

Tuomas Tyni

# MEKANISMIEN SUUNNITTELU CAD-OHJELMISTOILLA TUOTEKEHITYSPROSESSISSA

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tarkastaja: Mikko Vanhatalo  
Toukokuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Tuomas Tyni: Mekanismien suunnittelu CAD-ohjelmistoilla tuotekehitysprosessissa (engl. Design of Mechanisms with CAD Software in the Product Development Process)

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Toukokuu 2021

---

Tuotekehitystoiminta on jo pitkään ollut tärkeässä asemassa tuotteita valmistavien yritysten menestyksessä toiminnassa. Tuotekehityksessä hyödynnetään paljon erilaisia ohjelmistoja ja nykypäivänä tietokoneavusteinen suunnittelu (engl. Computer-Aided Design, CAD) onkin tuotekehitysprosessin yksi keskeisimmistä työkaluista. Sen avulla nykypäivän tuotekehitystoiminnassa pyritään vastaamaan tiukkojen aikataulu- ja resurssivaatimusten tuomiin haasteisiin. Tässä työssä tutkitaan CAD-ohjelmistojen tarjoamia hyötyjä mekanismien suunnitteluun tuotekehityksen näkökulmasta. Työn tavoitteena on selvittää eri kirjallisuuslähteisiin pohjautuen, millä eri tavoin ja missä eri tuotekehitysprosessin vaiheissa CAD-ohjelmistojen sisältämiä työkaluja voidaan hyödyntää mekanismeja suunniteltaessa.

Kandidaatintyössä perehdytään kirjallisuuskatsauksen muodossa erillisinä kokonaisuuksina mekanismeihin, 3D-suunnitteluun, CAD-ohjelmistoihin ja tuotekehitykseen. Lopuksi näitä käsitellään yhdessä ja selvitetään työn päätavoitteen mukaisesti, millä tavalla CAD-ohjelmistoja käytännössä hyödynnetään tuotekehitysprosessin aikana ja mitkä ovat sen avulla saavutettavat keskeisimmät hyödyt. Tutkimuksen perusteella tunnistettiin, että CAD-ohjelmistoja voidaan hyödyntää hyvin laajasti lähes jokaisessa tuotekehitysprosessin vaiheessa.

Merkittävimpiä hyötyjä ovat esimerkiksi tuotekehitysprosessiin sitoutuvien kustannuksien alentaminen ja yksittäisiin tuotekehitysprojeekteihin kuluvan ajan vähentäminen. Mekanismien suunnittelun kannalta yksi CAD-ohjelmistojen käytöllä saavutettavista keskeisimmistä hyödyistä on niiden avulla mallinnettujen kokoonpanojen analysointi. Mallinnettujen kokoonpanojen mekanismien toimintaa ja yhteensopivuutta muuhun tuotteen rakenteeseen on helppo tutkia. Lisäksi CAD-ohjelmistot tarjoavat monia muitakin hyödyllisiä ominaisuuksia mekanismien sekä koko muun tuotteen suunnitteluun. Ne esimerkiksi toimivat kommunikointialustana suunnitteluun osallistuvien osapuolien välillä sekä tehostavat suunniteltavan tuotteen markkinointia ja tuotantoa.

Avainsanat: Mekanismi, suunnittelu, CAD-ohjelmisto, tuotekehitys.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. KONEENSUUNNITTELU .....	3
2.1 Mekanismit.....	3
2.1.1 Mekanismien perusteet.....	3
2.1.2 Yleisiä mekanismityyppejä .....	5
2.1.3 Mekanismien suunnittelu.....	7
2.2 3D CAD-ohjelmistot suunnittelutyössä .....	8
2.2.1 3D-suunnittelu.....	9
2.2.2 CAD-ohjelmistojen perusteet .....	10
3. TUOTEKEHITYSPROSESSI .....	13
3.1 Tuotekehitys .....	13
3.2 Tuotekehitysprosessimallit .....	16
3.2.1 Ulrichin ja Eppingerin tuotekehitysprosessimalli .....	17
3.2.2 Pahlin ja Beitzin tuotekehitysprosessimalli .....	19
3.3 Prototyypit tuotekehityksessä.....	21
3.4 Tuotekehityksen osapuolet.....	22
4. CAD-OHJELMISTOT TUOTEKEHITYKSEN TUKENA.....	25
4.1 CAD-ohjelmistojen hyödyt konseptointivaiheessa .....	25
4.2 CAD-ohjelmistojen hyödyt systeemi- ja detaljisuunnitteluvaiheessa ...	27
4.3 CAD-ohjelmistojen hyödyt testaus- ja parannusvaiheessa sekä tuotannossa.....	29
5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	31
LÄHTEET .....	35

# KUVALUETTELO

<i>Kuva 1. Poikkileikkauskuva polttomoottorista ja ääriviivoilla hahmoteltu mäntää liikuttava kampimekanismi (mukailtu Sclater 2011) .....</i>	<i>4</i>
<i>Kuva 2. Tuoteohjelman suunnitteluprosessin vaiheet (mukailtu Ulrich &amp; Eppinger 2012) .....</i>	<i>15</i>
<i>Kuva 3. Tuotekehitysprosessimallin tyypilliset vaiheet (mukailtu Hietikko 2015, s. 46–47) .....</i>	<i>16</i>
<i>Kuva 4. Ulrichin ja Eppingerin kehittämä tuotekehitysprosessimalli (mukailtu Ulrich &amp; Eppinger 2012, s. 14) .....</i>	<i>19</i>
<i>Kuva 5. Pahlin ja Beitzin tuotekehitysprosessimallin vaiheet (mukailtu Pahl &amp; Beitz 1990, s. 47–52) .....</i>	<i>20</i>

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

2D	Kaksiulotteinen
3D	Kolmiulotteinen
AR	engl. Augmented Reality, lisätty todellisuus
CAD	engl. Computer-Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
DFA	engl. Design for Assembly, kokoonpantavuuden suunnittelu
DOF	engl. Degree of Freedom, vapausaste
FEM	engl. Finite Element Method, Elementtimenetelmä
NC	engl. Numerical Control, numeerinen ohjaus
Sketch	Piirustus
SolidWorks	Yhdysvaltalainen suunnitteluohjelmisto
VR	engl. Virtual Reality, virtuaalinen todellisuus

# 1. JOHDANTO

Teollisen yrityksen strategisesta näkökulmasta tuotekehitys on yksi sen tärkeimmistä menestyksen osatekijöistä. Tuotekehityksen avulla tuotteita valmistavat yritykset pyrkivät kehittämään joko olemassa olevia tai täysin uusia tuotteita siten, että ne vastaavat mahdollisimman hyvin tuotteen kohderyhmän tarpeisiin. Monivaiheisen tuotekehitysprosessin hallinta koetaan usein hankalaksi, koska sen muoto vaihtelee paljon tapauskohtaisesti ja yrityksittäin. Lisäksi etenkin uusia innovaatioita kehitettäessä ollaan usein tekemisissä hankalasti ennustettavien tai täysin tuntemattomien asioiden parissa. Tuotekehitysprosessien suorittamiseen on kuitenkin kehitetty erilaisia tuotekehitysprosessimalleja, joiden avulla prosessia pyritään selkeyttämään ja tehostamaan. Lisäksi tuotekehitystoiminnan projektimaisen luonteen takia on sen hallintaan sovellettavissa myös useita projektinhallinnan työkaluja. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 2–7; Hietikko 2020, s. 12–18)

Viimeisien vuosikymmenien aikana tietokoneavusteiset suunnitteluohjelmistot (engl. CAD, Computer-Aided Design) ovat kasvattaneet merkittävästi osuuttaan suunnittelutyössä. Tämän ovat mahdollistaneet yhä tehokkaammat ja halvemmat tietokoneet. Tietokoneiden kehittyessä myös CAD-ohjelmistojen hinnat ovat laskeneet ja suorituskyky parantunut. Myös CAD-ohjelmistojen 3D-suunnitteluominaisuuksien ja parametrisen piirremallinnuksen kehittyminen on mahdollistanut CAD-ohjelmistojen laajemman hyödyntämisen suunnittelun apuvälineenä. (Hietikko 2020, s. 12–18)

Määrämuotoista ja tavoitteellista tuotekehitystoimintaa on harjoitettu jo 1940- ja 50-luvun vaihteesta alkaen, jolloin tuotekehitykseen tieteenalana ryhdyttiin panostamaan ja ensimmäiset merkittävät tieteelliset teokset siihen liittyen julkaistiin. (Jokinen 2001, s. 9–11) Myös ensimmäiset CAD-ohjelmistot julkaistiin jo 1960-luvulla, mutta laajempaan käyttöön tuotekehityksen apuvälineenä ne yleistyivät vasta 2000-luvulla, kun tietokoneet ja CAD-ohjelmistot olivat riittävän kehittyneitä tehokkaaseen suunnittelutyöhön. (Hietikko 2020, s. 10–14) Nykypäivänä tuotekehitystoimintaa joudutaan toteuttamaan yhä nopeammalla aikataululla ja rajallisemmilla resursseilla. Tämän takia tuotekehityksen tukena pyritään käyttämään erilaisia työkaluja ja menetelmiä mahdollisimman laajasti. Jotta esimerkiksi CAD-ohjelmistojen mahdollistamia ominaisuuksia tuotekehityksessä pystytään hyödyntämään, täytyy niiden käyttömahdollisuudet tuntea hyvin.

Tämän työn tavoitteena on selventää kirjallisuuskatsauksen muodossa, missä tuotekehitysprosessin eri vaiheissa CAD-ohjelmistojen tarjoamia työkaluja voidaan hyödyntää ja millä tavalla. Työssä keskitytään tuotekehityksen osalta erityisesti mekanismien suunnitteluun ja tuotekehitysprosessimalleja käsiteltäessä viitataan pääsääntöisesti Ulrichin ja Eppingerin kehittämään tuotekehitysprosessimalliin.

Tämän työn luvussa 2 käsitellään teoriaa eri kirjallisuuslähteisiin pohjautuen mekanismeista ja CAD-ohjelmistoista. Mekanismeihin liittyen luvussa käsitellään niiden perusteita, suunnittelussa huomioitavia asioita sekä yleisimpiä mekanismityyppejä. CAD-ohjelmistoista käsitellään niiden sisältämiä ominaisuuksia sekä 3D-mallinnukseen liittyviä perusteita. Työn kolmannessa luvussa perehdytään tarkemmin tuotekehitysprosessiin ja sen malleihin. Neljäs luku käsittelee CAD-ohjelmistojen hyödyntämistä tuotekehitysprosessin eri vaiheissa. Viidennessä luvussa summataan edellisissä luvuissa tehdyt keskeisimmät päätelmät ja johtopäätökset.

