harvat projektit etenevät toteutusvaiheeseen asti. Jokaisen idean tuotteeksi kehittäminen ei ole järkevää toimintaa, sillä ilman asiakkaan tarvetta ei tuotekehitysprosessiakaan kannata käynnistää. Uusien tuotteiden suunnittelu muodostaakin usein melko pienen osan suunnitteluosaston tehtävistä, koska valtaosa työmäärästä kohdistuu jo olemassa olevien tuotteiden osien ja moduulien kehittämiseen ja modifiointiin. (Hietikko 2008, 30.)

Tuotestrategian konkreettisena ilmentymänä voidaan pitää yrityksen tuoteohjelmaa. Tuoteohjelmasta selviää mitä tuotteita ja malleja yritys kehittää ja lanseeraa tulevien vuosien aikana. Sen tehtävänä taloudellisesti kannattavalla tavalla on: tuotteiden jatkuva kehitys asiakkaiden tarpeiden muutoksia seuraten, ylläpitää markkinoinnin ja tuotannon välityksellä tuoteperheitä ja hylätä vanhentuneet ja kannattamattomat tuotteet, sekä huolehtia liitännäistekijöistä (tuotevastuu-, patenti-, mallisuoja-, yms. kysymyksistä). (Hietikko 2008, 31.)

5.4 Tuotekehitysprosessi

Tuotekehitysprosessista on olemassa paljon erilaisia kuvauksia ja malleja. Käsitteenä tuotekehitysprosessi on kuitenkin hyvin laaja, joten yleensä puhutaan projektinomaisesta toteutuksesta, eli tuotekehitysprojekteista. Tuotekehitysprojektin tavoite, resurssit ja aikataulu ovat määritellyt, kun taas tuotekehitysprosessi on jatkuvaa ja hajautettua, jokapäiväistä toimintaa. (Hietikko 2008, 41–45.)

Tuotekehitysprojekti ei yleiseltä rakenteeltaan poikkea paljoakaan muista projekteista. Sille on määritetty suunnitelma ja reunaehdot, sekä siihen sisältyvät ohjaus ja johto, katselmoinnit ja erilaiset palaverit. (Hietikko 2008, 41–45.)

Erilaisia tuotekehityksen prosessimalleja on useita. Ulrich-Eppinger-malli (kuvio 1) kuvastaa prosessia peräkkäismallimaisesti, mutta se soveltaa tietyissä määrin myös takaisinkytkentää. (Hietikko 2008, 42.)



KUVIO 1. Karkea prosessikuvaus Ulrich-Eppinger-mallista (Hietikko 2008, 42, muokattu)

1. **Tuoteohjelman suunnittelu.** Tuotekehitysprojektin tulee olla linjassa yrityksen tuotestrategian kanssa. Projektille asetetaan samalla tavoitteet ja reunaehdot. Lisäksi voidaan tehdä esiselvitys projektin toteutuksen kannattavuudesta. (Hietikko 2008, 43.)

2. **Konseptisuunnittelu.** Konseptisuunnittelussa on tärkeää selvittää asiakas-tarve. Systemaattisen työn kautta saatavilla tarvelauseilla ja kilpailijoiden tuotteiden benchmarkauksella pystytään asettamaan tuotespesifikaatiot, jotka ovat tuotteeseen liittyviä mitattavia ominaisuuksia ja niille asetettuja tavoitearvoja. Tämän jälkeen siirrytään luovan työn vaiheeseen, jossa pyritään generoimaan mahdollisimman paljon ideoita ja luonnoksia asiakkaan tarpeen ratkaisemiseksi. Ratkaisut voidaan myös tarvittaessa jakaa osaongelmiin, joihin etsitään erikseen ratkaisuvaihtoehtoja. Lopuksi luonnokset evaluoidaan ja niistä valitaan yksi tai useampi jatkokehitykseen. (Hietikko 2008, 43.)

Luonnokset yleensä evaluoidaan matriisimenetelmällä. Matriisi voi olla yksinkertainen pisteytysmatriisi, jossa kukin idea pisteytetään sen mukaan, kuinka hyvin se toteuttaa evaluointikriteerit. Evaluointikriteerit voivat olla esimerkiksi asiakkaan tarpeen tai spesifikaatioiden mukaan laadittuja tarvelauseita. Pistet lasketaan yhteen ja eniten pisteitä saaneet valitaan jatkoon. (Hietikko 2008, 99.)

3. **Systemisuunnittelu.** Systemisuunnitteluvaiheessa pohditaan jatkokehitykseen valittujen mallien tuoterakennetta ja modulointia siten, että tuotteen varioinnin avulla saadaan mahdollisimman monen asiakkaan tarpeita tyydyttävä vaihtoehto. (Hietikko 2008, 43.)

Moduulit muodostetaan käyttäen hyväksi selkeitä rajapintoja, joiden kautta moduulit kytkeytyvät toisiinsa kiinni. Moduulin toiminnallisuuden lisäksi tulee huomioida niiden valmistustekniikka ja mahdollisesti omana tai alihankintana toteutettavat moduulit. (Hietikko 2008, 43.)

Tuotteiden tulisi perustua tuoteperheisiin, jossa tuotteiden moduloinnin avulla pystytään tuottamaan räätälöityjä tuotteita asiakkaiden tarpeisiin rajatusta määrästä moduuleita. Asiakaskohtaisesti räätälöidyt moduulit eivät saa kuitenkaan vaikuttaa moduulit toisiinsa kytkevään rajapintaan. (Hietikko 2008, 111.)

Konfiguroinnin avulla voidaan nitoa helposti yhteen toistensa kanssa yhteensopivat rajapinnat omaavat moduulit. Konfiguroiduilla tuotteilla yritys voi huomattavasti sekä nopeuttaa ja helpottaa myyntiprosessia, että standardoida toimintoja lisäämällä samalla toimitusprosessissa liikkuvan informaation määrää ja laatua. Konfiguroinnin avulla saadaan nopeasti selville, onko tilattu tuote A (täysin vakioiduista moduuleista kasattu), B (osittain räätälöitävä) vai C (prototyyppi) tuote. (Hietikko 2008, 112.)

4. **Detaljisuunnittelu.** Detaljisuunnitteluvaiheessa tuotteen jokainen osa ja kokoonpano saavat lopullisen muotonsa. Tässä vaiheessa määritetään myös osien materiaalit ja valmistusvaiheet sekä tarvittavat työkalut tuotteen valmistukseen. Tuotteen valmistuskustannukset ovat myös usein määriteltävissä tässä vaiheessa. (Hietikko 2008, 43.)

Nykyaikaisessa tuotannossa suunnittelijat ja valmistajat eivät ole samoja henkilöitä, vaan tuotteita valmistetaan toimitusverkostossa laadittujen suunnitelmien mukaan. Valmistussuunnitelma esitetään usein teknisten piirustusten muodossa, mutta nykyään yhä useammin myös suoraan 3D-tiedostona. 3D-tiedostosta voidaan esimerkiksi suoraan laatia numeeristen työstökoneiden työstöradat. (Hietikko 2008, 123.)

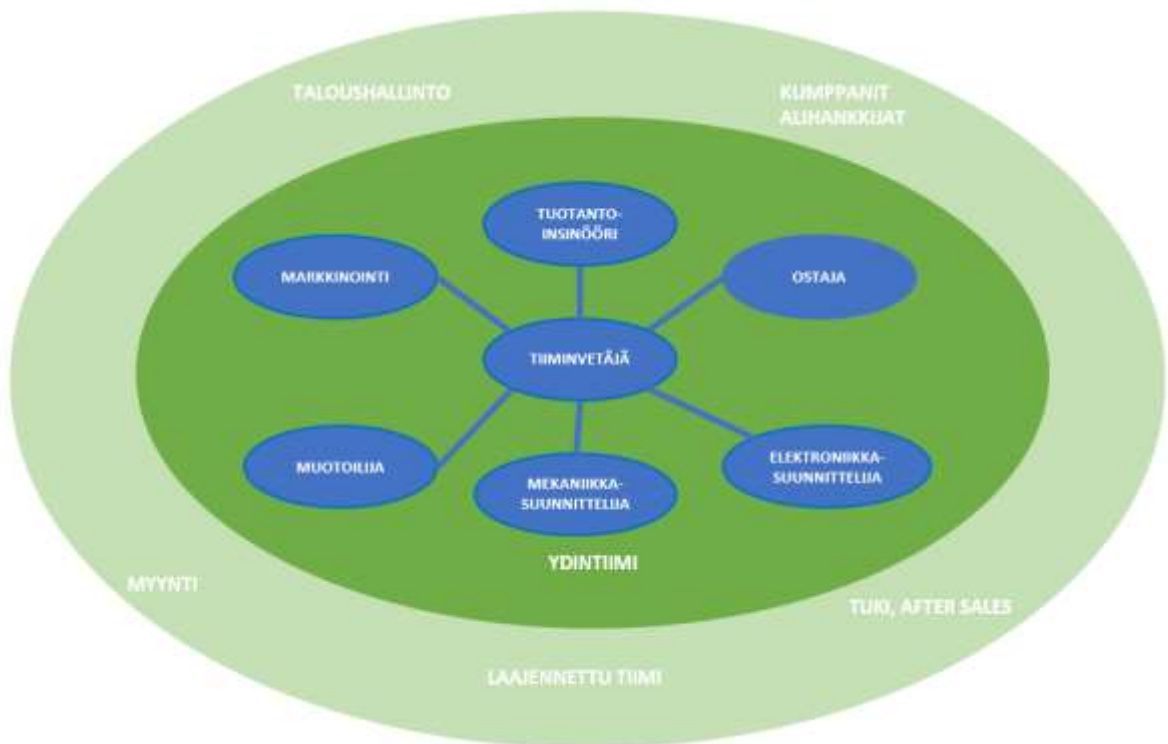
5. **Testaus.** Testausvaiheessa tuotteesta pitää olla olemassa prototyyppi. Prototyypin ei tarvitse olla täysin yhtenevä lopullisen tuotteen kanssa. Joskus prototyyppi voidaan korvata myös pienoismallilla tai tietokonemallilla. Tuotteen

testausvaiheessa on tärkeää varmistua siitä, että tuote toimii halutulla tavalla, sekä siitä, että se voidaan valmistaa riittävän edullisin kustannuksin. (Hietikko 2008, 43.)

