



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

LÄMMÖNJAKOKESKUSTEN PUTKISTO-OSIEN VAKIOINTI

Vakiokeskusten suunnittelun ja tuotannon
yhdenmukaistaminen

TEKIJÄ:

Tommi Hämäläinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Tommi Hämäläinen	
Työn nimi Lämmönjakokeskusten putkisto-osien vakiointi	
Päiväys 16.5.2021	Sivumäärä/Liitteet 50+2
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Gebwell Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia vakiokytkennoilla toteutettujen lämmönjakokeskusten putkisto-osia sekä niissä esiintyviä variaatioita. Työssä perehdyttiin lämmönjakokeskusten suunnitteluun, valmistettavuuteen sekä tuotantomenetelmiin. Lämmitysenergian tehokkaan hyödyntämisen takaamiseksi lämmönjakokeskukset mitoitetaan rakennuskohtaisesti. Tämän seurauksena lämmönjakokeskustuotannon erilaisten lopputuotevariaatioiden määrä on hyvin suuri. Tavoitteena oli laatia monipuolinen putkisto-osien 3D-osakirjasto piirustuksineen palvelemaan lämmönjakokeskusten suunnittelua sekä yhdenmukaistamaan niiden tuotantoa.</p> <p>Työ toteutettiin perehtymällä laajaan otantaan lämmönjakokeskusten kytkentäkaavioita sekä piirtämällä niitä kaaviokonfiguraattorin avulla. Kytkentäkaavioiden ja teknisten erittelyiden tietojen avulla selvitettiin lämmönjakokeskusten laitteiden ja varusteiden asettamia vaatimuksia putkisto-osille sekä lämmönjakokeskusten rakenteelle. Työtä jatkettiin luomalla tyypillisimmistä putkisto-osista 3D-mallit sekä piirustukset.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena syntyi 3D-osakirjasto, josta löytyy vakiokytkennoin toteutettavien lämmönjakokeskusten putkisto-osien variaatiot sekä näiden piirustukset. Osakirjaston avulla suunnitteluprosessia kyetään tehostamaan ja yhdenmukaistamaan sekä suunnittelusta voidaan tarjota materiaalia tuotannon tueksi entistä tehokkaammin.</p>	
Avainsanat kaukolämpö, lämmönjakokeskus, massaräätälöinti, valmistettavuus, DFMA	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering	
Author Tommi Hämäläinen	
Title of Thesis Standardizing Piping of District Heating Substations	
Date 16 May 2021	Pages/Appendices 50+2
Client Organisation /Partners Gebwell Oy	
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to study the piping parts of district heating substations implemented with standard connections and the variations that occur in them. The work focused on the designing, manufacturability and production methods of district heating substations. To ensure the efficient utilization of heating energy, district heating substations are dimensioned specifically for each building. As a result, the number of different end product variations in the production of district heating substations is very large. The aim was to create a versatile 3D sub-library of piping parts with drawings to serve the designing of district heating substations and to standardize their production.</p> <p>The work was implemented by getting acquainted with a large sample of PI diagrams of district heating substations and drawing diagrams with the help of a PI diagram configurator. The PI diagrams and technical specifications were used to determine the requirements of the equipment of the district heating substations for the piping parts and the structure of the district heating substations. The work was continued by creating 3D models and drawings of the most typical piping parts.</p> <p>As a result of the work, a 3D sub-library with drawings was created. The variations of the piping parts of the district heating substations implemented with standard connections can be found in the library. With the help of the sub-library, the design process can be made more efficient and standardized. The material can be provided from the designing to support production even more efficiently.</p>	
<p>Keywords</p> <p>district heating, district heating substation, mass customization, manufacturability, DFMA</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Tavoitteet.....	6
1.2	Gebwell Oy.....	6
2	KAUKOLÄMMITYS.....	8
2.1	Lämmöntuotanto	9
2.2	Kaukolämpöverkosto	10
2.3	Lämmönjakokeskus.....	12
2.3.1	Lämmönjakokeskusten suunnittelu	13
2.3.2	Kytkentäkaaviot	14
3	SUUNNITTELU JA VALMISTETTAVUUS	16
3.1	Design for X	16
3.2	Design for Manufacturing	16
3.3	Design for Assembly.....	18
3.4	Kokoonpantavuuden arviointi.....	21
3.4.1	Tarkistuslistat	21
3.4.2	Bässlerin kokoonpanon suunnittelusäännöt.....	22
3.4.3	Hitachi AEM	22
3.4.4	Lucas DFA	23
3.4.5	Boothroyd-Dewhurst DFMA.....	24
3.5	Design for Welding Assembly.....	26
4	MASSARÄÄTÄLÖINTI	29
4.1	Tuotantomuotojen vertailu	29
4.2	Modulaarisuus	30
4.3	Tilauksen kohdennuspiste.....	30
5	TUOTETIETOJEN HALLINTA	33
5.1	Tuotetiedon hallinta, PDM	33
5.2	Toiminnanohjausjärjestelmä, ERP	33
6	OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS.....	35
6.1	Lähtökohdat ja tavoitteet	35
6.2	Esiselvitystyö	36
6.3	Putkisto-osien variaatioiden selvitys	36

6.3.1	Liityntäpintojen tunnistaminen	36
6.3.2	Muuttujien lisääminen	38
6.4	3D-mallinnus	40
6.4.1	Mallinnuksen toteutus.....	41
6.4.2	Putkisto-osien valmistettavuus ja lämmönjakokeskusten kokoonpantavuus	42
6.5	Työkuvien laadinta.....	43
7	TULOKSET JA HYÖDYT	44
8	JATKKEHITYSMAHDOLLISUUDET.....	45
8.1	Jatkokehitys tuotannollisesta näkökulmasta	45
8.2	Jatkokehitys suunnittelun näkökulmasta	45
9	YHTEENVETO JA POHDINTA	47
10	LÄHDELUETTELO.....	48
	LIITE 1: TIETYN PUTKISTO-OSAN VARIAATIOT TAULUKOITUNA	51
	LIITE 2: TIETYN PUTKISTO-OSAN VARIAATIOT 3D-MALLINNETTUINA	52

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kaukolämmönjakokeskusten suunnittelua ja valmistettavuutta sekä otetaan huomioon niiden valmistus sekä huomioidaan suunnittelulle ja toiminnalle asetetut ohjeet ja määräykset. Lämmönjakokeskukset mitoitetaan ja suunnitellaan rakennuskohtaisesti siten, että niiden toiminta on mahdollisimman energiatehokasta ja lämmitysenergian siirto asiakkaalle optimoitu. Lämmönjakokeskusten monipuolisesti vaihtelevien varustelujen ja laitevalintojen avulla saadaan kutakin asiakasta ja kohderakennusta palveleva laitekokonaisuus, mutta suuri variaatioiden määrä on huomioitava myös suunnittelussa ja tuotannossa. Massaräätälöinnin avulla voidaan huomioida asiakaskohtaiset vaatimukset, samanaikaisesti toteuttaen tehokasta tuotantoa.

1.1 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa vakiokytkentöjen mukaan valmistettujen lämmönjakokeskusten putkisto-osissa esiintyviä variaatioita ja luoda niistä kattava ja monipuolinen 3D-osakirjasto palvelemaan yrityksen suunnitteluosastoa sekä lämmönjakokeskustuotantoa. Työn tarkoitus on tehdä suunnittelutyöstä tehokkaampaa, sekä vakioitujen putkisto-osien avulla yhdenmukaistaa vakiomallisten lämmönjakokeskusten rakennetta.

Työssä käydään läpi laaja ja monipuolinen otanta lämmönjakokeskusten kytkentäkaavioita ja tutkitaan niiden avulla lämmönjakokeskusten putkisto-osissa esiintyviä eroavaisuuksia, variaatioita. Tämän tiedon pohjalta mallinnetaan putkisto-osien hitsauskokoonpanojen 3D-mallit sekä tehdään piirustukset tuotannon tueksi.

1.2 Gebwell Oy

Gebwell Oy on kiinteistöjen lämmitys- ja jäähdytysratkaisuihin erikoistunut yritys. Gebwell Oy:n pääkonttori sekä tuotantorakennukset sijaitsevat Leppävirralla yhteensä neljässä eri toimipisteessä. Lisäksi sillä on myyntikonttorit Tampereella ja Vantaalla sekä tytäryhtiöt Puolassa ja Ruotsissa.

Gebwell Oy suunnittelee ja valmistaa kaukolämmönjakokeskuksia, kaukojäähdytyskeskuksia, lämpöpumppuja, energiavaraajia sekä käyttövedenlämmittimiä. Gebwell valmistaa myös Pivaset alkusammutustuotteita. Gebwellin laitteiden toiminnan lähtökohtana on ympäristöystävällisyys ja energiatehokkuus.

Gebwell Oy on perustettu vuonna 2005, jolloin tuotevalikoima muodostui maalämpöpumpuista, joita valmistettiin paikallisesti alihankintana Leppävirralla. Seuraavan vuonna mukaan otettiin myös lämpö- ja vesikaivojen poraus. Vuonna 2007 Gebwell aloitti oman lämpöpumppujen laitetuotannon. Vuonna 2008 tuotantoa laajennettiin myös kaukolämmönjakokeskusten valmistukseen. Vuodenvaihteessa 2016–2017 Pivaset Oy fuusioitui Gebwell Oy:hyn osaksi Gebwell Groupia. (Gebwell Oy, 2021.)

Pivaset Oy on niin ikään leppävirtalainen yritys, joka on perustettu vuonna 1990. Toimintansa alkuvaiheessa Pivaset Oy:n tuotantoon kuuluivat pumppuohjauskeskukset. Vuonna 2004 Pivaset Oy sekä

vuonna 1993 perustettu alkusammutuskaluston valmistukseen erikoistunut Palovaruste Oy fuusioituivat Pivaset Oy:ksi. (Pivaset, 2016.) Pivaset-tuotenimen alta löytyvät muun muassa palopostikaapit, ulkopalopostit, letkukelat ja -kärret sekä sammuttimet (Pivaset, 2016).

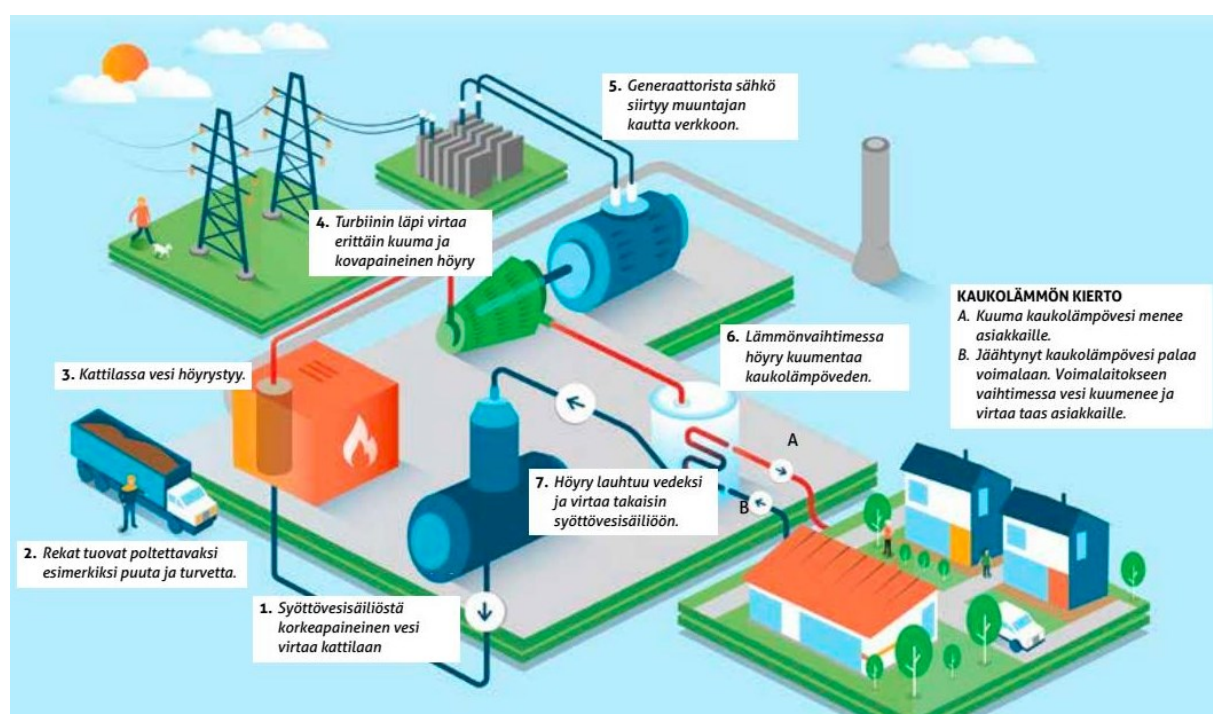
2 KAUKOLÄMMITYS

Kaukolämmitys on ollut suosittu lämmitysmuoto useiden vuosikymmenten ajan ja se on selkeästi Suomen suosituin lämmitysmuoto. Lämmitysmuotona kaukolämmitys tarjoaa asiakkaille luotettavaa ja tehokasta energian saantia helposti ja kilpailukykyisesti. Lämmön tuottaminen on ulkoistettu ammattilaisten huolehdittavaksi. (Energiateollisuus ry, ei pvm.)

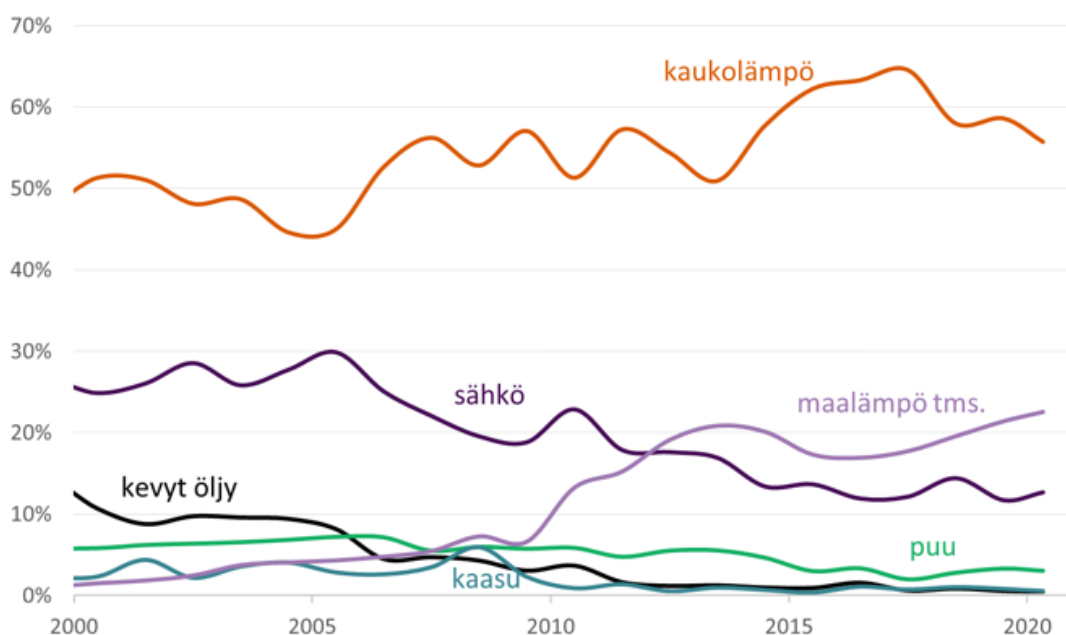
Kaukolämpöjärjestelmä koostuu lämmöntuotantolaitoksesta, kaukolämpöverkostosta ja asiakaslaitteista. Kaukolämpöä tuotetaan lämmitysvoimalaitoksissa tai lämpökeskuksissa, joista lämpöenergia jaetaan kaukolämpöverkon välityksellä käyttäjille. Asiakaslaitteiksi luetaan mittauskeskus ja lämmönjakokeskus. Kaukolämmöllä voidaan hoitaa keskitetysti kaupunkien, kaupunginosien tai useiden rakennusten muodostaman ryhmittymän lämpöenergian tuotanto ja jakelu. (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 11, 17.)

Kaukolämmitys soveltuu käytännössä minkälaiseen rakennukseen tahansa. Kaukolämpöä voidaan hyödyntää omakotitaloissa, kerrostaloissa, liikekiinteistöissä, julkisissa kiinteistöissä, toimisto- ja palvelurakennuksissa sekä teollisuudessa. Kiinteistö voidaan liittää lähistöllä sijaitsevaan kaukolämpöverkkoon tai jos kaukolämpöverkko on suunnitteilla. (Energiateollisuus ry, ei pvm.)

Kuvassa 1 on esitetty yhteistuotantolaitoksen ja siihen liitetyn kaukolämpöverkoston toimintaperiaate.



Kuva 1. Näin toimii yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto (Ryynänen, 2017).

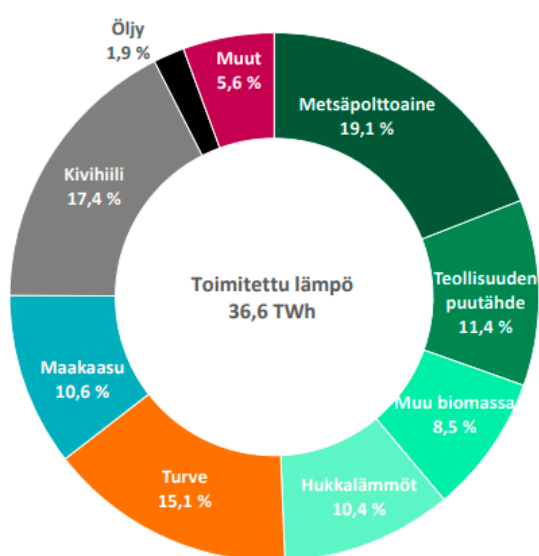


Kuva 2. Lämmitysmuotojen markkinaosuudet uudisrakennuksissa (Energiateollisuus ry, 2020, 18)

Kaukolämmityksen suosio nykypäivänä sekä menneinä vuosikymmeninä näkyy kuvassa 2, jossa on kuvattu eri lämmitysmuotojen markkinaosuuksia uudisrakennuksissa. Kaukolämpö on kasvattanut suosioitaan, kun taas sähkö- sekä öljylämmityksen käyttö ovat laskeneet. Viimeisen kymmenen vuoden aikana maalämpö ja lämmöntalteenotto on kasvattanut voimakkaasti suosioitaan.

2.1 Lämmöntuotanto

Suomalaisten lämmitysenergian tarpeen kattamiseksi kaukolämpöä on toimitettu vuonna 2019 yhteensä 36,6 TWh. Kaukolämmöllä lämmitettävissä asunnoissa asui 2,94 miljoonaa henkilöä. Lämmöstä 89,5 % on tuotettu polttoaineilla ja 10,5 % lämmöntalteenotolla ja lämpöpumpuilla. (Energiateollisuus ry, 2020, 3, 4, 6.) Kuvassa 3 on esitetty lämmöntuotannon käyttämien energianlähteiden osuudet vuonna 2019.



Kuva 3. Kaukolämmön hankinnan energialähteet vuonna 2019 (Energiateollisuus ry, 2020, 4)

Viimeisten kahden vuosikymmenen aikana uusiutuvien polttoaineiden käyttö on lisääntynyt voimakkaasti, peräti viisinkertaistunut. Tämä on vähentänyt fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Biomassa on syrjäyttänyt fossiilisia polttoaineita ja hyödyntämällä hukkalämpöä on voitu yleensäkin välttää polttoaineiden käyttö. Vuonna 2020 uusiutuvien polttoaineiden osuus oli kasvanut yli kaksinkertaisesti verrattuna vuoteen 2010, ja hukkalämpöjen hyödyntäminen yli kolminkertaistunut. Hukkalämpöä on hyödynnetty lämmön talteenotolla muun muassa savukaasuista, jätevesistä sekä kaukojäähdytyksen paluuviesistä. Energianlähteiden käytön muutos on osaltaan vaikuttanut myös kääntämään lämmön- ja sähköntuotannon päästöjä alaspäin. Viimeisen kymmenen vuoden aikana kaukolämmön tuotannon hiilidioksidipäästöt ovat pienentyneet 46 %. (Energiateollisuus ry, 2020.)

Energiatehokkainta sekä ympäristöystävällisintä on tuottaa lämmitysenergia samalla sähköntuotannon kanssa niin kutsutusti yhteistuotannolla, josta käytetään lyhennettä CHP, Combined Heat and Power production (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 11). Vuonna 2019 yhteistuotannon osuus lämmöntuotannosta Suomessa oli 66,6 % (Energiateollisuus ry, 2020, 6).