## 2. KONEENSUUNNITTELU

Nykypäivän modernit ja kehittyneet valmistusmenetelmät mahdollistavat yhä monimutkaisempien mekanismien ja koneiden valmistamisen. Näiden suunnittelutyötä helpottamaan on nykypäivänä kehitetty lukuisia eri työkaluja, kuten esimerkiksi CAD-ohjelmistot. Jotta CAD-ohjelmistojen tarjoamia hyötyjä mekanismien suunnittelussa voidaan tutkia, on ymmärrettävä mekanismien vaatimukset ja rajoitteet.

Pahlin ja Beitzin (1990) määritelmän mukaan koneensuunnittelu eli konstruointi on hyvin moniulotteista toimintaa. Se on kytköksissä useisiin tieteenaloihin kuten matematiikkaan ja fysiikan eri osa-alueisiin, kuten mekaniikkaan ja termodynamiikkaan. Lisäksi eri valmistustekniikat, opit materiaaleista, koneenosista, yritystaloudesta ja viestinnästä ovat tärkeitä asioita koneensuunnittelussa ja siksi ne liittyvät oleellisesti myös mekanismien suunnitteluun. (Pahl & Beitz 1990, s. 20) Tässä työssä keskitytään koneensuunnitteluun liittyen mekanismeihin sekä niiden suunnitteluun. Alaluvussa 2.1 käsitellään perusteita mekaanisista mekanismeista ja alaluvussa 2.2 käsitellään CAD-ohjelmistoja yleisellä tasolla.

### 2.1 Mekanismit

Monimutkaiset koneet, kuten lentokoneet, laivat tai paperikoneet, sisältävät monia mekanismeja. Kuitenkaan ei ole yhtä ilmeistä, että nykypäivänä monet kulutustuotteet, kuten lelut, kodinelektroniikka ja muut yksinkertaiset arjenhyödykkeetkin, sisältävät myös mekanismeja. Hyviä esimerkkejä tällaisista ovat työkalut, kuten ruuvimeisselit, pihdit, sakset ja vasarat, jotka ovat jo itsessään mekanismeja. (Sclater 2011)

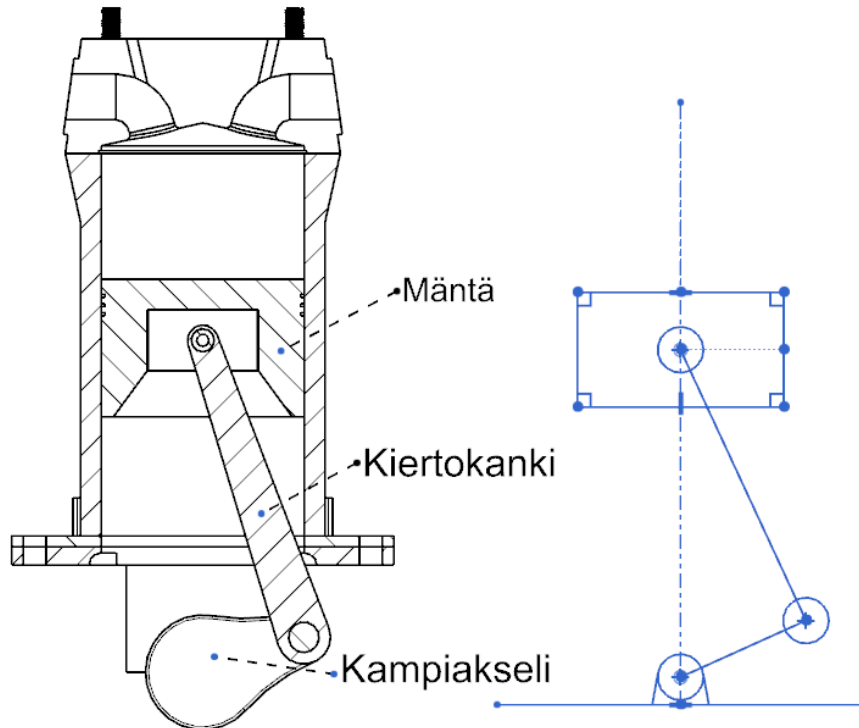
#### 2.1.1 Mekanismien perusteet

Sanalla mekanismi on eri merkityksiä. Tutkielmassani mekanismilla tarkoitetaan mekaanista systeemiä, joka koostuu yhdistelmästä jäykkiä kappaleita, joilla on tarkoitus välittää-, kontrolloida- tai rajoittaa kappaleiden suhteellista liikettä. (Mostafa 2013, s. 1)

Usein mekanismeista puhuttaessa arkikielellä sekoitetaan mekanismien ja koneiden merkitys. Tekniikan alalla koneella tarkoitetaan järjestelmää, joka muuttaa energiaa työksi (Sclater 2011). Työn tekeminen on siis edellytys koneille, mutta vain harvat mekanismit kykenevät tekemään työtä. Esimerkiksi, jos ajatteleme moottoria kokonaisuutena, se on kone, joka muuttaa polttoaineeseen sitoutunutta energiaa liike-energiaksi,



jonka avulla voidaan tehdä työtä. Mutta jos katsomme moottoria vain siihen liittyvän liikkeen näkökulmasta, on se silloin mekanismi. (Mostafa 2013, s. 1) Kuvassa 1 on esitetty poikkileikkaus moottorin kampimekanismista ja sen mekanismin rautalankamalli.



**Kuva 1.** Poikkileikkauskuva polttomoottorista ja ääriviivoilla hahmoteltu mäntää liikuttava kampimekanismi (mukailtu Sclater 2011)

Koneiden ja koneistojen suorituskykyä tarkastellaan niiden hyötysuhteen ja mekaanisen edun näkökulmasta. Hyötysuhteella tarkoitetaan systeemin tuottaman ja ottaman energian tai voiman välistä suhdetta. Vaikka koneilla on mahdollista tuottaa suurempia voimia kuin niiden käyttämiseen vaaditaan, pätee se vain voimien suhteen. Energiansäilymislain mukaan systeemiin tuodun ja siitä poistuvan energian määrä on vakio. Kun huomioidaan koneisiin vaikuttavat reaalimaailman vaikutukset, kuten kitka, voidaan todeta, että koneilla tuotettu energia on aina pienempi kuin niiden ottama energia. (Sclater 2011)

Mekaanisella edulla tarkoitetaan mekanismien välityksellä vaikutettavan kuorman ja sen kontrolloimiseen vaadittavan voiman suhdetta. Mekaaninen etu voidaan määrittää myös esimerkiksi systeemiin tulevan ja siitä lähtevän momenttien suhteenä. (Simón Mata et al. 2016, s. 15) Esimerkiksi, jos henkilö nostaa taljan avulla 500 kg painavaa kuormaa ja tarvitsee tämän nostamiseen vain 10 kg verran nostovoimaa, kutsutaan tätä järjestelmän aikaansaamaksi mekaaniseksi eduksi. Mekaaninen etu ei kuitenkaan ota huomioon muita mekanismin aiheuttamia vaikutuksia. Työn laskukaavan ja edellisen esimerkin mu-

kaisesti, jos kuorman liikuttamiseen vaadittavan voiman määrä vähenee taljan vaikutuksesta, täytyy taljan käyttäjän vetää köyttä pidempi matka kuorman nostamiseksi samalle korkeudelle kuin ilman taljaa.

Usein yksinkertaisten koneiden ja mekanismien tarkoituksena on välittää ja muokata liikettä sekä voimia kohteiden välillä. Pyrkimyksenä on yleensä esimerkiksi manipuloida liikeratojen laajuuksia ja muotoja, kuten muuntaa pienempi liike suuremmaksi tai päinvastoin. Tätä ominaisuutta kutsutaan nopeussuhteeksi ja se määritellään mekanismeissa liikkeen aikaansaavan ja mekanismin liikuttaman osan sekunnissa kulkemien matkojen suhteena. (Sclater 2011)

Mekanismit soveltuvat laajasti eri käyttötarkoituksiin. Erityisen käyttökelpoisia ne ovat ympäristöolosuhteiltaan hankalissa tilanteissa, sillä ne eivät yleensä ole erityisen herkkiä värinälle, magnetismille, korroosiolle tai muille häiriötekijöille. Ohjauksjärjestelmissä mekanismit ovat hitaita. Järjestelmästä riippuen niiden vasteajat ovat muutamista sekunnin kymmenesosista muutamiin sekunteihin. Tehon välittäjinä mekanismit toimivat laajalla alueella aina muutamista milliwateista satoihin kilowatteihin. Mekanismien avulla pystytään myös mahdollistamaan melko hyvät liiketarkkuudet. Hienomekaanisissa mekanismeissa liiketarkkuudet voivat olla millimetrien sadasosien luokkaa. Myös konepajateollisuudessa liiketarkkuuksiin voidaan vaikuttaa valmistustoleranssien avulla. Mekanismien liiketarkkuuksia suunniteltaessa on huomattava, että useita toleroituja mittoja sisältävissä mekanismeissa virheet kertyvät. Esimerkiksi useasta nivelestä koostuvassa vipumekanismissa koko mekanismin toimintatarkkuus on jokaisen nivelen toleranssien summaan verrannollinen. (Blom et al. 2001, s. 299–300)

### **2.1.2 Yleisiä mekanismityyppejä**

Koneensuunnittelussa mekanismilla tarkoitetaan järjestelmää, joka koostuu ”elimistä”, joita ovat esimerkiksi erilaiset kiinteät kappaleet, jouset, hihnat ja muut vastaavat rakenteet, jotka pystyvät välittämään liikettä ja voimaa. Mekanismin elimet kiinnittyvät toisiinsa erilaisin liitoksien ja nivelien muodostaen kinemaattisia pareja, ja edelleen kinemaattisia pareja yhdistämällä muodostuu kinemaattisia ketjuja. Kinemaattiset parit välittävät liikettä ja voimaa mekanismin elinten välillä, ja näin kinemaattinen ketju voi siis liikkua mielivaltaisesti sen muodostavien kinemaattisten parien sallimissa rajoissa. Näin ollen tarkempi määritelmä mekanismille on seuraava: mekanismi on kinemaattinen ketju, joka muodostaa suljetun piirin ja jonka liikemahdollisuudet ovat ennalta määritellyt. (Blom et al. 2001, s. 300–301)

Mekanismit voidaan jakaa taso- ja avaruusmekanismeihin, niiden sisältämien jäykkien kappaleiden liikemahdollisuuksien mukaan. Tasomekanismeissa kappaleiden suhteelliset liikkeet tapahtuvat kaksiulotteisesti joko yhdellä tai samansuuntaisilla tasoilla, kun avaruusmekanismeissa kappaleiden suhteelliset liikkeet ovat kolmiulotteisia, eivätkä rajoitu pelkästään yhdelle tai samansuuntaisille tasoille. (Sclater 2011)