6. **Tuotanto.** Ensimmäinen varsinainen tuotantosarja on koesarja eli 0-sarja. Koesarjan avulla testataan tuotantoa ja koulutetaan työntekijöitä. (Hietikko 2008, 43.)

5.5 Tuotekehitysprojekti

Tuotekehitystoiminta vaatii laaja-alaista osaamista, joten projektin organisaatio koostuu useiden alojen asiantuntijoiden muodostamasta tiimistä. Projektiorganisaatiot ovat tyypillisesti rakenteeltaan nopeasti muuttuvia ja yksi henkilö voi olla samaan aikaan useammassa projektissa mukana. Kuviossa 2 on esitetty eräänlainen tuotekehitystiimi, johon kuuluvat ydintiimi ja laajennettu tiimi. (Hietikko 2008, 44.)



KUVIO 2. Tyypillinen tuotekehitystiimi (Hietikko 2008, 44, muokattu)

Tuotekehitystiimissä jokaisella asiantuntijalla on oma vastuualueensa ja roolitus voi olla esimerkiksi seuraava:

1. **Markkinointi.** Markkinointi pitää huolta yrityksen asiakkaiden ja tiimin välisestä vuorovaikutuksesta. Markkinointi usein vastaa markkinasegmenttien määrittelystä, asettaa tuotteelle tavoite hinnan ja huolehtii sen lanseerauksesta. (Hietikko 2008, 44.)
2. **Suunnitteluinsinöörit.** Elektroniikka- ja mekaniikkasuunnittelijat vastaavat tuotteen detaljisuunnittelusta ja rakenteen optimoinnista. (Hietikko 2008, 44.)
3. **Valmistus.** Valmistus suunnittelee ja toteuttaa tuotantojärjestelmän, joka mahdollistaa tuotteen valmistamisen. (Hietikko 2008, 44.)
4. **Teollinen muotoilija.** Muotoilijan vastuualueella on tuotteen ulkomuodon suunnittelu asiakasta houkuttelevaksi, sekä suunnitella tuotteen käytettävyyttä ja käyttöliittymää. (Hietikko 2008, 44.)

Tuotekehitysprojehti alkaa muiden projektien tapaan projektin asettamisella, jonka yhteydessä määritellään ainakin projektin lähtökohdat, rajaukset ja tavoitteet. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi laatimalla yhdelle A4-sivulle ns. Mission Statement -kuvaus. Siihen kiteytetään projektin peruslähtökohdat ymmärrettävässä muodossa, jolloin kaikki projektiin osallistuvat voivat hyödyntää sitä projektin aikana. (Hietikko 2008, 45.)

Suuremmissa projekteissa voi olla tarpeellista tehdä esiselvitystä projektin kannattavuuteen liittyen. Projektin toteutusta varten myös laaditaan projektisuunnitelma, johon tärkeinä osina kuuluvat projektin tavoitteet, aikataulutus, käytettävissä olevat resurssit, vastuujako, budjetti, katselmoinnit jne. (Hietikko 2008, 46.)

Varsinaisen projektin aluksi pidetään yleensä ns. kick-off-palaveri, jossa projektin asettaja esittelee projektin tuotekehitystiimille käyttäen hyväksi Mission Statement -määrittelyä. Kick-off-palaveri onkin useimmiten kaikista tärkein projektin aikana pidetyistä palavereista, koska sen aikana on tarkoitus tehdä kaikki projektiin liittyvät keskeiset päätökset. (Hietikko 2008, 49.)

Merkittävässä osassa tuotekehitysprojektin suunnittelussa on myös riskien hallinta. Riski on tapahtuma, jolla on tietty toteutumisen todennäköisyys sekä vaikutus projektin aikatauluun, laatuun ja kustannuksiin. Riskienhallinta prosessi muodostuu riskien tunnistamisesta, arvioinnista ja toimenpiteiden suunnittelusta ja toimeenpanosta. (Hietikko 2008, 50.)

Projektin päättäminen ja onnistumisen arvioiminen on tärkeä vaihe projektia. Projektin päätös tapahtuu yleensä päätöskokouksessa, jossa esitellään projektin loppuraportti sidosryhmien edustajille. Projektin aikana syntyvien dokumenttien viimeistely ja arkistointi on tärkeää ja tiimin kanssa onkin hyvä sopia yhteisestä projektikansiosta, mistä löytyy kaikki projektiin liittyvä tieto sekä dokumentit. (Hietikko 2008, 50.)

6 3D-MALLINNUKSEN TEORIAA

6.1 Tietokoneavusteinen suunnittelu (CAD)

Tietokoneavusteisen suunnittelun eli CAD (Computer Aided Design / Computer Aided Drafting) juuret johtavat 1960-luvulle, jolloin ensimmäiset tietokoneella luodut 3D-mallit on tehty. Silloin ensimmäisen 3D-mallinnusohjelmiston kehittänyt amerikkalainen Ivan Sutherland loi Sketchpad-ohjelmiston. Tähän aikaan tosin tietokoneet olivat liian kalliita valtaosalle väestöstä, joten vasta 1980-luvulla 3D-mallinnusohjelmat alkoivat yleistyä enemmän. 1990-luvusta eteenpäin 3D-mallinnusohjelmistot ovat kehittyneet nopealla vauhdilla eteenpäin yhdessä alati kehittyvän tietotekniikan kanssa. (Easy render)

Tietokoneavusteinen suunnittelu käyttää tietokoneen matemaattista ja graafista mallinnuskykyä toimien suunnittelijan työkaluna. Nykyaikaisilla CAD-järjestelmillä voidaan 3D-mallintaa yksittäisiä osia ja luoda kokoonpanoja. Lisäksi niiden avulla syntyvät valmistuskuvat ja räjäytyskuvat nopeammin kuin vanhemmilla kaksiulotteisilla CAD-järjestelmillä. Tärkeänä tietokoneiden sovellusalueena suunnittelytyössä on myös tuotetiedon hallinta. Nykyaikaiset CAD-järjestelmät pystyvätkin tuottamaan tuotteen osaluettelon vaivattomasti, jolloin sen siirtäminen myös toiminnanohjausjärjestelmään helpottuu ja nopeutuu. (Hietikko 2008, 128.)

Viime vuosien aikana jatkuvasti kehittyvä teknologia on tuonut monia uusia hyödyntämiskeinoja CAD-järjestelmillä luoduille 3D-malleille. 3D-malleille voidaan ajaa simulaatioita, jotka antavat informaatiota tuotteen ominaisuuksista. Simulaatioilla voidaan esimerkiksi mallintaa nesteiden ja kaasujen virtausta 3D-mallissa tai tehdä lujuuslaskentaa. (Vertex)

3D-tulostaminen on myös yleistynyt tekniikan eri osa-alueilla. 3D-tulostamalla voidaan luoda monimutkaisempia muotoja kuin perinteisillä työstökoneilla. Kappaleen sisään voidaan esimerkiksi tehdä kanavia ja vähentää kappaleen painoa topologisella optimoinnilla tuotteen lujuusominaisuuksien kärsimättä. (An-cad-solutions)

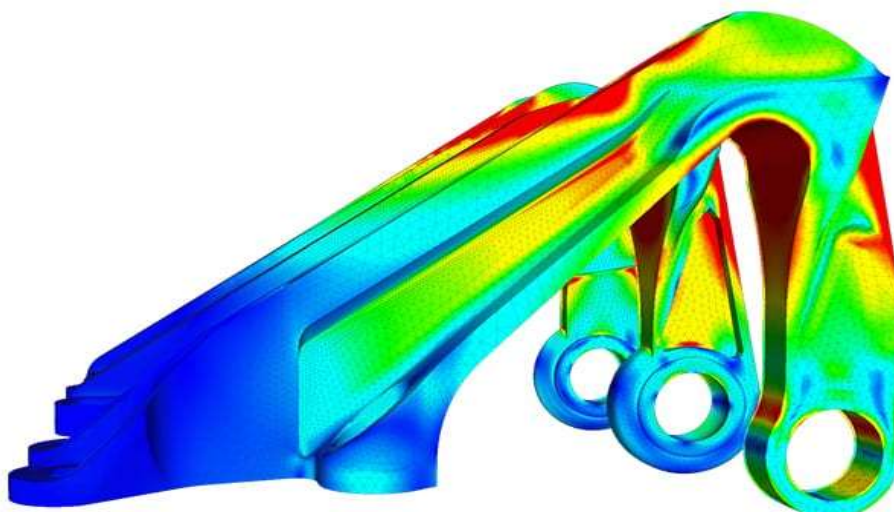
3DPDF-tiedosto on PDF-tiedostotyyppi, jonka sisään voidaan sisällyttää 3D geometriaa. 3D-sisältöä voidaan esimerkiksi pyörittää ja tarkentaa kyseistä formaattia tukevan laitteen ruudulla sekä valita eri näkymiä ja komponentteja kokoonpanoista tarkasteltavaksi. 3DPDF-tiedostoon voidaan myös sisällyttää mm. asennusohjeita ja osalistoja. (Adobe)

6.2 Finite Element Method (FEM)

Finite Element Method (FEM) tarkoittaa elementtimenetelmällä suoritettua laskentaa. Elementtimenetelmää käytetään kappaleen rakenteen muodon ja materiaalinkäytön optimoimiseen sekä rakenteen kestävyuden tarkasteluun. Menetelmän avulla voidaan mallintaa lähes millainen tahansa kappale tai kokonaisuus, materiaaliominaisuus tai kuormitus. Elementtimenetelmän avulla voidaan tuottaa likimääräisen ratkaisun lähes miltä tahansa insinööritieteiden alueelta aina jännitysten laskennasta lämmönjohtavuuksiin. FEM-laskenta oli alun perin tarkoitettu lähinnä jännitysten laskentaa varten, mutta nopeasti huomattiin, että samat periaatteet sopivat myös esimerkiksi värähtelymekaniikkaan, akustiikkaan, nesteiden dynamiikkaan ja lämmönjohtumisen ongelmiin. (Hietikko 2008, 103.)