Sähköntuotantoon tarvittava höyry muodostetaan höyrykattiloissa. Höyryn avulla pyöritetään turbiinia, joka puolestaan pyörittää sähköä tuottavaa generaattoria. Höyry tulee lauhduttaa takaisin vedeksi, jotta se voidaan jälleen ajaa voimalaitoksen höyrykattilaan höyrystettäväksi ja siitä edelleen turbiinille. Yhdistelmälaitoksessa tämä lauhtumislämpö siirretään lämmönsiirrinten avulla kaukolämpöverkoston kiertoveteen. Näin ollen lämpöenergiaa saadaan käytettyä tehokkaasti hyväksi. Pelkkään sähköntuotantoon perustuvassa voimalaitoksessa lauhdutus toteutetaan siten, että jäähdyttämisessä käytetään esimerkiksi meri- tai järvivettä. Tällöin suuri määrä lämpöenergiaa jää hyödyntämättä. (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 11-13.) Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa päästään tyypillisesti 80–90 % kokonaishyötysuhteeseen, riippuen laistotyyppistä ja käytettävistä polttoaineista. Pelkästään sähköä tuottavat lauhdevoimalaitokset yltyvät 40–60 % kokonaishyötysuhteeseen. (Koreneff, ym., 2016, 6-7.)

Ulkolämpötila vaikuttaa kaukolämpötehon tarpeeseen. Talvisin, kovien pakkasten aikaan, lämmitystekon tarve on suurimmillaan, kun taas kesäisin kaukolämpöä tarvitaan lähinnä käyttöveden lämmitykseen ja lämpöhäviöihin. (Huhtinen;Korhonen;Pimiä;& Urpalainen, 2008, 12.)

2.2 Kaukolämpöverkosto

Tyypillisesti kaukolämpöjärjestelmässä on yksi peruskuormalaitos, joka voi olla lämmitysvoimalaitos tai lämpökeskus. Tämän lisäksi verkostoon on sijoitettu tehon tarpeen ja verkoston laajuuden mukaan huippu- ja varavoimakeskuksia. Peruskuormalaitos vastaa pääosin vuotuisesta energiantuotannosta ja huippu- ja varalämpökeskuksilla voidaan optimoida kaukolämpöjärjestelmän energian tuotantoa ja varmistaa ihmisten energiansaanti vaihtelevien tehontarpeiden mukaan. Kesäaikaan tehon tarve voi olla vain 10 % siitä, mitä se on talvella tehontarpeen ollessa suurimmillaan. Verkoston vesivirta on kesäisin vain noin viidenneksen talveen nähden. Verkostossa voi olla myös välipumppaamoja, jotka takaavat riittävän painetasen pitkillä siirtomatkoilla ja suurilla virtaamilla. (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 28-31) (Huhtinen;Korhonen;Pimiä;& Urpalainen, 2008, 12-16.)

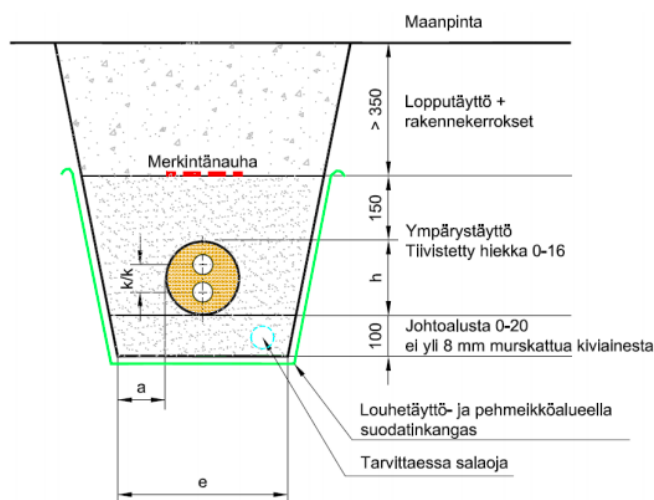
Kaukolämmitysjärjestelmässä kiertävä ja lämpöä siirtävä kiertovesi kuumennetaan lämmitysvoimalaitoksen tai lämpökeskuksen kaukolämmönsiirtimissä. Lämmönsiirtimellä kaukolämpövesi kuumennetaan vuodenajasta riippuen 70–120 C asteeseen. Kaukolämpövesi on kuumimmillaan lämmitystehon tarpeen ollessa suurin, eli talviaikaan. Kuuma kiertovesi pumpataan verkostoon, jonka välityksellä lämpöenergia jaetaan asiakkaille. (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 11, 17.)

Kaukolämpöverkoston putkisto koostuu yleisimmin tehdasvalmisteisista putkielementeistä. Elementti koostuu yhdestä tai kahdesta teräksisestä virtausputkesta, muovisesta suojakuoresta sekä näiden väliin pursotetusta polyuretaanista, joka täyttää putkien ja kuoren välin kiinnittäen nämä yhteen luoden yhtenäisen elementin. Polyuretaani toimii myös elementin eristeenä. Yksiputkirakennetta kutsutaan nimellä 2Mpuk (kuva 4). Siinä elementti koostuu muovisesta suojakuoresta, polyuretaanieristeestä ja yhdestä teräksisestä virtausputkesta. Kaksiputkirakennetta kutsutaan nimellä Mpuk. Siinä rakenne on edellä kuvatun kaltainen, mutta siinä virtausputkia on kaksi. Tehdasvalmisteisena on saatavilla suorien putkielementtien lisäksi erilaisia putkimutkia, haaroituksia, supistuksia, kiintopisteitä, paljetasaimia ja venttiilielementtejä. (Huhtinen;Korhonen;Pimiä;& Urpalainen, 2008, 16-17) (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 56-58.)



Kuva 4. 2Mpuk-kaukolämpöputket kaivannossa (Energiateollisuus ry)

Putket asennetaan maahan noin metrin syvyyteen. Ohjeen mukaan putken päälle tulee maa-ainesta vähintään puolen metrin verran (kuva 5). Putkistoon kohdistuu lämpötilan vaihteluista johtuvaa lämpöliikettä. Yleisesti putkisto on kitkakiinnitteinen. Mahdollinen lämpöliike voidaan kompensoida erilaisilla valmiilla elementeillä, kuten L- ja Z-kulmilla tai paljetasaimilla, tai putkiston liikkuminen voidaan huomioida tilajärjestelyillä. Ennen putkistokanavan täyttöä on suositeltavaa lämmittää putkia noin 80 C asteen lämpötilaan vastaamaan käytön aikaista lämpötilaa. Näin lämpöliikkeitä saadaan vähennettyä. (Energiateollisuus ry, 2013, 11-12) (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 62.)



Kuva 5. Mpu-putkikanavan poikkileikkaus (Energiateollisuus ry, 2013, 46)

2.3 Lämmönjakokeskus

Kiinteistön lämmönjakokeskus liittää asiakkaan kaukolämpöverkkoon. Kaukolämpöverkon kiertovesi luovuttaa lämpöenergiaa lämmönsiirrinten välityksellä kiinteistön lämmitysjärjestelmään tai lämpimän käyttöveden valmistukseen. Jäähdyntynyt kaukolämpövesi palaa verkoston paluuputkea pitkin takaisin lämmöntuotantolaitokseen uudelleen lämmitettäväksi. Kaukolämpöverkon kiertovesi on erotettu kiinteistön lämmitysjärjestelmän tai lämpimän käyttöveden kiertovedestä, jolloin nämä virtaavat omilla piireissään. (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 11, 64.)

Tehdasvalmiin lämmönjakokeskuksen perusvarusteluun kuuluvat kytkentäkaavion mukaiset putkistot, lämmönsiirtimet, toimintavalmis säätöjärjestelmä, kiertovesipumput, anturit sekä muut mahdolliset varusteet, kuten lämpö- ja painemittarit, ilmanpoisto- ja tyhjennysventtiilit, linjasäätöventtiili, lianerottimet sekä paine-erosäätimet. Lämmönjakokeskukseen voidaan liittää myös muun muassa paisuntajärjestelmä, varoventtiileitä, mittalaitteita tai erilaisia suodattimia. (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 66) (Energiateollisuus ry, 2020, 24-29.)

Tyypillisesti lämmönjakokeskuksessa on vähintään kaksi lämmönsiirrintä, toinen rakennuksen lämmitykseen ja toinen käyttöveden lämmitykseen. Siirtimiä voi olla myös vain yksi tai niitä voi olla useampia, esimerkiksi patteriverkostoon, ilmanvaihtoverkostoon tai lattialämmitykseen. Lämmönjakokeskuksen putkisto ja laitteet voidaan jakaa ensiö- ja toisiopuoleen. Ensiöpuoli kattaa sen osan laitteistoa, jossa virtaa kaukolämpövesi. Toisiopuoli on taas erotettu ensiöpuolesta lämmönsiirtimellä ja siinä kiertää rakennuksen lämmitys- tai käyttövesiputkiston vesi. (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 9, 19, 87-89.)

Kuvassa 6 on mekaanisesti ja elektronisesti toimintavalmiiksi kokonaisuudeksi kytketty tehdasvalmisteinen kaksipiirinen kaukolämmönjakokeskus.



Kuva 6. Tehdasvalmisteinen lämmönjakokeskus (Gebwell Oy, 2017)

2.3.1 Lämmönjakokeskusten suunnittelu

Energiateollisuus ry on tehnyt julkaisun Rakennusten kaukolämmitys, K1/2020, jossa kerrotaan ajantasainen lainsäädäntö ja määräykset sekä annetaan perusvaatimuksia kaukolämmityslaitteille ja ohjeita niiden suunnittelulle ja asennuksille. K1:n mukaan kiinteistöjen kaukolämmitysjärjestelmät tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että saavutetaan hyvälaatuinen sisäilmasto rakennuksen kaikissa tiloissa ja vaihtelevien olosuhteiden vallitessa. Tavoitteena on kaukolämpöenergiaa tehokkaasti hyödyntävä järjestelmä, jonka tehontarve ja energiankulutus ovat alhaisia. (Energiateollisuus ry, 2020, 7.)

Lämmönjakokeskus mitoitetaan rakennuskohtaisesti. Mitoituksessa huomioidaan rakennuksen ilmanvaihdon ja lämmityksen tehontarpeet sekä lämpimän käyttöveden lämmitystarve. Yhdessä ne muodostavat kaukolämpöverkosta tarvittavan lämmitystehon tarpeen. Seuraavaksi voidaan valita sopivat lämmönsiirtimet sekä muut ensiöpuolen laitteet. Siirtimiä mitoitettaessa pyritään siihen, että kaukolämpöveden jäähtyminen olisi mahdollisimman tehokasta. Huomioimalla virtaama ja laskemalla kiertoviesien ja kitkan aiheuttamat painehäviöt, voidaan valita toisiopiiriin sopiva kiertovesipumppu, jonka nostokorkeus voittaa verkoston painehäviöt. (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 65, 93) (Energiateollisuus ry, 2020, 8, 13, 28.)

Toisiopuolen meno- ja paluuviesille on määritelty lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat. Lämmitysverkoston menovesi saa olla korkeintaan 45 °C, joissain tapauksissa 60 °C, ja paluuviesi korkeintaan 30 °C. Lämpimän käyttöveden lämpötiloja on määritelty Ympäristöministeriön asetuksessa 1047/2017. Sen mukaan lämminviesilaitteistosta saatavan veden lämpötilan tulee olla vähintään 55 ja korkeintaan 65 °C. Lämpimän käyttöveden siirtimen mitoituslämpötilana siirtimeltä lähtiessä pidetään 58

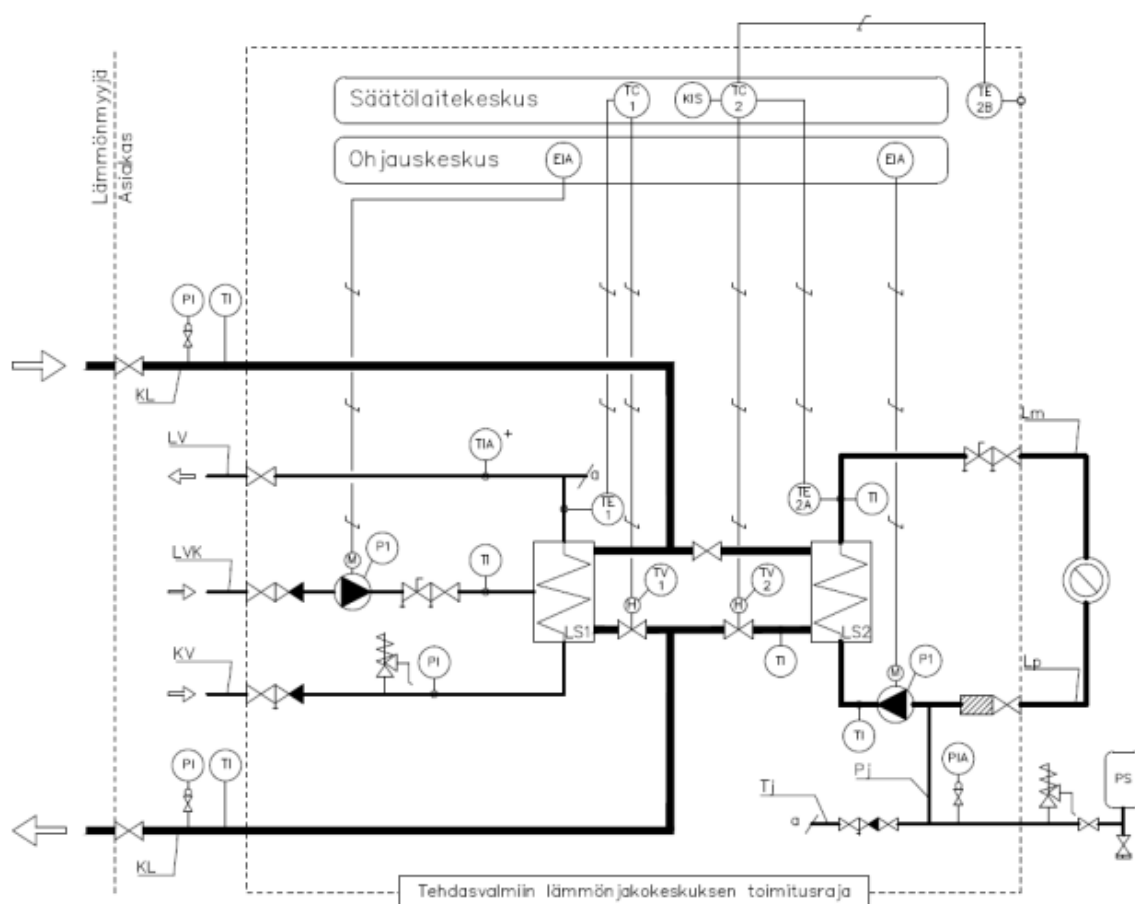
°C. (Ympäristöministeriö, 2017, Luku 2, 6 §) (Energiateollisuus ry, 2020, 8) (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 89, 93.)

2.3.2 KytKentäkaaviot

Lämmönjakokeskuksesta laaditaan suunnitteluvaiheessa kytKentäkaavio. KytKentäkaavion perusteella lämmönjakokeskus voidaan valmistaa tai esimerkiksi kilpailuttaa eri valmistajien kesken. KytKentäpiirustuksessa kuvataan lämmönjakokeskuksen kytKentätapa. Suomessa on vakiintuneet kytKentämallit, jotka on esitetty julkaisussa K1. Nämä kytKennät ovat lämpimän veden kierron (LVK) peruskytKentä, pientalokytKentä sekä välisyöttökytKentä. Julkaisussa on esitetty esimerkkikaavioita kustakin kytKennästä. (Energiateollisuus ry, 2020, 30-35.)

KytKentäkaavio esittää standardoiduilla piirrosmerkeillä ja viivoilla käytettävät laitteet ja varusteet sekä niiden sijainnin kytKennässä. KytKentäpiirustuksen lisäksi lämmönjakokeskuksesta laaditaan tekninen erittely, jossa on lueteltu laitekokonaisuuden sisältö mitoitusarvoineen. Näissä dokumenteissa kerrotaan lämmönjakokeskuksen laitteiden toimintaselostus, sekä ensiöpuolen säätölaitteiden säätökäyrät. Niihin merkitään myös putkien DN-koot ja säätöventtiileiden kvs-arvot. KytKentäpiirustuksesta ilmenee myös tehdasvalmiin lämmönjakokeskuksen toimitusrajat. Kaikki toimitusrajojen sisään jäävät varusteet ja kytKennät sisällytetään lämmönjakokeskustoimitukseen. (Mäkelä & Tuunanen, 2015, 67) (Energiateollisuus ry, 2020, 2, 31-32.)

Kuvassa 7 on julkaisun K1 kuvaama esimerkki lämmönjakokeskuksen LVK-peruskytKennän kytKentäkaaviosta. Kaavion mukainen kytKentä soveltuu käytettäväksi kohteisiin, joissa lämmitys siirtimeä palaavaa kaukolämpövettä ei voida hyödyntää käyttövesisiirtimellä jäähtymän parantamiseen. LVK-peruskytKennässä käytetään kaksivetoista käyttövesisiirrintä. Toisin kuin LVK-peruskytKennässä, välisyöttökytKennässä lämmitys siirtimeä palaavan kaukolämpöveden lämpöä voidaan hyödyntää ja vesi johdetaan vielä käyttövesisiirtimelle parantamaan sen jäähtymää. (Energiateollisuus ry, 2020, 30.)



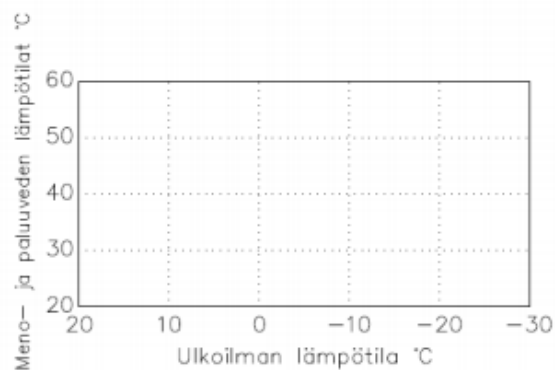
LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN LÄMPÖTILAN SÄÄTÖ

Säätökeskus TC1 ohjaa säätöventtiiliä TV1 käyttöveden lämpötila-anturin TE1 mittausarvon perusteella pitäen käyttöveden lämpötilan säätökeskuksen asetusarvon mukaisena. Ohjearvo 58°C.

LÄMMITYSVERKOSTON MENOVEDEN LÄMPÖTILAN SÄÄTÖ

Säätökeskus TC2 ohjaa säätöventtiiliä TV2 menoveden lämpötila-anturin TE2A ja ulkoilman lämpötila-anturin TE2B mittausarvojen perusteella pitäen lämmitysverkostoon lähtevän menoveden lämpötilan säätökeskuksen asetusarvon mukaisena.

LÄMMITYSVERKOSTON TOIMINTALÄMPÖTILAT



Kuva 7. Julkaisun K1 esittämä lämmönjakokeskuksen LVK-peruskytkennän kytkentäkaavio (Energiateollisuus ry, 2020, 33)

3 SUUNNITTELU JA VALMISTETTAVUUS

Tuotteen suunnitteluvaiheessa muodostetaan jopa 70–80 % sen koko eliniän aikaisista kustannuksista. Jos suunnitteluvaiheessa ei osata huomioida riittävästi tuotteen valmistamisen aiheuttamia vaatimuksia, voidaan joutua tilanteeseen, jossa tuotanto on tehotonta ja tuotantokustannukset kasvavat. Tuotannon tehottomuus voi ilmetä muun muassa pitkittyneinä läpimenoaikoina tai henkilöresurssien ohjaamisena huonon suunnittelun aiheuttamien ongelmien ratkaisemiseen. Suunnittelijan tulisi kyetä tunnistamaan esimerkiksi kokoonpanon tai valmistusmenetelmien asettamat vaatimukset. On myös hyvä tuntee valmistusyksiköiden työtavat ja käytössä olevat menetelmät, oli kyseessä sitten yrityksen oma tuotanto tai ulkoistettu valmistus. (Hietikko & Lipponen, 2007, 41.)

3.1 Design for X

Design for X, myös Design for Everything, lyhennetään usein muotoon DFX. Siinä X:llä voidaan tarkoittaa useita eri asioita. DFX:llä tarkoitetaan jonkin tietyn asian huomioimista suunnitteluvaiheessa. Usein tässä yhteydessä käytetään käsitettä DFA, Design for Assembly, eli kokoonpanomyönteinen suunnittelu. Toinen usein käytetty käsite on DFM, Design for Manufacturing, eli komponenttien valmistusmyönteinen suunnittelu. Nämä voidaan myös yhdistää muotoon DFMA eli Design for Manufacturing and Assembly. Muita suunnittelun painopisteitä ja suunnittelulähtökohtia kuvataan muun muassa käsitteillä

- DFAM, Design for Additive Manufacturing,
- DFQ, Design for Quality,
- DFC, Design for Cost,
- DFE, Design for Environment,
- DFLC, Design for Life-Cycle,
- DFMt, Design for Maintainability sekä
- DFR, Design for Reliability.