Mekanismit mahdollistavat liikkeen välittämisen melko monimutkaisien ratakäyrien mukaisesti. Usein mekanismeilla muutetaan liikkeen mittasuhteita ja suuntia esimerkiksi monissa koneissa pyörivä liike pitää muuttua edestakaiseksi lineaariliikkeeksi. Aikanaan mekanismit olivat myös pääasiallinen keino laitteiden automaation toteuttamisen. Nykypäivänä laitteiden automatisointi toteutetaan kuitenkin pääosin muilla keinoilla. Mekanismit ovat edelleen edullisin tapa välittää liikettä, voimaa ja informaatiota paikasta toiseen. Yleisesti koneenrakennuksessa käytettäviä mekanismityyppejä ovat esimerkiksi vipu-, nokka- sekä tappi-hahlopyörämekanismit. (Blom et al. 2001, s. 299)

Vipumekanismit, toiselta nimeltään nivelmekanismit, koostuvat yhteen liitetyistä vivuista, jotka muodostavat pakkoliikkeisiä kinemaattisia ketjuja. Vipumekanismeissa mekanismin elimet ovat tyypillisesti liitettynä toisiinsa erilaisin nivel- tai luistiparein. Vipumekanismeja hyödynnetään lukuisissa käyttökohteissa ja tyypillisesti niillä muunnetaan järjestelmissä pyörivää liikettä suoraviivaiseksi liikkeeksi tai päinvastoin. Yksi yleisimmistä vipumekanismien tyypeistä on yksinkertainen nivelnelikulmio. (Blom et al. 2001, s. 306–310)

Nokkamekanismi koostuu nokasta ja seuraajasta. Nokkamekanismit voidaan jakaa mekanismin liikettä ohjaavan nokan muodon perusteella kolmeen eri päätyyppiin, jotka ovat levynokat, taso-ohjaimet ja lieriöohjaimet. Kaikilla näillä nokkatyypeillä muunnetaan pyörivää liikettä edestakaiseksi suoraviivaiseksi tai heilurimaiseksi liikkeeksi. Yksi tunnetuimmista nokkamekanismien sovelluskohteista on nelitahtisten moottoreiden venttiilikoneistoa käyttävä nokka-akseli mekanismi. Nokan liikettä seuraavan elimen eli seuraajan täytyy seurata pakkoliikkeisesti nokkaa koko liikkeen ajan. Tämä vaatimus voidaan toteuttaa esimerkiksi jousikuormalla tai kaksipuolisella seuraajalla. Lisäksi seurailijat voivat sijaita nokkaan nähden joko keskisesti tai epäkeskeisesti, tasaten ohjaimen muodostuvia taivutusrasituksia. (Blom et al. 2001, s. 317–318)

Tappi-hahlopyörämekanismit koostuvat tappi- ja hahlopyörästä. Tappi-hahlomekanismeilla toteutetaan tyypillisesti jaksottaista liikettä, joka vaihtelee lepotilan ja halutun liikkeen välillä. Tämän kaltaista liikettä tarvitaan esimerkiksi useissa kuljetin- ja annostelulaitteissa. Tappi-hahlomekanismit jaetaan kolmeen päätyyppiin, jotka ovat ulkopuolinen, sisäpuolinen ja pallomainen mekanismi. Ulkopuolisessa tappi-hahlopyörämekanismissa

mekanismille voiman tuovan tappipyörän tappi menee hahlopyörän haloon pyörän ulkokehältä. Sisäpuolisessa tappi-hahlomekanismissa tilanne on päinvastainen. Pallomaisessa tappi-hahlopyörämekanismissa tappi- ja hahlopyörän akselit sijaitsevat toisiinsa nähden suorassa kulmassa, ikään kuin kulmavaihteessa. Tämän kaltaista rakennetta käytetäänkin usein silloin, kun tarvitaan kulmavaihdetta halvempi ja huoltovapaampi ratkaisu, jolta ei vaadita suurta toimintatarkkuutta. (Blom et al. 2001, s. 320–322)

### 2.1.3 Mekanismien suunnittelu

Mekanismit kuuluvat oleellisesti mekaniikan alaisuuteen. Mekaniikka tieteenalana on yksi fysiikan osa-alueista, joka käsittelee aikaa, liikettä ja voimia. Tekniikan alalla mekaniikka jaetaan yleisesti kahteen osa-alueeseen statiikkaan ja dynamiikkaan. Lisäksi dynamiikka jaetaan kinematiikkaan ja kinetiikkaan. (Simón Mata et al. 2016, s. 1) Mekanismissuunnittelussa näitä kaikkia mekaniikan eri osa-alueita on pyrittävä huomioimaan, jotta suunniteltava lopputulos noudattaisi fysiikan lakeja. Etenkin kinemaattinen tarkastelu monimutkaisten mekanismien suunnittelussa on tärkeää. Tällöin tarkasteltavana voi olla esimerkiksi liike- ja vierintäradat, komponenttien tilantarve järjestelmän käydessä, osien törmäystarkastelu, järjestelmän kestävyys kuormitettuna tai kuorman värähtelyn vaikutus järjestelmään (Tuhola & Viitanen 2008, s. 122).

Kinemaattisia tarkasteluja tehdessä hyödynnetään usein CAD-ohjelmistoja. Usein kinemaattisten tarkasteluiden avulla pyritään juuri tarkastelemaan mekanismien, kuten vivustojen tai hammaspyörien, toimintaa. Lisäksi kinemaattiset tarkastelut ovat koneiden sisältämien mekanismien toiminnan tarkasteluissa hyödyllisiä. Erityisen soveltuvia mekanismien suunnitteluun tueksi kinemaattisista tarkasteluista ovat liikerata-analyytit, joissa tarkoituksena on selvittää, mahtuuko rakenteen osat liikkumaan törmäämättä toiminnan aikana. (Tuhola & Viitanen 2008, s. 122–127)

Mekanismissuunnitteluun liittyy myös muita periaatteita ja koneensuunnittelun metodeja, joita esimerkiksi Slocum (2008) käsittelee MIT:ssäkin (Massachusetts Institute of Technology) opetuksessa käytettävässä verkkoaineistossaan. Näiden metodien tarkoituksena on nostaa esille koneensuunnittelussa huomioitavia asioita, jotta suunniteltavasta tuotteesta saadaan mahdollisimman hyvin käyttötarkoitukseensa soveltuva, luotettava ja turvallinen sekä visuaalisesti houkuttelevan näköinen. Menetelmät sovelletta- vissa laajalti koneensuunnittelun eri osa-alueille, joten ne soveltuvat myös hyvin mekanismissuunnitteluun. Esimerkiksi menetelmät koskien leikkausvoimien vaikutuksia, voiman vientiä, voimien kriittisiä suuntia, stabiiliutta sekä rakenteiden liikkeiden rajoittamista ovat oleellisia asioita myös mekanismeja suunniteltaessa. (Slocum 2008)

Mekanismien suunnitteluun liittyy oleellisesti mekanismien liikemahdollisuuksien eli mekanismien vapausasteiden määrittäminen. Englannin kielellä vapausasteista puhuttaessa käytetään lyhennettä DOF (degrees of freedom). Mikäli mekaniikan elimet ovat liitettyjä keskenään ne muodostavat kinemaattisen parin tai ketjun. Samalla ne myös rajoittavat toistensa liikkeitä. Eri liitokset sallivat kinemaattisille pareille erilaiset ja eri suuntiin kohdistuvat liikemahdollisuudet, eli vapausasteen. Kinemaattisella parilla voi olla enintään kuusi vapausastetta eli jokaisen koordinaattiakselin suunnassa sekä näiden ympäri. Vapausasteiden määrittämiseksi on olemassa kaavoja, joiden muoto riippuu määritettävän mekaniikan tyypistä. Tyypillisesti vapausasteen määrittämiseksi tarvitaan tieto mekaniikan elinten ja niiden yhteisten liikerajoitusten sekä samantyyppisten liitosten lukumäärästä. Näiden tietojen perusteella voidaan laskea mekaniikan vapausaste, joka kuvaa kinemaattisen ketjun liikemahdollisuudet, kun sitä liikutetaan ulkoisella voimalla. (Blom et al. 2001, s. 302–304; Simón Mata et al. 2016, s. 2, 8)

Mekaniikan määrittelyn mukaisesti mekaniikat koostuvat lähes poikkeuksetta useista elimistä eli muodostavat kokoonpanon. Siksi mekaniikoiden suunnittelussa on myös hyödyllistä huomioida niiden kokoonpantavuutta. Kokoonpantavuuden suunnittelun helpottamiseksi on kehitetty tuotekehitysmenetelmä, DFA (Design for Assembly), jonka avulla tuotteen rakennetta pyritään yksinkertaistamaan siten, että tuotteen kokoonpantavuus paranee. DFA:n tavoitteena on vähentää tuotteiden turhien osien lukumäärää, parantaa tuotteen huollettavuutta ja luotettavuutta sekä vähentää tuotteen ympäristönkuormittavuutta yhdistämällä tuotteen osia keskenään ja suunnittelemalla ne siten, että yhdellä osalla pystytään toteuttamaan mahdollisimman monia toimintoja. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 69–71)

## 2.2 3D CAD-ohjelmistot suunnittelutyössä

Tietokoneita on käytetty erilaisissa mallinnustehtävissä jo 1960-luvulta lähtien. Kuitenkin vielä 1970- ja 1980-luvuilla tuotesuunnittelu toteutettiin pääasiallisesti käsin piirtämällä, mikä johtui tietokoneiden ja CAD-ohjelmistojen rajallisista ominaisuuksista sekä kalliista hinnoista. Ensimmäiset CAD-ohjelmistot olivat hyvin kankeita ja rajoittuneita. Ne soveltuivat lähinnä käsin piirrettyjen kaksiulotteisten piirustusten kopioimiseen sähköiseen muotoon. Ensimmäiset kolmiulotteisia suunnitteluominaisuuksia sisältävät CAD-ohjelmistot tulivat markkinoille 1980-luvun alkupuolella. Ne otettiin laajempaan käyttöön kuitenkin vasta vuosikymmenen lopulla, kun ensimmäiset nykypäivänakin käytössä olevaan parametriseen piirremallinnukseen perustuvat ohjelmistot julkaistiin. (Hietikko 2020, s. 14–15)

Viimeisten vuosikymmenten aikana tietokoneet ovat kehittyneet yhä tehokkaammiksi sekä halvemmiksi ja näin mahdollistaneet myös suorituskykyisempien ja monipuolisempien CAD-ohjelmistojen kehittämisen. Tämän ansiosta tuotesuunnittelu ja etenkin mekaniikkasuunnittelu on muuttunut perusteellisesti. Nykypäivän CAD-ohjelmistoja hyödynnetään laajasti tuotteiden suunnittelussa, eikä niiden ominaisuudet rajoitu pelkästään tuotteiden perinteiseen mallintamiseen. (Sclater 2013; Hietikko 2020, s. 11–20)

### 2.2.1 3D-suunnittelu

3D-mallinnusta hyödynnetään hyvin laajalla alueella aina tuotteita valmistavasta teollisuudesta peli- ja elokuvatuotannon eri käyttötarkoituksiin. Jokaiselle alalle on kehitetty omat erikoisohjelmistonsa, termistönsä ja mallinnusmenetelmänsä. (Tuhola & Viitanen 2008, s. 16–17) Tässä työssä keskitytään teollisuudessa käytössä olevaan ja etenkin kone- ja laitesuunnittelussa hyödynnettävään 3D-mallinnukseen.