FEM-menetelmässä kappaleen rakenne kuvataan pienemmillä osilla eli elementeillä. Elementit kytkeytyvät toisiinsa solmupisteissä muodostaen elementtiverkon (kuva 10). Nämä elementit pyrkivät kuvaamaan tutkittavaa kappaletta mahdollisimman tarkasti, mutta usein se onnistuu vain likimääräisesti. Likimääräisyys aiheuttaa laskennassa virhettä, jota voidaan pyrkiä vähentämään käyttämällä esimerkiksi kolmiulotteisia ja riittävän pieniä elementtejä kappaleen kaarevilla pinoilla, nurkissa ja muotojen yhtymäkohdissa. (Hietikko 2008, 103.)

FEM-mallia voidaan kuvitella jousien muodostamaksi systeemiksi, jossa ulkoisen kuorman vaikuttaessa systeemin kaikki elementit (jouset) muuttavat muotoaan, kunnes systeemi on jälleen tasapainossa. Elementtiverkon jokaista elementtiä kohden voidaan kirjoittaa tasapainoyhtälöt, jotka yhdistetään yhteensopivuusehtojen avulla solmupisteissä. (Hietikko 2008, 103.)



KUVA 10. Elementtiverkko kappaleen pinnalla (Simscale)

Solmupisteiden koordinaattien ja materiaalin ominaisuuksien avulla muodostetaan jäykkyyssmatriisi. Jäykkyyssmatriisi yhdistetään kuormitukseen ja tätä kautta saadaan selville solmupisteen siirtymä. Kappaleessa vaikuttavat jännitykset voidaan laskea solmupisteiden siirtymien kautta. Systemi edellyttää usein satojen tai jopa tuhansien yhtälöiden yhtälöryhmän ratkaisemista, joten sen ehdoton edellytys on tietokoneen käyttö. (Hietikko 2008, 103.)

FEM-laskenta perustuu lujuusoppiin ja lujuusoppiin perustuen on muodostunut erilaisia lujuushypoteesejä, eli yleisiä teorioita. Näiden teorioiden perusteella voidaan tehdä analyysejä, joiden tulosten perusteella voidaan päätellä, kestäkö kappale tietyn jännitystilän vaurioitumatta. (Vertex)

Yleisimmät lujuushypoteesit:

1. **Maksimipääjännityshypoteesi** – hauraille materiaaleille (esim. valurauta)
2. **Maksimileikkausjännityshypoteesi (Tresca)** – sitkeille materiaaleille (esim. rakenneteräkset)
3. **Vakiomuodonvääristymisenergiahypoteesi (von Mises)** – sitkeille materiaaleille (esim. rakenneteräkset) (Vertex)

6.3 Tuotetiedon hallinta (PDM)

Tuotetiedon hallinnasta käytetään lyhennettä PDM (Product Data Management) ja samaa lyhennettä käytetään myös tätä tarkoitusta varten luoduista ohjelmistoista. PDM-järjestelmä on vahvasti tuotekehitysorientoitunut ja yrityksen muita toimintoja hallitaan ERP-toiminnanohjausjärjestelmän avulla (Enterprise Resource Planning). Tuotekehityksessä hyvällä tuotetiedon hallinnalla on keskeinen merkitys. Rakenteiden hallinnan ja osien uudelleenkäytön kannalta on erittäin tärkeää, että tuotetiedon hallinnassa käytettävät periaatteet mietitään perusteellisesti. (Hietikko 2008, 170.)

PDM-järjestelmän tarkoituksena on hallita kaikkea tuotteeseen liittyvää tietoa sen elinkaaren aikana. Tuotteeseen liittyvä tieto voi sisältää esimerkiksi 3D-geometriaa, piirustuksia, projektisuunnitelman, kokoonpano-ohjeet, NC-ohjelmat, osaluettelot sekä FEM-analyysin tulokset. PDM-järjestelmää käytetään yrityksen tuotteeseen liittyvän tiedon luomiseen, tallentamiseen ja säilyttämiseen siten, että tieto on helposti löydettävissä ja jalostettavissa. PDM-järjestelmää voisikin luonnehtia eräänlaiseksi tietoholviksi, josta dokumentit otetaan muokattavaksi ja palautetaan uutena revisiona takaisin. (Hietikko 2008, 70.)

6.4 Tuotteen elinkaarihallinta (PLM)

Tuotteen elinkaaren hallinta PLM (Product Lifecycle Management) on laajempi kokonaisuus verrattuna PDM-järjestelmään. PLM-järjestelmää voidaan pitää integroituna ohjelmistoympäristönä, johon kuuluvat tuotteen suunnittelu, menetelmäsuunnittelu, tuotannosuunnittelu, logistiikka sekä huolto ja kunnossapito. (Hietikko 2008, 174.)

PDM-järjestelmän rajoituessa tuotetiedon hallintaan, sisältää PLM-järjestelmä esimerkiksi myös CAD-ohjelmistoja sekä digitaalisen valmistuksen suunniteluohjelmistot. Digitaalisen valmistuksen tärkeinä osina ovat suuria tietomääriä hallitsevat tietokannat, prosessin mallinnus-, simulointi-, ja analysointityökalut sekä kollaboraatio- ja integrointityökalut. (Hietikko 2008, 174.)

Digitaalinen tuotanto integroituu myös järjestelmätasolla yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään (ERP) ja SCM-järjestelmiin (Supply Chain Management) sekä laitetasolla NC-ohjaimiin, robottiohjaimiin ja ohjelmoitaviin logiikoihin. (Hietikko 2008, 174.)

7 OPINNÄYTETYÖN TUOTEKEHITYSPROJEKTI

7.1 Tuotespesifikaatio

Tuotekehitysprojektin aluksi järjestettiin ns. kick-off-palaveri, jossa käytiin projektin aihe osallistujien kesken läpi. Palaverin keskeisenä tarkoituksena oli saada tuotekehitystiimin kesken yhteinen käsitys siitä, mikä on projektin tavoite, millä tavoilla tavoitteeseen pyritään pääsemään ja missä aikataulussa projekti toteutetaan. Lisäksi oleellisena oli listata päätetyt mekaniikka- ja sähköoptiot tuotespesifikaatioon, jotta niitä olisi helppo tarkastella projektin edetessä.

Palaverissa oli osallisina yrityksen henkilöstöä tehtaan suunnittelusta sekä myynnistä. Tuotekehitystiimin roolitus jakaantui seuraavasti: Mekaniikkasuunnittelijan vastuualueella oli mm. instrumentti-ilmayksikön layout- ja runkosuunnittelu, 3D-mallintaminen sekä valmistuskuvien luominen. Sähkösuunnittelijan vastuualueella oli mm. instrumentti-ilmayksikön muuntajan ja sähköjohdotusten suunnittelu. Myynnin edustaja vastasi asiakkaan tarpeiden huomioimisesta ja yhteydenpidosta asiakkaan suuntaan. Tiiminvetäjä puolestaan piti huolta dokumentoinnista ja projektin aikataulutuksesta.

Uudelle tuoteperheelle päätettiin palaverissa nimi, TIC7–22. Nimi on linjassa jo aikaisemmin luodun TIC30–37 tuoteperheen kanssa. Nimessä esiintyvät kirjaimet tulevat englanninkielisistä sanoista: ”Tamrotor Industrial Compressors”. Numerot ”7–22” kuvastavat tuoteperheen tehoaluetta kilowateissa. Kyseinen instrumentti-ilmayksikkö on saatavissa useassa eri teholuokassa nimillä: TIC7, TIC11, TIC15, TIC18,5 ja TIC22.

Pääkehityskohdiksi valikoituivat instrumentti-ilmayksikön uuden layoutin suunnittelu ja designin optimointi. Uudelleensuunnittelulla oli tarkoitus helpottaa tuotteen kokoonpanoa, pienentää tarvittavaa lattiapinta-alaa sekä mahdollistaa tuotteen kokoonpano myös Tampereen tehtaan tuotantotiloissa. Aikaisempaa versiota instrumentti-ilmayksiköstä oli kokoonpantu Vantaan toimipisteellä, vaikkakin itse kompressori kokoonpantiin ja koekäytettiin Tampereen tehtaalla. Näin ollen oli järkevää siirtää koko instrumentti-ilmayksikön valmistus samalle toimipisteelle.

7.2 Vanhan instrumentti-ilmayksikön layout ja toimintaperiaate

Aiemmin tuotannossa olleen instrumentti-ilmayksikön runko oli L-kirjaimen muotoinen. Kuvan 11 oikeassa reunassa on ilmajäähdytteinen ruuvikompressori, joka tuottaa paineilmaa painesäiliöön. Painesäiliöstä paineilma menee hienosuodattimelle. Hienosuodattimelta paineilma jatkaa matkaa rungon edessä sijaitsevalle paineilman jäähdytyskuivaimelle. Jäähdytyskuivaimella kuivattu paineilma voidaan syöttää paineilmaverkkoon.