(Hietikko & Lipponen, 2007, 42) (Honkanen & Kutvonen, 2013, 3, 23) (Kuo;Huang;& Zhang, 2001, 243-253.)

3.2 Design for Manufacturing

DFM, eli Design for Manufacturing, tarkoittaa tuotesuunnittelua, jonka tavoitteena on optimoida kaikki komponenttien valmistukseen liittyvät vaiheet. Lyhenne DFM tarkoittaa myös Design for Manufacturability eli valmistettavuus. Hyvällä valmistettavuudella tarkoitetaan kaikkia niitä menetelmiä, joilla pyritään yksinkertaistamaan komponenttien valmistamista ja alentamaan valmistuskustannuksia.

Valmistettavuus tulisi ottaa huomioon jo tuotesuunnittelun aikaisessa vaiheessa, tehtäessä konseptisuunnittelua. Konseptisuunnitteluvaiheessa voidaan jo valita käytettävät valmistusmenetelmät ennen kuin komponenttien muodot ja mitat ovat tarkemmin selvillä. Tuotesuunnittelun varhaisessa vaiheessa tulee kyetä arvioimaan ja vertailemaan keskenään eri mahdollisuuksia toteuttaa suunnitelmat. Voidaanko esimerkiksi hyödyntää modulaarista tuotesuunnittelua? (Hietikko & Lipponen, 2007, 45) (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 16.)

DFM:ssä on tärkeää, että suunnittelijat ja valmistuksesta vastaavat henkilöt tekevät yhteistyötä keskenään. Näin suunnittelija pystyy työssään huomioimaan valmistusmenetelmien asettamat vaatimukset. Tuotesuunnittelun ja tuotannon väliset vaikutukset yrityksessä tulee huomioida neljällä hierarkiatasolla: yritystasolla, tuoteperhetasolla, rakennetasolla sekä komponenttitasolla. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 16.)

Yritystasolla tarkastellaan ja vertaillaan muita yrityksen valmistamia tuotteita ja pyritään siihen, että voitaisiin käyttää samoja teknisiä ratkaisuita mahdollisimman paljon. Yritystasolla huomioidaan myös yrityksen strategiset suunnitelmat, sekä muun muassa päätetään tuotteiden standardoinnista ja niiden ulkoasusta. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 16, 18.)

Tuoteperhetasolla vertaillaan yrityksen valmistamien tuotteiden erilaisia variantteja ja sitä, kuinka niiden hyviä ominaisuuksia voidaan hyödyntää uusien tuotteiden suunnittelussa (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 16).

Rakennetasolla tarkastellaan tuotteen rakennetta ja valmistusprosessia; osien ja alikokoonpanojen valmistusta, kokoonpanoa ja esimerkiksi tuotteen kustannusrakennetta sekä muita tuotteeseen liittyviä toimia kuten testausta, pakkausta, varastointia ja logistiikkaa (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 17).

Komponenttitasolla keskitytään komponenttien yksityiskohtien suunnitteluun ja niiden valmistukseen. Tällä tasolla suunnittelussa tulisi keskittyä eniten keskeisiin, haastaviin ja kalliisiin osiin sekä miettiä mahdollista modulaarisuutta. Myös osien saatavuuteen tulee kiinnittää huomiota. Komponentteja suunnitellessa tulee ehdottomasti hyödyntää, jos vain mahdollista, standardikomponentteja, sekä jo aiemmin suunniteltuja tuotteita, jotta vältetään turhalta suunnittelutyöltä. (Hietikko & Lipponen, 2007, 45) (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 17.)

Tuotesuunnittelussa tulisi edetä yritystasolta hierarkiassa alaspäin. Kuitenkin yksityiskohtaiseen suunnitteluun keskitytään usein jo liian aikaisessa vaiheessa ja jätetään ylemmät tasot liian vähälle huomiolle. Suunnitteluprosessissa tulisi edetä järjestyksessä yritystasolta alaspäin, jotta ylempien tasojen päätöksen ja valinnat luovat perustaa alempien tasojen päätöksille. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 18.)

Valmistettavuutta pohtiessa on tärkeää kiinnittää huomiota valmistuskustannuksiin. Tämä ei saa kuitenkaan olla ainut tapa tarkastella asiaa, koska halvin toteutus ei aina johda parhaaseen lopputulokseen. On syytä huomioida ainakin seuraavat seikat valmistettavuutta arvioitaessa:

- laatu
- tuotantokustannukset
- joustavuus
- riskit
- läpimenoaika
- tehokkuus sekä
- ympäristövaikutukset.

(Lempiäinen & Savolainen, 2003, 21.)

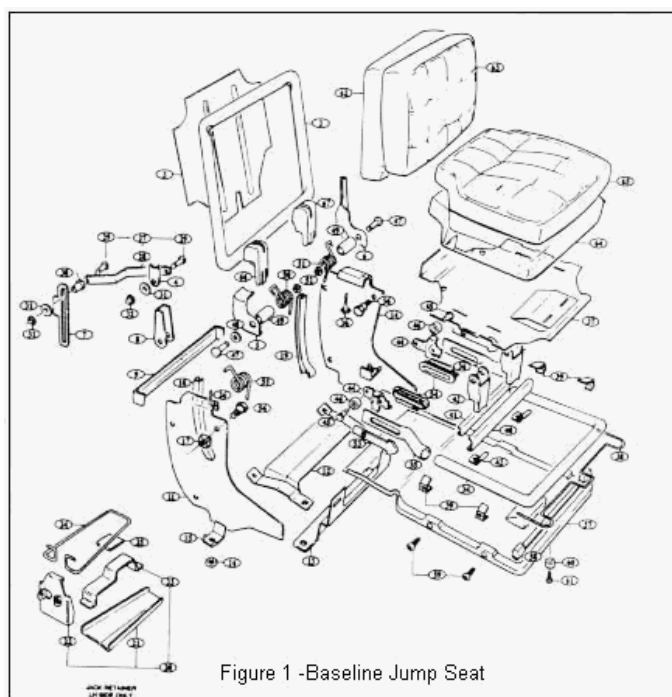
Tuotekehitysprosessissa ja sen suunnitteluvaiheessa valmistettavuuden parantamiseksi voidaan hyödyntää useita eri tapoja. Jos suunnitelma ei näytä täyttävän halutulla tavalla hyvän valmistettavuuden ehtoja, voidaan kokeilla suunnittelussa erilaisia lähestymistapoja ja vertailla erilaisia metodeja tuotteen toteuttamiseksi. Jos suunnittelua lähdetään tekemään uudestaan toisella tavalla, on tiedotettava mitä asioita halutaan kehittää ja parantaa verrattuna aiempaan. Suunnitteluvaiheessa on hyvä ottaa mukaan edustajia eri aloilta ja erilaisin vahvuuksin, jotta saadaan mahdollisimman laaja-alainen näkemys. Myös kokeneiden ja vanhempien suunnittelijoiden hyödyntäminen asiantuntijoina on hyvä keino välttää vanhoja virheitä. Ideoinnissa voidaan hyödyntää benchmark-tuotteita. Tämä tarkoittaa, että etsitään markkinoilta esimerkiksi kilpailijan vastaava tuote ja verrataan sitä omiin suunnitelmiin tai etsitään siitä uusia ideoita. Vertailua voidaan tehdä myös yleisesti erilaisten suunnitteluperiaatteiden välillä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi erilaisten valmistusmenetelmien vertailua tai vaikkapa käytettävien kiinnitysmenetelmien korvaamista jollakin toisella tavalla. Suunnitteluperiaatteen vaikutus tulee nähdä tuotteen koko elinkaaren ajalle. Jokin valmistus- tai kokoonpanotapa voi olla erityisen hyvä juuri valmistettavuuden kannalta, mutta voi aiheuttaa hankaluuksia esimerkiksi huollettavuuden kannalta. Valmistettavuuden arvioinnin avuksi on paljon erilaisia tietokoneohjelmia, joista löytyy apua muun muassa erilaisiin simulointeihin, valmistusaikojen tai kustannusten arviointiin. Suunnittelumenetelmien tulisi olla sellaiset, että tuotannosta saataisiin mahdollisimman paljon tietoa nykyisistä tuotteista, niiden valmistuksesta ja olemassa olevista ongelmista. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 23-25.)

3.3 Design for Assembly

Design for Assembly, DFA, eli tuotteen kokoonpantavuus, on tuotekehitysmenetelmä, jonka avulla yksinkertaistetaan tuotteen rakennetta ja kokoonpanotyötä. DFA:n perusperiaatteita on kokoonpanon osien toimintojen yhdistäminen ja osien lukumäärän pienentäminen. Tavoitteena on myös saada aikaan tuote, joka toimii paremmin ja luotettavammin, näyttää siistimmältä ja jonka huollettavuus helpottuu sekä ympäristökuorma paranee. DFA-suunnittelun keinoin voidaan toteuttaa modulaarinen tuoterakenne, jonka avulla asiakaslähtöinen räätälöinti voidaan helposti toteuttaa. Kokoonpanotyössä tarkasteltavia vaiheita ovat osien syöttäminen, mukaan lukien erottelu ja orientointi, käsin tai robotilla tapahtuva kappaleenkäsittely, liitosten toteutus sekä kokoonpanotyön laadunvalvonta. DFA on tärkeää massaräätälöinnissä, jossa variointi tapahtuu usein kokoonpanovaiheessa. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 69-70) (Hietikko, Tuotekehitystoiminta, 2015, 167.)

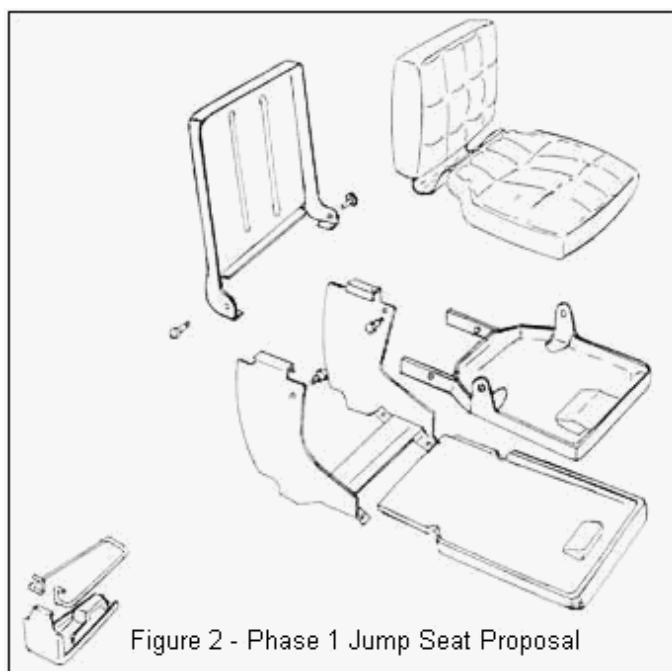
Kokoonpanon eri osia ja niiden toimintoja yhdistelemällä yhdeksi ja samaksi osaksi voidaan vähentää kokoonpanoon tarvittavien osien kokonaismäärää. Näin pienenee myös käsittelyn ja liitosten määrä. Kokoonpanon osien määrä vaikuttaa myös suoraan kiinteisiin kuluihin. Poisjäänyt osa poistaa tarpeen sen suunnittelulle, valmistukselle, testaukselle, valvonnalle, varastoinnille, kierrätykselle, ostolle ja kuljetuksille. Toisaalta osien määrän vähentäminen voi monimutkaistaa tarvittavien osien geometriaa. Tähän taas löytyy apu CNC-työstötekniikoista ja automaatiosta. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 71.)

Esimerkki kokoopantavuuden yksinkertaistamisesta on esitetty kuvissa 8 ja 9. Kuvassa 8 on istuimen kokoonpanon lähtötilanne, jossa on paljon erillisiä osia ja kiinniikkeitä osien liittämiseksi.



Kuva 8. Lava-auton istuimen kokoonpano, lähtötilanne (Boothroyd Dewhurst, Inc., 2021)

DFA-analyysin jälkeen osien lukumäärä on saatu pudotettua ja kokoonpanoaikaa lyhennettyä, kuitenkin säilyttäen samat toiminnallisuudet. Osia ja niiden toimintoja on yhdistetty tai osia on poistettu kokonaan. Myös hitsauksen määrää on pienennetty huomattavasti, erityisesti pienten ja hankalasti käsiteltävien osien osalta. Alkuperäisessä kokoonpanossa (kuva 8) erillisten osien lukumäärä oli 105 ja kokoonpanoaika 1445 sekuntia. DFA-analyysin jälkeen (kuva 9) osien lukumäärä oli 19 ja asennusaika 258 sekuntia. (Boothroyd Dewhurst, Inc., 2021)



Kuva 9. Lava-auton istuimen kokoonpano DFA-analyysin jälkeen (Boothroyd Dewhurst, Inc., 2021)

Kokoonpano tulisi suunnitella siten, että siihen tarvittavat osat olisivat helposti tuotavissa kokoonpanoon. Tyypillisesti teollisuuden kokoonpanotyötä tehdään pöydän ääressä istumatyönä, ja niin ihmiselle kuin kokoonpanorobotillekin helpoin tapa tuoda osia kokoonpanoon on suoraviivaisesti ylhäältä alaspäin. Osien tuonti vaihtelevasti eri suunnista lisää ylimääraistä käsittelyä ja tuotteen kääntelyä. Erityisen hankalaa tämä on silloin kun tuote on suuri tai se on aseteltu kokoonpanojigiin. Tuotteella olisi hyvä olla selkeä runko-osa, johon muut kokoonpanon osat voidaan tuoda ja kiinnittää. Stabiili runko voi poistaa tarpeen käyttää erillistä kiinnitintä kokoonpanotyöhön. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 71-72.)

Kokoonpanotyötä hankaloittavia voivat olla esimerkiksi likaiset, joustavat, helposti särkyvät, kuumat tai erityisen pienet osat. Likaiset osat tulisi puhdistaa mahdollisimman pian niiden likaannuttua, jotta välttyään liian leviäminen muualle. Esimerkiksi koneistettujen osien leikkuunestejäämät puhdistetaan ennen seuraavaa vaihetta. Joustavat osat, kuten letkut, vaativat lähes aina ylhäältä alaspäin suuntautuvan asennussuunnan ja joustavien tai pujoteltavien osien asennus voi asettaa esteen kokoonpanoautomaation käytölle. Pienet osat, joiksi lasketaan osat, joiden pisin dimensio on korkeintaan 6 mm, tarvitsevat erillisen tartuntatyökalun. Tällainen voi olla esimerkiksi työkalun magneettipidin. Pienen osan tuominen kokoonpanoon ja erillisen tartuntatyökalu käyttö voivat hankaloittaa kokoonpanotyötä varsinkin, jos kokoonpantaessa tarvitsee käyttää suurta liittämisen- tai puristamisvoimaa. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 72-73.)

Osien sovittaminen toisiinsa pitäisi suunnitella helpoksi, esimerkiksi ruuvien kohdistaminen paikalleen. Täytyy myös muistaa, että ihmisellä on vain kaksi kättä käytössään, joten useamman samaan aikaan kohdistettavan osan asennus käy hankalaksi. Osan sovittamiseksi tulee myös tehdä tarpeeksi tilaa ja luoda hyvä näkyvyys sovittettavaan kohteeseen. Osien ulkopinnoille kannattaa suunnitella yksinkertaisia piirteitä, jotka helpottavat paikoitusta ja osan tuontia kokoonpanoon oikein päin. Tällaisia voivat olla esimerkiksi erilaiset ohjaustapit, sokat, olakkeet, viisteet ja reiät. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 73-75.)

Kokoonpanovirheitä syntyy helposti sen seurauksena, että osissa on vain pieniä eroja symmetriassa tai toiminnassa. Jos väärinpäin asennettu osa tekee kokoonpanosta vajavaisesti toimivan tai kokonaan toimimattoman, kannattaa hyödyntää osan symmetriaa tai lisätä osaan piirre, joka estää osan asentamisen väärinpäin. Poka Yoke -suunnitteluperiaatteen ideana on juuri tämä, suunnitellaan jokin asia siten, että se on tehtävissä vain yhdellä tietyllä tavalla. Lievästi symmetristen piirteiden erottaminen on hankalaa. Jos osaa ei voida tehdä täysin symmetriseksi, kannatta epäsymmetrisyyttä korostaa, jotta tunnistaminen helpottuu. Myös merkintä, kuten ”oikea/vasen” tai ”tämä puoli ylöspäin” auttaa kokoonpanotyötä. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 79-80, 131) (Hietikko, Tuotekehitystoiminta, 2015, 168.)

Automatisoidun kokoonpanon periaatteita kannattaa huomioida myös käsin tehtävässä kokoonpanotyössä. Näitä huomioitavia asioita ovat esimerkiksi vähäinen osien määrä ja niiden yhdisteleminen sekä kokoonpanosuuntien pitäminen vähäisenä, mieluusti vain ylhäältä alaspäin. Tämä yksinkertaistaa ja helpottaa myös käsin tehtävää kokoonpanoa ja automaatioon siirtyminen on aikanaan helpompaa. Manuaalisessa kokoonpanossa kannattaa huomioida seuraavia periaatteita:

- moduuleiden käyttö
 - ne helpottavat nopeaa räätälöintiä ja nopeuttavat läpimenoa
- kokoonpanoon kannattaa käyttää mahdollisimman vähän
 - komponentteja, liitoksia, liitoselementtejä, sovittamista ja paikoilleen asettamista sekä kuljettamista ja käsittelyä
- suunnittelussa huomioidaan
 - helppo asemointi ja kappaleiden käsittely, työkalujen käsittely sekä osien pinoaminen ja pakkaaminen
- ennakoidaan
 - liittämiset, käsittelyt, työmenetelmät sekä nostot ja riiputettavuus, ja huomioidaan näissä painopiste ja hitausvoimat
- erityisesti huomioidaan
 - työnmuotoilulliset ja ergonomiset tekijät, yhden peruskappaleen käyttö, johon muut osat liitetään, peruskappaleen asennon muutosmahdollisuudet, kokoonpanomenetelmien suunnittelu sekä standardointi ja modulointi.

(Lempiäinen & Savolainen, 2003, 81-82.)

3.4 Kokoonpantavuuden arviointi

Kokoonpantavuuden arviointiin on olemassa siihen tarkoitettuja ohjelmistoja. Näitä on integroituna jopa mukaan CAD-järjestelmiin. DFA-analyysiin käytetyissä menetelmissä selvitetään muun muassa osan syöttämiseen ja liittämiseen liittyviä vaatimuksia sekä yksittäisen osan ja yleisesti koko kokoonpanon asettamia vaatimuksia. Analyysissä huomioidaan esimerkiksi osien käsittelyn monimutkaisuutta, osien ominaisuuksia, materiaaleja ja muotoja. (Hietikko, Tuotekehitystoiminta, 2015, 167.

Kokoonpantavuuden arviointiin on monia eri työkaluja ja menetelmiä. Näitä ovat muun muassa erilaiset tarkistuslistat, Bässlerin kokoonpanon suunnittelusäännöt sekä ohjelmistot, joista tunnetuimpia ovat Hitachi AEM, Lucas DFA ja Boothroyd-Dewhurst DFMA. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 152-155.)

3.4.1 Tarkistuslistat

Tarkistuslistat, eli checklistit, ovat kevein kokoonpantavuuden arviointimenetelmä. Niissä on helppo huomioida käsin tehtävä tai automatisoitu kokoonpano ja muutosten tekeminen sekä tuotekohtaisen räätälöinnin huomioiminen niissä on vaivatonta. Tarkistuslistoja voidaan käyttää myös yrityksen laatu-järjestelmän tukena. Esimerkkejä tarkistuslistan kysymyksistä tuotteen kokoonpantavuudesta voivat olla:

- Voidaanko osien määrää tuotteessa vähentää?
- Voidaanko osia yhdistää?
- Onko tuote jaettu osakokoonpanoihin ja millä perusteella jako on tehty?
- Voidaanko osat kokoonpanna suoraviivaisella liikkeellä (ylhäältä-alas)?
- Tarvitaanko erillisiä liitososia ja kuinka paljon? Ovatko ne samanlaisia tai voidaanko niitä vähentää?

- Voidaanko liitosten määrää vähentää?
- Onko kokoonpanossa selkeä runko-osa?
- Täytyykö tuote kokoonpanon jälkeen testata? Miten?
- Onko osat toteutettu siten, että toleranssit eivät summaudu?
- Onko kokoonpanossa riittävästi tilaa työkaluille?
- Tarvitaanko osien paikalleen saamiseksi voimaa?

(Lempiäinen & Savolainen, 2003, 154-155.)

