

LUT-yliopisto

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

BK10A0402 Kandidaatintyö



SUUNNITTELUKOKUMENTAATIOPROSESSIN KEHITTÄMINEN

DEVELOPMENT OF PRODUCT DESIGN DOCUMENTATION

Lappeenrannassa 25.05.2020

Santeri Paananen

Tarkastaja TkT Kimmo Kerkkänen

Ohjaaja TkT Kimmo Kerkkänen

## **TIIVISTELMÄ**

LUT-Yliopisto

LUT Energiajärjestelmät

LUT Kone

Santeri Paananen

## **SUUNNITTELUDOKUMENTAATIOPROSESSIN KEHITTÄMINEN**

Kandidaatintyö

Työn valmistumisvuosi: 2020

43 sivua ja 12 kuvaa

Tarkastaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Ohjaaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Hakusanat: Tuotekehitys, suunnitteludokumentaatio, Lean

Tämä tutkielma käsittelee tuotekehitysprosessia sekä siihen kuuluvaa suunnitteludokumentaatioprosessia. Työ pyrkii selvittämään tapoja kehittää tuotekehitys- sekä suunnitteludokumentaatioprosessia Lean -ajattelun perustuvia keinoja hyödyntäen. Tutkimus pyrkii vastaamaan siinä esitettyihin tutkimuskysymyksiin ja niiden avulla luomaan pohjaa case -työlle.

Case -työ implementoi Lean -ajattelun perusteet tuotekehitykseen helpottamalla suunnittelijan työmäärää Excel pohjaisella laskenta- ja mitoitustyökalulla. Tämä työkalu pyrkii suoraviivaistamaan suunnitteluprosessia sekä vähentämään niin sanottuja hukkaprosesseja, jotka eivät tuo yritykselle arvoa. Toisin sanottuna näin pystytään minimoimaan tuotekehitykseen meneviä kustannuksia.

Maailman globalisoituessa yhä enemmän ja kilpailun kasvaessa, joutuvat yritykset panostamaan tuotekehityksen kehittämiseen. Yritykset pyrkivät vähentämään tuotekehitysaikaa ja pienentämään kuluja, mutta silti yrittävät saavuttaa korkeamman tai edes vastaavan laadun kuin aikaisemmin. Tämä muutos on aiheuttanut tuotekehitykselle paineita kehittää prosesseista virtaviivaisempia sekä luoda uusia strategioita kehitysajan ja -kulujen vähentämiseksi, karsimatta laatua. Tämä tutkielma selvittää mahdollisuuksia parantaa tuotekehitystoimintaa yrityksessä sekä kasvattamaan tuotekehityksen tuottavuutta.

## **ABSCTRACT**

LUT University

LUT School of Energy Systems

LUT Mechanical Engineering

Santeri Paananen

## **DEVELOPMENT OF PRODUCT DESIGN DOCUMENTATION**

Bachelor's thesis

Year of completion of the thesis: 2020

43 pages and 12 figures

Examiner: D. Sc. (Tech.) Kimmo Kerkkänen

Supervisor: D. Sc. (Tech.) Kimmo Kerkkänen

Keywords: Product development, industrial design documentation, Lean

This study focuses on product development process (PDP) and focuses mainly on the product design documentation side of it. The study tries to clear up the methods to improve/develop the PDP, by using Lean thinking as its base of thought. This study aims to answer given research questions by using them pave the way for the case study.

Case study implements the Lean thinking principles to PDP, by easing designer's workload with Excel based calculation and sizing tool. This implementation is meant to achieve more streamlined design process and cut down many non-value adding processes. In other words, the implementation aims to minimize costs that go to product development.

Growing globalization and competition has pushed industries to improve their product development cycles, while keeping costs down and quality higher or at least the same. This has created pressure for product development processes to create more streamlined processes and develop new strategies to reduce development time while keeping quality high and development costs low. This study strives to clarify the means to develop PDP in a company as well as increase the productivity of product development.

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ .....	1
ABSTRACT .....	2
SYMBOLILUETTELO .....	6
LYHENNELUETTELO .....	7
1. JOHDANTO .....	8
1.1. Sulzer-yleisesti .....	9
1.2. Tutkimuksen tavoitteet .....	10
1.3. Tutkimuksen rakenne ja rajaukset .....	11
1.4. Keskeiset käsitteet .....	12
1.4.1. Tuotekehitys .....	12
1.4.2. Lean -ajattelu tuotekehityksessä .....	12
1.4.3. Suunnitteludokumentaatioprosessi .....	13
2. TUOTEKEHITYS JA SEN PROSESSIEN KEHITTÄMINEN .....	14
2.1. Tuotekehityksen merkitys .....	14
2.1.1. Mitä tuotekehitys on .....	15
2.1.2. Miksi tuotekehitystä tehdään .....	15
2.2. Tuotekehityksessä käytettävät mittarit .....	16
2.2.1. Tuotekehityskyky .....	17
2.2.2. Tuotekehitysaika.....	17
2.2.3. Tuotekehityslaatu.....	17
2.3. Prosessit tuotekehityksessä .....	18
2.3.1. Suunnitteludokumentaatioprosessi tuotekehityksessä .....	19
2.4. Lean -ajattelu tuotekehityksessä.....	21
2.4.1. Lean -ajattelun hyödyntäminen tuotekehityksen kehittämisessä.....	22
2.4.2. Lean -ajattelun hyödyntäminen suunnitteludokumentaatioprosessin kehittämisessä.....	23
2.5. Prosessien kehittäminen tuotekehityksessä .....	23
2.5.1. Suunnitteludokumentaatioprosessin kehittäminen tuotekehityksessä .....	24
3. CASE: SULZER .....	25
3.1. Case -työ yleisesti.....	25
3.2. Työn keskeiset koneenosat .....	26
3.2.1. Laippaliitos ja tasotiivistet .....	26
3.2.2. O-renkaat .....	28
3.2.3. Putkikierteet .....	30

3.3. Työn vaiheet .....	31
3.3.1. Työkalun suunnittelu .....	31
3.3.2. Työ prosessi .....	31
3.3.3. Työn lopputulos .....	35
4. TULOSTEN ANALYYSI.....	36
5. POHDINTA .....	39
LÄHTEET .....	41

**SYMBOLILUETTELO**

<i>D</i>	ulkohalkaisija	[mm]
<i>d</i>	ruuvien nimellishalkaisija	[mm]
<i>F</i>	voima	[N]
<i>k</i>	mutterivakio	[...]
<i>M</i>	kiristysmomentti	[Nm]
<i>m</i>	tiivistekerroin	[...]
<i>p</i>	paine	[Pa]
<i>y</i>	tiivistekerroin	[MPa]

**LYHENNELUETTELO**

CAD	Computer Assisted Design, Tietokone avusteinen suunnittelu
B2B	Business to business, yritykseltä yritykselle myynti
PTFE	Polytetrafluorieteeni
PDP	Product development process, Tuotekehitysprosessi
SPFIN	Sulzer Pumps Finland Oy
WTP	Willingness to pay, Maksuhalukkuus

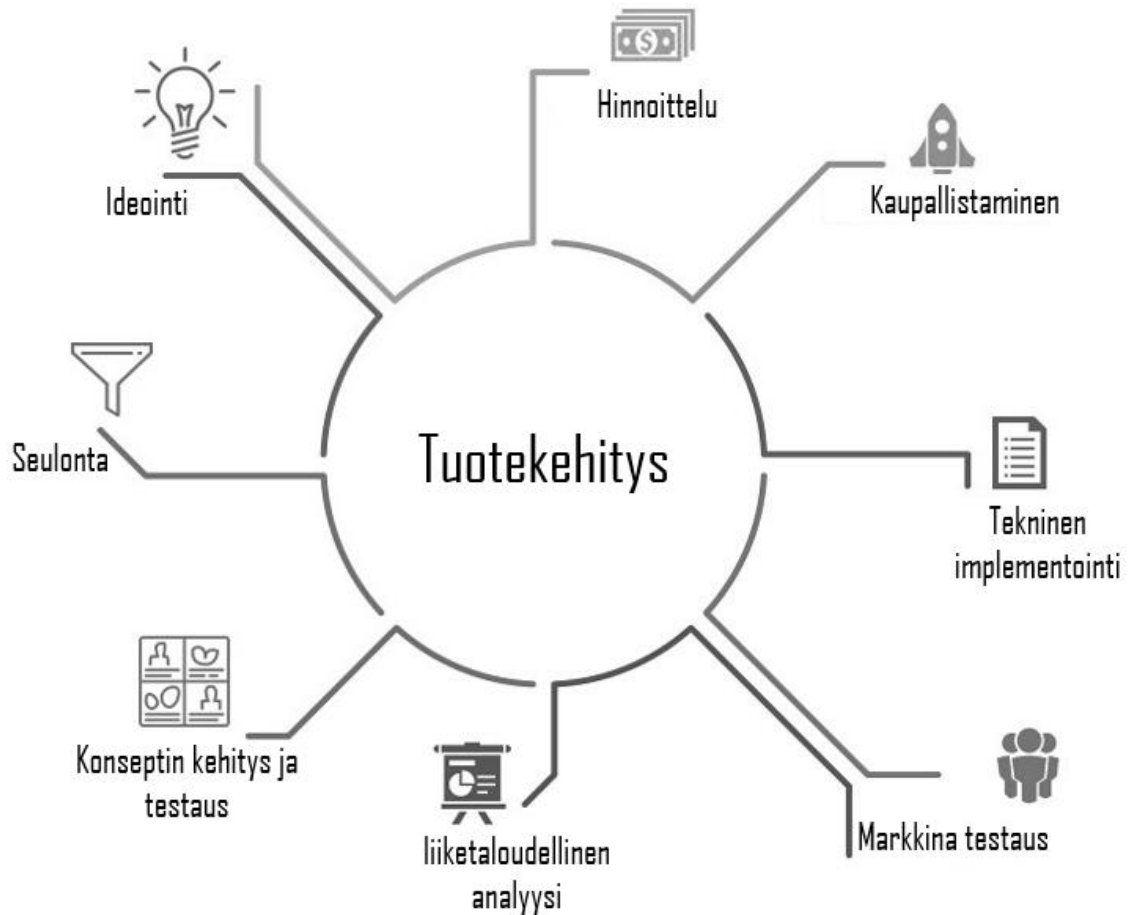
## 1. JOHDANTO

Tuotekehitys oli sen alkuvaiheissa yrityksissä hyvinkin vapaamuotoista, sillä luonnollisesti suunnittelutyö nähtiin luovana työnä. Tästä syystä vieläkin törmätään ajatukseen, että suunnittelutyötä ei voida määritellä lineaarisiin prosesseihin, eikä sitä voida systemaattisesti kehittää. Nykyään tuotekehitystä ajatellaan laajasti monelta eri kantilta ja se ottaa huomioon monia muitakin elementtejä, kuin pelkän suunnittelutyön. Lisäksi globalisaation vuoksi ajattelumaailma on alkanut muuttumaan, jonka vuoksi tarve yleisesti sovellettaviin ja tehostettuihin suunnittelumenetelmiin on kasvanut. Syinä on myös tuotteiden käyttöiän lyhentyminen sekä kilpailun lisääntyminen, jonka vuoksi tuotekehitystä tehostaessa kustannuksia on vähennettävä. Samaan aikaan tuotteiden laadun pitäisi kasvaa ja hinnan alentua. Lisäksi markkinoinnin, yrityksen strategian, asiakkaiden sekä valmistuksen vaatimukset on otettava huomioon ja liittää tiiviisti suunnittelutyöhön. Kun tämä toteutetaan oikein, on tuotekehitysprosessilla mahdollista vähentää tuotteen kustannuksia, lyhentää markkinoille tuontiaikaa sekä tuottaa entistä kilpailukykyisempiä tuotteita. (Jokinen 2014. s.11.)