2000-luvulla tuotteiden 3D-suunnittelu CAD-ohjelmistoilla on kasvattanut osuuttaan merkittävästi. Suunnittelutapana 3D-mallinnus on hyvin tehokasta aikaisemmin käytössä olleisiin 2D-menetelmiin verrattuna. Lisäksi useat 3D-mallit mahdollistavat muitakin tuotekehitystä hyödyttäviä toimintoja pelkän tuotteen muodon mallintamisen lisäksi. 3D-mallinnuksella tarkoitetaan tuotteiden kolmiulotteista suunnittelua. Toisin sanoen tämä tarkoittaa sitä, että suunniteltavan tuotteen eri osat, osakokoonpanot ja kokoonpano näytävät tietokoneella tehtävässä 3D-mallissa niitä vastaavilta fyysisiltä kokonaisuuksilta. Lisäksi 3D-mallille määritetään kaikki ne fyysiset ja mekaaniset ominaisuudet, joita sen halutaan todellisuudessa sisältävän. (Tuhola & Viitanen 2008, s. 13–17)

3D-suunnittelussa malli luodaan kolmiulotteisessa avaruudessa, joka muodostuu x-, y- ja z-koordinaattiakseleista. Mallin luominen tapahtuu karkeasti kuvattuna seuraavien vaiheiden mukaisesti. Ensiksi malliin hahmotellaan suunniteltavan tuotteen tai sen osan karkea luonnos eli sketsi. Sketsi voi olla joko tasolle piirretty 2D-luonnos tai avaruuteen määritetty 3D-käyrä. Tämän jälkeen sketsistä luodaan malli pursottamalla, pyöräyttämällä tai pyyhkäisemällä materiaalia sketsin mukaisesti. Näitä kahta edellä esiteltyä vaihetta toistetaan materiaalia lisäävästi tai poistavasti, kunnes kyseinen osa on halutun mallinen. Jos tuote koostuu useista osista, toistetaan tämä jokaiselle osalle, jonka jälkeen niistä voidaan koota kokoonpanoja. (Tuhola & Viitanen, s. 17–20; Hietikko 2020, s. 23)

3D-mallinnuksessa hyödynnetään pääasiallisesti kolmea eri mallinnusmenetelmää, jotka ovat kappalemallinnus, levymallinnus ja pintamallinnus. Käytettävä menetelmä riippuu suunniteltavan tuotteen piirteistä ja ominaisuuksista. Kappalemallinnuksessa hyö-

dynnetään valmiita muotoja. Mallin pohjana toimii usein jokin umpinainen muoto esimerkiksi kartio, pallo tai mikä tahansa sketsattu muoto, jota muokkaamalla haluttu kappale muodostetaan. Yleisimmät menetelmät, joilla kappaletta muokataan ovat materiaalia lisäävät ja poistavat menetelmät, kuten pursotus, pyöräytys, leikkaus ja poraus. Levymallinnuksessa tavoitteena on suunnitella kappale, joka muodostuu yhtenäisestä levystä. Levymallinnuksessa malliin tehtävät operaatiot ovat hyvin saman kaltaisia kuin oikeillekin levyille tehtävät toimenpiteet, kuten taitokset, kanttaukset, särmäykset ja leikkaukset. Pintamallinnuksessa mallin muoto luodaan erilaisia pintoja hyödyntämällä. Pintamallinnuksella saadaan muotoiltua tuotteeseen monimutkaisia ja hankalia geometrioita, joita esimerkiksi kappalemallinnuksella ei voida tehdä. Pintamallinnuksen avulla suunnitellaan tyypillisesti tuotteita, jotka valmistetaan pursottamalla, valamalla tai muotteja hyödyntäen. (Tuhola & Viitanen 2008, s. 26–30)

### **2.2.2 CAD-ohjelmistojen perusteet**

CAD-ohjelmistot eli tietokoneavusteiset suunnitteluohjelmistot toimivat alustana 3D-mallinnukselle hyödyntäen tietokoneiden matemaattista ja graafista mallinnuskykyä. Tuotekehitysprosessissa CAD-ohjelmistot toimivat suunnittelijan apuvälineenä. Tuotekehitysprosessissa on useita eri osatoimintoja, joissa CAD-ohjelmistojen tarjoamia työkaluja voidaan hyödyntää. Yksi yleisimmistä ja pisimpään käytössä olleista CAD-ohjelmistojen käyttötarkoituksista on tuotteesta tehtävien 2D-piirustuksien luominen. Viimeisen vuosikymmenen aikana CAD-ohjelmistojen 3D-mallinnusominaisuudet ovat kehittyneet sille tasolle, että CAD-mallinnusta hyödynnetään lähes poikkeuksetta tuotteiden suunnittelussa ja tuotekehitysprosessin apuvälineenä. (Hietikko 2015, s. 139–148)

CAD-mallinnukseen liittyy tyypillisesti kolme erilaista mallityyppiä, joita sen avulla tehdään. Ne ovat osamallit, kokoonpanot ja piirustukset. Piirustuksia CAD-ohjelmistoilla luodaan niin yksittäisistä osista kuin myös kokoonpanoista. Osamallit kuvaavat fyysisen tuotteen yksittäistä osaa. Kokoonpanoilla tarkoitetaan toisiinsa liitettyistä osista muodostettuja kokonaisuuksia. Kokoonpanot voivat olla myös tuotteen pienempiä yksittäisiä toimintoja kuvaavia kokonaisuuksia eli osakokoonpanoja. Piirustuksissa esitetään osista ja kokoonpanoista niiden valmistamiseen tarvittavat tiedot pääsääntöisesti 2D-muodossa. Monesti piirustukset sisältävät myös kuvan hahmotettavuuden parantamiseksi erilaisia leikkaus-, räjäytys- ja 3D-kuvia. Jokaista mallityyppiä varten CAD-ohjelmistot sisältävät useita niille spesifioituja työkaluja ja ominaisuuksia. (Hietikko 2020, s. 27)

Hietikon (2020) mukaan nykypäivänä 3D-suunnittelussa hyödynnetään pääasiassa parametrisen piirremallinnukseen perustuvia CAD-ohjelmistoja. Hän mainitseekin, että

jopa yli 90 % tämän päivän mekaniikkasuunnittelusta toteutetaan parametrisella piirremallinnuksella. Mallinnuksen parametrisuudella tarkoitetaan sitä, että malliin liitettyjä mittoja voidaan missä tahansa mallinnuksen vaiheessa muuttaa siten, että mallin geometria säilyy ennallaan ja tätä pidetään parametrisen mallinnuksen yhtenä suurimmista eduista. Lisäksi parametrisessä mallinnuksessa mallin mittojen välille voidaan luoda relaatioita. Relaatioiden avulla voidaan esimerkiksi määrittää mallin sisältämiä mittoja yhtä suuriksi, toisen mitan ylittäessä tietyn rajan toinen mitta puolittuu tai monimutkaisempia relaatioita erilaisten yhtälöiden mukaisesti. Samalla myös malliin tehdyt muutokset päivittyvät kaikkiin siihen kytköksissä oleviin kohteisiin, kuten kokoonpanoihin ja piirustuksiin. Parametrisuus helpottaa erityisesti suunnitteluprosessin alkuvaihetta, jonka aikana kappaleiden ja mekanismien kaikkia tarkkoja mittoja ei usein tiedetä. Parametrisessa mallinnuksessa epätarkat mitat voidaan jättää malliin ja keskittyä esimerkiksi osien suurpiirteisiin mittasuhteisiin ja osien liikeratoihin. Lopuksi mittojen tarkentuessa ne voidaan käydä lisäämässä malliin. (Hietikko 2020, s. 23–25)

Piirremallinnuksella puolestaan tarkoitetaan sitä, että malli rakentuu erilaisista piirteistä. Aluksi malliin luodaan peruspiirre, johon piirteitä lisäämällä tuotteen tarkka malli saadaan muodostettua. Piirteitä ovat esimerkiksi mallin muodostavat perusgeometriat, leikkaukset, poraukset, pyöristykset ja muut CAD-ohjelmistoilla mahdolliset kappaleille tehtävät muokkaukset. Malliin lisätyt piirteet tallentuvat CAD-ohjelmistoissa piirrepuuhun, josta piirteitä voidaan muokata mallinnuksen myöhemmissä vaiheissa. Lisäksi piirrepuu toimii myös kommunikointivälineenä samaa mallia muokkaavien osapuolien välillä, kertoen mitä tuotteen kannalta oleellisia muokkauksia mallille on tehty. (Hietikko 2020, s. 23–25)

Edellä mainittujen ominaisuuksien ansiosta parametrinen piirremallinnus soveltuu hyvin nykypäivän tuotekehitysprosessiin. Nykyään tuotekehitysprosessit sisältävät paljon muutoksia, jolloin myös CAD-ohjelmistoilla tehdyiltä 3D-malleilta vaaditaan paljon joustavuutta. Parametrisen piirremallinnuksen avulla malliin syntyvät muutokset ovat helpommin huomioitavissa ja muokattavissa. Lisäksi piirremallinnuksen avulla pystytään helpottamaan tuotteen valmistusprosessia. Piirteisiin voidaan sisällyttää niiden valmistamiseen tarvittavaa informaatiota, kuten mallin sisältämän reikäpiirrettä vastaavan fyysisen reiän valmistamiseen tarvittavaa menetelmätietoa. (Hietikko 2020, s. 23–24)

Parametrisen piirremallinnuksen myötä CAD-ohjelmistoihin integroidut ominaisuudet ovat myös nousseet aivan uudelle tasolle. Esimerkiksi kappaleiden valmistusta varten muodostettavia työstöratoja NC-ohjelmoitaessa (Numerical control) ovat tarvittavat parametrit usein kytkettyinä suoraan mallin piirteisiin. Monet CAD-ohjelmistot sisältävät myös FEM-laskentaan (Finite Element Method) perustuvia ominaisuuksia, joiden avulla voidaan määrittää esimerkiksi kappaleen lujuus- tai lämmönjohtavuusominaisuuksia.