3.4.2 Bässlerin kokoonpanon suunnittelusäännöt

Rudolf Bässlerin kokoonpanon suunnittelusäännöt, ovat menetelmä, jossa lasketaan kokoonpantavuuden suhteellista vaikeutta. Siinä tarkastellaan suunnittelusääntöjen ja tarkistuslistojen avulla kokoonpanoon vaikuttavaa neljää eri tasoa, rakenne-, osakokoonpano- ja osatasoa sekä liittämistekniikoita. Yksittäiset suunnittelusäännöt jaetaan kolmeen luokkaan niiden tärkeyden mukaan ja ne luokitellaan suunnittelun vaiheisiin, jossa sääntö tulee huomioida. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 153.)

3.4.3 Hitachi AEM

Hitachi AEM, eli Assembly Evaluation Method, julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 1967. Menetelmä analysoi tarvittavat kokoonpanotoiminnot, jotta kokoonpanon osat saadaan käsiteltyä, kiinnitettyä ja osien sijainti varmistettua. Kokoonpanon liikkeet ja toiminnot syötetään AEM malliin. Mallissa vertaillaan kokoonpanoprosessia parhaaseen mahdolliseen suoritukseen. Ylhäältä alaspäin tapahtuvaa asennusliikettä pidetään nopeimpana ja helpoimpana ja kaikki tästä eroavat tai ylimääräiset liikkeet ja toiminnot antavat rangaistuspisteitä. AEM-menetelmässä käytetään kahta suuretta arvioimaan kokoonpantavuutta. Ensimmäinen näistä suureista on E, jolla arvioidaan kokoonpantavuuspisteitä ja tarkastellaan kokoonpanon vaikeutta. Tämä ei kuitenkaan huomioi osien lukumäärän vähentämisestä saatavaa hyötyä, vaan tähän tarvitaan toista suuretta K, jolla arvioidaan kustannussuhdetta. Kustannussuhteella vertaillaan kustannusten pienentymistä ”standardituotteeseen” tai aikaisempaan tuoteversioon nähden. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 156)

Menetelmässä käytetään noin 20 eri symbolia, joilla kuvataan kokoonpanotyön toimenpiteitä osakerrallaan. Jokaisen osan kohdalle täytetään lomakkeeseen kokoonpanotyössä suoritettavat toimenpiteet. Täydet kokoonpantavuuspisteet E on 100, jotka saavutetaan silloin, jos kaikki osat voidaan tuoda kokoonpanoon suoraviivaisesti ylhäältä alaspäin. Kaikki tästä poikkeavat ylimääräiset toimenpiteet vähentävät pisteitä Hitachin taulukoiden mukaisesti. Koko tuotteen kokoonpantavuuspisteet E, saadaan yksittäisten osien pisteiden keskiarvosta. Jos E saa arvon 80 tai enemmän, on kokoonpantavuus hyvä, kustannukset edulliset ja kokoonpanotyö soveltuu automatisoitavaksi. Osien vähentämisen hyödyt huomioidaan kokoonpanon kustannussuhteella K. Suure saadaan vertaamalla kokoonpanoaikaa ja hintaa tuotteen aiempaan versioon. Raja-arvona tässä on 0,7, eli kun K on pienempi kuin 0,7 kustannukset ovat tippuneet vähintään 30 % verrattuna aiempaan. Hitachi AEM antaa selkeän tavoitteen päästä raja-arvoja parempiin tuloksiin vähentämällä osamäärää ja yksinkertaistamalla kokoonpanotyötä vähentäen samalla kustannuksia. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 157.)

3.4.4 Lucas DFA

Lucas DFA:n avulla voidaan suorittaa toiminnallinen analyysi, käsittely- tai syöttöanalyysi sekä soviteanalyysi. Lucas DFA soveltuu arvioimaan käsin tehtävää tai automatisoitua kokoonpanotyötä. Menetelmä tuottaa kolme kokoonpantavuustulosta. Nämä ovat suunnittelutehokkuus, syöttö-/käsittelysuhde sekä sovitusuhde. Kaikille kokoonpanossa oleville osatekijöille käydään läpi toiminnallinen analyysi, jossa ne jaetaan kahteen osioon, jotka ovat A ja B. Suunnittelutehokkuus saadaan kaavasta

$$\text{Suunnittelutehokkuus} = A/(A + B), \quad (1)$$

jossa *A* tarkoittaa tarpeellisia osia ja *B* ei-tarpeellisia osia. Suunnittelutehokkuus saadaan siis jakamalla tarpeelliset osat kokoonpanon kaikilla osilla. Tämän suhdeluvun tavoiteltu tulos on 60 %. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 158)

Syöttö- tai käsittelyanalyysissä tarkastellaan jokaista kokoonpanon osaa erikseen, ja saadaan osien syöttö-/käsittelyindeksi. Analyysissä verrataan jokaista osaa tietokantaa vasten ja saadaan näille indekseiksi. Jos syöttöindeksiksi saadaan yli 1,5 kannattaa harkita syötön uudelleensuunnittelua. Syöttösuhte saadaan summaamalla kaikkien osien syöttöindeksit ja jakamalla se tarvittavien osien määrällä. Tässä tavoitelleen suhdelukua 2,5. Soviteanalyysi etenee kuten syöttöanalyysi käyttäen tietokantaa hyväkseen. Osille saadaan määriteltyä soviteindeksi ja lopuksi saadaan sovitesuhde. Analyysistä saatuja tuloksia voidaan verrata aiempiin suunnitelmiin ja saatuihin arvoihin. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 158-159.)

Osan ominaisuuksia määritellään arvioimalla osan kokoa, painoa, symmetrisyyttä sekä muita ominaisuuksia, jotka voivat hankaloittaa käsittelyä. Kuvissa 10 ja 11 on osien ominaisuuksia, joita arvioimalla saadaan määriteltyä käsittely- ja soviteindeksit.

Lucas DFA method - Manual Handling Analysis			
Handling Index = A+B+C+D		B. Handling difficulties All that apply	
A. Size & Weight of Part One of the following		Delicate	0.4
Very small - requires tools	1.5	Flexible	0.6
Convenient - hands only	1	Sticky	0.5
Large and/or heavy requires more than 1 hand	1.5	Tangible	0.8
Large and/or heavy requires hoist or 2 people	3	Severely nest	0.7
		Sharp/Abrasive	0.3
		Untouchable	0.5
		Gripping problem / slippery	0.2
		No handling difficulties	0
C. Orientation of Part One of the following:		D. Rotational Orientation of Part One of the following	
Symmetrical, no orientation req'd	0	Rotational Symmetry	0
End to end, easy to see	0.1	Rotational Orientation, easy to see	0.2
End to end, not visible	0.5	Rotational Orientation, hard to see	0.4

Kuva 10. Lucas DFA, käsittelyanalyysi (Chan & Salustri, 2005, 2)

Lucas DFA method - Manual Fitting Analysis			
Fitting Index = A+B+C+D+E+F			
A. Part Placing and Fastening One of the following		D. Access and/or Vision One of the following	
Self-holding orientation	1.0	Direct	0
Requires holding	2.0	Restricted	1.5
Plus 1 of the following			
Self-securing (i.e. snaps)	1.3		
Screwing	4.0		
Riveting	4.0		
Bending	4.0		
B. Process Direction One of the following		E. Alignment One of the following	
Straight line from above	0	Easy to align	0
Straight line not from above	0.1	Difficult to align	0.7
Not a straight line	1.6		
C. Insertion One of the following		F. Insertion Force One of the following	
Single	0	No resistance to insertion	0
Multiple insertions	0.7	Resistance to insertion	0.6
Simultaneous multiple insertions	1.2		

Kuva 11. Lucas DFA, soviteanalyysi (Chan & Salustri, 2005, 2)

3.4.5 Boothroyd-Dewhurst DFMA

Amerikkalaisen Boothroyd-Dewhurst Inc.:in DFMA-ohjelmisto tarjoaa apua valmistettavuuden sekä kokoonpantavuuden arviointiin. Sen ydinosa on DFA-ohjelmistomoduuli. Tämän avulla voidaan laskea tuotteen rakenteesta ja osien ominaisuuksista tuotteen kokoonpanoaika- ja kustannusarviot.

Ohjelman avulla uudelleensuunnittelua voidaan kohdistaa oikeisiin kohteisiin tai tekemään vertailua vaihtoehtoihin tuoterakenteisiin kokoonpantavuus huomioiden. Ohjelmiston avulla voidaan arvioida osien välistä kokoonpanoa ja osien käsittelystä koituvaa hintaa. Arviointi soveltuu käsin tehtävälle kuin myös automatisoidulle kokoonpanotyölle. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 160.)

Kokoonpanojärjestelmän valintaa voidaan suunnitella analyysin avulla, joka huomioi odotettua tuotantomäärää, tarvittavaa takaisinmaksuaikaa, kokoonpanon osien määrää ja tuoteperheeseen kuuluvien tuotteiden määrää. Kokoonpanojärjestelmästä riippumatta kokoonpanon osia arvioidaan niiden käsittelyn helppouden, liitosten helppouden sekä osan tarpeellisuuden perusteella. Saatuja tuloksia verrataan ohjelmiston tietoihin ja näin saadaan osan hinta ja sen tekemiseen tarvittava aika. Ohjelmistoon voidaan syöttää myös yrityksen omia erikoistoimenpiteitä ja omia standardoituja osia. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 160.)

Analyysiin syötetään kokoonpanon osaluettelon mukainen työlista. Siihen voidaan lisätä osia, alikokoonpanoja ja toimenpiteitä. Ensimmäisenä tavoitteena on vähentää kokoonpanoon tarvittavia osia. Tämä tapahtuu tarkastelemalla jokaista osaa erikseen ja pohtimalla onko osalla välttämätön syy kuulua konstruktion. Professori Boothroydin mukaan perusteltuja syitä osalle kuulua kokoonpanoon ovat:

- toiminnan aikana osa liikkuu kokoonpanossa muihin osiin nähden merkittävän paljon. Pienet liikkeet voidaan korvata esimerkiksi elastisilla osilla.
- Osan pitää olla eri materiaalia tai olla erillään muista osista.
- Osan pitää olla erillinen, jotta kokoonpaneminen tai purkaminen eivät muodostu mahdottomaksi.

Jos osa ei ole näiden syiden perusteella välttämätön, pitää se yrittää suunnitella pois kokoonpanosta tai yhdistää se toisen osan kanssa. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 161-162.)

Analyysi jatkuu tutkimalla jokaisen osan käsittely- ja kokoonpano-olosuhteita. Analyysissä kokoonpanon osat luokitellaan niiden käsittelypiirteiden kuten koon, painon, olomuodon sekä tarvittavien mekaanisten liikkeiden mukaan. Kokoonpanoaika määritellään yhdistämällä käsittelyaika ja asetus aika. Kokoonpanohinta on suhteellinen ja se huomioi palkkatason ja yleiskustannukset. Analyysin tulokset sopivat parhaiten saman tuoteperheen tuotteiden väliseen vertailuun tai kilpailevaan tuotteeseen verrattaessa. Ohjelmisto tarjoaa analyysijä eri valmistusmenetelmien mukaan, muun muassa muoviosille, koneistetuille kappaleille sekä ohutlevyosille. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 162-163.)

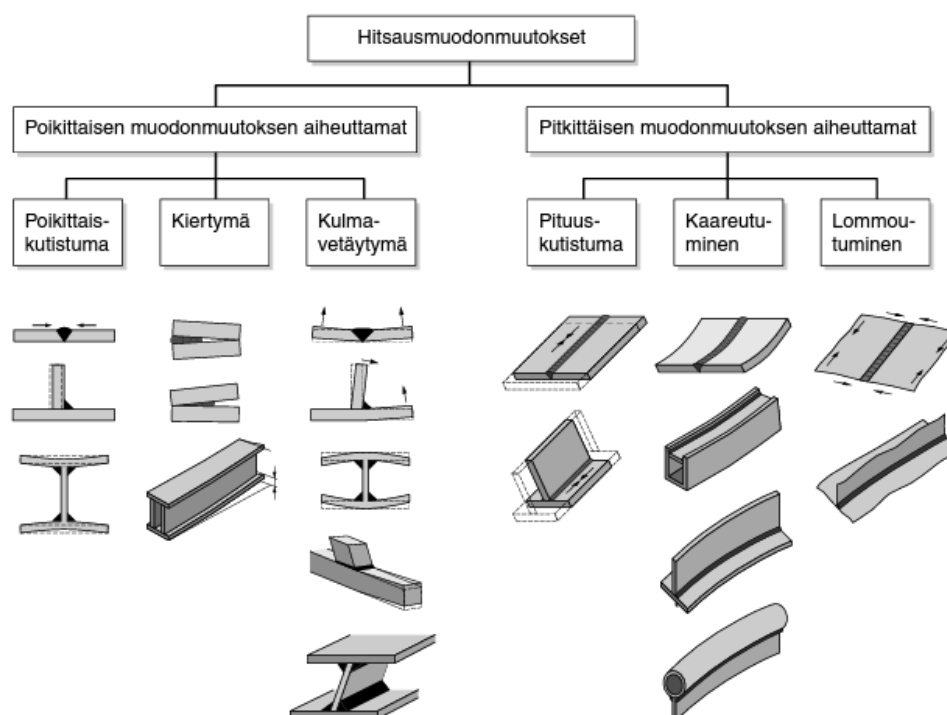
Kuvassa 12 on kuvakaappaus Boothroyd-Dewhurst Inc.:in DFA Product Simplification -ohjelmistosta.

The screenshot shows the DFA Product Simplification software interface. The main window is titled 'Motor original' and 'Motor redesign'. The left sidebar shows a tree view of the motor assembly components, including 'motor base', 'bushing', 'Press fitting', 'motor', 'motor screw', 'standoff', 'sensor', 'set screw', 'end plate', 'end plate screw', 'grommet', 'Press fitting', 'Feed wire/cable (push and pull)', 'Reorientation of assembly', 'cover', and 'cover screws'. The central panel displays details for the selected item, 'end plate screw' (part number 9584). It includes fields for 'Repeat count' (2), 'Cost of special assembly tools, \$' (0.00), 'Item weight' (Less than 5 lb (2.27kg)), 'Envelope dimensions, in' (0.200 x 0.500), and 'Item function' (Fasten or secure other items). The right-hand panels include 'Symmetry' (180 degrees or less about: No axes, One axis, Two axes), 'Handling requirements' (One hand without grasping tool, One hand using grasping tool, Two hands due to flexibility, Two hands - severe nest or tangle), 'Operation characteristics' (Power tool, Nut/screw driver, Ratchet wrench, Open end wrench, Box end wrench), 'Insertion difficulties' (Not self-locating, Holes require alignment with tool, Access to mating location obstructed, Sight of mating location restricted), and 'Manufacturing data' (Piece part cost, \$ 0.03; Item cost, \$ 0.03; Tooling investment, \$ 0.00). The status bar at the bottom displays results for the 'end plate screw': Process time = 18.12s, Process cost = \$0.15, Assembly tool or fixture cost = \$0.00, Item cost = \$0.06, Total cost = \$0.21.

Kuva 12. DFA Product Simplification -ohjelmisto. (Boothroyd Dewhurst, Inc., 2021)

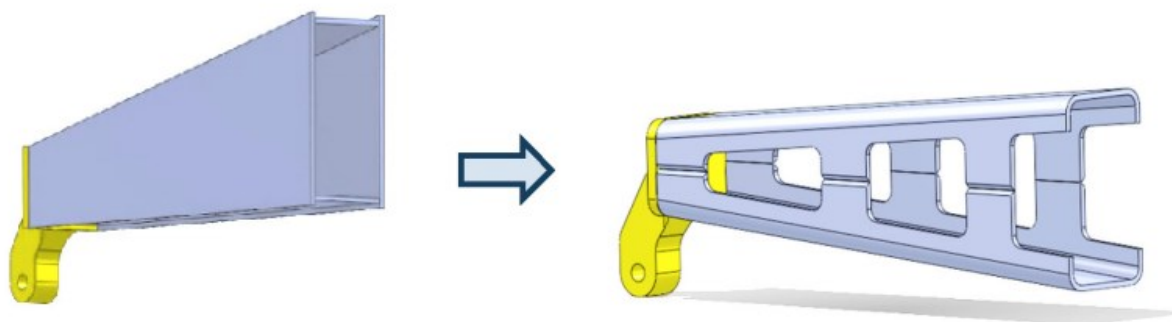
3.5 Design for Welding Assembly

Design for Welding Assembly, DFWA, tarkoittaa hitsauskokoontamomyönteistä suunnittelua. Mones-
 tikin hitsaus on ainoa tapa, jolla kokoonpanon osat voidaan järkevästi liittää toisiinsa. Suunnitelta-
 essa hitsausliitosta, tulee tiedostaa siihen liittyvät mahdolliset ongelmat. Näitä ovat muun muassa
 epätarkkuudet sekä lämmöntuonnin aiheuttamat muodonmuutokset ja vaikutukset lujuusominais-
 suuksiin. Kuvassa 13 on esitetty erilaisia hitsauksesta kappaleeseen koituvia muodonmuutoksia.
 Muodonmuutoksiin voidaan vaikuttaa muun muassa lämmöntuonnin määrällä ja hitsien sijoittelulla.
 Hitsitilavuuden pitäminen mahdollisimman pienenä auttaa pitämään kustannukset alhaisempina. Ko-
 koonpanon osien ja nimikkeiden, ja näin ollen hitsausliitosten, määrä olisi hyvä pitää mahdollisim-
 man pienenä. Tähän liittyvä periaate on: paras hitsi on sellainen, joka voidaan jättää tekemättä. Hit-
 sausliitosten määrää voidaan pienentää hyödyntämällä taivutettuja osia ja profileja. Hitsausliitos on
 aina epäjatkuvuuskohta, joka luo mahdollisuuden pilata perusaineen ominaisuudet. Hitsausliitokset
 tulisi sijoittaa paikkoihin, joissa siirtymät ja jännitykset ovat pieniä. (Hietikko & Lipponen, 2007, 42,
 48) (Piironen, 2013, 40) (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 84.)



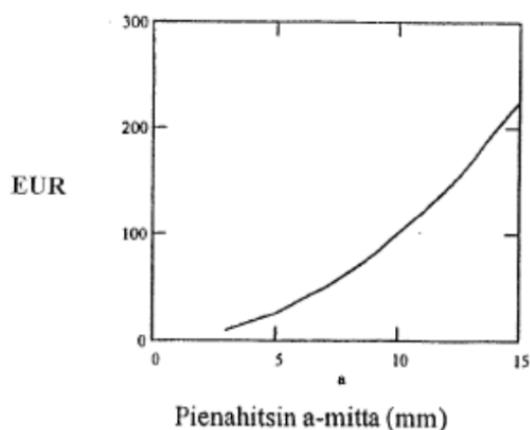
Kuva 13. Hitsauksessa syntyvien muodonmuutosten lajit (Lepola & Makkonen, 2005)

Kuvassa 14 on esitetty esimerkki hitsattavan palkin valmistettavuuden parantamisesta. Osien luku-
 määrää on saatu vähennettyä hyödyntämällä särmättyjä levyjä. Materiaalia on poistettu neutraaliak-
 selin läheltä, jossa jännityksen ovat vähäisempiä. Myös hitsausliitokset on saatu sijoiteltua neutraa-
 liakselin läheisyyteen samalla vähentäen hitsauksen tarvetta huomattavasti.



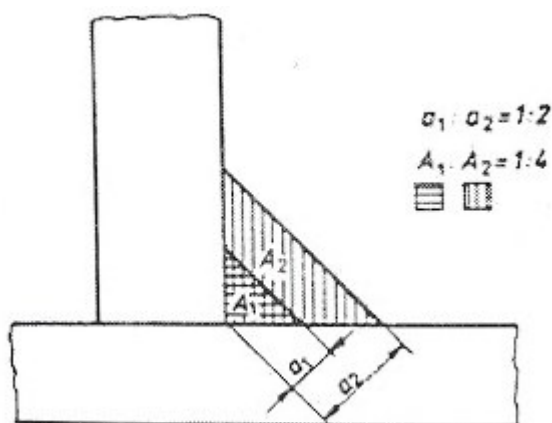
Kuva 14. Palkin valmistettavuuden parantaminen (Piironen, 2013, 47)

Hitsauskokoonpanon suunnittelussa pitää ensinnäkin tehdä valinnat käytettävistä materiaaleista. Materiaalin valinta vaikuttaa suoraan sen hankintahintaan, mutta valittu teräs ja sen lujuusominaisuudet vaikuttavat myös ainevahvuuden valintaan. Suurempi ainevahvuus tarkoittaa suurempaa railotilavuutta eli suurempaa lisäaineen ja työn määrää. Tämä näkyy kustannuksissa (kuva 15). Hitsin a-mitta tulisi optimoida ja ylimitoitusta tulee välttää. Liitettävät materiaalit tulisi valita siten, että ne ovat samaa, tai hyvin lähellä toisiaan olevaa materiaalia. Perusaineen valinnan perusteella valitaan parhaiten sopiva lisäaine, jos sellaista tarvitaan hitsausliitoksessa. (Piironen, 2013, 40) (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 83.)