KUVA 11. Vanhan instrumentti-ilmayksikön layout

7.3 Uuden instrumentti-ilmayksikön suunnittelu

Tuotekehitysprojektin tavoitteet huomioiden instrumentti-ilmayksiköstä alettiin suunnittelemaan uutta versiota. Uudesta rungosta haluttiin valmistaa suorakaitteen muotoinen ja rungolta vaadittiin tehokasta lattiapinta-alan käyttöä.

Vanhassa rungossa ei ollut trukin haarukalle nostoreikiä edestäpäin katsottuna, joten paremman liikuteltavuuden takia rungon eteen haluttiin suunnitella nostoreiät trukilla nostamista varten. Nostoaukkoihin päätettiin myös hitsata asennuslevyt, joista instrumentti-ilmayksikkö saadaan pultattua lattiaan kiinni. Rungon päälle tulevien komponenttien kiinnittäminen haluttiin tehdä myös mahdollisimman ergonomiseksi ja helpoksi, joten rungon pohjaan laitettiin hitsaus- ja niittimuttereita helpottamaan kokoonpanoa.

Yhtenä kehityskohteena oli myös kovista putkista tehdyt putkilinjat kompressorin, painesäiliön, hienosuodattimen ja jäähdytyskuivaimen välillä (kuva 12). Kovat putket ovat hankalia ja aikaa vieviä asentaa, joten ne päätettiin korvata hydrauliletkuilla.



KUVA 12. Vanhan instrumentti-ilmayksikön nostotapa ja putkitus

8 DETALJISUUNNITTELU

8.1 3D-mallinnusohjelmisto

Osien 3D-mallintamiseen ja kokoonpanon luomiseen käytettiin Autodesk Inventor Professional -ohjelmistoa. Autodesk Inventor Professional -ohjelmisto on ammattitason 3D-mallinnusohjelmisto mekaaniseen suunnitteluun, dokumentointiin ja simulointiin. (Autodesk.)

Autodeskin tuotevalikoima käsittää lukuisia muitakin tuotteita mm. teollisuuden, arkkitehtuurin ja viihdeteollisuuden käyttötarkoituksiin. Uusimpia toimintoja ovat myös pilvipohjaiset palvelut 2D- ja 3D-tiedostojen jakamiseen ja hallinnoimiseen eri sidosryhmien kesken. (Autodesk.)

8.2 Osien 3D-mallintaminen

Aikaisemmasta instrumentti-ilmayksiköstä ei ollut koskaan tehty 3D-mallia, joten mallinnuksen suhteen lähdettiin liikkeelle lähes tyhjältä pöydältä. Kokoonpanoon tarvittavista kaupallisista osista lähes kaikkiin saatiin 3D-mallit valmistajilta. Mallinnettavaksi jäivät: runko, painesäiliö ja hydrauliletkut. Lisäksi instrumentti-ilmayksikön kokoonpanoa varten piti luoda dummy-malli ruuvikompressorista.

Ruuvikompressori:

Ruuvikompressorin olemassa olevasta 3D-mallista luotiin tyhjämalli eli dummy-malli (kuva 13). Kompressorin rakenteelta poistettiin sisäosat ja korista tehtiin yhtenäinen kokonaisuus.

Dummy-mallin luominen oli tärkeää, jotta instrumentti-ilmayksikkö kokoonpanon koko ei kasvaisi liian suureksi ja raskaaksi pyörittää tietokoneella. Myöskään 3D-mallista luotavasta 3DPDF-tiedostosta ei tule näkyä kompressorin sisäosia.



KUVA 13. Ruuvikompressorin dummy-malli

Painesäiliö:

Painesäiliön 3D-malli luotiin säiliön valmistajalta saadun mittakuvan pohjalta. Säiliö koostuu kahdesta kannesta, rungosta ja jaloista. Lisäksi säiliön kyljissä ja kansissa on läpiviennit komponenttiliitännöiksi varten (kuva 14).

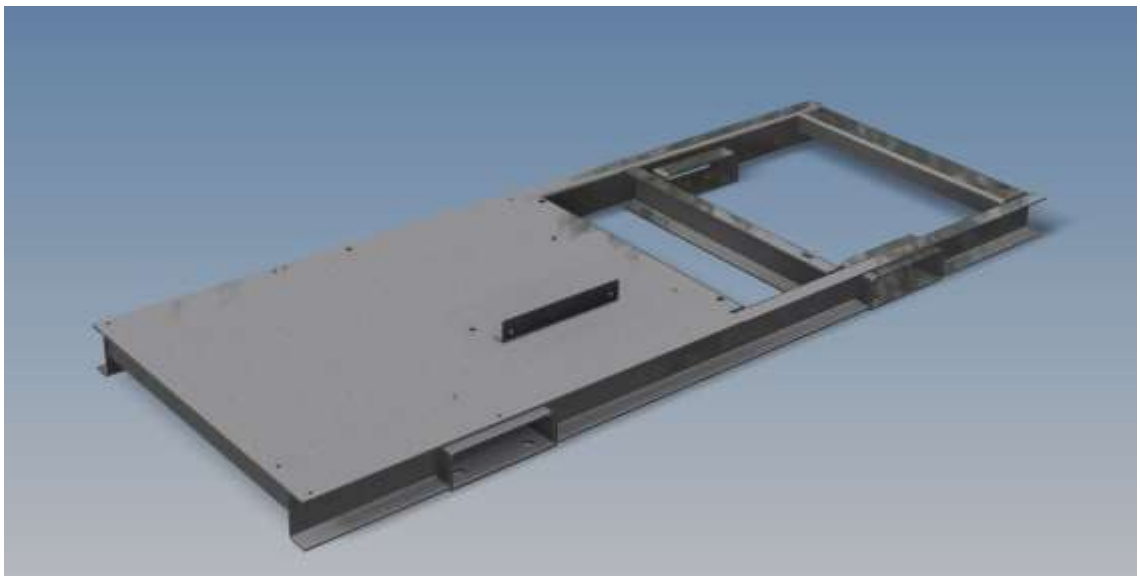


KUVA 14. Painesäiliön 3D-malli

Runko:

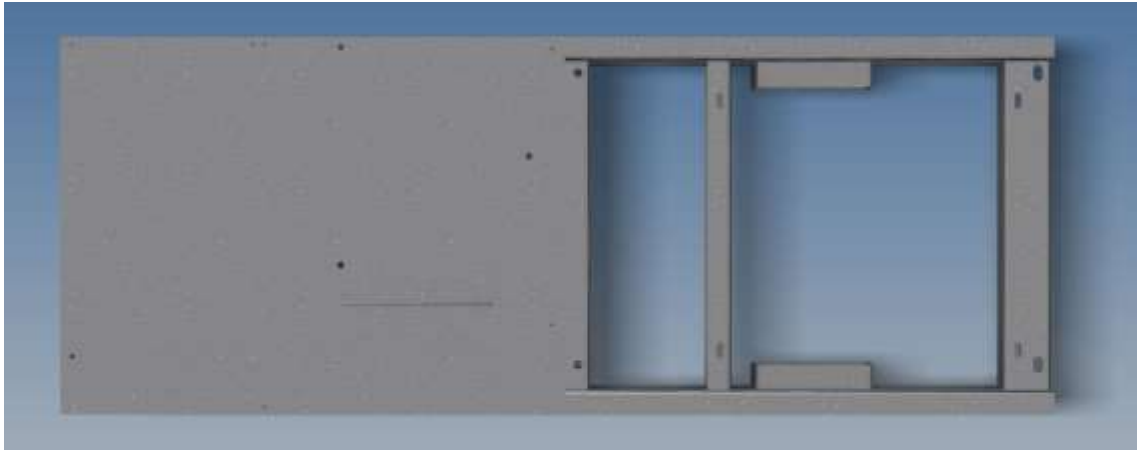
TIC7–22 instrumentti-ilmayksikön runkoa lähdettiin suunnittelemaan kuumasinkitystä U-profiilista, mistä sen aikaisempikin versio oli tehty. Uuden rungon suunnittelun yhteydessä piti huomioida sille asetetut vaatimukset: tehokas lattiapinta-alan käyttö, trukilla liikuteltavuus ja työergonomia.

Rungosta mallinnettiin suorakaiteen muotoinen (kuva 15), jotta instrumentti-ilmayksikön valmistaminen Tampereen tehtaan tuotantotiloissa onnistuisi paremmin. Samalla saatiin kutistettua rungon vaatimaa lattia pinta-alaa pienemmäksi kuin sen edellinen versio. Runko on myös trukkihaarukan nostoaukkojen kohdalta hieman koholla lattiasta, jotta sen asennus hieman epätasaisellekin lattialle on helpompaa.