FEM-laskennassa malli jaetaan pieniin osiin eli elementteihin, joiden analysointi yksittäin kyetään suorittamaan helpommin kuin monimutkaisen kokonaisen kappaleen. Lopuksi, kun mallin jokainen elementti on analysoitu yksittäin, kootaan tulokset koko kappaleen kattavaksi analyysiksi. Myös nämä FEM-laskennan vaatimat elementtiverkot ovat valmiiksi kytkettyjä CAD-ohjelmistojen piirteiden mittoihin. (Hietikko 2015, s. 139; Hietikko 2020, s. 25–26)

## 3. TUOTEKEHITYSPROSESSI

Nykypäivänä lähes jokainen ympärillämme oleva tuote on kehitystyön aikaansaannosta. Jo pitkään tuotteiden taustalla on ollut eri laajuisia tuotekehitys- tai innovaatioprosesseja. (Hietikko 2015) Tämän luvun alaluvuissa käsitellään tuotekehitysprosessia yleisellä tasolla, sen eri malleja ja vaiheita, joita se tyypillisesti sisältää, sekä tuotekehityksen organisaatiota.

### 3.1 Tuotekehitys

Tuotekehitys on toimintaa, jonka tavoitteisiin sisältyy uusien tuotteiden kehittäminen tai jo olemassa olevien tuotteiden parantaminen. Tuotekehityksen tuloksena syntyy siis tuoteparannuksia tai uusia tuotteita, joita kutsutaan myös innovaatioiksi (Hietikko 2015, s. 11–24). Villasen (2016) mukaan tuotekehitys on parhaimmillaan kokonaisvaltainen ja jatkuva prosessi, jossa tuotteen kehitystyö voidaan aloittaa mistä tahansa tuotekehitysprosessin vaiheesta. Siihen liittyy myös vahvasti tuotekehitystyön ja tuotteiden jatkuva arviointi sekä kannattamattomien tuotteiden lopettaminen. (Villanen 2016, s. 105) Toimiva tuotekehitystoiminta on yksi tuotteita valmistavan yrityksen menestyksen kriittisimmistä vaatimuksista. Mikäli yritys ei kiinnitä huomiota tuotekehitykseensä, tulevat sen valmistamat tuotteet ajan kuluessa elinkaarensa päähän, jolloin niiden myynti pienenee ja lopulta päättyy kokonaan. Nykypäivän voimistuva globaali kilpailu ajaa yritykset taukoamattomaan ja yhä nopeammin läpivietävään tuotekehitykseen kilpailukyvyyn säilyttämiseksi. (Jokinen 2001, s. 9–10; Hietikko 2015, s. 25–35)

Tuotekehitystoimintaan liittyviä tärkeitä osa-alueita ovat luova työ ja luova ongelmanratkaisu. Tuotekehityksessä luova työ on tärkeää innovaatioiden ja niiden syntymisen kannalta. Luovan ongelmanratkaisun tavoitteena on puolestaan edesauttaa monipuolisten lähestymistapojen ja ideoiden syntymistä innovaatiotyössä. Toisin sanoen luovan ongelmanratkaisun avulla pyritään tuottamaan työkaluja innovaatiotyötä vaikeuttavia asioita vastaan. Tällaisia ovat esimerkiksi aikapaineet, niukat taloudelliset resurssit tai kompromissit, joita päätöksiä tehdessä joudutaan punnitsemaan. (Hietikko 2015, s. 13–18)

Hietikon (2015, s. 45) mukaan tuotekehitysprosessit voidaan jakaa neljään eri kategoriaan niiden tyyppien perusteella:

- Markkinavetoinen prosessi. Aloite kehitystyöhön tulee markkinoilla havaitusta tarpeesta, ja siihen vastataan jo olemassa olevaa teknologiaa hyödyntäen.

- Teknologiatyöntöprosessi. Kehitystyö saa alkunsa uudesta teknologiainnovaatiosta, jolle haetaan sopivat markkinat.
- Paranteluprosessi. Kehitystyön tarkoituksena on parannella jo olemassa olevaa tuotetta vastaamaan paremmin asiakastarpeisiin tai tehdä siitä alhaisemmilla kustannuksilla valmistettavan.
- Rääätälöintiprosessi. Kehitystyö on ainutlaatuinen asiakastilaukseen perustuva toteutus.

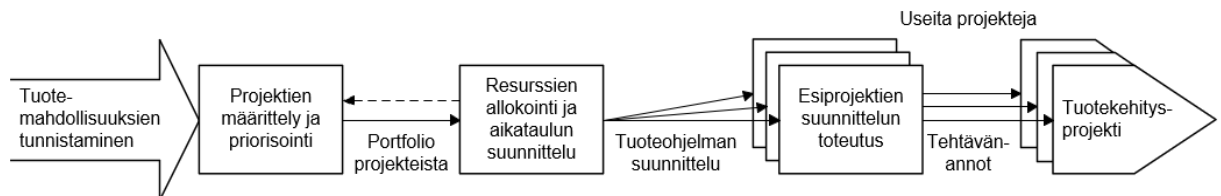
Tuotekehitystoiminta on monivaiheinen prosessi, jota nykypäivänä sen laaja-alaisuuden vuoksi kutsutaan tuotekehitysprosessin sijaan usein innovaatioprosessiksi tai innovaatiotoiminnaksi. Nykymuodossaan tuotekehitys on niin tiiviissä yhteistyössä yrityksen muihin toimintoihin, ettei voida enää puhua varsinaisesti itsenäisestä prosessista, vaan hajutetusta jokapäiväisestä innovaatiotoiminnasta. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 2, 12) Tässä työssä käytetään kuitenkin selkeyden vuoksi termiä tuotekehitysprosessi.

Tuotekehitysprosessin voidaan puolestaan katsoa koostuvan erillisistä tuotekehitysprojekteista. Tuotekehityksessä projektilla viitataan usein yksittäiseen tuotteeseen liittyvään kehitystyöhön. Tuotekehitysprojekti on luonteeltaan hyvin samankaltainen kuin muutkin projektit. (Hietikko 2015, s. 43–45) Projektin määritelmän mukaisesti se on yksittäinen, väliaikaisia tehtäviä sisältävä kokonaisuus, jolle on asetettu alku ja loppu, täsmällisesti rajattu tehtävä tai määritelty tavoite sekä näiden suorittamiseen nimitetty budjetti ja väliaikainen organisaatio (Lewis 1993, Martinsuo et al. 2003, s. 45 mukaan).

Projektien luonteen ansiosta ne soveltuvat hyvin tuotekehitykseen. Projektiluontoisen toiminnan etuna on sen hallittavuus. Projektien hallintaan on olemassa monia työkaluja, joiden avulla tuotekehityksen johto voi mahdollistaa esimerkiksi tehokkaan toiminnanohjauksen ja näin varmistaa, että rajatut resurssit käytetään tehokkaasti. Projektien hallinta tarjoaa myös mahdollisuuksia riskien hallintaan, joka on tuotekehitystoiminnassa tärkeä huomioitava asia. Projektien avulla on myös havaittavissa sen resurssien ja kustannuksien yhteys tuotekehitystehtävän laajuuteen sekä niihin liittyvän muutoksenhallinnan merkitys. (Martinsuo et al. 2003, s. 39, 45–47)

Usein täysimittainen tuotekehitysprosessi alkaa jo ennen yksittäisien tuotekehitysprojektien aloittamista suoritettavalla vaiheella. Englannin kielellä tätä vaihetta kutsutaan nimellä ”product planning process”, ja vapaasti suomennettuna se voisi olla ”tuoteohjelman suunnitteluprosessi”. Tämän prosessin tarkoituksena on luoda raamit varsinaisille tuotekehitysprojekteille. Tuoteohjelman suunnitteluprosessissa luodaan siis yritykselle tuoteportfolio, josta käy ilmi missä järjestyksessä ja mitä tuotteita aletaan kehittämään. Tuoteohjelmasuunnitteluprosessi käsittelee tuotekehitysmahdollisuuksia pohjautuen eri

näkökulmiin, kuten markkinoinnin antamiin suosituksiin, aiheeseen liittyvään tutkimukseen, käytössä olevaan tiimiin sekä kilpailija-analyysin. Yrityksen tuoteohjelmaa päivitetään säännöllisesti vastaamaan markkinoiden ja teknologian muutoksia. Tavoitteena on kehittää tuoteohjelmaa yrityksen strategisia tavoitteita, ja kilpailukykyä silmällä pitäen. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 53–70) Kuvassa 2 on esitetty tarkemmin, mitä vaiheita tuoteohjelman suunnitteluprosessi voi esimerkiksi sisältää.