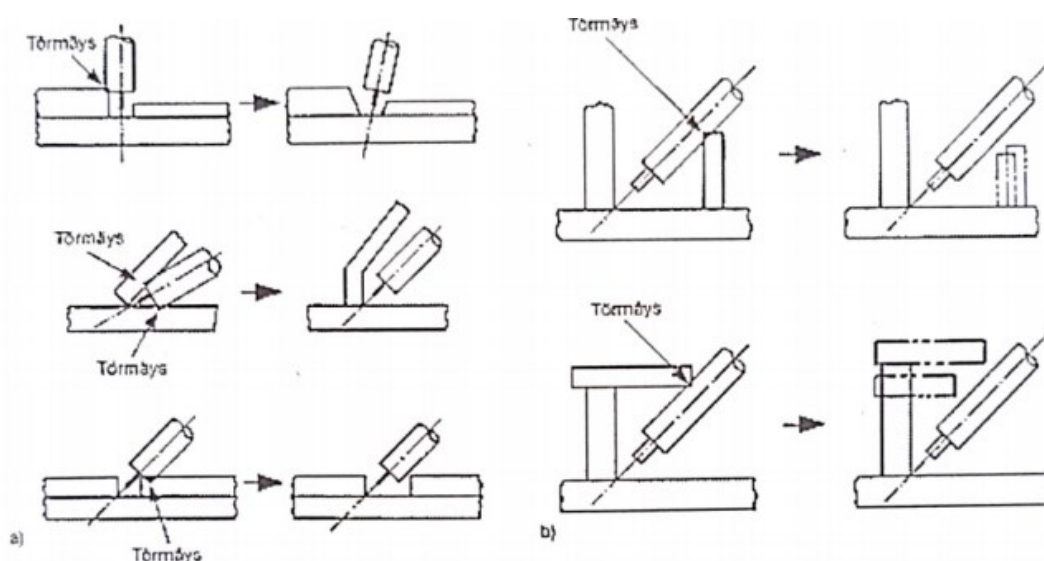
Kuva 15. A-mitan vaikutukset kustannuksiin (Kempfi, 2008, 21)

Erityisesti pitkien hitsisaumojen kohdalla a-mitan koko kannattaa optimoida. Pienamuotoisen hitsin a-mitan kasvattaminen kaksinkertaiseksi kasvattaa sen poikkileikkauksen pinta-alaa nelinkertaiseksi (kuva 16). Kuvan 15 perusteella taas a-mitan kaksinkertaistaminen kasvattaa kustannuksia kolminkertaiseksi. Suurissa a-mitoissa tulee myös huomioida se, että niiden hitsaaminen voi vaatia useamman kuin yhden hitsipalon. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 90) (Piironen, 2013, 42.)



Kuva 16. Hitsin koon vaikutus hitsipalon tilavuuteen (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 90)

Hitsattavan kappaleen suunnittelussa tulee huomioida railon luoksepäästävyys. Tämä on erityisen tärkeä huomio silloin kun tuote on suunniteltu hitsattavaksi robotilla. Tällä tarkoitetaan sitä, että hitsauspolttimella ulotutaan hitsattavaan railoon. Luoksepäästävydessä huomioitavaa on myös hitsauksen aikainen hyvä poltinkulma, kallistuskulma ja vapaalangan pituus. Kuvassa 17 on esitetty erilaisia muutoksia, joita rakenteeseen voidaan tehdä luoksepäästävyuden parantamiseksi. Hitsausrobotin käyttö asettaa vielä omat rajoitukset ja vaatimuksensa railoon ulottumisen suhteen sillä robotin varret vievät oman tilansa ja nivelten liikkuvuus on rajoitettua. Törmäystarkasteluja on joissain tapauksissa mahdollista tutkia ennakkoon simuloinneilla. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 90-92.)



Kuva 17. Railon luoksepäästävyuden parantaminen (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 91)

Lisäainetta käyttävissä hitsausprosesseissa on suositeltavaa käyttää pienamuotoisia hitsausliitoksia. Toisena suositeltavana liitosmuotona on päällekkäisliitos. Nämä liitosmuodot eivät vaadi niin suurta tarkkuutta kuin esimerkiksi päittäisliitos ja läpipalamisriski on vähäisempi. Pienaliitoksessa myös hitsauspään kohdistuksen tarkkuusvaatimuksetkin ovat väljemmät. Hitsaus tulisi suorittaa aina mahdollisuuksien mukaan jalkoasennossa. Jalkoasento on työajan ja tuottavuuden sekä prosessin tarkkuusvaatimusten kannalta suositeltavin hitsausasento. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, 85, 89) (Piironen, 2013, 43.)

4 MASSARÄÄTÄLÖINTI

Massaräätälöinti on toimintatapa, jolla pyritään huomioimaan asiakkaiden yksilöllisiä tarpeita, samaan aikaan hyödyntäen massatuotannon etuja ja toimimalla tehokkaasti joustavia tuotantojärjestelmiä käyttäen. Teollisuudessa sekä sitä tukevilla palveluyrityksissä ollaan kiinnostuneita kehittämään yhteistoimintaa ja tuotantoa siten, että tuotteille voidaan tarjota kilpailukykyiset hinnat, laatu-tekijät ja toimitusajat. Massaräätälöinnin avulla toimitusaikoja saadaan lyhennettyä, heikentämättä laatua tai kustannustehokkuutta. (Ahoniemi, ym., 2007, 16-17.)

4.1 Tuotantomuotojen vertailu

Massatuotannolla tuotetaan mahdollisimman tehokkaasti suuria eriä tuotteita, ja kilpaillaan edullisilla hinnoilla. Laajojen myyntikanavien kautta vakioituja tuotteita myydään asiakkaille, jotka yrityksen näkökulmasta voivat jäädä varsin tuntemattomiksi. Massatuotannossa pyritään vakioimaan tuotantoprosessi ja standardisoimaan valmistettavat tuotteet. Massatuotetuissa tuotteissa variaatioiden määrä pidetään pienenä, jotta tuotantomäärät pysyisivät korkeina ja kustannukset alhaisina. Pienet markkinat eivät ole kannattavia massatuotetuille tuotteille. Varastojen avulla tasataan vaihtelevaa kysyntää. (Ahoniemi, ym., 2007, 15.)

Sarjatuotannossa tuotteita valmistetaan tietyn suuruksissa erissä tuotantosuunnitelman mukaisesti. Samalla tuotantojärjestelmällä voidaan tuottaa useita erilaisia tuotteita, joita valmistetaan peräkkäin erä kerrallaan. Pelkästään yhden tuotteen valmistaminen ei ole kannattavaa ja useita erilaisia tuotesarjoja tuottamalla saadaan laajempi valikoima. Siirryttäessä tuote-erästä toiseen, tuotantojärjestelmä vaatii tietyn asetusajan, kuten koneiden ja laitteiden säätämistä sekä työkalujen vaihtoa. Asetusajat pyritään minimoimaan, koska ne heikentävät työskentelyn tehokkuutta. (Martinsuo;Mäkinen;Suomala;& Lyly-Yrjänäinen, 2016, 137-138.)

Jatkuvan kehittämisen periaatteella tähdätään prosessien läpimenoajan ja laadun kehittämiseen. Vaikka lopputuote pysyisikin samanlaisena, tuotantoprosessia voidaan muuttaa ja parantaa. Prosessien jatkuva kehittäminen on lähtöisin autoteollisuudesta. Menetelmään liittyy usein lean- ja JIT-tuotantomallit. Toimintaa pyritään tehostamaan ja siitä karsitaan tuottamattoman työn osuutta niin paljon kuin mahdollista. Tuotteiden hinnat määräytyvät markkinoiden mukaan ja omalla toiminnalla voidaan vaikuttaa kilpailukykyyn. (Ahoniemi, ym., 2007, 15-16.)

Uniikki käsityö tuo kilpailukykyä tarjoamalla asiakkaille ainutlaatuisia tuotteita. Tuotannon prosessit voivat vaihdella paljon, tuotteiden hinnat voivat olla korkeita ja toimitusajat pitkiä. Asiakkaalla on mahdollisuus vaikuttaa lopputuotteeseen ja räätälöinnin kilpailukyky perustuukin ainutlaatuisiin tuotteisiin. (Ahoniemi, ym., 2007, 16.)

Massaräätälöinti on toimintatapa, jota hyödyntämällä asiakkaille voidaan tarjota jopa uniikkeja räätälöityjä tuotteita samalla tehokkuudella kuin teollisessa massatuotannossa joustavia organisaatiokenteitä ja tuotantoprosesseja hyödyntämällä. Tuotteen räätälöinti tuo asiakkaalle lisäarvoa ja erilaisia massaräätälöintistrategioita toteuttaen tuotteita voidaan valmistaa kustannustehokkaasti ja toimittaa lyhyellä toimitusajalla. Massaräätälöinnissä luodaan toimiva ja vakioitu tapa toimintaan siten,

että vaihteleviin asiakastarpeisiin vastaaminen on helppoa. Vakioidut toimintatavat ja hyvin suunnitellut tuoteratkaisut mahdollistavat räätälöityjen tuotteiden tuottamisen asiakkaalle ilman kustannusten suurta nousua. (Ahoniemi, ym., 2007, 16-17, 23.)

4.2 Modulaarisuus

Sekä suunnittelun, että tuotannon näkökulmasta massaräätälöinnin edellytyksenä on, että valmistettavien tuotteiden tuoterakenne on modulaarinen. Modulaarisuus mahdollistaa asiakaslähtöisen tuotteen konfiguroinnin. Modulaarinen tuoterakenne koostuu erillisistä alikokoonpanoista ja keskeisistä komponenteista, joilla on määritellyt liityntäpinnat. Asiakkaan tarpeita vastaava tuotekokonaisuus voidaan konfiguroida olemassa olevia vakioituja moduuleja yhdistelemällä. Hyötyjä massaräätälöintiin saadaan silloin, kun samat moduulit käyvät useisiin eri lopputuotevariaatioihin ja moduuleja voidaan valmistaa varastoihin odottamaan kokoonpanoa. Konfiguroitava modulaarinen tuoterakenne vaatii hyvää tuotesuunnittelua. Tulee miettiä, mitkä ovat niitä tuotteen toimintoja ja ominaisuuksia, joita käsitellään asiakaskohtaista räätälöintiä toteutettaessa. (Ahoniemi, ym., 2007, 40-42.)

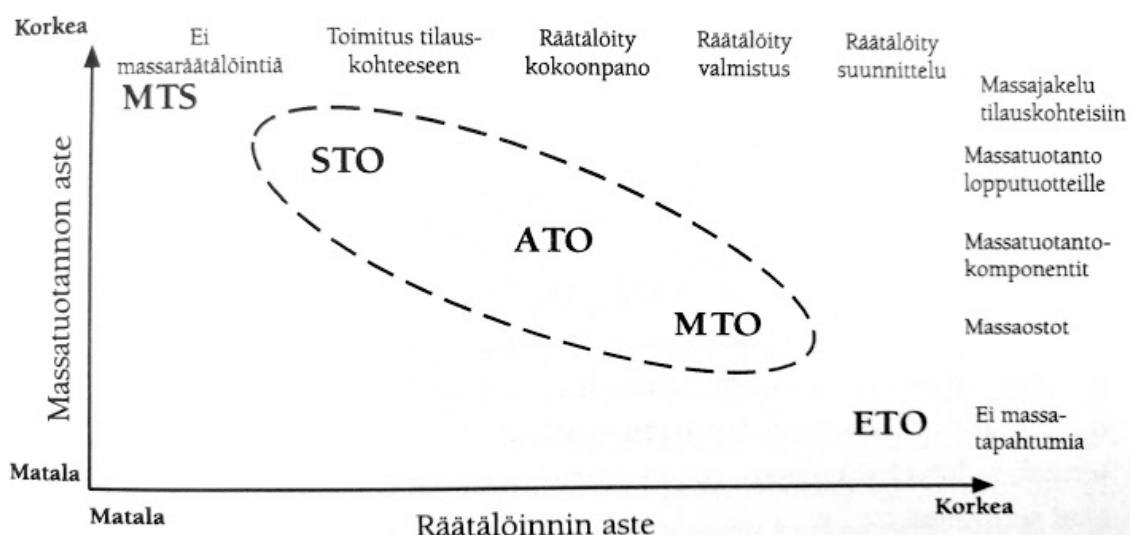
4.3 Tilauksen kohdennuspiste

Tuotantoa voidaan määritellä myös tilauksen kohdennuspisteen avulla. Tilauksen kohdennuspiste eli OPP, Order Penetration Point, tarkoittaa sitä kohtaa toimitus- ja hankintaketjussa, jossa asiakastilaus kohdistetaan tuotteeseen. Tilauksen kohdennuspisteellä on vaikutuksia asiakastilauksen toimitusaikaan, sekä yrityksen toimintaan yleisesti, kuten tuotantoon ja tuotannonohjaukseen. Toiminnot, joita tehdään kohdennuspisteen jälkeen vaikuttavat toimitusajan pituuteen. Mitä lähempänä asiakastoimista kohdennuspiste sijaitsee, sitä lyhempi on myös toimitusaika. Ennen kohdennuspistettä tapahtuva tuotanto on suunnitelmiin ja ennusteisiin perustuvaa, koska tuotetta ei ole vielä kohdistettu tietylle asiakastilaukselle. Keskeisimmät prosessin ohjaustavat ja kohdennuspisteet ovat

- MTS eli Make to Stock, tuotetta valmistetaan varastoon.
- STO eli Ship to Order, tuote toimitetaan tilauskohtaisesti
- ATO, eli Assemble to Order, tuote kokoonpannaan tilauskohtaisesti
- MTO, eli Make to Order, tuote valmistetaan tilauskohtaisesti, ja
- ETO, eli Engineering to Order, tuote suunnitellaan tilauskohtaisesti.

(Ahoniemi, ym., 2007, 20) (Logistiikan maailma, 2021.)

Nämä eri kohdennuspisteet on esitetty kuvassa 18. Kuvasta nähdään, kuinka paljon räätälöinnin ja massatuotannon määrä vaihtelee eri kohdennuspisteiden mukaan.



Kuva 18. Prosessien ohjaustavat suhteessa massatoimintoihin ja räätälöintiin (Ahoniemi, ym., 2007, 21)

Lähimpänä asiakasta ja toimitusta on MTS eli varasto-ohjautuva tuotanto. Siinä kohdennuspiste on lopputuotevarastossa ja toimitusaika on lyhyt, koska tuotetta on valmiina varastossa asiakkaita varten. Tätä ennen tapahtuvat toiminnot tapahtuvat yrityksen sisäisten tuotantotilausten mukaan. Tuotteet valmistetaan ennakkoon valmiiksi, joko ennusteisiin perustuen tai esimerkiksi täydennystilausten perusteella tilauspisteohjauksen laukaisemina. Tällaisia tuotteita voidaan toimittaa lyhyellä toimitusajalla, niiden myyntivolyymi on suuri ja myyntiä voidaan ennustaa melko hyvin. Tähän kategoriaan menevät esimerkiksi monet kuluttajatuotteet. (Logistiikan maailma, 2021.)

Kun toimitus tapahtuu tilauskohtaisesti, STO, pyritään tuottamaan vakionimikkeitä tasaisella volyyymilla. Jokaisella nimikkeellä on omat tuoterakenteensa, joten mahdollinen räätälöinti tapahtuu toimituseräkohtaisesti. Asiakastoimitukset lähtevät varastosta tilausohjautuvasti ja asiakkaalla on mahdollisuus vaikuttaa toimituksen ajankohtaan ja muotoon. Hälytysrajat antavat tietoa varastojen täydentämisestä. (Ahoniemi, ym., 2007, 21.)

Kun tuotteen kokoonpano alkaa asiakastilauksesta, ATO, voidaan toteuttaa massaräätälöintiä. Tuotteet kokoonpannaan väliavarastoissa sijaitsevista osista ja puolivalmisteista. Käytettäviä nimikkeitä vakioidaan. ATO soveltuu hyvin tuotteille, joilla on modulaarinen tuoterakenne. Nämä tuotteet koostuvat vakioiduista moduuleista ja näitä yhdistelemällä voidaan toteuttaa suuri joukko erilaisia lopputuotteita. Hyvin suunniteltu ja toteutettu modulaarisuus voi taata nopeat toimitukset ja suuren tuotevalikoiman tuotannon ollessa tehokasta. (Logistiikan maailma, 2021) (Ahoniemi, ym., 2007, 21-22.)

Tilauksen kohdennuspiste MTO, eli tilauksesta valmistus, sijaitsee hyvin lähellä tuotantoa. Tuotannossa on komponentteja ja materiaaleja, joista valmistetaan tuotteita asiakastilauksen perusteella. Tällä tavoin voidaan menetellä silloin, kun valmistetaan paljon erilaisia tuotteita, mutta tuotantomäärät eivät ole välttämättä suuria, eikä tuotteita tehdä varastoon. Myös toimitusajat ovat pidempiä verrattuna tapoihin, joissa kohdennuspiste on lähempänä asiakasta. (Logistiikan maailma, 2021.)

Kun tuote suunnitellaan tilauksesta, ETO, asiakkaan tilaama tuote paitsi valmistetaan, se myös suunnitellaan asiakaskohtaisesti. Puhutaan yksittäistuotannosta, jossa nimikkeet ja tuoterakenteet ovat asiakaskohtaisia, kuten myös tuotantovaiheet. Varastoissa on materiaaleja ja osia tai ne hankitaan tilauskohtaisesti. Asiakas saa juuri hänelle suunnitellun tuotteen, mutta voi joutua odottamaan pitkän toimitusajan. Tuotteen suunnittelu voi käynnistyä puhtaalta pöydältä tai suunnitelmissa voidaan muokata tilauskohtaisesti jotain aiempaa tuotetta. (Logistiikan maailma, 2021.)

5 TUOTETIETOJEN HALLINTA

Tuotetietojen hallinta tarkoittaa sellaista systemaattisesti toteutettua kokonaisuutta, jonka avulla tuotteisiin liittyviä tietoja tuotetaan, tallennetaan ja käsitellään. Pääalueita tuotetietojen hallinnassa ovat nimikkeiden, dokumenttien sekä tuoterakenteiden sekä niihin liittyvien muutosten hallinta. Tuotetietojen hallinnassa on pääasiallisesti kyse nimikkeiden hallinnasta. Nimikkeiden avulla yksilöidään tuotteet sekä niiden osat ja komponentit. Nimikkeelle annetaan kuvaava nimi sekä yksilöivä tunniste, koodi. Samoin kuin fyysiselle tuotteelle ja materiaaleille myös palveluille voidaan luoda nimikkeitä. (Hietikko, Tuotekehitystoiminta, 2015, 186.)

5.1 Tuotetiedon hallinta, PDM

Product Data Management-, PDM-, eli tuotetietojen hallintajärjestelmällä pyritään hallitsemaan tuotteeseen liittyvää informaatiota, joka syntyy sen elinkaaren aikana. PDM-järjestelmiä on integroituina CAD-ohjelmistoihin helpottamaan suunnittelun aikaista tuotetiedon hallintaa. PDM-järjestelmään voidaan koota tuotteen 3D-malleja, piirustuksia, kokoonpano-ohjeita, osaluettelo sekä esimerkiksi NC-ohjelmia tai FEM-analyyseja. PDM-järjestelmä liittyy vahvasti myös yrityksen tuotekehitystoimintaan, siinä missä toiminnanohjausjärjestelmä liittyy yrityksen muihin toimintoihin. PDM-järjestelmä koostuu yleensä viidestä perustoiminnosta, jotka ovat

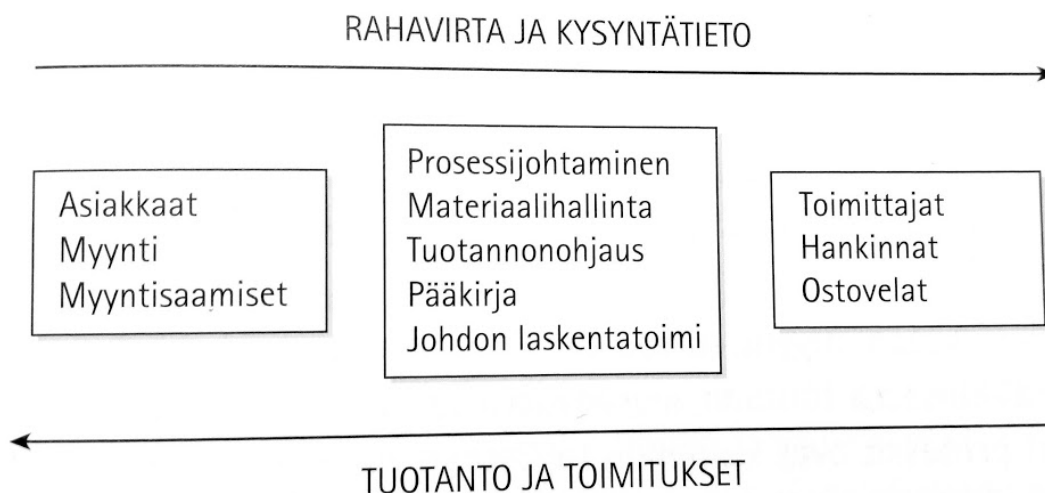
- tietovarasto
- työnkulun ja prosessin hallinta
- tuoterakenteen hallinta
- osien hallinta sekä
- projektien hallinta.