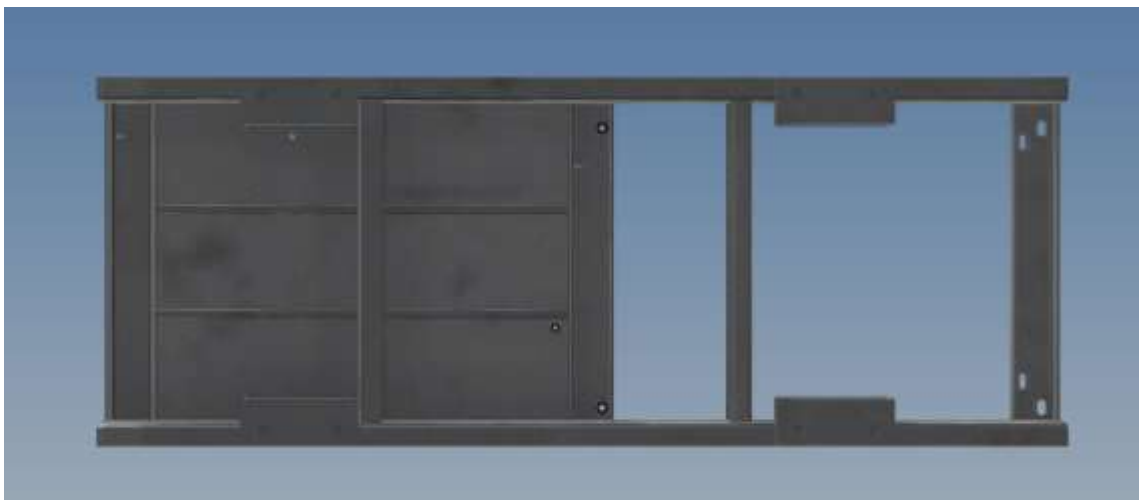
KUVA 15. TIC7–22 instrumentti-ilmayksikön rungon 3D-malli

Rungon päälle suunniteltiin hitsattava asennuslevy (kuva 16), jossa oli kiinnitysreiät kompressorin teholuokan mukaisesti eri kokoisille jäähdytyskuivaimille. Asennuslevyn päälle suunniteltiin hitsattu L-profiili uudistettua ja pienempää muuntajaa varten. Ovaaleilla asennusrei'illä saatiin hieman liikkumavaraa rungon oikeaan laitaan tulevaa ruuvikompressoria varten.



KUVA 16. Runko ylhäältä

Rungon alapuolelle (kuva 17) suunniteltiin U-profiilipalkki tukemaan säiliön kahta jalkaa, jotta asennuslevyyn ei kohdistu liikaa kuormitusta. Asennuslevyä myös jäykistettiin rungon alapuolelta kahdella pienemmällä pitkittäissuunnassa hitsattavalla U-profiilipalkilla. Rungon pohjaan suunniteltiin myös niitti- ja hitsausmuttereita helpottamaan komponenttien asentamista paikoilleen asennuslevyn päälle.



KUVA 17. Runko alhaalta

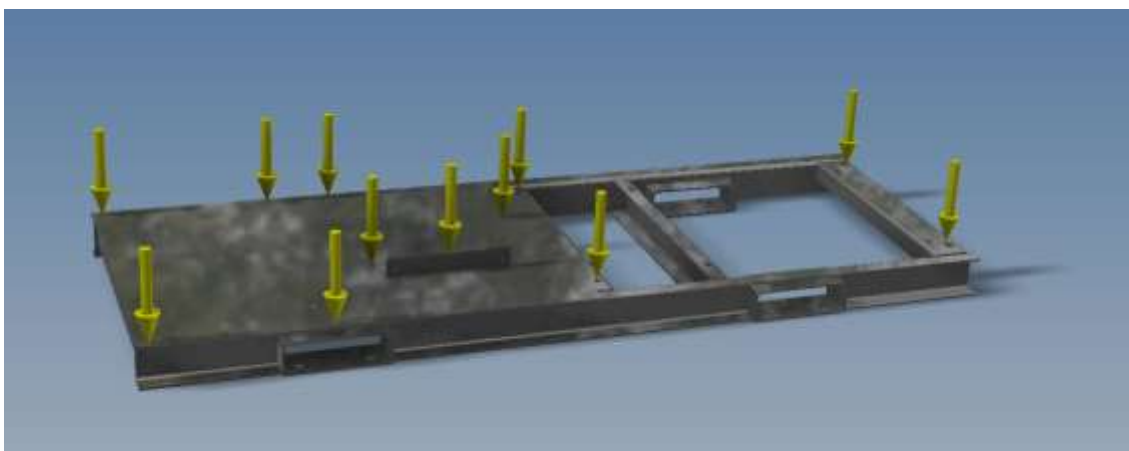
9 TESTAUS

9.1 FEM-analyysi

Varsinaista prototyyppiä opinnäytetyön aikataulun puitteissa ei ehditty valmistaa, mutta TIC7–22 instrumentti-ilmayksikön rungolle tehtiin Autodesk Inventor Professional -ohjelmistolla FEM-analyysi (Stress Analysis). FEM-analyysillä pyrittiin varmistumaan suunnitellun rungon kestävydestä ennen varsinaisen prototyyppirungon tilaamista.

Analyysiä varten piti selvittää kunkin rungon päälle tulevan komponentin massa. Jakamalla komponentin massa kiinnityspisteiden välille ja kertomalla se puotamiskiihtyvyydellä ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), saadaan likimääräisesti kuhunkin kiinnityspisteeseen kohdistuvan pistevoiman suuruus Newtonina.

Stress Analysis -ohjelmaan määritettiin rungon materiaali, sekä rungon ja lattianväliset kiinnityskohdat. Osien välisiä kontaktipintoja joutui myös lisäämään manuaalisesti, koska ohjelma ei tunnistanut niitä kaikkia automaattisesti. Seuraavaksi lisättiin komponenttien kiinnityspisteisiin vaikuttavat pistevoimat (kuva 18), jotta painojakauma olisi mahdollisimman realistinen. Valmistelujen jälkeen ohjelmalla suoritettiin simulointi.

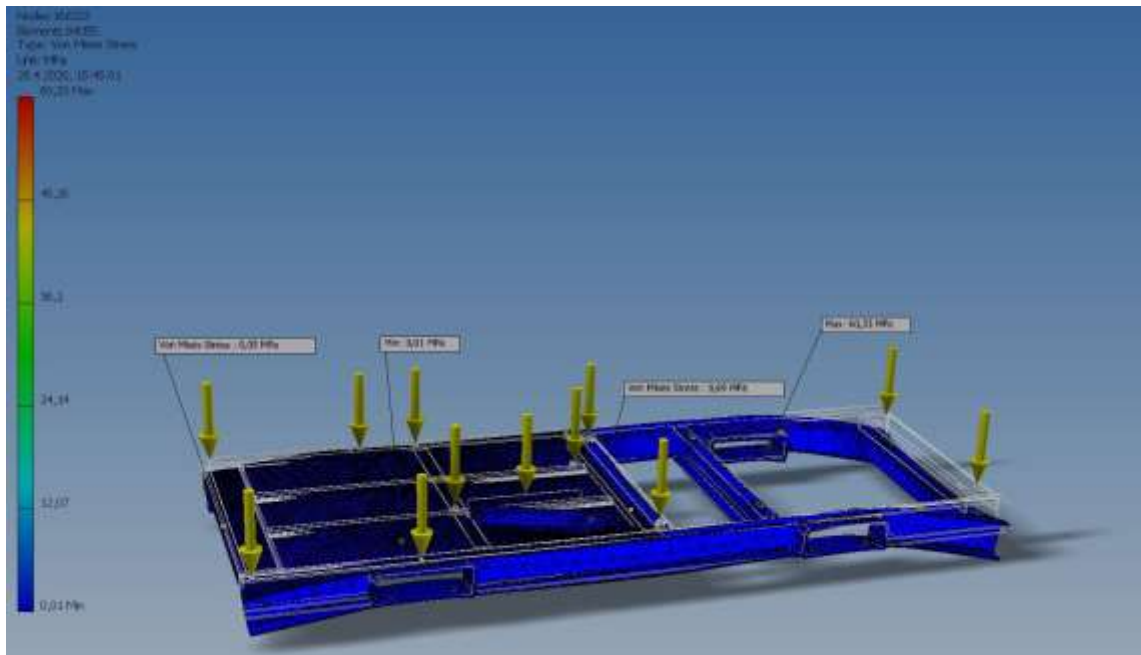


KUVA 18. Pistevoimien lisäys rungon päälle

9.2 Analyysin tulokset

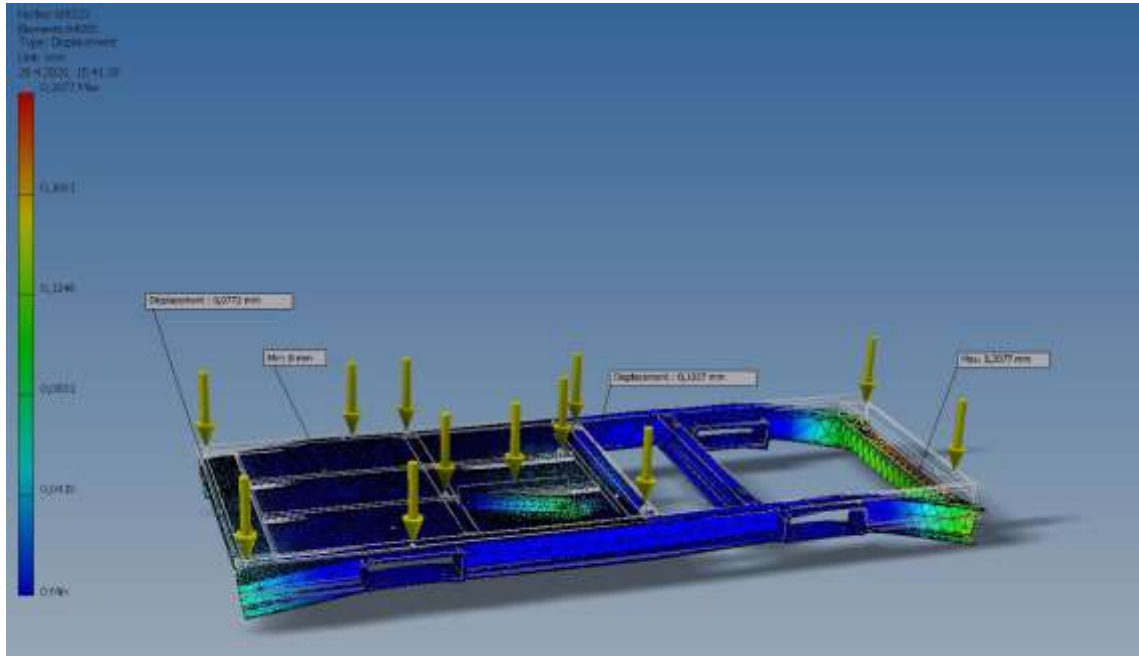
Simuloinnin jälkeen Stress Analysis -ohjelma antoi analyysin tulokset. Rungon graafinen taipuminen näkyy 3D-mallissa liioiteltuna, joten graafista näkymää enemmän analyysissä kannattaa kiinnittää huomiota saataviin arvoihin ja väreihin. 3D-mallin värjäätymä kuvastaa analyysin vasemmassa laidassa näkyvän palkin arvoja (kuva 19).