**Kuva 2.** Tuoteohjelman suunnitteluprosessin vaiheet (mukailtu Ulrich & Eppinger 2012)

Tuoteohjelman suunnitteluprosessi alkaa tuotekehitysmahdollisuuksien selvittämisellä, jonka jälkeen potentiaaliset ehdotukset allokoidaan resurssien suhteen. Tämän jälkeen niille määritetään aikataulut, jolloin tuotteita voitaisiin ryhtyä kehittämään. Kun tuotekehitysidea on hyväksytty ja aikataulutettu siirtyy se esiprojektisuunnitteluvaiheeseen, jonka tavoitteena on luoda selkeät ohjeet tuotekehitysorganisaatiolle tuotteen kohdemarkkinoista ja tuotteen vaatimuksista. Prosessin lopputuloksena syntyy valittuja tuotekehitysprojekteja ja niille tehtävänannot. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 53–70)

Tyypillisesti tuotekehitysprojektit ovat jaettavissa neljään eri tyyppiin:

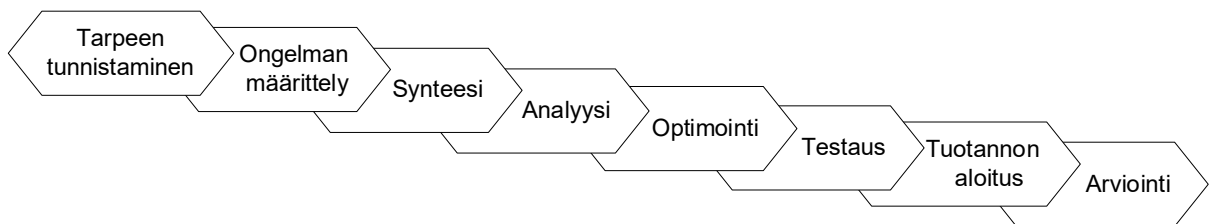
- Projektit, joissa tavoitteena on luoda uusia tuotealustoja. Tämän tyyppisissä projekteissa kehitetään uusia tuoteperheitä uusille tuotealustoille. Uusi tuoteperhe kohdistuu usein kuitenkin jo tunnetuille markkinoille ja tuotekategorioiden.
- Projektit, joissa hyödynnetään jo olemassa olevia tuotealustoja. Tämän kaltainen tuotekehitysprojekti tuo markkinoille olemassa oleviin tuotealustoihin pohjautuvia uusia tuotteita.
- Projektit, joissa tehdään parannuksia olemassa oleviin tuotteisiin. Tämän kaltaisissa projekteissa tarkoituksena on tehdä lisäyksiä ja parannuksia olemassa oleviin tuotteisiin, jotta ne säilyttäisivät niiden kilpailukykyä markkinoilla.
- Projektit, joissa tuotetaan uusia tuotteita. Tämän kaltaiset projektit sisältävät täysin uusia tuotteita tai valmistusmenetelmiä, joiden avulla voidaan tähdätä esimerkiksi uusille ja tuntemattomille markkina-alueille. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 55–56)

### 3.2 Tuotekehitysprosessimallit

Monet tuotekehitysprosessin vaiheista ja niiden sisältämistä toiminnoista ovat hyvin pitkälti älyllisiä kehitystyötä ohjaavia ohjeistuksia ja organisatorisia ohjeita kuin varsinaisia fyysisiä toimia. Jotkin organisaatiot seuraavat tuotekehitystoiminnassaan yksityiskohtaisesti määriteltyä tuotekehitysprosessia, kun taas toiset yritykset eivät edes kykene kuvailemaan käyttämiensä prosessimalleja. Lisäksi organisaatiot muokkaavat usein käyttämänsä prosessimallia ja sen sisältämiä vaiheita tuotteisiinsa ja toimintamalliinsa soveltuviksi, samassa yrityksessä voidaan käyttää myös eri tuotekehitysprosessimalleja riippuen tuotekehitysprojektin tyypistä. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 12)

Systemaattisella tuotekehitystoiminnalla pystytään helpottamaan tuotekehitysprosessin hallintaa, sillä sen avulla mahdollisten vaikutusten ennakoiti on helpompaa. Järjestelmällisen tuotekehitystoiminnan avulla on myös mahdollista kehittää tuotekehitysprosessia päivittämällä sen sisältämiä vaiheita ja toimintatapoja hyviksi osoittautuneiden kokemusten perusteella. Lisäksi, kun prosessi on selkeästi määritelty ja sen kaikille osapuolille on selvää, kuinka eri tilanteissa toimitaan, organisaation tiedonkulku paranee ja henkilöstön osaaminen ja innovatiivisuus vapautuvat uusien tuotteiden kehittämiseen. (Salorinne & Laamanen 1994, s. 7) Tuotekehityksessä käytettävän prosessimallin valintaan ja sen sisältöön vaikuttavat sekä tuotteiden että organisaation piirteet, teknologian kehitysvaihe sekä yrityksen johtamiskäytännöt. (Martinsuo et al. 2003, s. 24, 36–38)

Hietikon (2015, s. 46–47) mukaan tuotekehitysprosessimalli sisältää tyypillisesti seuraavan kaltaisia kuvassa 3 esiteltyjä vaiheita.



**Kuva 3.** Tuotekehitysprosessimallin tyypilliset vaiheet (mukailtu Hietikko 2015, s. 46–47)

Tarpeen synnyttäviä tekijöitä voivat olla esimerkiksi markkinoilta saatu palaute, uuden teknologian kehittyminen tai tuotteen ominaisuuksien parantaminen. Ongelman määrittelyssä alkavalle kehitystyölle luodaan tarpeisiin perustuen tavoitteet ja spesifikaatiot. Synteesivaihe on varsinaisen luovantyön ja ongelmanratkaisun vaihe, jossa generoidaan sopivia ideoita, tavoitteena muodostaa varsinainen tuotekonsepti. Analyysivaihe on varsinainen insinööriosaaamista vaativa vaihe, jossa toteutetaan esimerkiksi tuotteeseen liittyvä mekaniikkasuunnittelu ja lujuuslaskenta. Vaihe sisältää myös konseptin

analysointia, jotta voidaan muodostaa kuva tuotteen toimintakyvystä. Ongelmien ilmetessä tarvittaessa palataan synteesisvaiheeseen. Optimointivaihe sisältää tuotteen detajisuunnittelun, jonka aikana muodostetaan tuotteen lopullinen kokoonpano. Testausvaiheen tavoitteena on varmistaa, että tuote täyttää sille asetetut toimintavaatimukset. Tuotannon käynnistysvaiheessa testataan tuotteen valmistusta ensimmäisen tuotantosarjan eli 0-sarjan avulla. Prosessimallin viimeisessä vaiheessa arvioidaan aikaansaattua lopputulosta ja sitä, kuinka hyvin tuote vastaa aikaisemmin määriteltyjä tavoitteita. (Hietikko 2015, s. 46–47)

Karkeasti jaoteltuina tuotekehitysprojektimallit voidaan jakaa lineaarisiin malleihin sekä spiraalimalleihin. Lineaarisisissa malleissa tuotekehitysprosessin vaiheet seuraavat toisiaan, eikä seuraavaa vaihetta voida aloittaa ennen kuin edellinen vaihe on suoritettu. Spiraalimalleissa prosessin vaiheet on sijoitettu spiraalimaisesti kehälle ja prosessin edetessä vaiheita kierretään spiraalin keskeltä ulospäin. Projektin yksityiskohdat tarkentuvat siirryttäessä spiraalin ulompia kehiä kohti. (Hietikko 2015, s. 45) Spiraalimallin keskeinen piirre on prosessille jatkuvasti suoritettava riskianalyysi ja prosessin mahdollinen uudelleenohjaus havaittujen riskien perusteella. Tarkan riskianalyysin tavoitteena on pienentää mahdollisia riskitekijöitä jokaisella iteraatiolla eli spiraalin kierroksella. (Pohjonen 2002, s. 42–43)

### **3.2.1 Ulrichin ja Eppingerin tuotekehitysprosessimalli**

Ulrich-Eppinger -malli on lineaarinen tuotekehitysprosessimalli, joka soveltaa paikoittain spiraalimallille tyypillisiä ominaisuuksia, kuten takaisinkytkentää. Takaisinkytkennällä tarkoitetaan mahdollisuutta palata prosessissa aikaisempaan vaiheeseen, mikäli se havaitaan tarpeelliseksi. Ulrichin ja Eppingerin geneerinen tuotekehitysprosessimalli koostuu kuudesta eri vaiheesta, jotka ovat esitetty karkealla tasolla kuvassa 4. Mallin vaiheet ovat tuoteohjelman suunnittelu, konseptisuunnittelu, systeemisuunnittelu, detajisuunnittelu, testaus ja jatkokehitys sekä tuotannon käynnistäminen. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 12–16; Hietikko 2015, s. 47–48)

Ensimmäisessä, eli 0. vaiheessa varmistetaan, että tuotekehitysprosessi on yrityksen tuotestrategian mukainen. Vaihetta kutsutaan 0. vaiheeksi, koska se edeltää varsinaista tuotekehitysprosessin hyväksyntää ja käynnistystä. Tuoteohjelman suunnitteluvaihe sisältää aikaisemmin luvussa 3.1 esiteltyjä toimenpiteitä. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 13–16; Hietikko 2015, s. 47–48)

Seuraava eli konseptisuunnitteluvaihe alkaa asiakastarpeiden määrittämisellä. Näiden perusteella luodaan mahdollisimman monia ideoita eli konsepteja asiakastarpeiden ratkaisemiseksi. Tuotekehityksessä konseptilla tarkoitetaan kuvausta tuotteen muodosta,

toiminnoista ja ominaisuuksista. Lisäksi usein konseptissa esitetään myös tuotteen vaatimukset, analyysi kilpailevista tuotteista sekä taloudelliset perustelut tuotteelle. Lopuksi eri tuotekonseptit arvioidaan ja niistä potentiaalisimmat valitaan jatkokehitykseen. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 13–16; Hietikko 2015, s. 47–48)

Systeemisuunnitteluvaiheessa keskitytään pääasiassa edellisessä vaiheessa valittujen konseptien arkkitehtuuriin. Tavoitteena on muodostaa suunnitelma tuotteen osajärjestelmistä sekä alustava malli tuotteen avainkomponenteista. Huomiota kiinnitetään erityisesti tuoterakenteisiin ja modulointiin, siten että tuotteen varioinnilla pystytään muodostamaan mahdollisimman usean asiakkaan vaatimukset tyydyttävä vaihtoehto. Tämän vaiheen lopputuloksena syntyy usein geometrisia tietoja sisältävä layout tuotteesta sekä määritelmät tuotteen osajärjestelmien toiminnallisista spesifikaatioista. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 13–16; Hietikko 2015, s. 47–48)

Detalji-suunnitteluvaiheessa tuotteen jokainen osa saa lopullisen ulkomuotonsa ja niistä muodostetaan tuotteen lopullinen kokoonpano. Valmistettaville osille määritetään valmistusmateriaalit, toleranssit ja valmistusvaiheet sekä -menetelmät. Lisäksi määritellään kaikki standardien mukaiset ulkopuolisilta toimijoilta hankittavat osat. Detalji-suunnitteluvaiheessa tehdään myös piirustukset tuotteen valmistamista varten sekä muut valmistukseen liittyvät asiakirjat. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 13–16; Hietikko 2015, s. 47–48)

Testaus- ja jatkokehitysvaiheessa tuotteesta valmistetaan prototyyppejä, joiden avulla sen toimintaa analysoidaan. Prototyypin ei tarvitse olla aina täysin yhtenevä lopullisen tuotteen kanssa, vaan testausta voidaan suorittaa myös esimerkiksi pienoismallien ja tietokonemallien avulla. Testausvaiheen keskeisin tavoite on varmistaa, että tuotteen toimintakyky ja luotettavuus vastaavat suunniteltua. Lisäksi tarkoituksena on tuoda esiin epäkohtia, jotka tarvitsevat vielä kehitystä. Testausvaiheessa halutaan myös varmistua, että tuote on mahdollista valmistaa riittävän edullisesti. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 13–16; Hietikko 2015, s. 47–48)