Tuotekehitysprosessi koostuu monesta eri vaiheesta. Tämä kandidaatintyö keskittyy erityisesti suunnitteluvaiheeseen sekä itse suunnitteludokumentaatioprosessiin. Suunnitteluvaihe pitää sisällään vaiheet tuotteen ja sen komponenttien mallinnuksesta valmistuspiirustusten piirtoon. Suunnitteludokumentaatioprosessi itsessään keskittyy erityisesti määrittelemään ja mallintamaan tietyn tuotteen tai kappaleen dimensiot ja ominaisuudet. Suunnitteludokumentaatioprosessin tehostaminen perustuu yksittäisen suunnittelijan toistoa sekä aikaa vievien mitoitusten suoraviivaistamiseen ja standardisointiin. Tällä proseduurilla oli myös lisävaikutuksena vähentää yksilökohtaisten virheiden määrää, sekä nopeuttaa virheiden jäljittämistä työkaluihin suunnittelijan sijasta. (Zhang, Yang & Fang. 2010. s.568-569.)

Suunnitteludokumentaatioprosessi näkyy erityisen tärkeänä tuotekehityksen osana tässä kandidaatin tutkielmassa, koska tutkimus pyrkii etsimään ratkaisuja teorian ja esimerkkien kautta prosessin tehostamiseen. Esimerkkinä tässä tutkielmassa toimivat Sulzer Pumps Finland Oy:n valmistamat pumput sekä sekoittimet.





**Kuva 1.** Tuotekehitys (Flickr 2020.)

## 1.1. Sulzer-yleisesti

Sulzer Ltd. on sveitsiläinen teollisuuskonserni, joka on perustettu vuonna 1775. Sen pääkonttori sijaitsee Winterthurin kaupungissa Sveitsissä. Sulzer on alkujaan tehnyt kehuukoneita, mutta Rudolf Dieselin työskenneltyä Sulzerille, vaihtui tuotanto pääosin diesel koneiden tuotantoon. Nykyään Sulzer on globaali teollisuus yritys, ja sen ydinosaanamiseen kuuluvat virtauksen ohjaus ja siihen liittyvä laitteista. Sulzer voidaan jakaa neljään teollisuus kategoriaan, joita ovat: Pumps Equipment, Rotating Equipment Services, Chemtech ja Applicator Systems. (SULZER. 2020.) Tässä tutkimuksessa keskitytään yleisesti ottaen Pumps Equipmentin alaisuudessa toimivaan Sulzer Pumps Finland Oy:öön, johon jatkossa viitataan lyhenteellä SPFIN.

SPFIN on suomen osa Sulzer konsernia, ja sen päätoimintaan kuuluvat pumput, sekoittimet ja suurnopeuskompressorit. Päätoimipaikkana sijaitsee Kotka, jossa heillä on tuotantokeskus. Lisäksi heillä on toimistoja ja huoltokeskuksia ympäri Suomea. Se on perustettu vuonna 2000 Sulzerin ostaessa Ahlström Pumput teollisuusryhmän. SPFIN:in toimitusjohtajana toimii Markku Koponen. Yrityksen viimeisin julkistettu tilinpäätös on vuodelta 2018, silloin yrityksen liikevaihto oli 170 741 000 Euroa ja tulos oli 14 462 000 Euroa. Nettotulosprosentti oli 8,47%. (Kauppalehti. 2020.)

## 1.2. Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on tuoda esille tuotekehityksen merkitys teollisuudessa, mitä prosesseja siihen kuuluu sekä kuinka sitä on mahdollista tehostaa. Tarkoituksena on selvittää, miksi tuotekehitystä tehdään sekä kartoittaa, kuinka yritykset hyötyvät tuotekehitysprosessin tehostamisesta. Lisäksi case -osion on tarkoitus tuoda esimerkkejä siitä, kuinka erityisesti suunnitteludokumentaatioprosessia on mahdollista tehostaa. Tutkimuskysymyksinä työssä toimivat:

- Mitä on tuotekehitys, sen prosessit ja kehityskohteet?
- Miten tuotekehitystä on mahdollista tehostaa?
- Millä tavoin suunnitteludokumentaatioprosessia on mahdollista kehittää?

Tämä tutkielma pohjautuu Sulzer Pumps Finland Oy:n, kesällä 2019 annettuun tuotekehitysprosessien kehitystyöhön. Työ on osana Sulzerin lanseeraamaa suunnittelijan sähköistä käsikirjaa, jonka vuoksi tutkimuksen tarkoituksena on löytää keinoja tuotekehitysprosessin tehostamiseksi. Erityisesti case -osion avulla tutkimuksen tarkoituksena on poistaa suunnittelijalta työssä paljon toistoa ja aikaa vaativia tehtäviä, jotka vaativat paljon manuaalista työtä. Näitä suunnittelutyössä ovat esimerkiksi; o-renkaisiin, tasotiivisteisiin ja putkikierteisiin liittyvät mitoitus. Nämä kyseiset komponentit toimivat tapausesimerkkeinä tässä työssä.

### 1.3. Tutkimuksen rakenne ja rajaukset

Tämä tutkimus tuo esille tuotekehitysprosessin teoriassa sekä kuinka prosessia sekä erityisesti siihen kuuluvaa suunnitteludokumentaatioprosessia on mahdollista kehittää. Tuotekehitysprosessin kehittämisen analysointivaiheessa tutkielma käyttää Lean -ajattelua sen teoreettisena viitekehyksenään. Tutkielma pitää sisällään myös case -osion. Tutkimus koostuu johdannosta, teorialuvusta, case -osiosta, tulosten analyysistä sekä yhteenvedosta. Johdanto luo pohjan koko tutkimukselle ja tuo esille, miksi tutkimus keskittyy tuotekehitykseen ja suunnitteludokumentaatioprosessiin.

Teorialuku käsittelee ensimmäisenä tuotekehitystä, sen tarkoitusta sekä siinä mitattavia elementtejä. Sen jälkeen teorialuvun tarkoitus on analysoida syvemmin tuotekehityksen suunnitteludokumentaatioprosessia sekä niin tuotekehityksen kuin suunnitteludokumentaatioprosessin kehittämismahdollisuuksia erityisesti Lean -ajattelun kautta. Case -osiossa keskitytään niin case -yritykseen kuin tarjoamaan esimerkkejä suunnitteludokumentaatioprosessin kehittämiseen case -työn kautta. Case -osio liittyy yhteen teorialuvun opit sekä Sulzer Pumps Finland Oy:lta (SPFIN) saadun työtehtävän. Tulosten analyysin tarkoitus kriittisesti verrata, kuinka teoria ja case -osio tuki tutkimuskysymyksiä ja pääsiko tutkimus johdannoissa annettuihin tavoitteisiin. Yhteenvedo tiivistää lopuksi koko tutkimuksen.

Koska case -yrityksenä toimii SPFIN tutkimuksessa keskitytään tuotekehitysprosessiin teknologiateollisuuden näkökulmasta. Tuotekehityksen ollessa laaja prosessi, tämä tutkimus keskittyy lähinnä suunnitteluun sekä suunnitteludokumentaatioprosessiin, kuitenkin ymmärtäen teoriaosuuden avulla koko tuotekehitysprosessin laajuuden. Suunnitteludokumentaatioprosessiin keskitytään erityisesti case -työn vuoksi. Näkökulmana tutkimuksessa on teollisuus pohjainen business to business (B2B) -tuotekehitys. Koska case -yritys toimii kilpailullisella alalla, myös tätä tutkimusta pyritään tarkastelemaan liiketoiminnallisen ja strategisen näkökulman kannalta.

## **1.4. Keskeiset käsitteet**

Tässä luvussa käydään tutkimuksessa käytettyjä keskeisiä käsitteitä sekä kartoitetaan niiden merkitystä työhön liittyen. Jokaisen keskeisen käsitteen tarkoituksena on viedä tutkimusta eteenpäin ja toimia niin sanottuna punaisena lankana. Lopulta kaikki käsitteet nivoutuvat yhteen case -osiossa. Keskeiset käsitteet ovat: Tuotekehitys, Lean -ajattelu tuotekehityksessä ja suunnitteludokumentaatioprosessi.

### **1.4.1. Tuotekehitys**

Tuotekehitys on prosessi, joka vastaa organisaatiossa/yrityksessä uusien tuotteiden suunnittelusta sekä vanhojen tuotteiden päivittämisestä. Useimmiten tuotekehitys työtä tehdään usean suunnittelija ryhmissä ja prosessiin kuuluu myös organisaation sisäisten osastojen välinen interaktio. On myös tavanomaista ottaa asiakas mukaan tähän prosessiin. Tuotekehitys on monesta vaiheesta koostuva prosessi, jossa ymmärretään kokonaisuutta kehittää uutta tai parannella vanhaa tuotetta. Tuotekehitys nivoo yhteen kulttuurin ja teknologian, sillä tuotekehitystoiminnassa joudutaan ajattelemaan, kuinka tuotteen toimintaperiaate on mahdollista saavuttaa teknisesti, taloudellisesti sekä käytännöllisesti. (Jokinen. 2014. s.9.)

### **1.4.2. Lean -ajattelu tuotekehityksessä**

Lean -ajattelua tuotekehityksessä käytetään havainnollistamaan yritykselle ei arvoa tuovia niin sanottuja hukka vaiheita/toimintoja. Lean -ajattelun viisi ydinajatusta ovat: Arvo, arvovirta, hukan eliminointi, osallistaminen ja täydellistäminen. Ensimmäisenä on tarkoituksena identifoida yritykselle arvoa tuovia prosesseja, sekä kartoittaa siihen liittyvä arvovirta. Tästä pois jäävä osuus lasketaan hukaksi ja sitä lähdetään karsimaan. Osallistamisella tarkoitetaan asiakkaan mukaan ottamista tuotekehitykseen, jolloin ongelman ratkointa tehostuu ja asiakkaan maksu halukkuus lisääntyy. Viimeisenä vaiheena Lean pyrkii kohti prosessin täydellistä mallia, jossa niin sanottua hukka ei esiinny. Lean -ajattelu on lähtöisin tuotannon tehostamiseen tarkoitettusta ajatusmallista, josta se on muotoutunut nykyiseen muotoonsa. (Coleman. 2008. s.64...65.)

### **1.4.3. Suunnitteludokumentaatioprosessi**

Suunnitteludokumentaatioprosessi on osa tuotekehitystä ja se kattaa alleen kaikki tuotteen toimintaperiaatteet suunnittelusta tuotantokuvien valmistukseen. Toisin sanoen suunnitteludokumentaatioprosessin voidaan ajatella olevan ajatella yksi prosessin osa tuotekehityksessä. Vaiheen tarkoitus on määritellä tuote lopulliseen muotoonsa. Suunnitteludokumentaatiossa tuote käy läpi usean iteraation, jossa sitä muokataan kohti valmista muotoa. Tavallisesti osana tätä tuotekehityksen prosessin osaa käydään läpi myös prototyyppien valmistus. Suunnitteludokumentaation prosessin tarkoitus on ensimmäiseksi suunnitella ja muotoilla tuote sille asetettujen reunaehtojen mukaan. Viimeisenä prosessin tarkoitus on piirtää lopulliset tuotannon tarvitsemat valmistuspiirrustukset. (Brattström, Löfsten & Richtner. 2012. s.744.)

## **2. TUOTEKEHITYS JA SEN PROSESSIEN KEHITTÄMINEN**

Tuotekehitystä on tutkittu paljon, mutta verrattain lyhyen aikaa. Ensimmäisen kerran se on tieteellisesti tunnistettu 1940- ja 50- lukujen vaiheesta pohjautuen alan tieteilijöiden, kuten Kesselringin (1954), Tschochnerin (1954), Niemannin (1975), Matousekin (1957) ja Leyerin (1963 - 1971) töihin. Vasta viimeisinä vuosikymmeninä tutkimus tuotekehitykseen on syventynyt sen nykyiseen muotoonsa. Tämä vuoksi on myös kehitetty uusia tapoja ja metodeja tehdä tuotekehitystä. Uusi aikakausi tuotekehityksessä on syntynyt ja tuotekehityksen merkitys kasvaa edelleen. (Jokinen. 2014. s.11.)