Tietovarasto on tietynlainen holvi, johon tuotteeseen liittyvät tiedostot ja dokumentit tallennetaan ja missä niitä hallitaan. Tiedosto pysyy tallennettuna holviin ja sen voi ottaa käsittelyyn yksi henkilö kerrallaan. Tiedostojen tallennuksessa huomioidaan versioiden ja revisioiden hallinta. Työnkulun ja prosessin hallinnan avulla hallitaan PDM-järjestelmässä töiden etenemistä järjestelmässä eteenpäin. Tällä voidaan valvoa esimerkiksi sitä, että suunnitteluvaiheessa oleva työ ei mene ennen aikojaan ja ilman hyväksyntää tuotantoon. Tuoterakenteen hallinnalla huolehditaan tuotekonfiguraatioista ja osaluetteloista. Osien hallinnalla käsitetään valmistettavien ja standardiosien etsimistä ja käyttöä. Projektin hallinta ominaisuus käsittää projektin seuraamisen, siihen liittyvien resurssien aikatauluttamisen sekä prosessien välisen koordinoinnin. (Hietikko, Tuotekehitystoiminta, 2015, 184-186.)

5.2 Toiminnanohjausjärjestelmä, ERP

Toiminnanohjausjärjestelmä, Enterprise Resource Planning eli ERP, on kokonaisvaltainen yrityksen ohjaamiseen tarkoitettu järjestelmä. Yrityksen perustoimintoja ohjataan järjestelmän avulla. Yritystoiminta nähdään prosesseina, joissa on mukana ihmisiä, koneita ja laitteita. ERP-järjestelmän avulla nämä prosessit automatisoidaan ja liitetään toisiinsa. Järjestelmä auttaa käsittelemään valtavaa tieto- ja tapahtumamäärää järjestelmällisesti ja jakamaan tietoa nopeasti. Ohjelmistojen tarjoajia on markkinoilla useita. (Lehtonen, 2008, 128.)

Järjestelmän avulla käsitellään ja ohjataan tuotanto- ja toimitusketjuja sekä kysyntä- ja rahaketjuja. Yrityksen rahavirtoja käsitellään ja kirjataan toiminnanohjausjärjestelmässä muun muassa palkanlaskennan, myyntisaamisten, pääkirjan sekä ostovelkojen sovellusalueilla. Toimitus- ja tuotantoketjun hallintaan ja ohjaukseen on järjestelmässä omat alueensa myynnille, hankinnalle, tuotannonohjaukselle sekä materiaalinhallinnalle. Näitä toiminnanohjausjärjestelmän alueita on esitetty kuvassa 19. Lisäksi ERP-järjestelmään voi liittyä järjestelmiä asiakassuhteiden hallintaan, toimitusketjun suunnitteluun sekä tuotetietojen ja tuotteen elinkaaren hallintaan. (Lehtonen, 2008, 128-129.)



Kuva 19. Toiminnanohjausjärjestelmän keskeiset sovellusalueet (Lehtonen, 2008,129)

PDM-järjestelmään luodaan tuotesuunnittelun tuloksena tuotetut nimikkeet ja tuoterakenteet sekä järjestelmässä hallitaan muutoksia sekä nimikkeiden dokumentaatiota. Tämä tuotettu tieto voidaan siirtää ERP-järjestelmään, jonne perustetaan vastaavat nimikkeet sekä tuoterakenteet. Vastaavasti ERP-järjestelmästä PDM-järjestelmään saadaan muun muassa asiakas- tai projektitietoja sekä hinta- ja saatavuustietoja. (Tiuttu, 2021.)

Lisäksi ERP-järjestelmässä tuotteen nimiketietoihin ja tuoterakenteelle voidaan lisätä tiedot esimerkiksi tarvittavista työvaiheista, koneista, kapasiteetista, materiaaltarpeesta, toimittajista, varastopaikoista ja paljon muusta. Näiden tietojen avulla nimike saadaan vietyä tuotantoon ja tuotettua myytäväksi tuotteeksi.

6 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

Työn toimeksiantajana toimi leppävirtalainen Gebwell Oy. Työn tavoitteena oli laatia laaja ja monipuolinen 3D-osakirjasto, joka koostuu Gebwellin suunnittelemien ja valmistamien kaukolämmönjakokeskusten putkisto-osista. Työ rajattiin niin kutsuttuihin vakiomallisiin lämmönjakokeskuksiin, jotka noudattavat vakioituneita kytkentätapoja. Työ eteni suunnitellusti vaihteittain ja pääpiirteissään vaiheet olivat

- esiselvitystyö
- putkisto-osien variaatioiden selvitys
- 3D-mallinnus ja
- työkuvien laadinta.

Esiselvitystyön aikana perehdyttiin aiheeseen ja etsittiin tietoa ja materiaaleja, jotka auttaisivat työn suorittamista. Putkisto-osien variaatioiden selvitystyön aikana kartoitettiin ja listattiin taulukkomuotoon vakiokeskusten putkisto-osien mahdolliset variaatiot. Kartoituksen jälkeen putkisto-osista luotiin 3D-mallit ja niiden pohjalta työkuvat. Valmis työ tuo hyötyjä suunnitteluosaston toimintaan tehostamalla lämmönjakokeskusten 3D-suunnittelua ja piirustusten saattamista tuotantoon.

6.1 Lähtökohdat ja tavoitteet

Opinnäytetyön lähtökohtana oli tarve saada laaja ja kattava vakiolämmönjakokeskusten putkisto-osien 3D-osakirjasto työkuvineen palvelemaan suunnittelua, tuotantoa kuin myös nimikehallintaa. Putkisto-osalla tarkoitetaan hitsattua kokoonpanoa, joka koostuu komponenteista, kuten liittimistä, laipoista, putkista ja yhteistä. Suuri osa vakiomallisista keskuksista valmistetaan ilman 3D-suunnittelua ja keskuskohtaisia hitsaus- tai kokoonpanotyökuvia niiden yhtenevän ja yksinkertaisen rakenteen takia. Kokoonpano tapahtuu kytkentäkaavion perusteella. Lämmönjakokeskus mitoitetaan aina tapauskohtaisesti, ja keskusten kytkennät, laitteet ja varusteet voivat erota toisistaan paljonkin keskuksien välillä. Isot tai kytkennällisesti poikkeavat keskuksat räätälöidään tilauskohtaisesti ja niiden layout ja putkistot suunnitellaan useimmiten tapauskohtaisesti.

Tietojärjestelmissä on ollut saatavilla 3D-malleja ja piirustuksia lähinnä yleisimmistä ja varastoivista putkisto-osista. Vakiokeskusten tuotannossa käytetään varasto-osia tai jos ne eivät sovellu tiettyyn keskukseseen, valmistetaan putkisto-osia käyttämällä putkia, taivutettuja putkiaihoita, erilaisista liittimiä, laippoja ja yhteitä.

Työn tavoitteena oli luoda putkisto-osien kirjasto, joka huomioi monipuolisesti yleiset putkisto-osien variaatiot. Valmiit 3D-mallit nopeuttavat suunnittelutyövaihetta huomattavasti, ja auttavat yhtenäistämään osien valmistusta ja keskusten kokoonpanoja entisestään.

Työssä keskityttiin pääasiassa Suomen markkinoiden lämmönjakokeskuksiin. Vastaavanlainen projekti on tehty aiemmin koskien Ruotsin markkinoiden lämmönjakokeskuksia. Tämä aiempi projekti toimi suuntaa antavana ja yhtenä tavoitteena tässä työssä on löytää yhtäläisyyksiä ja yhdenmukaistaa Suomen ja Ruotsin markkinoille suunnattuja keskuksia ja niiden putkisto-osia. Molemmissa maissa on omat määräykset ja ohjeet lämmönjakokeskusten suunnittelua ja mitoitus koskien. Suomessa noudatetaan Energiateollisuus ry:n julkaisua K1, Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja

ohjeet. Ruotsissa vastaavasti toimitaan Svensk Fjärrvärme Ab:n julkaisun Fjärrvärmecentralen, Utförande och installation, Tekniska bestämmelser, F:101 mukaan.

6.2 Esiselvitystyö

Esiselvitystyön aikana perehdyttiin lämmönjakokeskusten rakenteeseen ja toimintaan yleisesti, sekä keskuksiin liittyviin määräyksiin ja ohjeisiin muun muassa Julkaisusta K1 sekä alan kirjallisuudesta. Tässä vaiheessa etsittiin myös opinnäytetyötä tukevaa materiaalia kuten yrityksen omia suunniteluohjeita ja lähdetiedoiksi sopivaa kirjallisuutta ja muita lähteitä. Esiselvitystyöhön kuului myös yrityksen tuotetiedonhallinta- (PDM) ja toiminnanohjausjärjestelmiin (ERP) perehtyminen. PDM-järjestelmästä tutustuttiin mallinnuksessa käytettäviin komponentteihin, niiden tuotetietoihin, mallinnettuihin putkisto-osiiin ja keskusten kokoonpanoihin sekä valmistuskuviin. ERP-järjestelmän avulla pystyttiin perehtymään yrityksen tietojärjestelmässä oleviin nimikkeisiin sekä varastoitaviin osiin ja niiden tuoterakenteisiin. Esiselvitystyön aikana tutustuttiin myös lämmönjakokeskusten tuotantoon ja valmistuksen vaiheisiin.

6.3 Putkisto-osien variaatioiden selvitys

Suomen markkinoiden vakiomallisten kaukolämmönjakokeskusten putkisto-osien variaatioiden selvitys aloitettiin perehtymällä lämmönjakokeskusten kytkentäkaavioihin. Erilaisiin kaavioihin tutustuttiin tutkimalla asiakastilausten kytkentäkaavioita sekä Gebwell Concept kaaviokonfiguraattorin avulla. Asiakastöistä mukana oli noin viidensadan vakiokeskuksen kytkentäkaaviot. Gebwell Concept on kaaviokonfiguraattori, jolla pystytään piirtämään lämpöpumppujen, kaukolämmönjako- tai poistoilmantaltteenottojärjestelmien kytkentäkaavioita täyttämällä lämmitysjärjestelmän tiedot konfiguraattoriin. Variaatioiden selvitystyö jakautui kahteen vaiheeseen. Ensimmäiseksi tutkittiin kaikki mahdolliset variaatiot, mitä kukin yksittäinen putkisto-osa voi saada. Tämän jälkeen näistä valittiin työn seuraavaan vaiheeseen, eli 3D-mallinnukseen ne osat, joita ei vielä löytynyt tietojärjestelmästä, ja jotka esiintyivät tyypillisissä vakiokeskuksissa usein tai melko usein.

6.3.1 Liityntäpintojen tunnistaminen

Putkisto-osia aloitettiin listaamaan Excel-taulukkoon yksi variaatio kerrallaan siten, että kaaviosta eristettiin aina kerrallaan yhden putkisto-osan muodostama alue ja tutkimalla, millaisia erilaisia variaatioita tämä yksi putkisto-osa voi saada. Putkisto-osa muodostuu tyypillisesti siten, että se rajautuu kahden liityntäpinnan välille. Liityntäpintoina toimivat lämmönjakokeskuksen laitteet ja varusteet tai lämmönjakokeskuksen toimitusraja. Putkisto-osa voi muodostua yksittäiseksi omaksi osakseen myös tuotannollisista syistä; joskus tietty keskuksen osakokonaisuus on helpompi valmistaa ja kokoonpanna erillisistä osista. Tutkimalla kytkentäkaavioita oli siis tiedettävä kaavion ja valmiiden lämmönjakokeskusten ja niiden tuotannon välinen suhde, eli millainen osuus kaaviosta muodostaa yhden putkisto-osan kokonaisuuden.

Aluksi tavoitteena oli listata taulukkoon kaikki mahdolliset variaatiot siten, että huomioitiin liityntäpinnat ja putkisto-osan mahdolliset yhteet, kuten mittaus- tai anturiyhteet. Tässä vaiheessa ei vielä otettu huomioon muita muuttuvia tekijöitä, kuten putkikokoa tai liittimien tai laippojen kokoa.

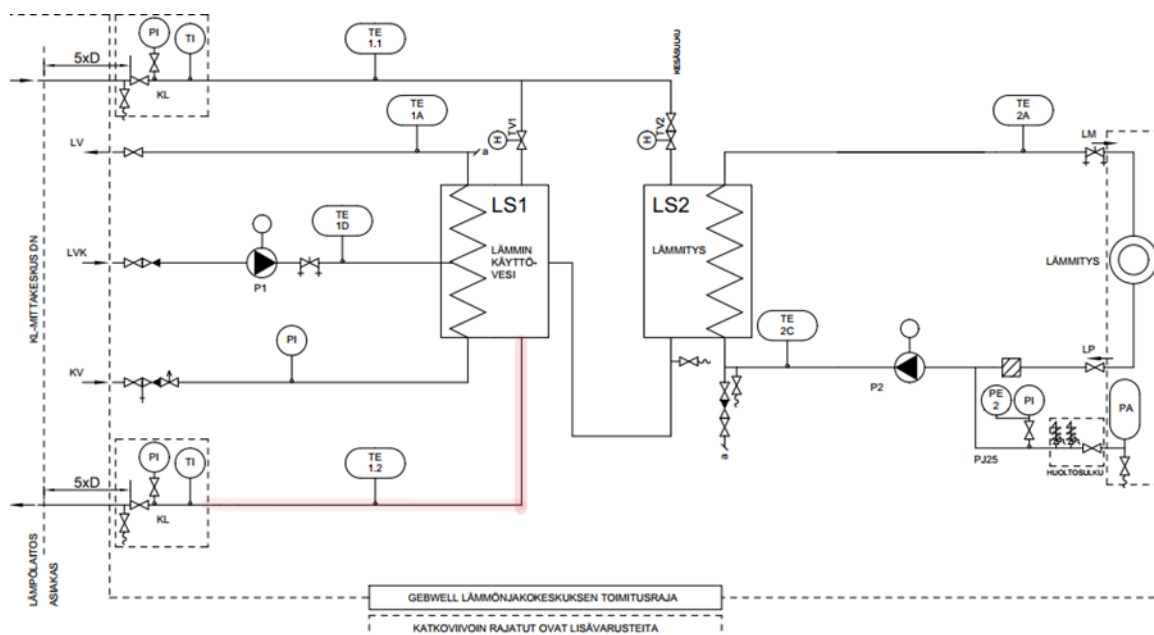
Näitä variaatioita ja muuttujia tutkittiin asiastöiden kytkentäkaavioista putkisto-osa kerrallaan sekä piirtämällä kaavioita Gebwell Concept -kaaviokonfiguraattorilla siten, että konfiguraattoriin tehtiin valintoja aina sen mukaan, että saatiin tiettyyn putkisto-osaan vaikuttavat muutokset selville ja piirrettyä ne konfiguraattorin avulla kaavioihin.

Taulukossa 1 on esimerkki yhden osan saamista variaatioista. Esimerkissä käytetty osa sijoittuu lämmönjakokeskuksen ensiöpuolelle kaukolämpöveden paluuseen. Kyseinen osa rajautuu lämmönsiirtimen ja keskuksen toimitusrajan välille ja eroavaisuuksia variaatioiden välille tulee käytetyistä yhteistä.

Taulukko 1. Tietyn osan saamia variaatioita taulukoituna.

KaukolämpöPaluu	KLP	S-TR	Siirrin-ToimitusRaja
		S-TR-LM	Siirrin-ToimitusRaja-LämpömittariMuhvi
		S-TR-AM	Siirrin-ToimitusRaja-AnturiMuhvi
		S-TR-LM-AM	Siirrin-ToimitusRaja-LämpömittariMuhvi-AnturiMuhvi
		S-TR-PM	Siirrin-ToimitusRaja-PaineenMittaus
		S-TR-PM-LM	Siirrin-ToimitusRaja-PaineenMittaus-LämpömittariMuhvi
		S-TR-PM-AM	Siirrin-ToimitusRaja-PaineenMittaus-AnturiMuhvi
		S-TR-PM-LM-AM	Siirrin-ToimitusRaja-PaineenMittaus-LämpömittariMuhvi-AnturiMuhvi

Kuvassa 20 on kytkentäkaavio, josta on korostettuna viiva, joka kuvaa yhtä taulukon 1 putkisto-osaa. Kuvassa on kaukolämmön paluun siirtimen ja toimitusrajan välinen osa, joka on varustettu anturimuhvilla.



Kuva 20. Kuvakaappaus kytkentäkaaviosta.

Kun putkisto-osien variaatioita listattiin taulukkoon, ne nimettiin käyttämällä kirjainlyhenteitä, joista ilmenee osan sijoittuminen keskuksen, liityntäpinnat ja käytetyt yhteet. Myöhemmässä vaiheessa osien nimiin lisättäisiin tieto liityntäpintojen ja putkien koosta, sekä jokaiselle osalle annettaisiin yksilöivä tuotenumero.

Kun vakiolämmönjakokeskusten putkisto-osien kaikki mahdolliset variaatiot oli selvitetty, oli aika päättää mitkä kaikki näistä otettaisiin mukaan työn seuraavaan vaiheeseen, jossa putkisto-osista tehtäisiin 3D-mallit ja piirustukset. Mukaan valikoituivat osat, joita ei vielä löytynyt ennestään järjestelmästä ja joiden esiintyvyys vakiokeskuksissa oli yleistä tai melko yleistä. Kaikkia todella harvoin esiintyviä variaatioita ei ollut syytä ottaa huomioon, jotta 3D-osakirjasto ei paisuisi turhan suureksi. Jotkut variaatiot olivat sellaisia, että ne soveltuivat yksinkertaisen rakenteensa ansiosta useampaan kuin yhteen kohtaan lämmönjakokeskuksen kokoonpanoa.

Ensimmäisessä vaiheessa erilaisia putkisto-osia muuttujineen listattiin yhteensä noin 330 kappaletta. Näistä työn seuraavaan vaiheeseen valikoitui 72 kappaletta. Näissä putkisto-osissa huomioitaisiin seuraavassa vaiheessa tarkemmin muut osaan vaikuttavat muuttujat.

6.3.2 Muuttujien lisääminen

Kun 3D-mallinnettavaksi valikoituneet putkisto-osat olivat selvillä, ryhdyttiin näistä luomaan uutta taulukkoa, johon otettiin mukaan tarkemmin kussakin osassa ilmenevät eroavaisuudet kuten putken koko ja liityntäpintojen tyypit ja koot. Tätä varten selvitettiin erilaisten lämmönjakokeskusten sisältämien laitteiden kuten lämmönsiirtimien, säätöventtiileiden, pumppujen ja muiden varusteiden kuten mudanerottimien, linjasäätö- ja sulkuventtiileiden liitäntöjen tyypit ja mahdolliset koot. Tässä apuna olivat laitteiden datalehdet. Laitteiden ja varusteiden liityntäpintoina ovat erikokoiset kierrelähtimet sekä laipat.

Taulukossa 2 on kuvattu tietyn putkisto-osan muuttujia ja variaatioiden muodostamista. Liityntäpinnassa X_1 voi olla kaksi erilaista kierrelähtäntää. Muuttuja X_2 , eli putkikoko voi teoriassa saada viisi erikokoista DN-putkikokoa. Putkisto-osassa olevista yhteistä voidaan saada kolme erilaista variaatiota, X_3 . Putken toinen liityntäpinta X_4 , voidaan toteuttaa yhteensä 12 erilaisella laippa- tai kierrelähtimellä.

Taulukko 2. Variaatioiden muodostaminen

	Variaatioiden muodostaminen			
Muuttujat	Liityntäpinta	Putkikoko	Yhteet	Liityntäpinta
	X_1	X_2	X_3	X_4
Muuttujien lkm	2	5	3	12

Putkisto-osan saamat variaatiot voidaan laskea kaavalla

$$X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4 = \text{Putkisto} - \text{osan mahdolliset variaatiot.} \quad (2)$$

Sijoittamalla lukuarvot kaavaan 2 saadaan osan variaatioiden määräksi

$$2 \times 5 \times 3 \times 12 = 360.$$

Tätä on syytä yksinkertaistaa, jotta osien määrä ei paisu tarpeettoman suureksi. Tässä tapauksessa riittää, että jokainen putkisto-osa toteutetaan vain yhdellä putkikoolla. Tällöin variaatioiden määräksi saadaan

$$2 \times 1 \times 3 \times 12 = 72.$$

Taulukossa 3 on erään toisen putkisto-osan variaatiot taulukoituna siten, että niissä on huomioitu, mitkä liitäntä- ja putkikoot kyseisessä osassa voi ilmetä. Esimerkissä käytetty osa on kaukolämmön paluun siirtimen ja toimitusrajan välinen osa, joka on varustettu anturiyhteellä. Tämän lisäksi osan nimestä ilmenee käytetyn kierrelähtimen koko sekä putken DN-koko. Lisäksi osan nimeen liitetään yksilöivä numerosarja.