Viimeisessä vaiheessa eli tuotannon käynnistysvaiheessa valmistetaan ensimmäinen tuotantosarja. Vaiheen tarkoituksena on kouluttaa työntekijöitä uuteen tuotantoprosessiin ja löytää siitä mahdolliset ongelmat. Varsinaiseen tuotantoon siirrytään vaiheittain tuotannon käynnistämisen jälkeen ja tämän siirtymisen aikana tuote myös julkaistaan virallisesti markkinoille. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 13–16; Hietikko 2015, s. 47–48)



**Kuva 4.** Ulrichin ja Eppingerin kehittämä tuotekehitysprosessimalli (mukailtu Ulrich & Eppinger 2012, s. 14)

Yllä esitelty malli on kehitetty pääasiassa markkinavetoisille tuotekehitysprojekteille, mutta on sovellettavissa lähes kaikkiin muihinkin projekteihin geneerisen luonteensa ansiosta. Ulrichin ja Eppingerin (2012) mainitsevat kahdeksan erilaista tuotekehitysprosessityyppiä, joissa tätä mallia voidaan soveltaa. Näitä ovat esimerkiksi seuraavanlaiset tuotekehitysprosessit: teknologiatyöntöprosessit, kustomoitujen tuotteiden prosessit ja korkeita riskejä sisältävien tuotteiden kehitysprosessit. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 13–16; Hietikko 2015, s. 47–48)

### 3.2.2 Pahlin ja Beitzin tuotekehitysprosessimalli

Pahlin ja Beitzin tuotekehitysmalli on tehty ohjaamaan tuotteiden kehitys- ja konstruointityön suorittamista. Se sisältää karkeasti jaoteltuna neljä eri päävaihetta, jotka ovat esitettyinä sivulla 20 kuvassa 5. Mallin vaiheet ovat tehtävän selvittely, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Pahlin ja Beitzin malli on suunniteltu erityisesti sovellettavaksi koneenrakennuksen, hienomekaniikan, elektroniikan kytkentöjen, ohjelmistojen kehityksen ja prosessitekniikoiden suunnittelutyöhön. Mallissa hyödynnetään Pahlin ja Beitzin esittelemiä perusteita koneensuunnittelusta ja konejärjestelmistä sekä yleisestä ongelmanratkaisuprosessista. (Pahl & Beitz 1990, s. 47)

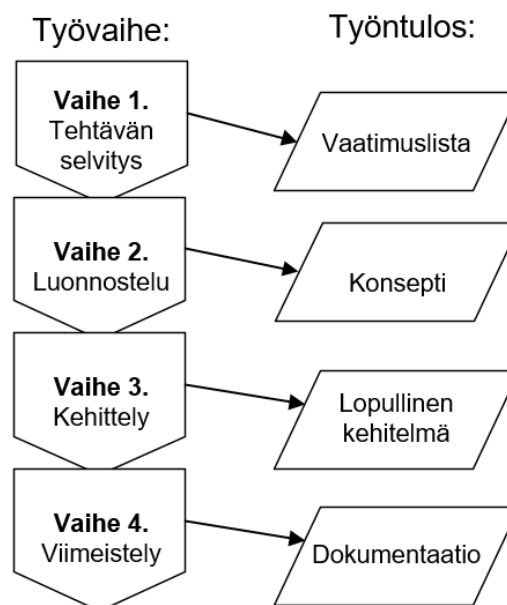
Mallissa ensimmäinen suunnittelutyön aloittava vaihe on tehtävän selvitys. Vaiheen tavoitteena on määrittellä vaatimuslista, joka sisältää tuotteen kannalta välttämättömiä vaatimuksia ja toiveita ominaisuuksista, jotka pyritään toteuttamaan, mikäli kustannukset niiden toteuttamiseksi pysyvät sallituissa rajoissa. Nämä vaatimukset ja toiveet pitää määrittellä tarkasti ja mikäli mahdollista numeerisesti. (Pahl & Beitz 1990, s. 48, 62–64)

Mallin toinen vaihe on luonnostelu, jossa määritellään vaatimuslistan pohjalta fyysisen tuotteen ratkaisuperiaatteet sekä arvioidaan niiden toimintaa. Kuitenkin eri ratkaisuperiaatteiden ja vaikutusrakenteiden luotettava arvioiminen on usein mahdollista vasta kun tuote saa sen konkreettiset fyysiset muodot ja mitat. Luonnosteluvaiheen eri työvaiheiden avulla tuotteesta luodaan hahmotelma, jossa esitetään keskeisimpiä tuotteeseen liittyviä mitoituksia ja teknisiä ratkaisuja. Usein tässä vaiheessa riittää esimerkiksi korkean tason rakennelma tuotteen mekanismeista. (Pahl & Beitz 1990, s. 48–49)



Luonnosteluvaihe jaetaan usein kolmeen työvaiheeseen, joita ovat ongelmien abstrahointi, toimintorakenteen laadinta ja vaikutusperiaatteiden määrittäminen. Abstrahoinnin avulla pyritään tunnistamaan prosessin kannalta oleelliset ongelmat ja muodostaa selkeä sanallinen kuvaus laitteen keskeisistä vaatimuksista ja ongelmista. Luonnostelun toinen työvaihe eli toimintorakenteiden laadinta suoritetaan abstrahoinnilla selvitetulle vaatimukselle tai ongelmalle. Toimintorakennetta voidaan havainnollistaa erilaisten mallien ja kaavioiden avulla. Toisin sanoen mallit ja kaaviot kuvaavat laitteen suorittamat toiminnot ottamatta kantaa niiden konkreettiseen toteutukseen. Luonnosteluvaiheen viimeinen tehtävä on vaikutusperiaatteiden määrittäminen. Tuotteen osatoimintojen muodostamista varten on löydettävä niiden vaikutusperiaatteet, jotka myöhemmin yhdistettynä muodostavat tuotteen vaikutusrakenteen. Kun muodostunutta vaikutusrakennetta konkretisoidaan, hahmottuu lopulta ongelman periaatteellisia ratkaisumahdollisuuksia. Paras ratkaisuvaihtoehto pyritään selvittämään vaihtoehtojen pisteytyksellä. (Pahl & Beitz 1990, s. 48–49, 81–102, 140)

Pahlin ja Beitzin (1990) mallin kolmas vaihe on kehittäminen. Kehittelyvaiheessa keskitytään tuotteen rakennemuotoiluun ja vaiheen aikana tuotteen tekninen kokoonpano saa lopullisen muotonsa. Viimeistään tässä vaiheessa päätetään myös, mitä valmistusmenetelmiä tuotteen valmistuksessa käytetään sekä, mistä materiaaleista tuote valmistetaan. Tavoitteena on luoda lopullinen yksiselitteisesti tulkittava kuva tuotteen rakenteesta, jossa on otettu huomioon tuotteeseen liittyvät tekniset ja taloudelliset vaatimukset. (Pahl & Beitz 1990, s. 49, 176–184)



**Kuva 5.** Pahlin ja Beitzin tuotekehitysprosessimallin vaiheet (mukailtu Pahl & Beitz 1990, s. 47–52)

Mallin viimeinen vaihe on viimeistely. Nimensä mukaisesti tässä vaiheessa tuotteen kokoonpano viimeistellään ja täydennetään siten, että tuotteen jokainen osa saa lopulliset muodot, mitat, valmistusmateriaalit, pinnanlaatuvaatimukset sekä kustannusarvion. Viimeistelyvaiheen lopputuloksena saadaan tuotteen valmistustekninen määritelmä. Tässä vaiheessa suunnittelutyön painopiste on etenkin valmistusasiakirjojen, kuten työpiirustusten, osaluetteloiden sekä kokoonpanopiirustusten laatimisessa. (Pahl & Beitz 1990, s. 49) Pahlin ja Beitzin (1990) mukaan tuotteen yksityiskohtien suunnittelu on yksi konstruoinnin tärkeimmistä työvaiheista. Siinä myös piilee usein kehitystyön suurimmat haasteet. Siksi usein viimeistelyvaiheessa tuotteen yksityiskohtia suunniteltaessa ja virheitä korjattaessa joudutaan palaamaan aikaisempiin vaiheisiin. (Pahl & Beitz 1990, s. 459–460)

### 3.3 Prototyypit tuotekehityksessä

Prototyypit ovat tuotteesta tehtäviä ensimmäisiä sen konkreettista ja fyysistä olemusta hahmottelevia malleja, joiden avulla tuotteen lopullisia muotoja ja toiminnallisuuksia pyritään tarkastelemaan ja testaamaan. Prototyypit voivat olla malliltaan jo hyvin lähellä lopullista tuotetta tai esimerkiksi tuotteen yksittäisten ominaisuuksien testaamista varten tehtyjä pienoismalleja. Periaatteessa prototyypeiksi voidaan laskea mitkä tahansa tuotteesta tehdyt approksimaatiot, joilla halutaan tarkastella sen ominaisuuksia. Näitä ovat esimerkiksi erilaiset sketsit konsepteista, matemaattiset mallit sekä simulaatiot ja testikomponentit. (Hietikko 2015, s. 193–198)

Tyypillisesti prototyypit jaetaan niiden laajuuden perusteella, jolla ne mallintavat tuotteen ominaisuuksia. Lisäksi ne voidaan jakaa fyysisiin ja analyttisiin prototyypeihin. Fyysisiä prototyypejä käytetään tyypillisesti visualisoimaan tuotteen ulkonäköä, perusteluna konseptivalinnalle tai laitteen toiminnallisuuden testaamisessa. Analyttisiä prototyypejä ovat tuotteesta tehdyt aineettomat mallit, kuten matemaattiset ja CAD-ohjelmistoilla tehdyt 3D-mallit. Analyttisten prototyyppien avulla pyritään suunnittelemaan tuotteen ominaisuuksia, jotka eivät ole käsin kosketeltavissa. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 291)

Kehittyneet virtuaaliset simulointimenetelmät ovat mahdollistaneet tuotteen testaamisen ja analysoinnin yhä aikaisemmassa tuotekehitysprosessin vaiheessa. Esimerkiksi jo konseptisuunnitteluvaiheessa voidaan eri tuotekonseptien ominaisuuksia vertailla CAD-ohjelmistoilla tehtyjen 3D-mallien avulla. Suurimmat hyödyt simuloinnista saadaan tuotekehityksen näkökulmasta detaljisuunnitteluvaiheessa, kun tuotteen rakenne ja yksityiskohdat ovat mallinnettavissa riittävän tarkasti. Tällöin saatavat tulokset ovat tarkempia ja paremmin ennustettavissa. Digitaalisten prototyyppien ja simuloinnin yksi merkittävimmistä eduista on se, että niiden avulla tuotetta pystytään analysoimaan ilman tuotteesta

valmistettavia fyysisiä rakennelmia. Kuitenkin, jos simuloinnin lisäksi tuotteesta on käytävissä myös fyysinen prototyyppi, voidaan sen avulla suoritettavat mittaukset yhdistää simuloinnista saatuun dataan ja rakentaa näiden pohjalta yhä paremmin reaali maailman ilmiöitä huomioivia simulointimalleja. (Hietikko 2015, s. 195–198)