Koska näkökulma tuotekehitykseen on muuttunut lyhyen ajan sisällä, on tämän luvun tarkoitus tuoda esille tuotekehityksen merkitys niin yleisesti sekä analysoida, miten tuotekehityksen näkyy yrityksessä niin teoriassa kuin käytännössäkin. Lisäksi tarkoituksena on kartoittaa, minkälaisia prosesseja tuotekehityksellä on sekä miten niitä on mahdollista kehittää ja tehostaa. Prosessien kohdalla tämä luku keskittyy erityisesti suunnitteludokumentaatioprosessiin ja tuo esille teoreettisena tehostamisen viitekehityksenä Lean -ajattelun.

### **2.1. Tuotekehityksen merkitys**

Tuotekehityksestä puhuttaessa, tarkoitetaan sillä usein joko uuden tuotteen kehitystä uuteen markkinarakoon taikka jo vanhan toimivan laitteen päivitystä nykypäivän kysyntää vastaavaksi. Prosessina tuotekehitys on yleensä ulkopuolelta tulevien tarpeiden sekä usean suunnittelijan tiimistä koostuva pidemmän aikavälin ideoinnin tulos. Siinä yhdistyvät niin innovatiivinen ajattelu kuin ongelman ratkonta. Koska tuotekehitys näkyy ihmisten jokapäiväisessä elämässä, on sitä tärkeä tarkastella kuluttajan näkökulmasta, jotta tuotteesta on mahdollista saada kuluttajan toiveiden mukainen. Tuotekehitystä tehdään kuitenkin pääosin yrityksiensä tai organisaatioiden sisällä, jonka vuoksi on tärkeää ottaa huomioon myös yrityksen sisäinen näkökulma sekä tuotekehityksen strateginen asetelma. (Clark, Chew, Fujimoto, Meyer & Scherer. 1987 s.732...733.)

### **2.1.1. Mitä tuotekehitys on**

Vaikka tuotekehitys mielletään usein uuden tuotteen kehitykseen liittyväksi, siihen liittyy paljon muutakin. Esimerkiksi jo ennestään olemassa olevien tuotteiden päivittäminen, nykypäivää vastaavaksi, taikka käyttäjä kokemusten kautta esiin tulleiden ongelmien korjaamiseksi. Tuotekehityksen tutkimuksen alkuvaiheissa tuotekehitys nähtiin enemmänkin yhden henkilön kehitysprojektina, eikä sitä pidetty niin tieteellisenä osa-alueena. Nykyään tuotekehityksessä on alkanut uusi aikakausi, jossa suositaan tiimipainotteista rinnakkain työskentelyä. Uuden ajattelutavan avulla tuotekehitykseen tarvittavaa aikaa on mahdollista lyhentää. Samalla saadaan myös vähennettyä yhden ihmisen taakkaa työn teossa. Lisäksi rinnakkaistyöskentelyssä ongelman ratkointa tukee useampi näkökulma, jolloin ongelmia on mahdollista poistaa tehokkaammin. Tämän vuoksi usein tuotekehitysprosessiin otetaan mukaan henkilöitä myös ulkopuolisista osastoista ja yrityksistä. (Teichert, von Wartburg & Braterman. 2006. s.452.)

Kehitystyön yhteydessä saattaa myös syntyä niin sanottu sivuvirta. Se lähtee liikkeelle kehitetystä ratkaisusta, jota ei kuitenkaan ole otettu käyttöön siinä tuotteessa, johon sitä oli ensimmäiseksi suunniteltu. Tämä kyseinen ratkaisu saatetaan kuitenkin hyödyntää kokonaan uudessa tuotteessa ja se saattaa jopa synnyttää täysin uuden kysynnän markkinoilla. Tuotekehitys ei siis välttämättä hyödytä aina vain yhtä tuotetta, vaan tuotekehitystä pystyy hyödyntämään laajemmin uusien innovaatioiden syntyyn eri aloilla. Tämä tuo yhden syyn sille, miksi tuotekehitys on tärkeää ja miksi sen tulisi olla keskeisessä asemassa yrityksissä. (La Rocca, Moscatelli, Perna & Snehota. 2015 s.45...46.)

### **2.1.2. Miksi tuotekehitystä tehdään**

Tuotekehitystä ajaa yrityksiensä sekä ihmisten tarve kehittyä ja parantaa elämänlaatuaan, jonka vuoksi tuotekehitys pyrkii vastaamaan näiden tarpeiden muodostamaan kysyntään. Tarpeet voivat muuttua lyhyenkin ajan kuluessa nopeasti. Tuotekehitys reagoi näihin muutoksiin innovatiivisella kehitystyöllä. (Kim, Kim, Garrett, & Jung. 2014 s. 202.) Yrityksen selviämisen kannalta tuotekehitys

on myös tärkeässä asemassa, sillä toimialat kehittyvät koko ajan. Tämän vuoksi yrityksen on tärkeä kehittää nykyisiä tuotteita tai innovoida uutta, jotta toimialalla selviäminen, markkinaosuuden ylläpitäminen tai kasvattaminen on mahdollista. Tämä innovatiivinen ajattelutapa on myös nähtävissä B2B liiketoiminnassa, jossa asiakkaan ja yrityksen välinen yhteistyönä tehty tuotteen kehittäminen on tehostanut asiakkaan halukkuutta maksaa (WTP) ja luonnut enemmän asiakasarvoa. (La Rocca et al.2015 s.45.)

Tuotekehitys vaatii yritykseltä resursseja, niin henkilöstössä, kuin kuluissa yleisestikin. Prosessina tuotekehitys on aikaa vievää, ja joskus se saatetaan loppuun myös ilman mitään näkyvää tulosta. Tuotekehityksestä yritykselle voi kuitenkin olla suurikin etu, sillä sen avulla pystytään luomaan yritykselle asiakas arvoa. On myös havaittu, että asiakkaan ja yrityksen välinen vuorovaikutus on tehostanut tuotekehityksen prosessia. Esimerkiksi uusia ratkaisuja syntyy useammin yrityksen ja asiakkaan välisessä interaktiossa, ja usein asiakkaan mukaan ottaminen tuotekehitykseen auttaa luomaan usein innovatiivisia ideoita, mutta mikä tärkeintä auttaa myös ottamaan uudet ideat käyttöön. (La Rocca et al. 2015. s.45.)

## **2.2. Tuotekehityksessä käytettävät mittarit**

Koska tuotekehitys on merkittävässä asemassa yrityksessä, on sitä pystyttävä mittaamaan, jotta sen tehokkuutta on mahdollista pitää yllä. Tämä toteutetaan yleensä mittaamalla yrityksen kykyä tehdä tuotekehitystä ja tarkkailemalla kuinka pitkäkestoisia tuotekehitysprosessit ovat, sekä kuinka laadukasta tulosta niissä saadaan aikaan(Koufterosa. Lu, Peters, Laid & Cheng. 2014, s.92...93). Seuraavaksi esitetään nämä kolme keskeistä tuotekehityksen mittausaluetta, joista tuotekehityskykyä voidaan pitää pohjana tuotekehitykselle ja -laadulle.



### **2.2.1. Tuotekehityskyky**

Yrityksen tuotekehityskyvyn voidaan ajatella määrittävän myös sen käytettävissä olevan kehitysajan ja -laadun. Voidaan olettaa suuremmilla yrityksillä olevien suurempien tuotekehitystiimien mahdollistavan nopeamman kehitystyön, laatua karsimatta. Tuotekehityslaatu ja -aika ei aina kuitenkaan ole suhteutettavissa itse henkilöstön määrään. Sillä tuotekehityskyky lähtee lähes aina liikkeelle yksilökohtaisesta tekijästä, perustuen yksittäisen suunnittelijan kokemuksiin ja taitotasoon. (Bhuiyan. 2011. s.754...760.)

### **2.2.2. Tuotekehitysaika**

Tuotekehitysaika, projektista riippuen, on usein vuodesta kolmeen kestävästä prosessi, joka lähtee liikkeelle määräytyistä reunaehdoista. Näitä ovat muun muassa; tuotteen/palvelun suorittama tehtävä, budjetti, materiaalit, kustannukset, tuotanto. Prosessi on pitkäkestoinen, sillä se vaatii usean eri osaston välisen kommunikoinnin. Tämä etenkin suuremmissa yrityksissä voi olla mannerten välistä ja tuo prosessiin aivan uuden haasteen, mutta myös mahdollisuuksia. (Bhuiyan. 2011. s.761.)

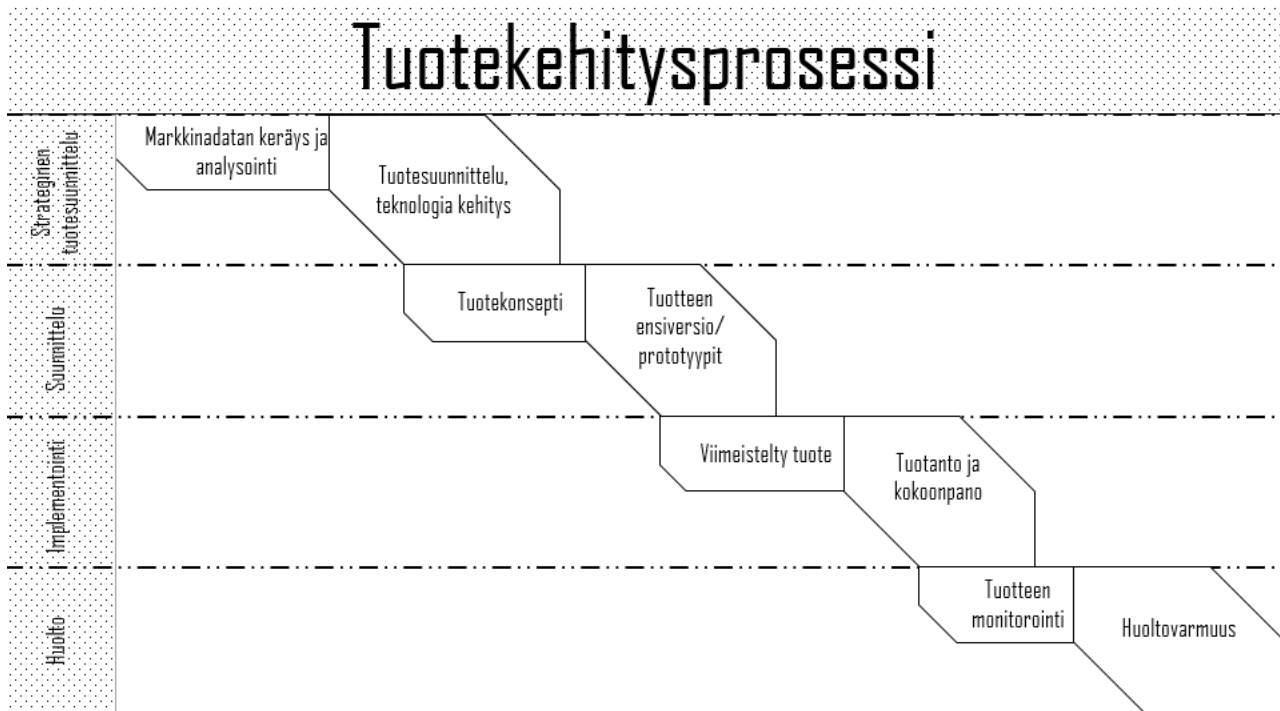
### **2.2.3. Tuotekehityslaatu**

Laatutakuu on olennainen osa nykyaikaisten yritysten liiketoimintamallia, ja tuotteen laatu pyritään siksi ottamaan jo piirustuspöydältä lähtien huomioon. Näin pystytään varmistamaan korkea laatu, vaikka tuotannossa kävisikin jonkinlainen tekninen virhe. Nykypäivänä kasvanut kilpailu on painottanut tätä seikkaa entistä enemmän, sen lisäksi että tuotteiden laatu täytyy vastata korkeita standardeja, on niiden oltava myös edullisia. Ylilaatua ei haluta valmistaa, mutta myöskään ei haluta ottaa turhia riskejä. Tämä on lisännyt paineita tuotekehitysoisaamiselle ja se on alkanut näkyä nykypäivänä erilaisten tutkimusten sekä aiheesta kirjoitettujen artikkelien muodossa. (Bhuiyan. 2011. s.760...762.)