Von mises -vertailujännitysanalyysi (kuva 19) antoi laskennassa suurimmaksi jännitykseksi oikeanpuoleisen trukkihaarukan aukon kulman, jonka suuruus oli 60,33 MPa. Asennuslevyyn ei kohdistunut analyysin perusteella kuin suurimmillaan 9,69 MPa suuruinen jännitys muuntajankannakkeen paikkeille. Normaalin rakenneteräksen myötöraja on noin 235 MPa, joten runkoon kohdistuva suurin 60,33 MPa kuormitus ei aiheuta pysyvää muodonmuutosta rakenteeseen.



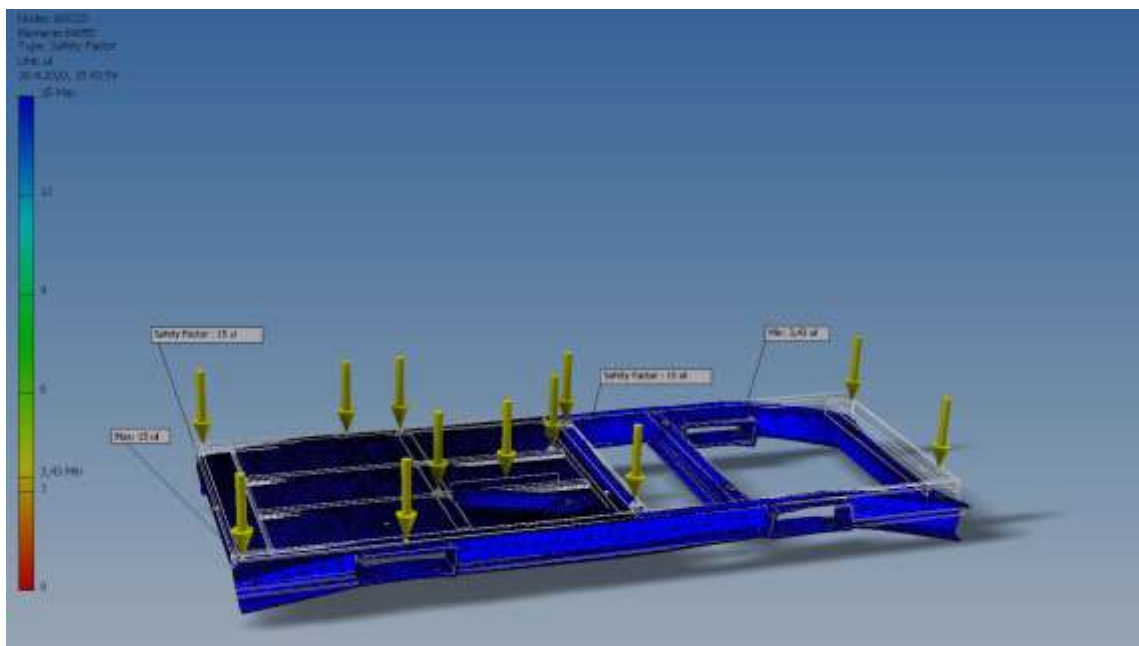
KUVA 19. Von mises -vertailujännitysanalyysin tulokset

Siirtymäanalyysi (kuva 20) osoitti suurimman taipumisen tapahtuvan kompressorin alapuolella, rungon oikeassa reunassa. Suuruudeltaan suurin taipuma oli kuitenkin vain noin 0,2 mm luokkaa. Muuntajan massa puolestaan taivutti asennuslevyä noin 0,1 mm verran alaspäin.



KUVA 20. Siirtymäanalyysin tulokset

Varmuuskerroinanalyysin (kuva 21) mukaan eniten kuormituksen alaiseksi joutunut kohta rungosta sai 3,43 kertaisen varmuuden, joten U-profiilin myötöraja oli edelleen varsin kaukana.



KUVA 21. Varmuuskerroinanalyysin tulokset

10 3D-KOKOONPANO

10.1 Komponenttien sijoittelu

Mallinnetut komponentit ja valmistajilta saadut 3D-mallit asennettiin paikoilleen instrumentti-ilmayksikön rungon päälle komponenteille tehtyihin asennusreikiin (kuva 22). Painesäiliöön asennettiin painemittari ja varoventtiili, sekä yläkansi tulpattiin kiinni. Painesäiliön etupuolelle asennettiin palloventtiili, jolla saa tarvittaessa katkaistua paineilmansyötön kompressorilta.

Instrumentti-ilmayksikön etualalle sijoitettiin pienempi versio muuntajasta. Muuntajalle tulevia kaapeleita varten kompressorin ja säiliön väliin asennettiin kaapelikouru. Kaapelit oli tarkoitus vetää kompressorin alapuolelta, vasemman takakulman kautta kaapelikourulle, josta ne jatkavat matkaa muuntajalle.



KUVA 22. TIC7-22 instrumentti-ilmayksikön kokoonpano edestä

10.2 Putkitus

Yhtenä kehityskohteena vanhaan instrumentti-ilmayksikköön nähden oli siirtyä pois kovista putkiliitoksista. Kovat putkiliitokset korvattiin hydrauliletkuilla. Hydrauliletkut ovat nopeampia asentaa paikoilleen ja ne antavat enemmän pelivaraa komponenteille ja asentamiselle joustavuutensa ansiosta. Putkitus-kokoonpanoon tarvittiin kolme hydrauliletkua.

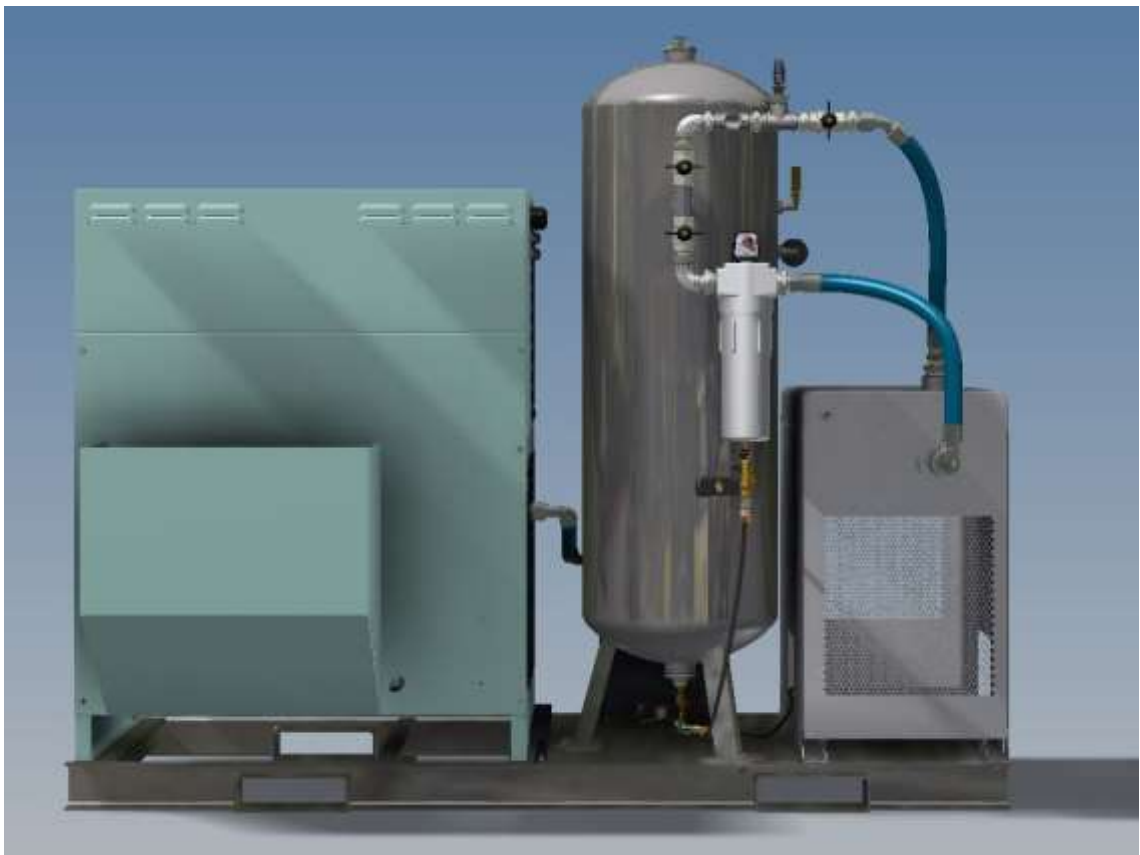
Paineilmaa ohjataan instrumentti-ilmayksikön takapuolelta palloventtiileillä (kuva 23). Normaalitilanteessa 2. palloventtiilin ollessa kiinni ja 1. ja 3. palloventtiilien ollessa auki paineilma ohjataan painesäiliöstä hienosuodattimelle, josta paineilma jatkaa matkaa jäähdytyskuivaimelle. Jäähdytyskuivaimelta paineilma menee painekytkimen ohi ilman ulostuloon. Mikäli hienosuodattimen suodatin tarvitsee vaihtaa, voidaan paineilma ohjata myös tilapäisesti suoraan paineilmaverkkoon sulkemalla 1. ja 3. palloventtiilit, sekä avaamalla 2. palloventtiili.