Taulukko 3. Tietyn osan variaatiot liityntäpintojen koot huomioiden.

KLP-S-TR-AM_G1-DN25
KLP-S-TR-AM_G1-DN32
KLP-S-TR-AM_G1-DN40
KLP-S-TR-AM_G1-DN50
KLP-S-TR-AM_G2-DN40
KLP-S-TR-AM_G2-DN50
KLP-S-TR-AM_G2-DN65
KLP-S-TR-AM_G2-DN80

Putkikoot rajattiin vakiokeskuksissa tyypillisesti käytettyihin linjakokoihin. Ensiöpuolella huomioitiin putkikoot DN80 saakka ja toisiopuolella DN125 saakka. KytKentäkaavioihin on merkattu keskuskoh-
taisesti kullekin virtausputkelle mitoituksen mukainen DN-koko. Määritettäessä putkisto-osiin läm-
mönjakokeskusten laitteiden ja varusteiden kierrelähtimien ja laippojen liitäntäkokoja, huomioitiin
ensisijaisesti varasto-ohjelman mukaisten laitteiden liitäntäkoot sekä muut yleisesti asiakastilauksissa
esiintyvien laitteiden käyttämät liitäntäkoot. Tässä apuna toimivat kytKentäkaaviot, tekniset erittelyt,
laitevalmistajien datalehdet sekä yrityksen ERP-järjestelmä, joista nähtiin laitteiden tietoja. Energia-
teollisuus ry:n Julkaisu K1 määrittelee muun muassa venttiileiden ja muiden varusteiden liitäntä-
ta-
voja ensiö- ja toisiopuolella, eli tuleeko ne kytkeä järjestelmään hitsaten, kierre- tai laippaliitoksia.

Taulukon 3 esimerkin tapauksessa kyseessä on yksinkertainen osa, jossa muuttujien määrä on
kaksi, lähtimen kierrekoko ja putkikoko. Toimitusrajaan jätetään hitsattava putkilähtö, joten vain toi-
sessa päädyssä on liitin. Näin osa on saanut yhteensä kahdeksan erilaista variaatiota. Tässä on huo-
mioitu myös, että suuret linjakoot liittyvät isompaan siirtimeen, ja pienet vastaavasti pienempään.
Pienet siirtimet käyttävät 1" ja suuremmat 2" kierrelähtäntää. Näin ollen 1" kierrelähtäntää ei ole yhdis-
tetty esimerkiksi DN80 putkikokoon.

Taulukossa 4 on kuvattu erään toisen osan saamia variaatioita. Kyseessä on kaukolämmön paluun
siirtimen ja säätöventtiilin välinen osa, joka on varustettu tyhjennysventtiilillä ja lämpömittariyh-
teellä. Tässä osassa muuttujien määrä on suurempi. Lämmönsiirtimen liitin voi olla kahdella eri kier-
rekoolla ja säätöventtiili valmistajasta ja mallista riippuen usealla erikokoisella kierre- tai laippaliitän-
nällä. Variaatioiden määrää on rajattu sillä oletuksella, että pienemmät lämmönsiirtimet esiintyvät
yhdessä pienempien säätöventtiileiden kanssa. Muuttujien määrää on myös yksinkertaistettu siten,
että eri variaatioissa käytetään mahdollisuuksien mukaan samoja putkikokoja. Jos jokainen variaatio
kerrotaisiin vielä kaikilla mahdollisilla putkikoilla, määrä kasvaisi turhan suureksi.

Taulukko 4. Tietyn osan saamat variaatiot. Muuttujien lisääntyessä variaatioiden määrä kasvaa.

KLP-S-SV-Tyhj-LM_G1-G3-4
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G1-G1
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G1-G1 1-4
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G1-G1 1-2
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G1-DN15
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G1-DN20
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G1-DN25
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G1-DN32
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G2-G3-4
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G2-G1
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G2-G1 1-4
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G2-G1 1-2
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G2-G1 3-4
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G2-G2
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G2-DN15
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G2-DN20
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G2-DN25
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G2-DN32
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G2-DN40
KLP-S-SV-Tyhj-LM_G2-DN50

Kun kaikki variaatiot oli käyty läpi, saatiin taulukkomuotoinen listaus, joka kattoi kaikkiaan hieman yli 800 erilaista putkisto-osaa, jotka 3D-mallinnettisiin. Liitteessä 1 on ote opinnäytetyön aikana tehdystä taulukosta, johon kartoitettiin variaatioita. Liitteessä 2 on samaisen putkisto-osan variaatiot 3D-mallinnettuina.

6.4 3D-mallinnus

Variaatioiden selvitystyön aikana koostettiin taulukko niistä putkisto-osista, jotka aiotaan mallintaa 3D-osakirjastoon. Taulukossa osat oli nimetty järjestelmällisesti ja kuvaavasti sekä osille oli annettu yksilöivät koodit. Taulukon perusteella ryhdyttiin luomaan putkisto-osien 3D-malleja. Tässä vaiheessa työtä oli aika ottaa huomioon modulaarisuus, valmistettavuus sekä lämmönjakokeskuksia koskevat suunnitteluohjeet ja määräykset. Mallinnuksessa huomioitiin myös putkisto-osien 3D-mallien käyttäytyminen lämmönjakokeskusten kokoonpanomalleissa muun muassa törmäysten varalta sekä tuotetietojen hallinta yksittäisten osien sekä kokoonpanojen osalta.

Työssä oli käytössä Autodesk Inventor -3D-mekaniikkasuunnitteluohjelmisto sekä siihen kytkeytyvä Autodesk Vault -tiedonhallintaohjelmisto (PDM). Inventorin käyttämät tiedostomuodot ovat osatiedostoille .ipt ja kokoonpanotiedostoille .iam. PDM-järjestelmästä löytyivät kaikki kokoonpanoihin tarvittavat standardiosat, kuten putket, putkimutkat- ja haarat, supistusyhteet ja muut LVI-osat, sekä koneistettavat osat, kuten liittimet, muhvit ja nipat. 3D-mallinnettavat putkisto-osat olivat teräksisiä hitsaamalla kokoonpantavia kokoonpanoja.

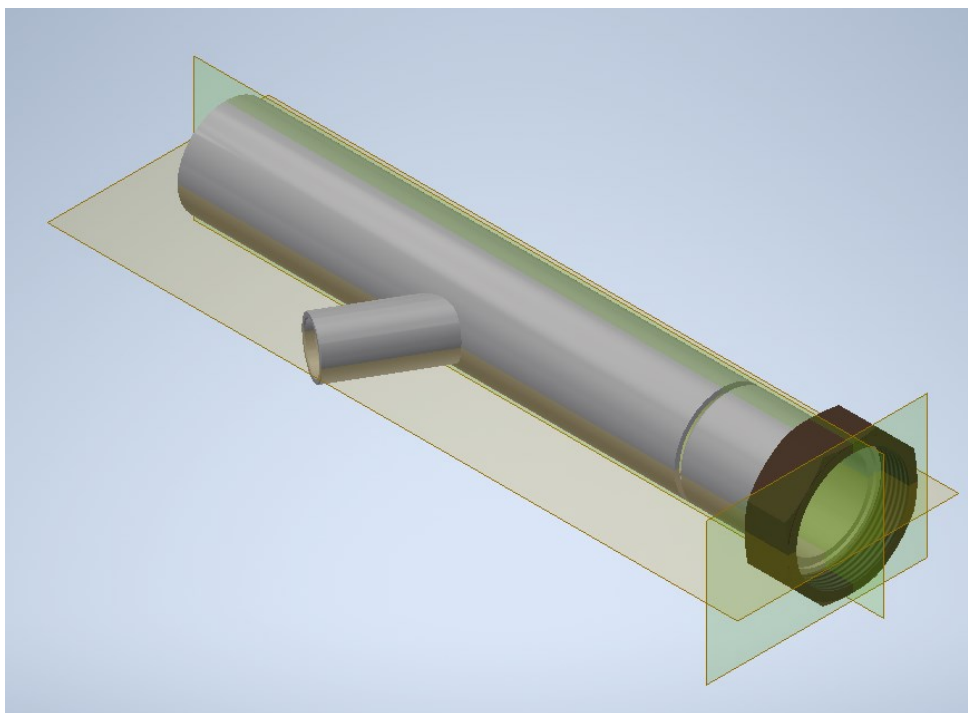
6.4.1 Mallinnuksen toteutus

Mallintaminen toteutettiin siten, että tietyn putkisto-osan kaikki variaatiot mallinnettiin sarjassa ennen siirtymistä seuraavaan osaan. Kun yksi sarja putkisto-osia oli mallinnettu, tehtiin näistä vielä piirustukset ennen siirtymistä seuraaviin putkisto-osiin. Tietyn putkisto-osan mallintaminen aloitettiin tekemällä yhden putkisto-osan kokoonpanotiedosto (.iam) valmiiksi siten, että siinä oli määritetty osien väliset sidokset ja rajoitteet (Constraints) ja osan attribuuttitiedot (iProperties) oli täytetty sen putkisto-osasarjan osalta yleisellä tasolla. Kun tämä ensimmäinen malli oli tehty, tehtiin siitä yhtä monta kopiota, kuin mitä tietyn putkisto-osan variaatioiden sarjaan kuului. Tämän jälkeen kopioidut tiedostot avattiin järjestyksessä ja tehtiin muutokset, joita kuhunkin variaatioon sisältyi, eli nimettiin tiedostot, vaihdettiin tarvittavat komponentit ja täydennettiin attribuuttitiedot kyseistä variaatiota vastaaviksi. Tällä menettelyllä, eli kopioimalla, vähennettiin saman työn tekemistä yhä uudelleen, sillä variaatioiden kesken putkisto-osan kokoonpanon osien välillä vallitsi samat sidokset ja rajoitteet (Constraints), lähinnä yksittäisten komponenttien koot vain vaihtuivat. Näin jokaisen osan mallinusta ei tarvinnut aloittaa joka kerta alusta. Osien vaihtaminen onnistui pääsääntöisesti hyvin Replace-komennolla, joka vaihtaa kokoonpanon yksittäisen osan säilyttäen kuitenkin aiemmin määritellyt sidokset ja rajoitteet muihin osiin. Tämä mahdollisti esimerkiksi putken koon tai pituuden muuttamisen tai laipan tai liittimen koon muuttamisen helposti eri kokoiseksi.

Jokainen tiedosto nimettiin saman taulukon mukaan, johon oli aiemmin listattu osien variaatiot. Tiedoston nimestä siis ilmenee osan sijainti lämmönjakokeskuksessa, liityntäpinnat, sekä niiden tyypit ja koot. Näiden lisäksi tiedoston nimeen lisättiin yksilöivä koodi. Jokaiseen tiedostoon täydennettiin myös attribuuttitiedot (iProperties) vastaamaan yksilöllisesti tiettyä putkisto-osaa. Nämä 3D-malliin täydennetyt tuotetiedot siirtyvät myös piirustukseen (.dwg), hitsauskokoonpanon työkuvaan.

Mallinnettaessa huomioitiin, että saman putkisto-osan variaatiot sijoittuivat 3D-mallissa keskenään samalla tavalla suhteessa tasoihin (Plane). Kun putkisto-osat ovat sijoitettuina lämmönjakokeskuksen pääkokoonpanomalliin, luodaan rajoitteita muun muassa tasojen suhteen. Jos osa, joka on jo määritelty kiinteästi paikalleen pääkokoonpanoon rajoitteiden avulla, halutaan vaihtaa Replace-komennolla, on hyvä, että keskenään vaihdettavat osat on määritelty tasoihin nähden samoin päin. Tällöin osien vaihtaminen onnistuu hyvin, eikä aiemmin määritetyissä rajoitteissa tule vastaan ristiriitoja. Tämä sama asia on hyvä huomioida myös yksittäisten komponenttien tasolla .ipt-tiedostoissa. Jos osa halutaan vaihtaa jossain kokoonpanossa toiseen, aiemmin luodut rajoitteet voidaan joutua korjaamaan ja uudelleen määrittämään, jos komponentit on määritetty eroavasti tasoihinsa nähden. Tämä ongelma tuli toisinaan vastaan yksittäisten komponenttien kohdalla luodessa putkisto-osien kokoonpanomalleja.

Kuvassa 21 on erään putkisto-osan 3D-malli. Osan rajoitteita on määritelty tasoihin (YZ-, XZ- ja XY Plane). Näiden tasojen sekä osien piirteiden avulla putkisto-osa voidaan määritellä lämmönjakokeskuksen kokoonpanomalliin.



Kuva 21. Putkisto-osan 3D-malli Inventor-ohjelmassa

6.4.2 Putkisto-osien valmistettavuus ja lämmönjakokeskusten kokoonpantavuus

3D-mallinnuksen aikana tuli pohtia putkisto-osien valmistettavuutta sekä niiden sijoittumista lämmönjakokeskusten kokoonpanoihin. Hitsattavan putkisto-osan kokoonpanon tapauksessa, kuten yleisesti muissakin kokoonpanoissa, osien lukumäärän pitäminen mahdollisimman alhaisena on keskeisiä keinoja parempaan kokoonpantavuuteen. Hitsatuissa kokoonpanoissa pienempi osamäärä tarkoittaa myös pienempää hitsaustyön määrää sekä lisääinemäärää. Jokainen hitsausliitos on myös potentiaalinen paikka hitsausvirheelle, joka voi putkisto-osan tapauksessa johtaa esimerkiksi lämmönjakokeskuksen vuotoon. Jokainen osa vaatii myös esivalmisteluja ennen hitsauskokoonpanoa, kuten keräilyn varastopaikalta, mitoittamisen toisiin kokoonpanon osiin nähden sekä silloituksen.

Yhtenä tapana vähentää osien lukumäärää on muun muassa erilaisten levitettyjen liittimien käyttö. Liittimiä käyttämällä osia saadaan liitettyä toisiinsa erikokoisten mutterien avulla. Hitsattavia liittimiä on eri kokoisia, ja osa niistä on valmistettu siten, että niiden hitsattava pää on levitetty vastaamaan erikokoisten putkien DN-mittoja. Käyttämällä levitettyä liittintä vältetään käyttämästä hitsattavaa supistusyhdetä, jos liitin täytyy liittää suurempaan putkikokoon. Toki rajansa tässäkin, esimerkiksi kovin pientä kierreliittintä ei ole levitettyä kovin suurille putkille.

Toinen tapa vähentää kokoonpanon osien määrää on erilaisten taivutettujen putkiaihioiden käyttö. Taivutetuilla putkiaihoilla voidaan saada vähennettyä osamäärä paljonkin. Ilman taivutettua putkea putkisto-osien mutkat toteutetaan hitsattavilla käyrillä. Standardikäyrän käyttö vaatii liittämiseen hitsausliitokset ja käyrän astekulma on kiinteästi määritelty. Jos osa on tehty suorista putkista ja standardi käyrillä, kuluu työaikaa mittaamiseen, katkaisuun ja hitsaamiseen.

Hitsauskokoonpanoa helpottavat ja nopeuttavat seikat lisäävätkin monesti osavalmistukseen tarvittavaa panostusta.

Muita kokoonpantavuuteen liittyviä seikkoja on hitsauspolttimen railoon ulottumisen huomioiminen. Muun muassa liian lähekkäin sijoitetut yhteen voivat olla hankalia hitsata hankalan luoksepäästävyys-tien takia.

Kun osakirjasto alkoi työn edetessä karttua, pystytettiin putkisto-osia käyttämään lämmönjakokeskus-ten kokoonpanomalleissa. Näissä pystytettiin tarkastelemaan, että osien välillä ei tapahdu törmäyksiä ja osat ovat hyvin kytkettävissä ja esimerkiksi työkaluille on kokoonpanossa tilaa.

6.5 Työkuvien laadinta

Jokaisesta 3D-mallinnetusta putkisto-osasta laadittiin myös piirustukset Autodesk Inventor-ohjelmis-tolla. Piirustuksiin tuotiin kokoonpanojen osalistat, joiden avulla osataan kerätä hitsauskokoonpa-noon tarvittavat nimikkeet. Piirustuksessa olevan osalistan avulla onnistuu myös putkisto-osan ni-mikkeen tuoterakenteen luominen ERP-järjestelmään. Perustettaessa nimikettä ERP-järjestelmään voidaan työkuva linkittää kyseiselle nimikkeelle, jolloin kuva on helposti saatavilla käytännössä ke-nelle tahansa yrityksessä työskentelevälle.

Putkisto-osan kokoonpanotiedoston puolella täytetyt attribuuttitiedot tulevat näkyville piirustukseen, jolloin kuvasta selviää osalle annettu nimike sekä yksilöivä koodi. Putkisto-osan kokoonpanopiirus-tuksen osalistaan tulevat tiedot, jotka on syötetty kunkin yksittäisen komponentin attribuuttitietoihin PDM-järjestelmässä.

Piirustusten luomisessa pyrittiin huomioimaan se, että ne tulevat palvelemaan hitsaavaa kokoonpa-noa. Esimerkiksi mitoituksia pyrittiin merkitsemään piirustuksissa siten, että hitsarin olisi helppo to-deta ne kokoonpantaessa. Esimerkiksi mitan toteaminen putken symmetria-akselilta voi todellisuudessa olla hankalaa verrattuna mitan ottamiseen putken ulkopinnasta.

7 TULOKSET JA HYÖDYT

Opinnäytetyön tuloksena luotiin kattava ja monipuolinen vakiolämmönjakokeskusten putkisto-osien 3D-osakirjasto. Osakirjasto kattaa vakiokytkennöillä toteutettavien lämmönjakokeskusten putkisto-osien variaatioita, joissa on huomioitu vaihtelevat laitevalinnat ja keskusten varustelut sekä suunnittelua koskevat määräykset ja ohjeet. Jokaiselle putkisto-osalle on 3D-mallin lisäksi luotu piirustukset.

Työn tulos tuo hyötyjä lämmönjakokeskusten suunnitteluun tehostamalla ja nopeuttamalla lämmönjakokeskusten suunnitteluprosessia. Suunnitteluosasto kykenee tarjoamaan materiaalia tuotannon tueksi entistä tehokkaammin. Suunnittelu sekä valmistus yhdenmukaistuvat sekä muutostenhallinta helpottuu ja selkeytyy.

8 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET

Opinnäytetyö oli rajattu siten, että se kattoi variaatioiden selvitystyön sekä sen pohjalta suoritettua 3D-mallinnuksen ja piirustusten laatimisen. Työn tuloksena tuotettu materiaali jatkaa elämäänsä suunnittelussa, tuotannon tukena sekä yrityksen tietojärjestelmissä.

8.1 Jatkokehitys tuotannollisesta näkökulmasta

Tuotettu materiaali on tallennettu yrityksen PDM-järjestelmään. Opinnäytetyön aikana tuotetuista putkisto-osista saadaan luotua jatkossa nimikkeitä myös toiminnanohjausjärjestelmään. Piirustusten pohjalta saadaan luotua nimikkeiden tuoterakenteet sekä kullekin nimikkeelle saadaan liitettyä piirustukset siten, että ne ovat saataville tuotantoa varten. Yleisimmin esiintyviä putkisto-osia voidaan ruveta valmistamaan tuotantoerinä varastoitaviksi. Osa opinnäytetyön aikana mallinnetuista putkisto-osista on ollut jo aikaisemminkin tuotannossa olleita osia. Osassa näiden osien dokumentointi on ollut puutteellista tai vanhentunutta, joten opinnäytetyön tulosten myötä tiedot saadaan ajantasaiseksi koko järjestelmään.

Opinnäytetyön aikana suunnitelluista putkisto-osista voidaan kerätä tietoa ja kommentteja tuotannosta, niin osavalmistuksen kuin kokoonpanon osalta. Näiden tietojen pohjalta osakirjastoa voidaan jatkokehittää tai laajentaa.

3D-malleja avuksi käyttäen voidaan suunnitella hitsauskiinnittimiä varastoitaville sarjoina valmistettaville putkisto-osille.