### 2.3. Prosessit tuotekehityksessä

Tuotekehitys on prosessi, joka voi kestää muutamasta kuukaudesta muutamaan vuoteen ja se vaatii yrityksen sisällä monessa eri toimenkuvassa toimivan osaston yhteistyön ja koordinoinnin. Tuotekehitys voidaan itsessään jakaa moneen pienempään vaiheeseen, jotka yhdessä muodostavat tämän kokonaisuuden. Tuotekehitys koostuu sarjasta pienempiä prosesseja, joista jokainen vie tuotekehitystä eteenpäin kohti tuotteen lanseeraamista. Tätä prosessia, joka alkaa markkinatutkimuksesta ja päättyy huoltoon, kutsutaan tuotekehitysprosessiksi. Tuotekehitysprosessi pitää sisällään neljä päävaihetta, jotka ovat: strateginen tuotesuunnittelu, suunnitteludokumentaatio, implementointi ja huolto. Näistä huolto on tuotteen lanseeraamisen jälkeistä prosessia, mutta tärkeä osa tuotekehityksen kannalta. (Tyagi, Choudhary, Cai, Yang, 2014, s.202.)

Strategisen tuotesuunnittelun aikana ideat testataan, niitä tutkitaan ja kehitetään. Strategisen tuotesuunnittelun voidaan mieltää pitävän sisällään markkinatutkimuksen sekä ennen tuotteen suunnittelua tapahtuvan teknisen kehitystyön. Tämän jälkeen siirrytään suunnitteludokumentaatioprosessiin toisin sanoen suunnitteluun. Itse tuotteen suunnittelu tapahtuu tuotesuunnitteluvaiheessa, jossa tuote virallisesti määritellään. Kun suunnitteluvaiheessa on päästy haluttuun lopputulokseen, aloitetaan uusien tuotteiden suunnitelmien implementointi. Implementointi vaihe pitää sisällään niin valmistuspiirustusten teon, kuin itse valmiin tuotteen kokoonpanon. Valmiit tuotteet siirtyvät kuluttajamarkkinoille, mutta tuotekehitysprosessi ei tähän pääty. Jälkimarkkinoilla tuotteen elinkaarta tuetaan esimerkiksi huollon ja päivitysten muodossa. Prosessi on sama niin uusille kuin vanhoille tuotteille, toki voidaan olettaa vanhan tuotteen kehittämisen kestävän ajallisesti vähemmän. (Tyagi et al. 2014, s.202.)



**Kuva 2.** Tuotekehitysprosessi (Tyagi et al. 2014 s.203).

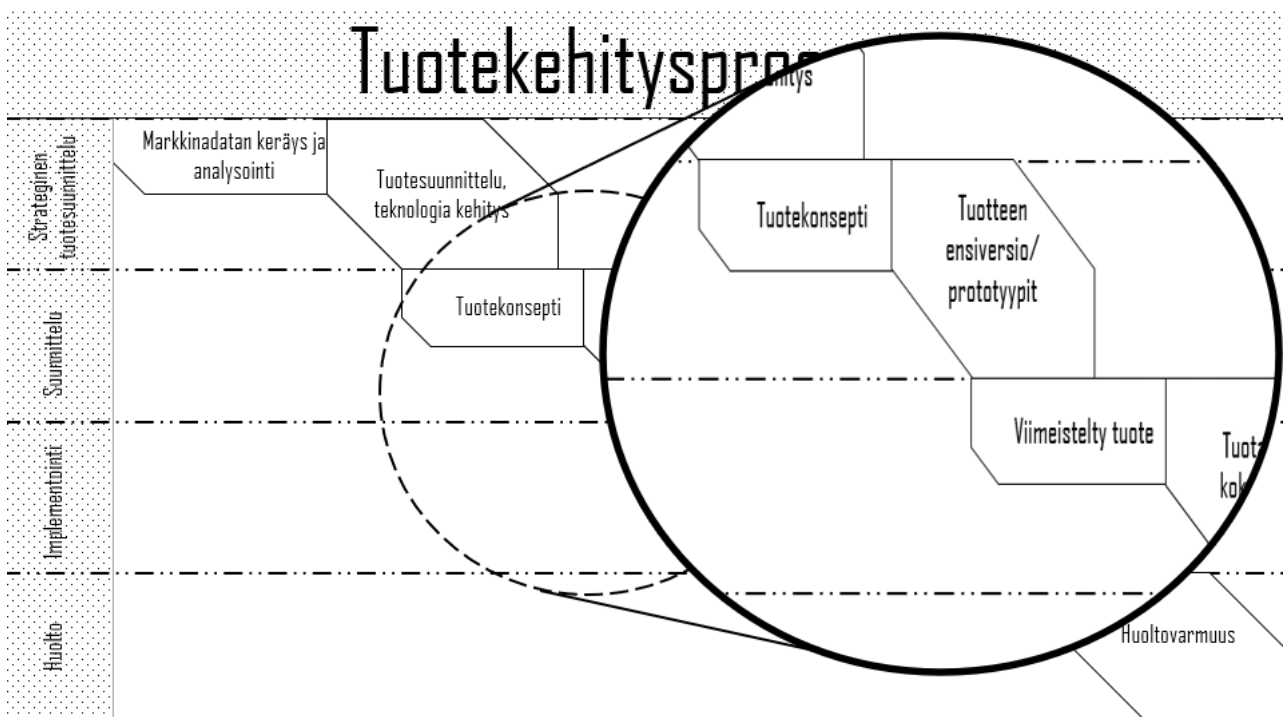
Yllä olevassa kuvassa 2, tuotekehitysprosessin vaiheet on nimetty vastaavassa järjestyksessä: strategiseksi tuotesuunnitteluksi, tuotesuunnitteluksi, implementoinniksi sekä huolloksi. Tätä tuotekehitysprosessin mallia on käytetty tässä tutkielmassa pohjana, mutta tästä mallista on olemassa useita eri versioita, kuten Wheelwrightin ja Clarkin malli vuodelta 1992, jossa viimeiset kaksi vaihetta on liitetty toisiinsa ja neljänneksi vaiheeksi on tuotu pilottivaihe. Tai Ulrichin ja Eppingerin malli, jossa on viisi toimintavaihetta (Tyagi et al. 2014 s.204). Muut tuotekehitysprosessin mallit on hyvä pitää tiedossa, siltä varalta, mikäli niistä löytyy mahdollisia kehitys tapoja tai ideoita. Case -työn luonteen vuoksi tuotekehitysprosessissa keskitytään erityisesti suunnitteludokumentaatioon.

### 2.3.1. Suunnitteludokumentaatioprosessi tuotekehityksessä

Suunnitteludokumentaatioprosessi on tuotekehitysprosessin osa, jossa keskitytään itse tuotteen valmistuksen mahdollistamiseen. Se kattaa alleen kaikki tuotteen esivalmistelusta, lopulliseen tuotannon panoon. Riippuen tuotteen tyypistä, eli onko kyseessä esimerkiksi ohjelmisto tuote, palvelu

vai teollisuuden laite, vaihtelevat suunnitteludokumentaatioprosessin tekotavat. Pääpiirteittäin vaiheet ovat kuitenkin samoja. (Clark et al. 1987 s.732-736.) Tässä tutkielmassa keskitytään lähinnä teollisuuden laitteiden tuotekehitykseen ja toimintatavat suunnitteludokumentaatioprosessissa pohjautuvat tähän näkökulmaan.

Tuotekehityksen osana suunnitteludokumentaatioprosessi, on yleensä ajallisesti pisin ja eniten resursseja vaativa vaihe. Se pitää sisällään suurimman osan itse tuotteen, sekä sen toimintaperiaatteen suunnittelusta. Suunnitteludokumentaatio vaiheessa käydään läpi tuotteessa olevia virheitä, ongelmia sekä suorituskyvyn tehostaminen. Nämä vaiheet vaativat usein toistoa, sekä edestakaista liikkumista toisiinsa. Tyypillisesti kun tuote on saatu toimimaan halutulla tavalla, pyritään siitä poistamaan mahdolliset laatu laskevat ongelmat ja virheet. Niiden minimoimiseksi saattaa suorituskyky laskea, jonka jälkeen on palattava takaisin suunnittelupöydän ääreen. (Tyagi et al. 2015. s.203.)



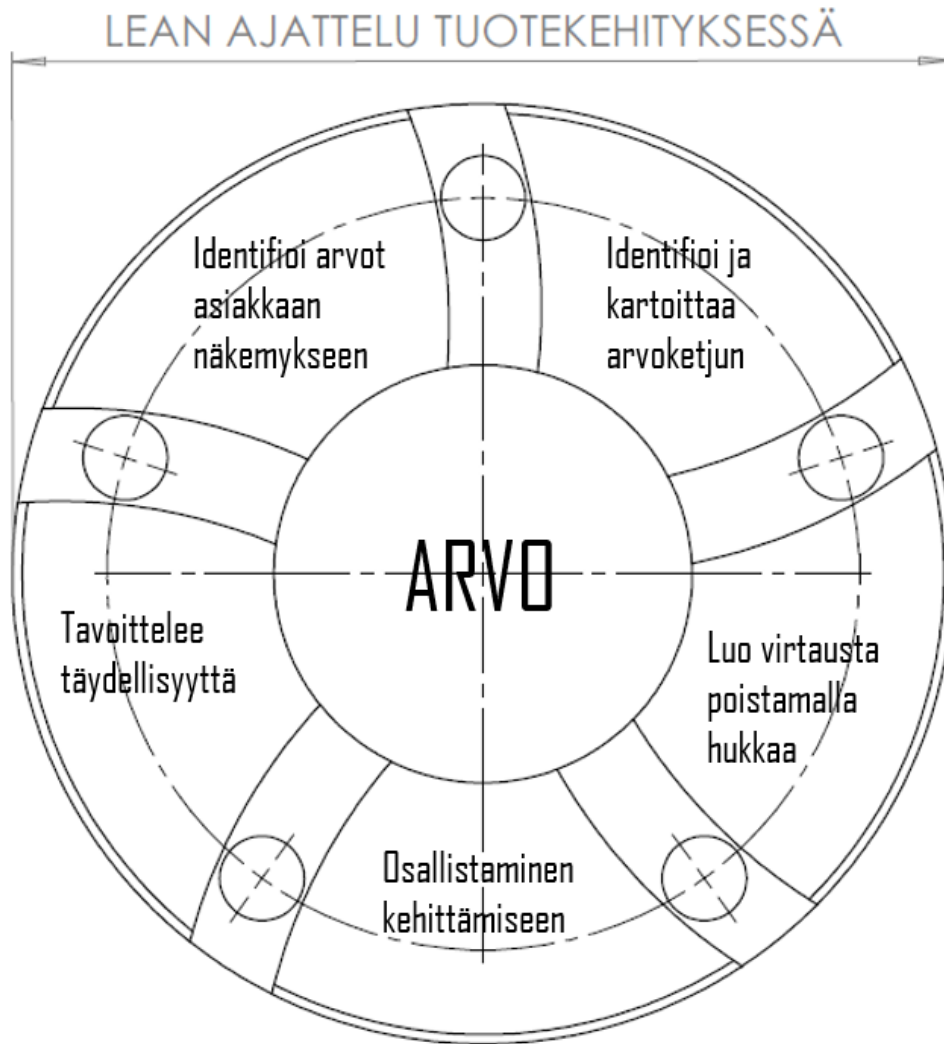
**Kuva 3.** Suunnitteludokumentaatioprosessi (Tyagi et al. 2014 s.203).

Suunnitteludokumentaatio lähtee liikkeelle, tuotekehitysprosessin alkuvaiheissa luoduista reunaehdoista ja markkinatutkimuksesta. Ensimmäisenä luodaan toiminta-ajatus suunniteltavalle tuotteelle, toisin sanoen työstetään konseptia kyseisestä tuotteesta ja käydään läpi erilaisia ehdotuksia

ja ideoita. Näistä toimivimmat ideat otetaan käyttöön jatkosuunnittelussa. Tässä vaiheessa yleensä on tapana luoda karkea malli tuotteesta, jota aletaan hiomaan kohti haluttua tulosta. Kuten jokaisessa työssä, on myös suunnittelijalla käytössään joukko työkaluja. Vielä muutama vuosikymmen takaperin tehtiin suunnittelutyötä käsin piirtäen, ja puisia malleja veistellen. Nykyään on suunnitteludokumentaatiossa pitkälti siirrytty tietokoneavusteiseen suunnitteluun eli CAD:n käyttöön.