KUVA 23. Instrumentti-ilmayksikön paineilmanohjaus

10.3 Lauhteenpoisto

Paineilman sisältämän ilmankosteuden vuoksi täytyy järjestelmästä poistaa sinne tiivistyvää lauhdevettä lauhteenpoistimilla. Lauhteenpoistimet sijoitettiin painesäiliön pohjaan ja hienosuodattimen pohjaan (kuva 24). Suuri osa paineilman sisällyttämästä kosteudesta saadaan poistettua jäähdytyskuivaimessa, jossa paineilman lämpötilan laskeminen paineenalaiseen kastepisteeseen saa vesihöyryn tiivistymään nesteeksi ja näin ollen neste saadaan poistetuksi jäähdytetystä ilmasta.



KUVA 24. Instrumentti-ilmayksikön lauhteenpoistojärjestelmä

11 3DPDF-KOKOONPANOKUVAT

11.1 Standardoidut työohjeet

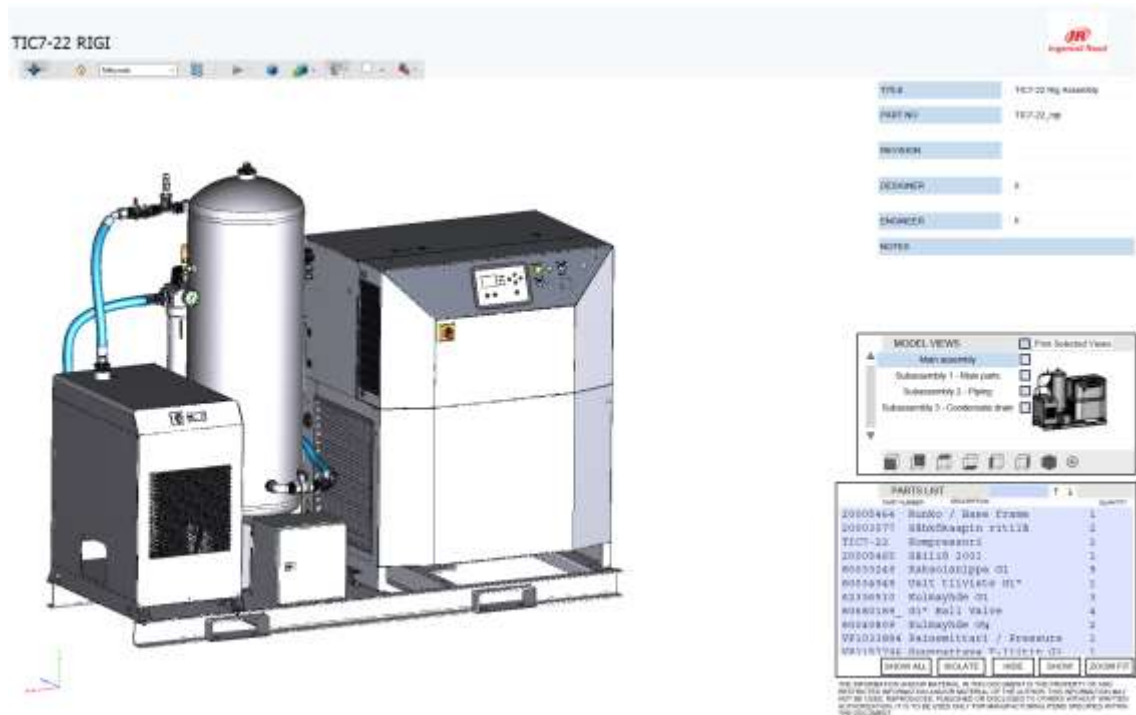
Kokoonpanopiirustuksen tärkein edellytys on se, että siitä käy ilmi riittävän selkeästi kokoonpanojärjestys, sekä siihen tarvittavat osat ja komponentit. Helpompaa kokoonpanotyötä varten on hyvä miettiä osakokoonpanot siten, että ne muodostavat loogisia ja toisiinsa hyvin sopivia kokonaisuuksia, joiden yhdistäminen varsinaiseksi tuotteeksi onnistuu mutkattomasti. (Hietikko 2008, 134.)

Kokoonpanopiirustuksissa olisi hyvä olla riittävästi informaatiota tuotteen kokoonpanoa varten. Esitetty informaatio voi olla esimerkiksi pää- ja liitännämittoja, jotka kertovat kokoonpanijalle millaisia työkaluja tulisi käyttää. Osakokoonpanot tulee myös suunnitella siten, että asennustyökaluilla työskentely on mahdollista ja tarvittavat mittaukset on mahdollista suorittaa hankaluuksista. Osakokoonpanot voidaan myös suunnitella siten, että niitä voidaan asentaa useassa eri työpisteessä samaan aikaan. (Hietikko 2008, 134.)

Kokoonpanokuvat esitetään osat ja komponentit kasattuna tai räjäytyskuvana. Osana työohjeiden standardoimista Gardner Denver Oy:ssä päätettiin testata uudempaa ja nykyaikaisempaa 3DPDF-teknologiaa perinteisten PDF-formaatissa olevien kokoonpanon räjäytyskuvien lisäksi. 3DPDF-tiedostoon voidaan sisällyttää paljon enemmän informaatiota, esimerkiksi tuotteen kokoonpanoon liittyen, kuin normaaliin PDF-tiedostoon. 3DPDF-formaattia voidaan käyttää esimerkiksi tabletin tai tietokoneen näytöltä ja se mahdollistaa mm. 3D-mallin pyörittämisen eri asentoihin, osakokoonpanojen tekemisen sekä osaluettelon näyttämisen.

11.2 Työohjeiden luominen

Instrumentti-ilmayksikön 3DPDF-työohjeen tekoon hyödynnettiin Autodesk Inventorin 3DPDF-työpohjaa (kuva 25). 3DPDF-työpohjaa muokattiin Adobe Acrobat Pro:lla siten, että logokenttään lisättiin Ingersoll Rand Inc.:n logo, sekä näkymän valinta- ja osalistaikkunoita venytettiin isommiksi, jotta komponenttien nimet ja koodit tulivat kunnolla näkyviin.



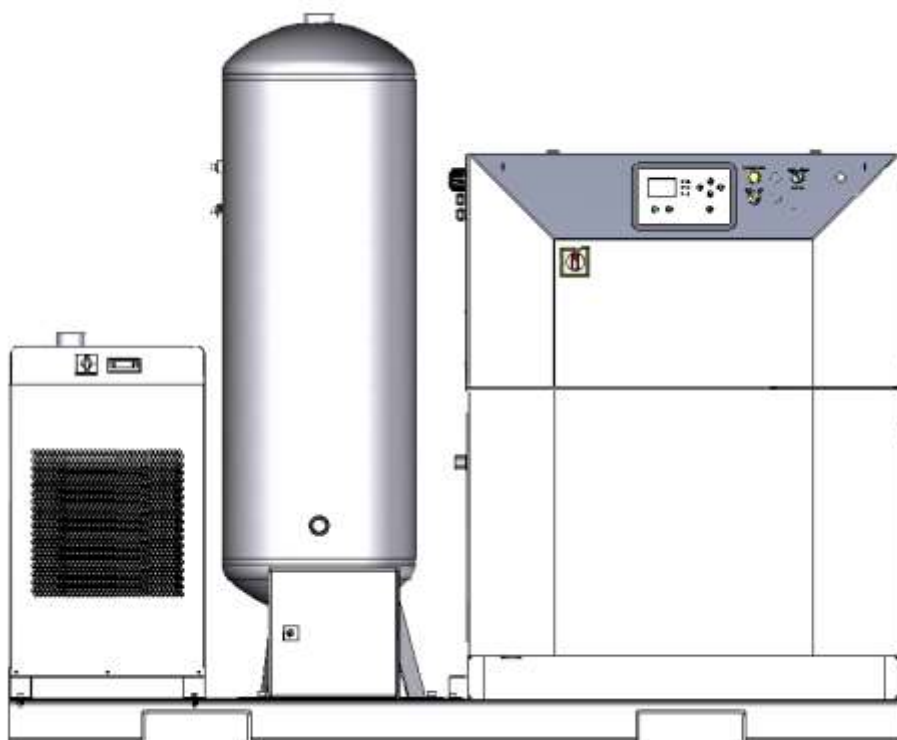
KUVA 25. TIC7-22 3DPDF-työohje

Työohjetta varten 3D-mallin kokoonpanotiedostoon piti luoda uusia näkymiä pääkokoonpanosta ja osakokoonpanoista. Näkymistä piti myös piilottaa niihin kuulumattomat komponentit, jotta niissä näkyisi vain kuhinkin osakokoonpanoon kuuluvat komponentit.

Instrumentti-ilmayksikköä varten luotiin kolme osakokoonpanoa: pääosat, putkitus ja lauhteenpoisto. Instrumentti-ilmayksikön kokoonpano voidaan myös suorittaa tässä järjestyksessä. Ensin "Pääosat" -työvaiheessa nostetaan kaikki isoimmat komponentit rungon päälle käyttäen kattonosturia, jonka jälkeen ne asennetaan paikoilleen. "Putkitus" -työvaiheessa paikoilleen asennetaan mm. nipat, venttiilit, hienosuodatin, hydrauliletkut ja säiliö varustellaan.