8.2 Jatkokehitys suunnittelun näkökulmasta

PDM-järjestelmään tallennettujen 3D-mallien revisiointi ja versiointi voidaan jatkossa toteuttaa järjestelmällisesti putkisto-osa tai usean putkisto-osan muodostama sarja kerrallaan. Putkisto-osia voidaan kehittää, jos löydetään esimerkiksi tuotannon kannalta tehokkaampia tapoja valmistaa osia, tai osien käyttäytymistä lämmönjakokeskusten kokoonpanossa halutaan muuttaa. PDM-järjestelmä tarjoaa selkeän ja läpinäkyvän tavan muutostenhallinnalle.

Putkisto-osien räätälöinti 3D-suunnitteluvaiheessa onnistuu entistä helpommin. Jos osakirjastosta ei löydy tietynlaista osaa, voidaan hyödyntää tiettyä putkisto-osaa, joka on lähimpänä halutunlaista ja muokata sitä. Silloin rajoitteet ja sidokset komponenttien välille on jo valmiiksi tehty ja voidaan pärjätä vain lisäämällä komponentteja tai muuttamalla vain niiden kokoa, sen sijaan, että tarvitsisi mallintaa koko putkisto-osaa alusta alkaen.

Osakirjaston tiedostoihin voidaan lisätä tarvittaessa attribuuttitietoja, jotka tekevät PDM-järjestelmän tiedonhausta entistä helpompaa.

Yhtenä jatkokehitysmahdollisuutena on tullut esille ajatus lämmönjakokeskusten 3D-suunnittelukonfiguraattorista. Konfiguraattorin avulla voitaisiin luoda kokonaisia lämmönjakokeskuskokoonpanojen 3D-malleja täyttämällä konfiguraattoriin tiedot lämmönjakokeskuksen laitteista, varusteista ja mitoituksen mukaisista putkikoista, jolloin CAD-ohjelmistoon saataisiin tuotua konfiguraattorin avulla kokoonpanoon tarvittavat putkisto-osat ja komponentit.

Osiin ja alikokoonpanoihin on mahdollista lisätä ominaisuuksia, joilla sidokset ja rajoitteet (Constraints) ovat ”älykkäitä” ja ohjelmisto tunnistaa osien liitospinnat ja liittää osat toisiinsa tuottaessa ne kokoonpanoon ilman erillistä komentoa. Inventor-ohjelmistossa tämä ominaisuus on nimeltään iMate.

9 YHTEENVETO JA POHDINTA

Lämmönjakokeskukset mitoitetaan, suunnitellaan ja valmistetaan tapauskohtaisesti. Näin voidaan taata kunkin lämmönjakokeskuksen tehokas toiminta sekä rakennuksia hyvin palvelevat lämmitys- ja lämpimän käyttöveden järjestelmät. Lämmönjakokeskusten kytkentöjä voidaan toteuttaa monella tavoin, sekä tarjolla on monipuolinen valikoima erilaisia laitteita ja varusteita monilta eri valmistajilta. Tämän seurauksena lämmönjakokeskustuotannossa on hyvin suuri määrä erilaisia lopputuotevariaatioita. Tämä tarkoittaa myös hyvin suurta variaatioiden määrää lämmönjakokeskusten putkisto-osissa. Massaräätälöinnillä, modulaarisilla tuoterakenteilla sekä joustavilla tuotantomenetelmillä voidaan vastata lämmönjakokeskusten rakenteiden asettamille vaatimuksille.

Työn tavoitteena oli selvittää vakiolämmönjakokeskusten putkisto-osissa esiintyviä variaatioita sekä luoda kattava ja monipuolinen 3D-osakirjasto, joka kattaa putkisto-osien kokoonpanomallit sekä piirustukset. Putkisto-osien variaatioita selvitettiin perehtymällä noin viidensadan vakiokeskuksen kytkentäkaavioihin sekä piirtämällä kaavioita konfiguraattorin avulla. Työssä huomioitiin teknisten eritelyiden, laitevalmistajien datalehtien ja asennusohjeiden sekä yrityksen ERP-järjestelmän tietoja.

Työ eteni järjestelmällisesti suunnitellun mukaisesti ja työn tuloksena luotiin noin 800 erilaista putkisto-osaa kattava taulukko, jonka perusteella syntyi 3D-osakirjasto sekä piirustukset. Putkisto-osissa on huomioitu eri laitteiden liitäntäpintojen tyypit ja koot, eri virtaamien mukaiset putkikoot, lämmönjakokeskusten suunnittelulle asetetut ohjeet ja määräykset sekä tuotannolliset seikat. Työ rajattiin koskemaan vakiokytkennöillä toteutettuja lämmönjakokeskuksia, sillä monet vakiokytkennöistä poikkeavat lämmönjakokeskukset vaativat enemmänkin asiakaskohtaista räätälöintiä, jolloin lopputuotevariaatioiden määrä on käytännössä rajaton.

Työn tuomat hyödyt näkyvät suunnitteluosaston työskentelyssä siten, että lämmönjakokeskusten kokoonpanojen 3D-mallinnus nopeutuu oikeiden osien löytyessä PDM-järjestelmästä. Työn tuloksena luotiin suuri määrä uusia putkisto-osia, mutta myös merkittävä määrä jo tuotannossa olleista osista mallinnettiin ja piirrettiin. Monien pitkään tuotannossa olleiden osien dokumentaatiot ovat olleet PDM-järjestelmän ulkopuolella, tuotetiedot eivät ole olleet ajantasaisia ja ne olivat puutteellisia. Työn tuloksena tuotetut tiedot auttavat nimikkeiden tiedon- ja muutostenhallinnassa.

Tekijälleen opinnäytetyön toteuttaminen tarjosi ainutlaatuisen tilaisuuden syventää osaamistaan sekä oppia uutta, niin teorian kuin myös käytännön puolella. Opinnäytetyön aiheet ja niihin syventyminen antoivat tietoa kaukolämmityksestä, kiinteistöjen lämmitysjärjestelmistä, valmistettavuudesta, tuotantomenetelmistä, yritystoiminnan tietojärjestelmistä sekä kartuttivat taitoja näiden tietojen soveltamisesta käytännön suunnittelutyössä.

10 LÄHDELUETTELO

- Ahoniemi, L.; Mertanen, M.; Mäkipää, M.; Sievänen, M.; Suomala, P.; & Ruohonen, M. (2007). *Massaräätälöinnillä kilpailukykyä*. Helsinki: Teknoliigateollisuus ry. Haettu 19. 4. 2021
- Boothroyd Dewhurst, Inc. (2021). *DFA PRODUCT SIMPLIFICATION*. Haettu 30. 4. 2021 osoitteesta Boothroyd Dewhurst, Inc. -verkkosivusto: <https://www.dfma.com/software/dfma.asp>
- Boothroyd Dewhurst, Inc. (2021). *USING DFA TO ENHANCE VALUE ENGINEERING/VALUE ANALYSIS WORKSHOP OUTCOMES*. (Johnson, Richard F.) Haettu 30. 4. 2021 osoitteesta Boothroyd Dewhurst, Inc. -verkkosivusto: <https://www.dfma.com/resources/johnson.asp>
- Chan, V.; & Salustri, F. (2005). *DFA: The Lucas Method*. Haettu 15. 4 2021 osoitteesta <https://pdfcoffee.com/dfa-the-lucas-method-pdf-free.html>
- Energiateollisuus ry. (2013). *Kaukolämpöjohtojen suunnittelu- ja rakentamisohjeet Suositus L11/2013*. Helsinki: Energiateollisuus ry. Haettu 26. 2. 2021 osoitteesta https://energia.fi/files/2353/SuositusL11_2013_KI-johtojen_suunnittelu-_ja_rakentamisohjeet_paivitetty_20180130.pdf
- Energiateollisuus ry. (2020). *Energiavuosi 2020 Kaukolämpö*. Energiateollisuus ry. Haettu 24. 2. 2021 osoitteesta https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energiavuosi_2020_-_kaukolampo.html#material-view
- Energiateollisuus ry. (6. 3. 2020). *Kaukolämpö 2019 graafeina*. Haettu 19. 2. 2021 osoitteesta Energiateollisuus -sivuston Kaukolämpötilasto: <https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolampotilasto.html#material-view>
- Energiateollisuus ry. (2020). *Kaukolämpötilasto 2019*. Helsinki: Energiateollisuus ry. Haettu 24. 2. 2021 osoitteesta https://energia.fi/files/5384/Kaukolampotilasto_2019.pdf
- Energiateollisuus ry. (2020). *Rakennusten kaukolämmitys Julkaisu K1/2020*. Helsinki: Energiateollisuus ry. Haettu 23. 3. 2021 osoitteesta https://energia.fi/files/5423/JulkaisuK1_2020_Energiateollisuus_ry_%28paiv._20201119%29.pdf
- Energiateollisuus ry. (ei pvm). *Kaukolämmön asiakkuus*. Haettu 19. 2. 2021 osoitteesta Energiateollisuus ry:n verkkosivusto: https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/kaukolammon_asiakkuus
- Energiateollisuus ry. (ei pvm). *Kaukolämpöverkot*. Haettu 26. 2. 2021 osoitteesta Energiateollisuus ry:n verkkosivusto: <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>
- Gebwell Oy. (2017). G-Power® kaukolämmönjakokeskus. *Asennus-, käyttö- ja huolto-ohje*. Leppävirta. Haettu 25. 3. 2021 osoitteesta <https://gebwell.fi/wp-content/uploads/2019/07/G-Power-kaukolammonjakokeskus-Asennus-kaytto-ja-huolto-ohje.pdf>
- Gebwell Oy. (2021). *Yrityksen tiedot*. Haettu 24. 2. 2021 osoitteesta Gebwell Oy:n verkkosivusto: <https://gebwell.fi/yritys/>
- Hietikko, E. (2015). *Tuotekehitystoiminta* (3. p.). Helsinki: Books on Demand. Haettu 13. 4. 2021

- Hietikko, E.;& Lipponen, T. (2007). *From Experience to Skill - HitSavonia-hankkeen loppuraportti* (1. p.). (E. Hietikko, Toim.) Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Haettu 27. 3. 2021 osoitteesta http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/_tki-ja-palvelut/julkaisutoiminta/pdf/From_Experience_to_Skill.pdf
- Honkanen, K.;& Kutvonen, R. (2013). *Ainetta lisäävä valmistus Pohjois-Savossa - suunnitteluperiaatteet ja yritysten näkökulmia*. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Haettu 27. 3. 2021 osoitteesta <https://docplayer.fi/3208914-Ainetta-lisaava-valmistus-pohjois-savossa.html>
- Huhtinen, M.;Korhonen, R.;Pimiä, T.;& Urpalainen, S. (2008). *Voimalaitostekniikka*. Helsinki: Opetushallitus.
- Kemppi, J. (2008). *Suunnittelun merkitys tuotantokustannuksiin hitsauksessa*. LAHDEN ALUEEN KEHITTÄMISYHTIÖ. Haettu 5. 4. 2021 osoitteesta <https://docplayer.fi/4369604-Lahden-alueen-kehittamisyhtio-suunnittelun-merkitys-tuotantokustannuksiin-hitsauksessa.html>
- Koreneff, G.;Lehtilä, A.;Hurskainen, M.;Pursiheimo, E.;Tsupari, E.;Koljonen, T.;& Kärki, J. (2016). *Yhdistetyn sähkö- ja lämmöntuotannon hiilidioksidiveron puolituksen poiston vaikutukset*. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Haettu 19. 2. 2021 osoitteesta <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2016/VTT-R-01173-16.pdf>
- Kuo, T.;Huang, S.;& Zhang, H.-C. (2001). *Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications and perspectives*. Elsevier Science Ltd. Haettu 27. 3. 2021 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/263349848_Design_for_manufacture_and_design_for_'X'_Concepts_applications_and_perspectives
- Lehtonen, J.-M. (2008). *Tuotantotalous* (1.-3. p.). Helsinki: WSOY. Haettu 23. 4. 2021
- Lempiäinen, J.;& Savolainen, J. (2003). *Hyvin suunniteltu - puoliksi valmistettu* (1. p.). Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry. Haettu 30. 3. 2021
- Lepola, P.;& Makkonen, M. (2005). *Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet* (1. p.). Helsinki: WSOY. Haettu 6. 4. 2021
- Logistiikan maailma. (2021). *Tilauksesta kokoonpano (ATO)*. Haettu 21. 4. 2021 osoitteesta Logistiikan maailma - verkkosivusto: <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/tilauksesta-kokoonpano-ato/>
- Logistiikan maailma. (2021). *Tilauksesta suunnittelu (ETO)*. Haettu 21. 4. 2021 osoitteesta Logistiikan maailma - verkkosivusto: <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/tilauksesta-suunnittelu-eto/>
- Logistiikan maailma. (2021). *Tilauksesta valmistus (MTO)*. Haettu 21. 4. 2021 osoitteesta Logistiikan maailma - verkkosivusto: <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/tilauksesta-valmistus-mto/>
- Logistiikan maailma. (2021). *Tuotantomuodot: Tilauksen kohdennuspiste (OPP)*. Haettu 21. 4. 2021 osoitteesta Logistiikan maailma - verkkosivusto: <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/>

- Logistiikan maailma. (2021). *Varasto-ohjautuva tuotanto (MTS)*. Haettu 21. 4. 2021 osoitteesta Logistiikan maailma -verkkosivusto: <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/varasto-ohjautuva-tuotanto-mts/>
- Martinsuo, M.;Mäkinen, S.;Suomala, P.;& Lyly-Yrjänäinen, J. (2016). *Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa* (1. p.). Helsinki: Edita Publishing Oy. Haettu 22. 4. 2021
- Mäkelä, V.-M.;& Tuunanen, J. (2015). *Suomalainen kaukolämmitys*. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu. Haettu 19. 2. 2021 osoitteesta <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Piironen, T. (2013). *Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen* (1. p.). Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Haettu 3. 4. 2021 osoitteesta <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>
- Pivaset. (2016). *Tuotteet*. Haettu 24. 2. 2021 osoitteesta Pivaset Oy:n verkkosivusto: <https://pivaset.fi/tuotteet>
- Pivaset. (2016). *Yritys*. Haettu 24. 2. 2021 osoitteesta Pivaset Oy:n verkkosivusto: <https://pivaset.fi/yritys>
- Ryytänen, H. (2017). Näin toimii yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto. *Oulun Sähkönmyynti Oy:n asiakaslehti Sulake 1/2017*. Oulu. Haettu 24. 2. 2021 osoitteesta https://issuu.com/oulunenergia/docs/sulake_1_2017/16
- Tiuttu, J. (2021). *Tuotetiedot ja ERP kuuluvat yhteen*. (Roima Intelligence Inc.) Haettu 25. 4. 2021 osoitteesta Roima akatemia: <https://www.roimaint.fi/tuotetiedot-ja-erp-kuuluvat-yhteen/>
- Ympäristöministeriö. (2017). *Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista 1047/2017*. Helsinki: Ympäristöministeriö. Haettu 25. 3. 2021 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171047#:~:text=T%C3%A4m%C3%A4%20asetus%20koskee%20uuden%20rakennuksen,ja%20muutosty%C3%B6t%C3%A4%20sek%C3%A4%20k%C3%A4ytt%C3%B6tarkoituksen%20muutosta.>

LIITE 1: TIETYN PUTKISTO-OSAN VARIAATIOT TAULUKOITUNA

KL-Tulo			
KaukoLämpöTulo			
JakoTukki-KesäSulku-SäätöVenttiili			
KLT-JT-KS-SV_			
	KOODI	vanha koodi	malli+dwg
KLT-JT-KS-SV_DN15-DN15_GEB18410	GEB18410	G920000213	ok
KLT-JT-KS-SV_DN20-DN15_GEB18411	GEB18411	G920000102	ok
KLT-JT-KS-SV_DN25-DN15_GEB18412	GEB18412	G920000105	ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-DN15_GEB18413	GEB18413	G920000110	ok
KLT-JT-KS-SV_DN20-DN20_GEB18414	GEB18414		ok
KLT-JT-KS-SV_DN25-DN20_GEB18415	GEB18415	G920000106	ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-DN20_GEB18416	GEB18416	G920000111	ok
KLT-JT-KS-SV_DN40-DN20_GEB18417	GEB18417	G920000115	ok
KLT-JT-KS-SV_DN25-DN25_GEB18418	GEB18418		ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-DN25_GEB18419	GEB18419	G920000112	ok
KLT-JT-KS-SV_DN40-DN25_GEB18420	GEB18420	G920000116	ok
KLT-JT-KS-SV_DN50-DN25_GEB18421	GEB18421		ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-DN32_GEB18422	GEB18422		ok
KLT-JT-KS-SV_DN40-DN32_GEB18423	GEB18423	G920000117	ok
KLT-JT-KS-SV_DN50-DN32_GEB18424	GEB18424	G920000118	ok
KLT-JT-KS-SV_DN15-G3-4_GEB18425	GEB18425	G920000211	ok
KLT-JT-KS-SV_DN20-G3-4_GEB18426	GEB18426	G920000100	ok
KLT-JT-KS-SV_DN25-G3-4_GEB18427	GEB18427	G920000103	ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-G3-4_GEB18428	GEB18428		ok
KLT-JT-KS-SV_DN20-G1_GEB18429	GEB18429	G920000101	ok
KLT-JT-KS-SV_DN25-G1_GEB18430	GEB18430	G920000104	ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-G1_GEB18431	GEB18431	G920000107	ok
KLT-JT-KS-SV_DN40-G1_GEB18432	GEB18432		ok
KLT-JT-KS-SV_DN25-G1 1-4_GEB18433	GEB18433	G920000209	ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-G1 1-4_GEB18434	GEB18434	G920000108	ok
KLT-JT-KS-SV_DN40-G1 1-4_GEB18435	GEB18435	G920000113	ok
KLT-JT-KS-SV_DN50-G1 1-4_GEB18436	GEB18436		ok
KLT-JT-KS-SV_DN25-G1 1-2_GEB18437	GEB18437		ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-G1 1-2_GEB18438	GEB18438	G920000109	ok
KLT-JT-KS-SV_DN40-G1 1-2_GEB18439	GEB18439	G920000114	ok
KLT-JT-KS-SV_DN50-G1 1-2_GEB18440	GEB18440		ok
KLT-JT-KS-SV_DN65-G1 1-2_GEB18441	GEB18441		ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-G2_GEB18442	GEB18442		ok
KLT-JT-KS-SV_DN40-G2_GEB18443	GEB18443		ok
KLT-JT-KS-SV_DN50-G2_GEB18444	GEB18444		ok
KLT-JT-KS-SV_DN65-G2_GEB18445	GEB18445		ok
KLT-JT-KS-SV_DN40-DN40_GEB18446	GEB18446		ok
KLT-JT-KS-SV_DN50-DN40_GEB18447	GEB18447	G920000119	ok
KLT-JT-KS-SV_DN65-DN40_GEB18448	GEB18448		ok
KLT-JT-KS-SV_DN50-DN50_GEB18449	GEB18449		ok
KLT-JT-KS-SV_DN65-DN50_GEB18450	GEB18450		ok
KLT-JT-KS-SV_DN80-DN50_GEB18451	GEB18451		ok
KLT-JT-KS-SV_DN65-DN65_GEB18452	GEB18452		ok
KLT-JT-KS-SV_DN80-DN65_GEB18453	GEB18453		ok
KLT-JT-KS-SV_DN100-DN65_GEB18454	GEB18454		ok
KLT-JT-KS-SV_DN15-G3-4_300_GEB18462	GEB18462	G920000216	ok
KLT-JT-KS-SV_DN20-G3-4_300_GEB18463	GEB18463		ok
KLT-JT-KS-SV_DN25-G3-4_300_GEB18464	GEB18464		ok
KLT-JT-KS-SV_DN20-G1_300_GEB18465	GEB18465		ok
KLT-JT-KS-SV_DN25-G1_300_GEB18466	GEB18466		ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-G1_300_GEB18467	GEB18467		ok
KLT-JT-KS-SV_DN25-G1 1-4_300_GEB18468	GEB18468		ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-G1 1-4_300_GEB18469	GEB18469		ok
KLT-JT-KS-SV_DN40-G1 1-4_300_GEB18470	GEB18470		ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-G1 1-2_300_GEB18471	GEB18471		ok
KLT-JT-KS-SV_DN40-G1 1-2_300_GEB18472	GEB18472		ok
KLT-JT-KS-SV_DN15-DN15_300_GEB18477	GEB18477		ok
KLT-JT-KS-SV_DN20-DN15_300_GEB18478	GEB18478		ok
KLT-JT-KS-SV_DN25-DN15_300_GEB18479	GEB18479		ok
KLT-JT-KS-SV_DN20-DN20_300_GEB18480	GEB18480		ok
KLT-JT-KS-SV_DN25-DN20_300_GEB18481	GEB18481		ok
KLT-JT-KS-SV_DN32-DN20_300_GEB18482	GEB18482		ok
KLT-JT-KS-SV_DN40-DN20_300_GEB18483	GEB18483		ok

LIITE 2: TIETYN PUTKISTO-OSAN VARIAATIOT 3D-MALLINNETTUINA