## **2.4. Lean -ajattelu tuotekehityksessä**

Lean -ajattelu on lähtökohtaisesti ongelman ratkaisu pohjainen ajattelutapa, jossa pyritään koko ajan kehittämään ja saavuttamaan täydellisyyttä. Ajatus konsepti leimaa kaikki ei arvoa tuovat toiminnot ”hukaksi”(waste), ja pyrkii eliminoimaan ne. Sen lisäksi pyritään ongelman ratkaisun tavoin selvittämään, mikä on perisyynä näille ei arvoa tuottaville toiminnoille. Lean -ajattelu on jatkokehitemä Lean -tuotannosta, joka keräsi suurta suosiota Japanissa 90-luvulla, joista tunnetuimpana Toyota Motors. Se siirtyi Yhdysvaltoihin parannusta halavien yritysten mukana. (Coleman 2008, s.63.)



**Kuva 4.** Lean -ajattelun malli (Abrahamsson, Ebert & Oza. 2012. s.23).

#### 2.4.1. Lean -ajattelun hyödyntäminen tuotekehityksen kehittämisessä

Lean -ajattelun hyödyntäminen tuotekehityksessä vaatii sen adaptiivista käyttöä. Alun perin tuotannon tarpeisiin tarkoitettu Lean ei taivu suoraan tuotekehityksen käyttöön, mutta pienillä muutoksilla saadaan siitä toimiva työkalu tuotekehitysprosessin kehittämiseen. Lean -ajattelu ei toimi ihmisen näkökulmasta luontaisella tavalla, ja usein miten se vaikuttaakin näkemysten ja tapojen vastaiselta. Prosessien muuttaminen usein jo tutusta ja turvallisesta toiseen tuntuu luonnottomalta. Kuitenkin yritykselle kehittyminen ja tapojen muutos voi olla kriittinen osa sen selviytymistä sen toimialalla. Apukeinona tähän muutoksen vastaisuuteen, Lean -ajattelu tarjoaa ongelmien

visualisointia, jolloin ongelmien ymmärtäminen ja sitä kautta muutoksen tekeminen helpottuu. (Kihn 2012, s.68.)

#### **2.4.2. Lean -ajattelun hyödyntäminen suunnitteludokumentaatioprosessin kehittämisessä**

Lean -ajattelu tähtää karsimaan niin sanottuja ”waste” -prosesseja, jotka eivät ole yritykselle arvoa luovia. Näitä hukkaprosesseja on suunnitteludokumentaatioprosessissa useita, jo muutamaa yksinkertaista vaihetta karsimalla voidaan tehdä suuri vaikutus yksittäisen suunnittelijan työhön. Tämän seurauksena voidaan hyötyä havaita jo koko tuotekehitysprosessin kohdalla, kun yksittäisiä suunnittelijoita on prosessissa monta. Usein suunnitteluryhmässä vain sen johtohahmolla on tiedossa, mihin yksittäisen projektin on päädyttävä tai mitä sen on saavutettava. Lean -ajattelumallin mukaan kaikille yhteinen maali/ratkaisu, auttaa koko prosessin toimintaa ja yhtenäistää työtapoja. (Kihn 2012, s.68.)

#### **2.5. Prosessien kehittäminen tuotekehityksessä**

Tuotekehitys pyrkii tuomaan uuden taikka päivitetyn version tuotteesta kuluttajalle. Koska tuotekehitys on olennainen osa yritystä ja sen selviytymistä toimialalla. On olennaista, että sitä pyritään jatkuvasti kehittämään. Tuotekehityksessä pääpointti on asetettu tuotteen suunnitteluun ja kehitykseen, tarkoituksena saavuttaa useita annettuja pääkriteerejä. Niihin luetaan mukaan esimerkiksi kuluttaja/asiakas vaatimukset, laatu, teknologinen kehitys, tuotestrategia, kulut ja rajapintojen hallinta. Tämä mahdollistaa alati muuttuvilla markkinoilla mukana pysymisen, sekä yrityksen mahdollisen kasvun. (Clark, Chew & Fujimoto 1991, s.733-734.) Kuten todettu, tuotekehityksessä on monia prosesseja, joka tekee siitä monimutkaisen hallittavan. Tämän vuoksi seuraavaksi analysoidaan, kuinka prosesseja on mahdollista kehittää ja tehostaa tuotekehityksessä.

### **2.5.1. Suunnitteludokumentaatioprosessin kehittäminen tuotekehityksessä**

Koska suunnitteludokumentaatioprosessia voidaan pitää ajallisesti eniten resursseja vieväksi osaksi koko tuotekehitysprosessia, on sen tehostaminen tärkeää yrityksen kannalta. Kuten jo aiemmin todettu, voidaan markkinoilletuontiaikaa vähentää virtaviivaistamalla prosesseja. Tämä virtaviivaistaminen lähtee liikkeelle standardisoimalla yrityksen tuotekehitysryhmien sisäisiä suunnittelumalleja. Lean -ajattelu on tässä avain asemassa sen prosesseja tarkastelevan luonteen vuoksi.



### **3. CASE: SULZER**

Tässä tutkimuksessa case osuus tehdään yhteistyössä pumppausteknologiaa valmistavan ja kehittävän Sulzer Pumps Finland Oy:n kanssa. Myös Sulzer Pumps Finland Oy:n tavoitteena on kehittää ja tehostaa heidän tuotekehitys prosessejaan. Tämän vuoksi case -osiossa luodaan konsepti suunnitteludokumentaatioprosessin kehittämistä varten. Konsepti tähtää tehostamaan laskenta- ja mitoitustaulukon avulla käytettyä aikaa oikean tasotiivisteeseen, o-renkaan sekä putkikierteen valinnassa. Luvun aikana esitellään Sulzer organisaationa sekä case -työ yleisesti. Tämän jälkeen siirrytään käymään läpi työn keskeisiä elementtejä ja analysoimaan konseptin kehittämisprosessia.

#### **3.1. Case -työ yleisesti**

Sulzerin tuotekehitysprosessin tehostamiseksi, yritys on lanseeraamassa sähköistä suunnittelijan käsikirjaa. Suunnittelijan käsikirjaan on tulossa osio suunnitteludokumentaatioprosessin erilaisten tiivisteiden sekä liitosten mitoituksesta. Varsinaisen konseptin luomisen tästä mitoitukseen käytettävästä laskenta- ja mitoitustaulukosta, annettiin tätä tutkimusta varten. Case -työ pyrkii siis luomaan konseptin suunnitteludokumentaatioprosessin tehostamiseksi, suunnittelemalla laskenta- ja mitoitustaulukon laippaliitoksia, o-renkaita sekä putkikierteitä varten.

Kaikkia näistä elementeistä käytetään pumpputeollisuudessa, ja ne ovat välttämättömiä osa-alueita suunnittelutyössä. Niiden valikointi kuitenkin noudattaa tiettyä kaavaa, jonka vuoksi ne on mahdollista suunnitteludokumentaatioprosessin osa-alueena tehostaa. Näiden komponenttien mitoitus on työläs ja toistoa vaativa prosessi. Koska niiden mitoitus noudattaa tiettyä kaavaa, on mitoitus mahdollista yksinkertaistaa ja tehostaa laskenta- ja mitoitustaulukon avulla. Tämä case -työ on pieni osa Sulzerin tuotekehityksen tehostamis- ja kehittämisprosessia.

Lean -ajattelu on otettu yhdeksi apukeinoksi tukemaan case -työtä, se perustuu prosessien virtaviivaistamiseen ja turhien työvaiheiden karsimiseen. Nämä kaksi pääajattusta ovat keskeisessä

asemassa case -työtä tehdessä, joten Lean -ajattelu on tähän luonnollinen valinta. Lean -ajattelulla on myös pitkä historia tuotekehitysprosessin parissa, sillä se on alun perin lähtöisin Toyota Motorsin tuotekehitysprosessin tehostamiseen käytetystä tutkimuksesta. (Bjarnoe 2006, s.44-45.)

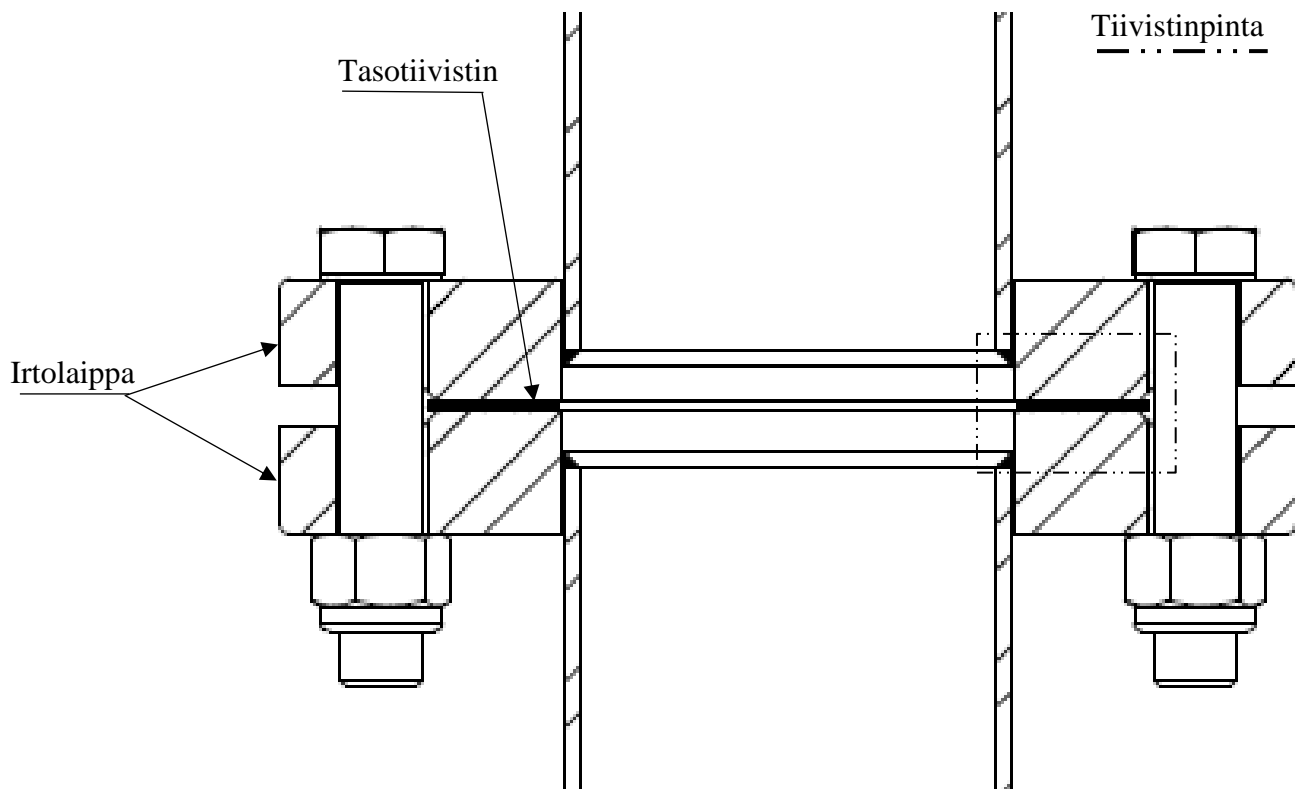
## **3.2. Työn keskeiset koneenosat**

Tässä luvussa keskitytään case -työhön liittyviin keskeisiin koneenosiin, joita ovat laippaliitokset ja niissä käytettävät tasotiivistin, o-renkaat sekä putkikierteet. Kyseiset elementit ovat keskeisessä osassa esimerkiksi pumppujen toimintaperiaatetta. Jotta pumpun suorituskyky pysyisi korkeana, on liitosten tiiviys tärkeätä pitää. Näin saadaan myös varmistettua käyttäjille turvallinen työskentely pumpun lähetyvillä.