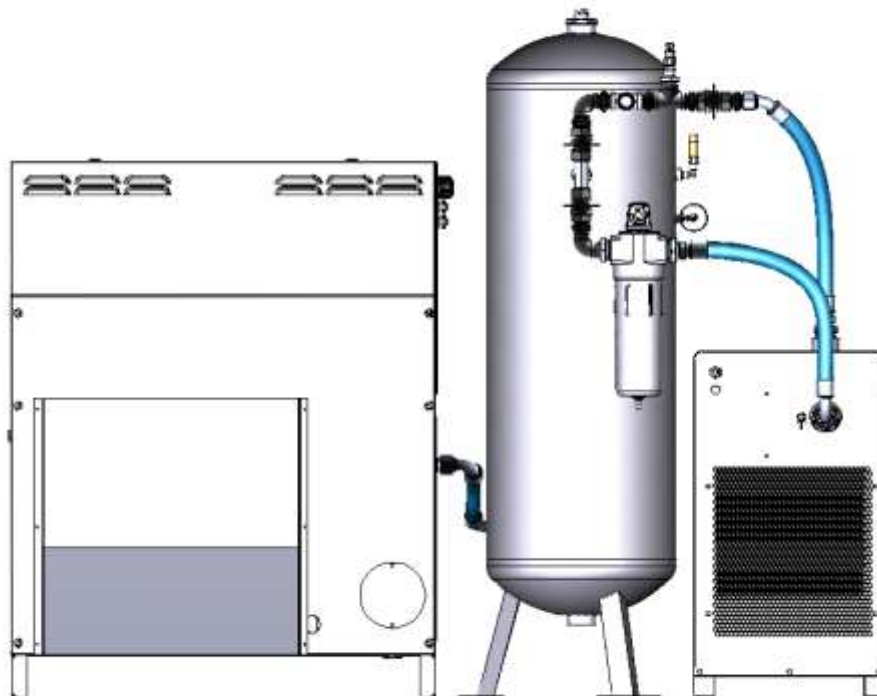
”Lauhteenpoisto” -työvaiheessa asennetaan lauhteenpoistimet ja niiden putkitukset. Mekaanisten kokoonpanovaiheiden lisäksi on vielä asennettava tarvittavat sähkökaapelit.

Pääosat -näkömään jätettiin vain rungon päälle tulevat suurimmat komponentit (kuva 26). Tästä näkömästä asentajat näkevät komponenttien kiinnityspisteet ja tarvittavat osat.



Kuva 26. 3DPDF Pääosat (Main parts) -näkömää

Putkitus -näkymään (kuva 27) jätettiin säiliön varusteluun liittyvät komponentit, kuten varoventtiili, painemittari, nipat ja palloventtiilit. Lisäksi näkymästä käy ilmi hydrauliletkujen kytkentä ja niiden käyttölaitteet.



KUVA 27. 3DPDF Putkitus (Piping) -näkymä

Lauhteenpoisto -näkymästä (kuva 28) näkee lauhteenpoistimien asentamiseen tarvittavat nipat sekä letkut. Lauhteenpoistoon tarkoitetut letkut yhdistyvät säiliön alapuolella ja lauhdevedet ohjataan jäähdytyskuivaimelle.



KUVA 28. 3DPDF Lauhteenpoisto (Condensate drain) -näkymä

12 JATKOKEHITYS

12.1 TIC7–22 jatkokehityskohteet

TIC7–22 instrumentti-ilmayksikön jatkokehityskohteena voidaan pitää putkituksen muokkaamista vielä helpommin toteutettavaksi. Putkitusta muokattiin jo sitten, että kovat putkitukset korvattiin helpommin asennettavilla hydrauliletkuilla. Opinnäytetyön tekohetkellä paineilman ohjaaminen instrumentti-ilmayksikön takana tapahtui useista liittimistä ja palloventtiileistä tehdyllä kokonaisuudella. Kokoonpanon nopeuttamiseksi liittimien ja palloventtiilien tilalle lähdettiin suunnittelemaan venttiililohkon valmistamista, joka ajaisi saman asian tulevaisuudessa. Valmiin venttiililohkon valmistuskustannuksetkin todennäköisesti saadaan halvemmaksi kuin liittimistä ja palloventtiileistä muodostetun version kokonaiskustannus asennusaikoihin.

12.2 Modernit kokoonpano-ohjeet

3DPDF-valmistuskuvia ei ole vielä aikaisemmin käytetty Gardner Denver Oy:n Tampereen tehtaalla, joten tällä opinnäytetyöllä oli tarkoitus demonstroida kyseisen teknologian tuomia mahdollisuuksia ja tuoda sitä ihmisten tietoisuuteen. Lähes kaikista tehtaan komponenteista ja tuotteista löytyy jo 3D-mallinnokset, joten niiden hyödyntäminen tuotannon kokoonpano-ohjeiksi olisi järkevää.

Moderneja kokoonpano-ohjeita kannattaisi luoda jatkossa lisää sellaisista kokoonpanoista, joiden esittäminen tavallisella räjäytyskuvalla on hankalaa. Tällaisia kokoonpanoja ovat esimerkiksi paljon putkia tai letkuja sisältävät kuvat tai muuten monimutkaiset rakenteet.

13 POHDINTA

TIC7–22 instrumentti-ilmayksikön tuotekehitysprojektia oli jo valmisteltu jonkin verran suunnitteleamalla, mitä muutoksia vanhalle instrumentti-ilmayksikölle kannattaisi lähteä toteuttamaan. Projektin aloituspalaverissa saatiinkin tuotekehitysprojekti sujuvasti käyntiin sekä määritettyä uuden tuotteen spesifikaatio.

Projektin alkuvaiheilla Kiinassa sijaitsevasta Wuhanin kaupungista leviämään lähtenyt koronaviruspandemia toi tuotekehitysprojektiin omat haasteensa etätyömääräyksen muodossa. Etätyöskentely projektin osalta onnistui kuitenkin hyvin ja 3D-mallintamiseen tarvittava laitteisto liikkui hyvin konttorilta myös kotiolosuhteisiin. Kommunikointi muiden projektiryhmäläisten kanssa jouduttiin kuitenkin hoitamaan lähestulkoon kokonaan sähköisesti sähköpostitse sekä Microsoft Teams -palaverien muodossa, jossa uutta tuoteperhettä pystyttiin esittelemään muillekin projektiryhmäläisille.

TIC7–22 instrumentti-ilmayksikölle asetettuihin tavoitteisiin päästiin tuotekehitysprojektissa. Rungosta saatiin suunniteltua lattiapinta-alaltaan pienempi kuin edeltäjänsä ja layoutista tuli kompakti ja helpommin kokoonpantava. Lisäksi tuotteen liikuteltavuus parani rungon eteen trukkihaarukalle tehtyjen aukkojen ansiosta.

Modernien kokoonpano-ohjeiden demonstroiminen 3DPDF-muodossa onnistui myös hyvin ja se saikin kehuja projektiryhmän jäseniltä. Eri kokoonpanotyövaiheista tehdyt näkymät ovat hyvä apu varsinkin ensimmäisiä kertoja tuotetta kasaaville asentajille. Osalistassa näkyvät komponentit koodeineen nopeuttavat myös oikeiden osien löytymistä asentamista varten. Toivottavasti moderneja kokoonpano-ohjeita otetaan tämän opinnäytetyön myötä laajemminkin tehtaalla käyttöön ja tuotantolinjoille tuodaan niiden käyttöön tarvittavaa laitteistoa.

Jatkokehityskohteena TIC7–22 instrumentti-ilmayksikölle on vielä venttiililohkon suunnittelu paineilman ohjaamiseen säiliön, hienosuodattimen ja jäähdytyskuivaimen välille. Lisäksi täytyy ennen tuotteen tuotantoon asettamista korjata prototyypivaiheessa mahdollisesti huomattavat suunnitteluvirheet.

LÄHTEET

Adobe. 3DPDF-teknologia. Luettu 18.8.2020.

<https://helpx.adobe.com/acrobat/using/displaying-3d-models-pdfs.html>

Airila, M., Hallikainen, K., Kääpä, J. & Laurila, T. 1983. Kompressorikirja. Helsinki: KK laakapaino.

An-cadsolutions. Topologinen optimointi 3D-tulostuksessa. Luettu 24.6.2020.

<https://www.an-cadsolutions.fi/topologian-optimointi-3d-tulostuksessa/>

Autodesk. Tuote-esite. Luettu 6.7.2020.

<https://www.autodesk.fi/products/inventor/overview?plc=INVPROSA&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>

Easy Render. 3D-visualisoinnin historia. Luettu 25.7.2020.

<https://www.easyrender.com/a/a-brief-history-of-3d-visualizations-the-ins-and-outs>

Gardner Denver 2019. Yritysesittely. Luettu 12.6.2020.

Gardner Denver 2012. Yritysesittely. Luettu 12.6.2020.

Gardner Denver 2006. Yritysesittely. Luettu 12.6.2020.

Gardner Denver Oy. Tuote-esite. Luettu 1.8.2020.

<https://www.gardnerdenver.com/en-fi/tamrotor>

Hietikko, E. 2008. Tuotekehitystoiminta. Kuopio: Kopijyvä

Simscale. FEM- ja FEA-menetelmät selitettynä. Luettu 4.9.2020.

<https://www.simscale.com/blog/2016/10/what-is-finite-element-method/>

Tamrotor Kompressorit Oy. Suodatus ja kuivaus. Luettu 10.9.2020.

http://www.compressor.fi/www/media/EsitePDF/Suodatus_ ja_kuivaus.pdf

Tamrotor Kompressorit Oy. Paineilmajärjestelmän suunnittelu. Luettu 15.9.2020.

<http://www.compressor.fi/media/EsitePDF/Paineilmajaerjestelmaen%20suunnittelu.pdf>

Tamrotor Marine Compressors (TMC). Tuotevalitsin. Luettu 2.8.2020.

<https://tmc.no/products/compressor>

Vertex. FEA-laskennan teoriaa. Luettu 13.6.2020.

<https://kb.vertex.fi/fea2017fi/tutustu-tarkemmin-ominaisuuksiin/yleiset-aiheet/fea-laskennan-teoriaa>

Villanen, J. 2016. Tuotteista tähtituotteita: tarinoita, tehtävää, teoriaa. Helsinki: Kauppakamari.