### **3.2.1. Laippaliitos ja tasotiivisteet**

Laippaliitos on kahden laipan ja niiden liittämiseen tarvittavien komponenttien sekä väliin jäävän tasotiivisteiden muodostama liitos. Tavallisesti laipat kiinnitetään toisiinsa mutterin ja ruuvien avulla, kuten alla olevassa kuvassa 5. Laipat voidaan kiinnittää toisiinsa hitsaamalla, mutta pumppuihin tätä ei tehdä, sillä liitoksen avaaminen ja uudelleen sulkeminen on oleellinen osa toimintaperiaatetta. Tavallisia käyttötarkoituksia laippaliitoksille ovat, erilaiset putkistot, joissa väliaineena toimii yleensä kaasu tai neste. (Bickford 1997, s.87-90.) Seuraavaksi esitellään yleisimmät laippaliitokset ja tiivistetyypit, joita käytetään pumppausteknologiassa, pääpainon pysyessä tasotiivisteissä niiden ollessa osa case -työtä.

Laippaliitoksessa käytettäviä laippoja on useita erilaisia. Tavallisesti laipat jaotellaan yhdestä osasta koostuviin laippoihin, niin sanottu kiinteä laippa, sekä kahdesta osasta koostuviin laippoihin, jotka yleensä koostuvat erillisestä irtolaipasta ja siihen kiinnitettävästä laipasta. Laippaliitoksessa käytettävien laippojen ei kuitenkaan tarvitse olla samoja. Tärkeintä on, että liitosten ruuvien paikat, tiivistepinta ja ruuvien lukumäärä ovat toisiaan vastaavia.



**Kuva 5.** Laippaliitos

Tiivisteet valikoituvat käyttötarkoituksen mukaan, esimerkiksi putkessa virtaava aine, sekä sen lämpötila ja paine, määrittelevät usein tiivisteiden tyypin ja materiaalin. Tyypillisesti tasotiiviste on valmistettu joko yhdestä materiaalista tai useammasta materiaalista. Yleisimpiä valmistukseen käytettäviä materiaaleja ovat: PTFE eli teflon, komposiitit, metallit, keraamiset aineet ja grafiitti. Koska laippojen pinnoissa esiintyy pieniä poikkeumia, tasotiivisteiden päätehtävänä on muodostaa fyysinen este liitoksen läpivirtaavalle aineelle. Tiivisteiden on muotouduttava estämään nämä pienet raot laippojen pinnassa, se tapahtuu puristamalla tiivistettä kokoon. Tätä tiivisteeseen muodostuvaa jännitystilaa kutsutaan tiivisteiden pintapaineeksi. (Shigley & Mischke 1996, 26.1.)

Pumpuissa tyypillisesti laipat on kiinnitetty ruuveilla ja ne toimivat tiivisteiden puristajana. Tämän vuoksi, tiiviin laippaliitoksen saamiseksi, on ruuvien kiristysvoima erityisen tärkeä. (European Sealing Association & Fluid Sealing Association 2017, s.101.) Case -työn mitoitus- ja laskentatyökalussa on ruuvien kiristysvoima laskettu yksinkertaistetulla tavalla seuraavia kaavoja apuna käyttäen.

Tiivisteiden pintapaineen muodostamiseksi vaadittu voima  $F_2$  selvitetään yhtälöstä

$$F_2 = \frac{\pi b D}{y}, \quad (1)$$

jossa  $b$  on puristetun tasotiivisteiden leveys,  $D$  tiivistävän pinnan halkaisija ja  $y$  tiivistekohtainen tiivistekerroin. Tämän lisäksi lasketaan kahden vaikuttavan tekijän summa, jossa otetaan huomioon hydrostaattisen paineen aiheuttama voima sekä tiivisteiden jäännösvoima. Näiden voimien summa  $F_1$  lasketaan yhtälöllä

$$F_1 = \frac{\pi D^2 p}{4} + (2b\pi D m p), \quad (2)$$

jossa  $p$  on liittoksessa vallitseva paine ja  $m$  on tiiviste kohtainen tiivistekerroin. Näistä kahdesta voimasta suurempi valitaan, jonka avulla lasketaan kiristysmomentin selvittämiseen vaadittava aksiaalivoima. Tämä saadaan yhtälöstä

$$F = \frac{F_1; F_2}{x}, \quad (3)$$

jossa  $x$  on liittoksessa olevien ruuvien lukumäärä. Viimeisenä vaiheena lasketaan ruuvien kiristysmomentti, joka vaaditaan tiivisteiden pintapaineen muodostamiseksi ja laippaliitoksen pitävyyden takaamiseksi. Se saadaan laskettua kaavalla

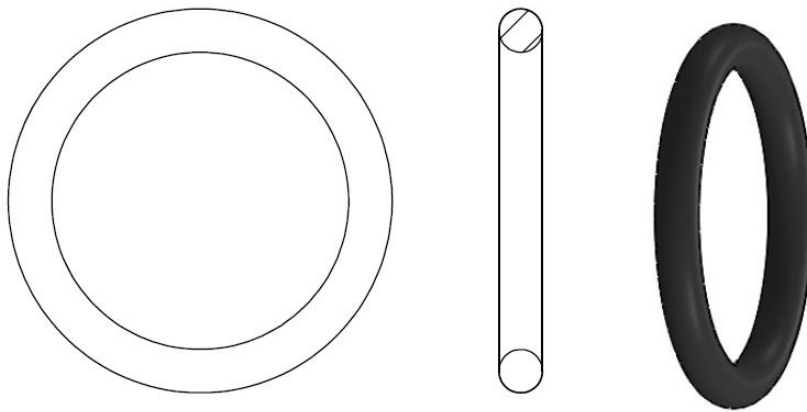
$$M = \frac{(kFd)}{12}, \quad (4)$$

jossa  $d$  on ruuvien nimellishalkaisija ja  $k$  on mutterin tuottama kitkakerroin, joka riippuu käytettävästä voiteluaineesta sekä mutterin ja ruuvien materiaalista. Näin saadaan laskettua suuntaa antava kiristysmomentti taulukkoon. (SFS-EN 1591-1 2014.)

### 3.2.2. O-renkaat

O-renkaat ovat mekaanisia tiivisteitä, niitä valmistetaan staattisiin, sekä dynaamisiin käyttötarkoituksiin. Staattista tiivistettä käytetään, kun halutaan tiivistää kahden kappaleen välinen

tila, joiden ei oleteta liikkuvan toisiinsa nähden. Dynaamista tiivistettä halutaan käyttää, silloin kun oletetaan kahden kappaleen välissä olevan, joko pyörimis- tai edestakaisliikettä. O-renkaat valmistetaan yleensä elastomeereistä, synteettisestä kumista taikka luonnonkumista. Ne valmistetaan tyypillisesti toruksen muotoisiksi, eli ympyrä, jonka poikkipinta on myös ympyrä (Shigley & Mischke 1996, 17.1). Esimerkki o-renkaan dimensioista on havaittavissa alla olevassa kuvassa 6.

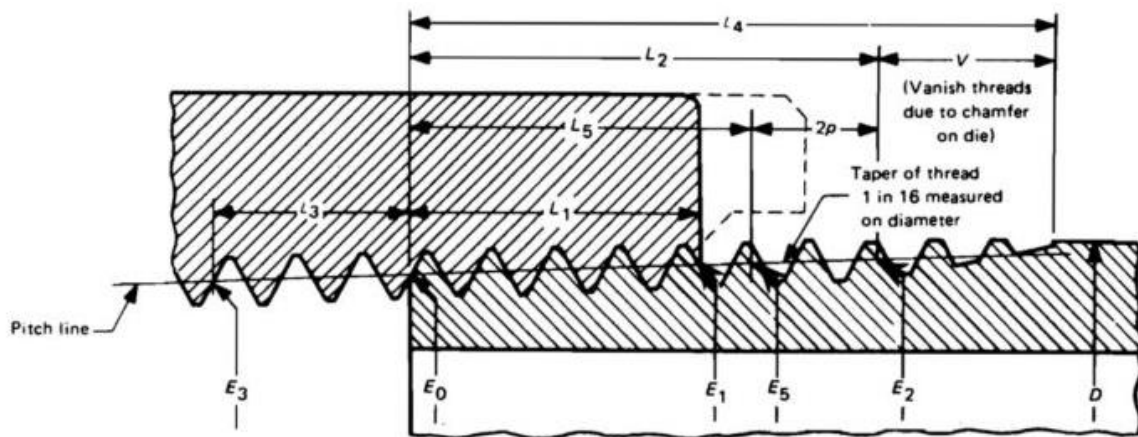


**Kuva 6.** O-rengas ja torus.

Tyypillisesti pumpputeknologiassa o-renkaat toimivat akselin, sekä laakeripesän tiivistyskomponentteina. Niitä käytetään staattisessa sekä dynaamisessa tiivistyksessä, jossa o-renkaan kovuus määrittelee sen käyttötarkoituksen, tavallisesti SHORE A kovuus on 65-75 staattiselle tiivisteelle ja 75-85 dynaamiselle. Myös pinnankarheudella on merkittävä vaikutus, sopiiko rengas dynaamiseen vai staattiseen tehtävään. (Shigley & Mischke 1996, 17.2.1.) Case -työ pyrki auttamaan suunnittelijaa tässä valinnassa, erottelemalla renkaat toisistaan niiden parametrien mukaan.

### 3.2.3. Putkikierteet

Putkikierteen liitos, jossa nimensä mukaisesti toisiinsa liitettäviin putkissa on kierteet. Tavallisesti putkikierteen liitoksen tiiviyden varmistetaan käyttämällä esimerkiksi tiivistävää teippiä, taikka kittiä. On mahdollista käyttää myös itse tiivistävillä kierteillä varustettuja liitoksia. Tällöin tiivistys on saatu aikaan käyttämällä kartiokierteitä. Kuten alla oleva kuva 7 havainnollistaa, näissä kierteissä liitoksen kiristyessä kierrekulma kaventuu, eikä hampaiden väliin jää tyhjää tilaa. Näin liitos saavuttaa täydellisen tiivyyden ilman erillistä tiivistävää ainetta, mutta liitännässä on yleensä tärkeää käyttää voiteluainetta. (Oberg, Jones, Horton & Ryffel 2004, s.1866-1867.)



**Kuva 7.** Itse tiivistävä putkikierteen. (ANSI/ASME B.1.20.1-1983. 2001.)

Putkikierteen tyyppin valintaan vaikuttavat tyypillisesti läpikulkevan aineen tilaominaisuudet, kuten esimerkiksi sen lämpötila, paine ja syövyttävyyden. Muita huomioitavia asioita ovat esimerkiksi putkiston värinä. Case -työssä näitä mitoituskriteereitä yritetään helpottaa yksittäisen suunnittelijan kohdalla suoraviivaistamalla tätä tiedonhakuprosessia. Tähän käytetään jo aikaisemmista elementeistä tuttua Excel -taulukkopohjaa, jolloin tiedot ovat nopeasti saatavilla ja tietoa voi etsiä monipuolisesti.

### **3.3. Työn vaiheet**

Konseptia suunnitellessa, työ jakautui kolmeen eri vaiheeseen: suunnitteluun, prosessiin ja lopputulokseen. Suunnitteluvaihe, joka oli myös tämän case -työn aloitusvaihe, alkoi kesällä 2019, jolloin Sulzer ilmaisi tarpeensa laskenta- ja mitoitustaulukolle. Prosessivaiheessa kartoitettiin polku laskenta- ja mitoitustaulukon käytölle suunnitteludokumentaatioprosessin aikana, sekä pohdittiin kriteerejä yksittäisen suunnittelijan näkökulmasta. Konseptivaiheessa kaikki aikaisemmat työn vaiheet tiivistettiin järkeväksi kokonaisuudeksi elementtikohtaiseen Excel -taulukkoon.

#### **3.3.1. Työkalun suunnittelu**

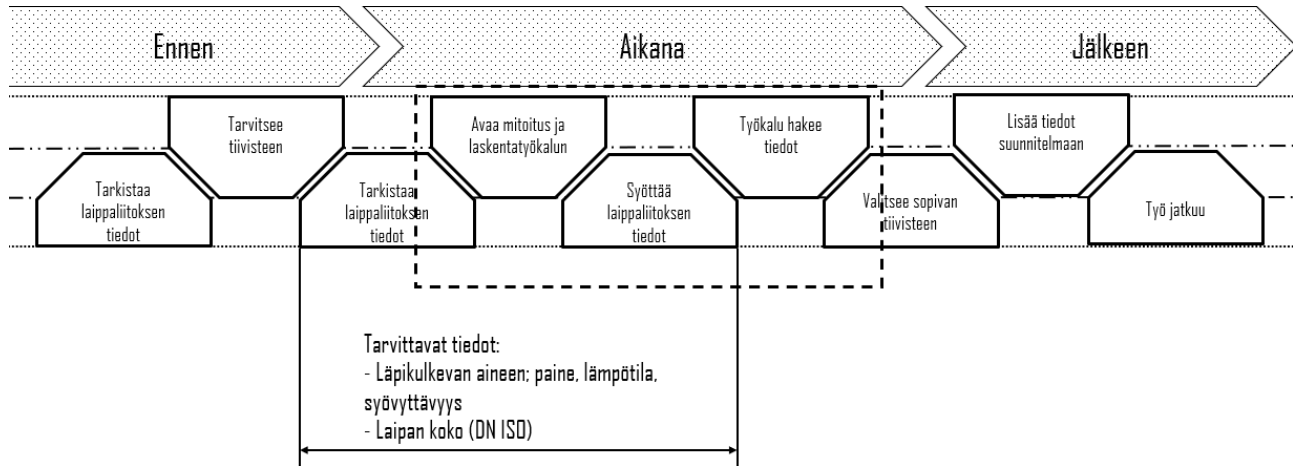
Suunnittelu lähti käyntiin Sulzerin tuotua esille tarve laskenta- ja mitoitustyökalulle, jota lähdettiin pohtimaan aikaisempien mallien pohjalta. Aluksi ideana oli luoda pdf pohjainen taulukko yleisimmistä käytetyistä tiivisteko'oista, jonka tueksi oli tarkoitus suunnitella Excel -taulukkoon pohjautuva laskentatyökalu. Taulukon ideana oli, että suunnittelija pystyy valitsemaan nopeasti haluamansa tiiviste koon sekä materiaalin, ja laskentatyökalulla oli tarkoitus selvittää laippaliitoksen ruuvien kiristysmomentti. Vastaava idea oli tarkoitus toteuttaa o-renkaille, sekä putkikierteille, niitä vastaavia kriteereitä/ohjenuoria käyttäen.

#### **3.3.2. Työ prosessi**

Prosessivaiheen tarkoituksena oli ymmärtää tuotekehitystyötä tekevän suunnittelijan näkökulmaa liittyen laippaliitosten, o-renkaiden sekä putkikierteiden mitoitukseen. Jotta prosessin vaiheita olisi helpompi hahmottaa, luotiin suunnittelijan ajatustyötä mallintava polku. Polku jaettiin kolmeen vaiheeseen, ennen työkalun käyttöä tapahtuviin vaiheisiin, työkalun käytön vaiheisiin sekä työkalun käytön jälkeiseen vaiheeseen. Näiden vaiheiden sisällä esitellään polku yksityiskohtaisemmin.

Polkua hahmotellessa huomattiin, että suunnittelijan näkökulmasta pdf-pohjaisen mitoitustaulukon sekä Excel -laskentatyökalun käyttö, on turhan työlästä ja toistoa vaativaa. Tämän vuoksi, sekä

ulkoisen neuvon/näkökulman avulla, päädyttiin Excelin datataulukkoja hyödyntävään ratkaisuun, jolla sekä mitoitus, että laskenta saadaan saman aikaisesti hoidettua. Kaiken lisäksi etuna tähän lähestymistapaan on se, että sitä voidaan hyödyntää kaikkiin kolmeen tiivistetyyppiin.



**Kuva 8.** Suunnittelijan toimintaprosessia kuvaava diagrammi laskenta- ja mitoitus työkalun käytöstä. Tarvittavien tietojen esimerkki laippaliitoksista.

Ajatuspolku lähtee liikkeelle siitä, että suunnittelija tekee suunnittelutyötä ja huomaa tarvitsevänsä liitoksen tiivisteen. Tiivistetyyppiä valittaessa, suunnittelija käy läpi tiivistekohtaiset tiedot, joita tarvitsee tiivisteen valinnassa. Nämä kriteerit suunnittelija valitsee Excel -työkalusta, joka palauttaa datakirjastosta vaihtoehtoiset tiivistinkoot, materiaalit, pinnakarheudet, kiristysmomentit jne. Tämän jälkeen suunnittelija tarkistaa ovatko työkalusta saadut vaihtoehdot käypiä ja tekee vaadittavat tarkennukset/korjaukset mikäli näin ei ole. Tämän jälkeen suunnittelija pystyy jatkamaan työtään, ja voi palata halutessaan takaisin työkaluun, mikäli tarve niin vaatii.



Pipe			
Choose nominal pressure	PN	PN25	
Choose nominal size	DN	DN40	
Inner dia	d1 (DN)	DN25 DN32 <b>DN40</b> DN50 DN65 DN80 DN100 DN125	m
Flange			
Outer Dia	D		m

**Kuva 9.** Suunnittelija valitsee nimellispaineen (Nominal pressure) sekä sen nimelliskoon (Nominal size) tiputusvalikosta.

PN25														helper 1	helper 2	helper 3			
Pipe	Flange			Neck				Raised Face		Bolts	Aprox. Weight								
DN	d1 (DN)	D	b	k	h1	d3 (DN)	s	r	h2	d4	f	#	Dia. of bo	Nominal c	d2	kg			
DN10	14 (17.2)	90	-		60	35	25 (28)	1.8	4	6	40	2	4 M12	12	14	0.72	1		6
DN15	20 (21.3)	95	16		65	38	30 (32)	2	4	6	45	2	4 M12	12	14	0.81	2		
DN20	25 (26.9)	105	18		75	40	38 (40)	2.3	4	6	58	2	4 M12	12	14	1.24	3		
DN25	30 (33.7)	115	18		85	40	42 (45)	2.6	4	6	68	2	4 M12	12	14	1.38	4		
DN32	38 (42.4)	140	18		100	42	52 (56)	2.6	6	6	78	2	4 M16	16	18	2.03	5		
DN40	44.5 (48)	150	18		110	45	60 (64)	2.6	6	7	88	3	4 M16	16	18	2.35	6	6	
DN50	57 (60.3)	165	20		125	48	72 (75)	2.9	6	8	102	3	4 M16	16	18	3.2	7		
DN65	76.1	185	22		145	52	90	2.9	6	10	122	3	8 M16	16	18	4.29	8		
DN80	88.9	200	24		160	58	105	3.2	8	12	138	3	8 M16	16	18	5.88	9		
DN100	108 (114)	235	24		190	65	128 (134)	3.6	8	12	162	3	8 M20	20	23	7.54	10		
DN125	133 (139)	270	26		220	68	155 (162)	4	8	12	188	3	8 M24	24	27	10.8	11		

**Kuva 10.** Työkalu hakee olemassa olevasta datasta laippavalintaan perustuvat arvot. Tässä tapauksessa nimellispaineella PN25 ja nimelliskoolla DN40.

<b>Gasket</b>			
Medium temp	t	150	°C
Suitable material	NBR		
Outer dia	EPDM		
Inner dia	NBR		
Thickness	s	1.5-2.0	mm

**Kuva 11.** Suunnittelija valitsee väliaineen lämpötilan (medium temperature), jonka jälkeen työkalu antaa siihen sopivat tiivistinmateriaali vaihtoehdot (Suitable material). Työkalu hakee tiivistimen tiedot samalla prosessilla kuin kuvassa 10.

<b>Pipe</b>																	
Choose nominal pressure	PN	PN25															
Choose nominal size	DN	DN40															
Inner dia	d1 (DIN ISO)	44.5 (48.3) mm															
<b>Flange</b>			<p><b>Notice, this tool only calculates welded slip on flange connections</b></p> <table border="1"> <tr> <td>Approx bolt torque</td> <td>M</td> <td>29.1 Nm</td> </tr> <tr> <td>Sealing force required</td> <td>F2</td> <td>12421.8 N</td> </tr> <tr> <td>Hydrostatic pressure+sealing force</td> <td>F1</td> <td>34683.2625 N</td> </tr> <tr> <td>Greater force divided by bolt count</td> <td>F1/F2</td> <td>8670.815625 N</td> </tr> </table>			Approx bolt torque	M	29.1 Nm	Sealing force required	F2	12421.8 N	Hydrostatic pressure+sealing force	F1	34683.2625 N	Greater force divided by bolt count	F1/F2	8670.815625 N
Approx bolt torque	M	29.1 Nm															
Sealing force required	F2	12421.8 N															
Hydrostatic pressure+sealing force	F1	34683.2625 N															
Greater force divided by bolt count	F1/F2	8670.815625 N															
Outer Dia	D	150 mm															
Thickness	b	18 mm															
Bolt circle dia	k	110 mm															
Raised face	f	3 mm															
Raised face dia	d4	88 mm															
<b>Bolts</b>																	
Bolt qty	#	4															
Bolt type	MX	M16															
Nominal dia of bolt	d	16 mm															
Dia of hole	d2	18 mm															
Lubrication		Machine oil															
Bolt material																	
<b>Gasket</b>																	
Medium temp	t	120...200 °C															
Suitable material		EPDM															
Outer dia		92 mm															
Inner dia		49 mm															
Thickness	s	1.5-2.0 mm															

**Kuva 12.** Työkalu tulostaa käyttäjälle kirjastosta haetut arvot. Ja laskee suunnittelijan tarvitsemat arvot.

### 3.3.3. Työn lopputulos

Suunnittelun ja prosessin tuloksena luotiin konsepti kaikille tiivistekomponenteille. Idea on kaikissa Excel -taulukoissa sama, vaihtoehdot etsitään/haetaan datakirjastosta kriteerien perusteella, jotka suunnittelija on määritellyt. Datakirjasto on jaettu näiden luokkien/kriteerien perusteella ja ne määrittelevät parhaat mahdolliset tiivistekomponentit mitoituksineen, suunnittelijan kriteereihin pohjautuen. Työkalut antavat vaihtoehtoja, mutta suunnittelijan vastuulle jää valita paras/toimivin komponentti suunnittelun alla olevaan työhön/kohtaan.

Työkalu sijoittuu suunnittelijan ajatuspolkuun, tiedon haun kohtaan, jossa suunnittelija valitsee tiedot ohjelmasta, joka palauttaa vaihtoehdot komponenteista suunnittelijan käytettäväksi. Suunnittelijan vastuulle jää tarkistaa ovatko annetut vaihtoehdot sopivia työn alla olevaan liitokseen. Suunnittelija voi palata työkaluun, niin kauan kunnes komponentit ovat hänen mielestään kohteeseen soveltuvia.

## 4. TULOSTEN ANALYYSI

Tämä luku vastaa työn alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin ja reflektoi niiden kautta työn tavoitteiden saavuttamista yleismaalimallisesta näkökulmasta. Sekä kuinka tutkimuskysymykset ja teoria osio näkyvät case -työssä. Näistä verrokeista muodostetaan analyytinen lopputulos/kokonaisuus, jonka toivotaan auttavan taulukoiden jatkokehityksessä, mikäli se on tarpeellista.

Excel valikoitu työkalun pohjaksi sen mahdollistaman nopean datan käsittelyn ja interaktiivisten taulukoiden käytön takia. Kun käsittelyssä on paljon dataa, joka täytyy ensin hakea kirjastosta ja tämän jälkeen haetuilla tiedoilla täytyy kyetä toimittamaan automatisoituja laskutoimituksia, osoittautui Excelin monipuolisuus tässä suureksi eduksi. Ongelmalliseksi asiaksi muodostui kuitenkin sen kompleksiset ohjelmointitavat, sekä taulukoiden herkkyyys ”hajota”, eli esimerkiksi tiedonhakuosoite tai hakuparametrit saattoivat muuttua pelkällä yhden solun (Excel -ruudun) siirtämisellä.

Lean -ajattelussa pyritään suoraviivaistamaan prosesseja ja vähentämään ei arvoa lisääviä vaiheita. Tässä case -työ onnistuu työkalun muodossa hyvin. Työkalun nopeat pudotustaulukot antavat valmiit valinnat suunnittelijalle, mikä vähentää huomattavasti aikaa. Myös virheen riski laskee, kun valinnat on rajattu työkalu kohtaisiksi. Näin suunnittelija ei voi syöttää virheellistä tietoa itse, vaan kaikki virheet voidaan jäljittää työkaluun. Toki työkalusta puuttuu vielä olennaisia ominaisuuksia, joita suunnittelija tarvitsee työssään. Näitä ominaisuuksia lisäämällä ja työkaluja edelleen kehittämällä pystytään tätä Lean pohjaista kehitystä entisestään parantamaan.

Ensimmäisenä tutkimuskysymyksenä oli: *Mitä on tuotekehitys, sen prosessit ja kehityskohteet?* Tuotekehitys ja sen eri osa-alueet esitettiin ja analysoitiin ensimmäisenä teorialuvussa. Tuotekehitys on olennainen osa yritystä ja sen kilpailukyvyyn ylläpitämistä. Tuotekehityksen tarkoitus on luoda uusia tai parantaa jo olemassa olevia tuotteita. Tuotekehitys jakautuu neljään eri osa-alueeseen, joita ovat strateginen tuotesuunnittelu, tuotesuunnittelu, implementointi sekä huolto. Kaikki nämä tuotekehitysprosessin osa-alueet auttavat luomaan mahdollisimman toimivan tuotteen

loppukäyttäjille. Tämä työ kuitenkin keskittyi case -työn luonteen vuoksi erityisesti suunnitteludokumentaatioprosessiin sivuten kuitenkin muita osa-alueita teorialuvun alussa. Tämän vuoksi myös analysoidessa tuotekehitysprosessin kehittämistä, työ keskittyi pääosin suunnitteludokumentaatioprosessiin, vaikka muitakin osa-alueita on mahdollista kehittää.

Työn lähtökohtana oli tehostaa tuotekehitysprosessia vähentämällä niitä suunnitteludokumentaatioprosessista vaiheita, jotka ovat työläitä sekä turhaa toistoa vaativia. Näin saataisiin poistettua yksittäiseltä suunnittelijalta aikaa vieviä vaiheita, mutta lisäksi mahdollisesti vähennettäisiin yksilökohtaisia virheitä ja yhtenäistettäisiin mitoitusprosessia. Mahdollisena lisänä olisi reklamaatioprosessien jäljittäminen työkalupohjaisiin virheisiin suunnittelijan sijaan. Tällä prosessin tehostamisella toivottaisiin olevan myös yrityksen kannalta taloudellista hyötyä. Työkaluissa tämä virhemarginaalin laskeminen ja prosessien nopeuttaminen on toteutettu valikkopohjaisena ratkaisuna. Valikoilla pystytään suunnittelijan valinnat rajaamaan niin, että käyttö on nopeaa ja käyttäjä lähtöiset virheet saadaan poistettua.

Toisena tutkimuskysymyksenä oli: *Miten tuotekehitystä on mahdollista tehostaa?* Tutkimuksessa havaittiin Lean -ajattelun tukevan tuotekehitysprosessin kehittämistä ja sen onnistumisesta löytyy tuotekehityksen lähihistoriasta monia esimerkkejä. Case -työn voidaan havaita täyttävän Lean -ajatteluun pohjautuvia teorioita prosessien suoraviivaistamisessa, vaikka työ onkin vielä konsepti vaiheessa. Case -työ tuo selvästi huomattavaa etua suunnittelijalle jo tässä mallissa, nopeuttaen jo osittain työn tekoa. Se suoraviivaistaa ja yksinkertaistaa prosesseja, jotka saattaisivat vaatia niin kokemattomalta, kuin kokeneeltakin suunnittelijalta aikaa ja toistoa.

Viimeisenä tutkimuskysymyksenä oli: *Millä tavoin suunnitteludokumentaatioprosessia on mahdollista kehittää?* Tuotekehityksen kehittämisen mahdollistavat toimet tulevat esiin tutkimuksen aikana. Teoria osio avaa syitä miksi prosessien kehittäminen ja muokkaaminen on yrityksen toiminnan osalta tärkeää, jossa jo yksinkertaisten pienten osa-alueiden tehostaminen, kuten case -työn elementtien mitoitus ja laskenta, voivat vaikuttaa prosessin tehokkuuteen pitkällä aikavälillä. Kuitenkin on tiedostettava työn olevan vielä konsepti, eikä konkreettisia tuloksia prosessien tehostumisesta tai sen vaikutuksista ole saatavilla. Työkalujen laajentaminen on mahdollista niiden tietokirjasto pohjaisen rakenteen vuoksi, joka mahdollistaa tietojen lisäämisen, kirjastoja

laajentamalla. Nämä tuovat kuitenkin mukaan virheen mahdollisuuden, sillä tietoja kirjastoon syötettäessä on varmistettava niiden olevan esimerkiksi samoista standardi mitoista ja mittayksiköistä.

Kokonaisuudessaan työ vastaa kaikkiin johdannossa esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Lisäksi case -työssä oli mahdollisuus ajautua epäedulliseen tilanteeseen suunnittelijan kannalta ensimmäisen toteutusvaihtoehdon, eli Excel -taulukon ja PDF -tiedoston yhdistämisen, vuoksi. Onneksi yhtenä case -työn vaiheena oli kuitenkin tutkia parhaita tapoja suunnittelijan, eli ratkaisun ”asiakkaan”, kannalta. Tämä mahdollisti entistä toimivamman ratkaisun löytämiseksi. Jotta toimiva ratkaisu oli mahdollista löytää, tuki teoriaosio tässä case -työtä. Case -työ sekä teoriaosuus siis osoittivat, että tutkimuskysymyksiin liittyviä ongelmia on mahdollista ratkaista ja pienelläkin kehittämisellä on mahdollista parantaa tuottavuutta.

## 5. POHDINTA

Kuten teorialuvussa todetaan, tuotekehitys on olennainen osa yrityksiä ja niiden selviytymistä omalla toimialallaan. Sen suorittamiseen vaaditaan paljon resursseja niin ajallisesti, rahallisesti kuin henkilöstössäänkin, mutta sen suorat edut, oikein toteutettuna, tuovat yritykselle ja sen kasvuun selvästi taloudellista etua. Tämä oikeuttaa resurssien käytön tuotekehitykseen ja kannustaakin siihen.

Vaikka suunnitteludokumentaatioprosessi on vain yksi osa koko tuotekehitystä, on se kuitenkin ajallisesti vaativin osa tuotekehitysprosessia. Tämän vuoksi Lean -ajattelumallia hyödyntämällä pyritään suunnitteludokumentaatioprosessia tehostamaan vähentämällä toistoa sekä aikaa vaativia työvaiheita. Tällä suunnitteludokumentaatioprosessin tehostamisen seurauksena vaikutetaan koko tuotekehitysprosessiin. Tehostamisella pyritään vähentämään tuotekehitysaikaa, karsimatta laatua sekä lisäämättä kustannuksia. Tämä muutos on mahdollista saada aikaan standardisoimalla työläitä yksinkertaisia vaiheita prosessista. Näin ollen pystytään prosessia nopeuttamaan, laatua vähentämättä, ja samalla saadaan karsittua yksilökohtaiset tekijät, kuten suunnittelija kohtaiset virheet ja työskentelytavat, mikä säästää taas aikaa reklamaatio tapauksissa tai prototyyppien kehityksessä.

Case -työn kattaessa vain pienen osan koko suunnitteludokumentaatioprosessista, on sillä tärkeä osa prosessin kehittämisessä. Konsepti on tehty minimoimaan inhimillisiä virheitä, sekä vähentämään toistoa vaativia työvaiheita, kuitenkin antaen suunnittelijalle vapauden valita työhönsä paras ratkaisu. Kriteereihin on määrätty komponentin mitoituksen ja valinnan kannalta tärkeitä määritelmiä, jotka suunnittelijan oletetaan jo tietävän suunnittelutyön alkaessa. Case -työ siis selkeästi osoittaa, että pieniä prosesseja kehittämällä, koko suunnitteludokumentaatioprosessia sekä tuotekehitystä kokonaisuudessa on mahdollista tehostaa.

Case -työ on vielä konsepti, joka vaatii kehittämistä, muun muassa työkalujen käyttöalueiden laajuudessa sekä monimuotoisuudessa. Case -työ tarjoaa kuitenkin tukevan pohjan tuotekehityksen kehittämiseksi ja siitä on hyvä jatkaa tuotekehityksen ja sen prosessien suoraviivaistamista ja

tehostamista. Jotta prosesseja saataisiin tehostettua ja suoraviivaistettua, tukemaan paremmin Lean - ajattelua, on konseptin käyttöä laajennettava sekä testattava käytännössä enemmän.



## LÄHTEET

Abrahamsson, P. Ebert, C & Oza, N. 2012. Lean Software Development. IEEE Software 29:5. s. 22-25. Saatavissa: <https://www.computer.org/csdl/magazine/so/2012/05/mso2012050022/13rRUzpz0>

ANSI/ASME B.1.20.1-1983. 2001. Pipe threads, general purpose (inch). The American society of mechanical engineers. United Engineering Center.

Bhuiyan, N. 2011. A framework for successful new product development. Journal of Industrial Engineering and Management. 4:4, s.746-770.

Bjarnoe, O-C. 2006. Lean thinking in product development. European Productivity Conference (EPC 2006), s.44-46.

Bickford, J. H. 1997. Gaskets and Gasketed Joints. 1. painos. ISBN 0-8247-9877-5

Brattström, A. Löfsten, H & Richtnér, A. 2012. Creativity, trust and systematic processes in product development. Research Policy, 41:4, s.743-755.

Clark, K. B. Chew, W. B. Fujimoto, T. Meyer, J. & Scherer, F. M. 1987. Product development in the world auto industry; comments and discussion. Brookings Papers on Economic Activity. s.729-781.

Coleman, H. 2008. LEAN THINKING. Electrical Wholesaling. 89:3. s.63-64.

European Sealing Association & Fluid Sealing Association. 2017. Gasket Handbook 1. painos. 138s.

Flickr 2020. Tietoa tuotekehityksen eri osa-alueista. [Viitattu 20.5.2020] Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/limelightleads/36300124862/>

Jokinen, T. 2014. Tuotekehitys 6. painos. [Viitattu 18.5.2020] 201 s. Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>

Kihn, J. 2012. Bringing lean thinking to R&D: Jean-Claude Kihn. *Research Technology Management*, 55:5, s.68.

Koufterosa, X. Lu, G. Peters, R.C. Laid, K. Wong, C. Cheng, E. 2014. [Viitattu 23.4.2020] Product development practices, manufacturing practices, and performance: A mediational perspective. *International Journal of Production Economics*. s.89-97.

Oberg, E. Jones, F.D. Horton, H.L. & Ryffel, H.H. 2004. 27th Edition Machinery's Handbook. Industrial Press Inc. New York. 2640 s.

Shigley, J.E. & Mischke, C.R. 1996. Standard handbook of machine design 2. painos. McGraw-Hill Publishing Company. 1716 s.

SFS-EN 1591-1. 2014. Flanges and their joints. Design rules for gasketed circular flange connections. Part 1: Calculation. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 76 s.

Valtanen, E. 2007. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä, Gummerus Kirjapaino Oy. 1037 s. ISBN 978-952-9867-32-5.

Teichert, T. von Wartburg, I & Braterman, R. 2006. Tacit meaning in disguise: Hidden metaphors in new product development and market making. *Business Horizons* 49. s.451-461.

Tyagi, S. Choudhary, A. Cai, X & Yang, K. 2014. Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. *Int. J. Production Economics*. s.202-212.

Zhang, S. Yang, C and Fang, D. 2010. Knowledge Accumulation and Reuse Based on Product Design Guide Management System. 2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. s. 568-571.