Ulrichin ja Eppingerin (2012) mukaan tuotekehityksessä prototyyppien käytetään pääasiassa neljään eri tarkoitukseen, jotka ovat oppiminen, kommunikointi, integrointi ja rajapyykki. Oppimistarkoituksessa prototyypeillä haetaan vastauksia kysymyksiin ”Toimiiko tuote halutulla tavalla?” ja ”Vastaako se asiakasvaatimukseen?”. Kommunikoinnissa prototyyppien hyödynnetään tuotekehitystiimin ja esimerkiksi asiakkaiden, johdon tai muiden kehitystyön yhteistyökumppaneiden välisessä kommunikaatiossa. Integroinnissa varmistetaan, että kaikki tuotteeseen suunnitellut osat toimivat oikein toistensa suhteen. Lisäksi prototyyppien valmistettaessa voidaan testata tuotteen osien valmistettavuutta sekä kokoonpantavuutta. Virstanpylväinä prototyyppien voidaan käyttää etenkin suuremmissa projekteissa, jonkin kehitysvaiheen tai toimivuuden saavuttamisen osoittamisessa. Yhtä prototyyppiä voidaan käyttää samanaikaisesti useaan eri käyttötarkoitukseen. Usein tarkoituksena onkin valmistaa prototyyppit siten, että ne olisivat hyödyllisiä mahdollisimman monessa eri käyttötapauksessa. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 294–297)

1990-luvulta alkaen, CAD-ohjelmistojen kehittyessä, 3D CAD-malleja on alettu hyödyntämään yhä enemmän tuotekehityksessä. CAD-ohjelmistojen käytön yleistyessä myös niiden hyödyntäminen prototypoinnissa on kasvanut. CAD-ohjelmilla tehdyt 3D-mallit soveltuvat hyvin esimerkiksi tuotteen analyttisiksi prototyypeiksi. Lisäksi 3D-mallit toimivat pohjana tuotteelle tehtäville tietokonepohjaisille analyyseille kuten rakenteen lujuuslaskennalle, kuormien ja rasituksen jakautumiselle, törmäys- ja hajoamistarkastelulle sekä monimutkaisten mekanismien kinemaattiseen ja dynaamiseen liiketarkasteluun. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 301)

### 3.4 Tuotekehityksen osapuolet

Monen yrityksen taloudellinen menestys perustuu nykypäivänä niiden kykyyn identifioida asiakkaidensa tarpeet ja valmistaa riittävän nopealla aikataululla tuote, joka vastaa näihin tavoitteisiin sekä on valmistettavissa riittävän alhaisin kustannuksin. Jotta näihin tavoitteisiin päästään on tuotekehitystoiminnassa yhdistettävä lähes kaikkia yrityksen toimialoja. Kuitenkin tuotekehitysprojehtien organisaatiot vaihtelevat paljon projektin laajuudesta ja kehityskohteesta riippuen. Esimerkiksi vanhan tuotteen päivittäminen ei vaadi yhtä laaja-alaista tiimiä kuin täysin uuden tuotteen suunnittelu. Kuitenkin lähes poikkeuksetta tuotekehitystiimi sisältää edustajia ainakin seuraavilta toimialoilta:

- Markkinointi. Markkinoinnin tehtävänä on huolehtia yrityksen ja sen asiakkaiden välisestä kanssakäymisestä. Markkinointi myös tyypillisesti auttaa identifioimaan eri tuotemahdollisuuksia ja määrittelemään markkinasegmenttejä, joilla tuotekehitystä ruvetaan toteuttamaan. Lisäksi markkinointi selvittää asiakkaidensa tarpeet kehitettävän tuotteen osalta ja määrittelee tuotteille tavoitehinnat.
- Suunnittelu. Suunnittelijat ovat pääasiallisessa vastuussa tuotteen fyysisien ominaisuuksien ja tuotteelle asetettujen asiakastarpeiden mukaisten tavoitteiden täyttymisestä. Suunnittelutyö sisältää tuotteen toiminnallisuuteen liittyvän suunnittelun sekä teollisen muotoilun osuuden tuotteen ulkonäön, käytettävyyden, ergonomian ja käyttöliittymän osalta.
- Valmistus. Valmistus vastaa tuotteen valmistamiseen tarvittavan tuotantojärjestelmän suunnittelusta ja toteuttamisesta. Lisäksi valmistus toimii suunnittelun tukena, siten että tuotteen valmistus kyetään suorittamaan mahdollisimman kustannustehokkaasti. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 3–4; Hietikko 2015, s. 48–50)

Tuotekehitysprojektien roolitus ja vastuualueiden jako voidaan myös jakaa tarkempien rajoitusten mukaisesti yrityksen toimialojen kesken. Markkinoinnista voidaan muodostaa työryhmiä esimerkiksi markkinatutkimukseen tai markkinastrategioiden suunnitteluun. Itse tuotteen suunnittelu voidaan jakaa esimerkiksi rakenteiden lujuuslaskentaan ja teolliseen muotoiluun. Lisäksi useat muut yrityksen toimialat kuten taloushallinto ja myynti ovat tyypillisesti osa-aikaisesti mukana tuotekehitysprojekteissa, etenkin uusia tuotteita kehitettäessä. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 3–4, 25–31)

Yksittäinen henkilö voi olla samanaikaisesti osallisena useassa eri tuotekehitysprojektissa riippuen käytettävästä organisaatorakenteesta. Tuotekehityksessä yleisesti käytössä olevat klassiset organisaatiomallit ovat funktionaalinen ja projektiorganisaatio sekä näiden erilaiset yhdistelmät eli matriisiorganisaatiot. Funktionaalisessa organisaatiossa organisaation jäsenet kuuluvat funktioihin. Funktiolla tarkoitetaan osa-aluetta, josta siihen erikoistuneet asiantuntijat ovat vastuussa. Tyypillisiä funktioita tuotekehityksessä ovat esimerkiksi jo aikaisemmin mainitut markkinointi, suunnittelu ja tuotanto. Usein yksittäinen henkilö tai ryhmä kuuluu ainoastaan yhteen funktioon, mutta voi työskennellä samanaikaisesti useassa eri projektissa oman funktionsa asiantuntijana. Projektiorganisaatiossa yksittäinen henkilö työskentelee yleensä tietyn projektin ympärillä, riippumatta hänen funktiostaan toisin sanoen projektiorganisaatiossa kasataan ryhmä eri funktioiden edustajista toteuttamaan samaa projektia. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 25–27)

Jokaisella organisaatorakenteella on niille tyypilliset vahvuudet ja heikkoudet sekä tilanteet, joihin ne soveltuvat. Funktionaalisen organisaation etuja ovat vankka asiantuntemus eri funktioiden osa-alueilla. Kuitenkin sen organisaation rakenteen vuoksi eri funktioiden välinen kommunikointi ja ryhmien välinen koordinointi saattaa olla hidasta ja byrokrattista. Projektioorganisaation vahvuuksia ovat sen rakenteen mahdollistamat tehokkaat resurssien keskittämisen- ja jakamismahdollisuudet sekä sen kyky arvioida nopeasti erilaisten teknisten ja kaupallisten edellytysten ristiriitoja. Projektioorganisaation projektiluonteisen ja joissain tapauksissa väliaikaisen rakenteen takia sen ongelmaksi saattaa kehittyä projekteissa opittujen asioiden eteenpäin siirtäminen tuleville projekteille. (Kivistö-Rahnasto & Vuori 1998, s. 10–11; Ulrich & Eppinger 2012, s. 25–27)

## 4. CAD-OHJELMISTOT TUOTEKEHITYKSEN TU-KENA

2000-luvun alkupuolella globaalien markkinoiden kiihtyessä ja kuluttajien odotusten kasvaessa tuotteiden laadun sekä suorituskyvyn suhteen, kasvatti myös tuotekehitys merkitystään osana yrityksen toimintaa. Jotta tuotekehityksessä pystyttiin vastaamaan lisääntyviin vaatimuksiin, yritykset panostivat yhä enemmän CAD-ohjelmistojen käyttöön tuotekehityksessään. Nykypäivänä CAD-ohjelmistojen sisältämiä työkaluja voidaan hyödyntää tuotekehityksessä moniin eri käyttötarkoituksiin. CAD-ohjelmistoja voidaan käyttää niin uusia tuotteita suunniteltaessa kuin jo olemassa olevia tuotteita kehitettäessä. Lisäksi CAD-ohjelmistojen hyödyt eivät rajoitu pelkästään varsinaisten tuotteiden suunnitteluun vaan CAD:n käytöstä on hyötyä myös esimerkiksi tuotteiden valmistuksessa ja markkinoinnissa. (Tan & Vonderembse 2006)

Seuraavaksi tämän luvun alaluvuissa käsitellään eri tutkimuksiin ja kirjallisuuslähteisiin pohjautuen CAD-ohjelmistojen keskeisimpiä hyödyntämismahdollisuuksia mekanismien suunnittelussa tuotekehitysprosessin eri vaiheissa. Esimerkkinä nämä hyödyt sidotaan Ulrichin ja Eppingerin sekä Pahlin ja Beitzin kehittämiin tuotekehitysprosessimallien vaiheisiin.

### 4.1 CAD-ohjelmistojen hyödyt konseptointivaiheessa

CAD-ohjelmistoja voidaan hyödyntää nykyään lähes jokaisessa tuotekehitysprosessin vaiheessa, mutta niiden käyttö ei kuitenkaan ole jokaisessa vaiheessa yhtä merkittävässä roolissa. Ensimmäinen tuotekehitysprosessin vaihe, jossa CAD-ohjelmien käytöllä voidaan saavuttaa huomattavaa hyötyä, on Ulrichin ja Eppingerin tuotekehitysprosessimallin toinen eli konseptisuunnitteluvaihe, joka käytännössä vastaa Pahlin ja Beitzin mallin luonnosteluvaihetta. Näiden vaiheiden aikana tavoitteena on muodostaa tuotekonsepti eli karkea hahmotelma suunniteltavasta tuotteesta.

Konseptien suunnittelun apuvälineenä tuotekehittäjät ovat jo pitkään käyttäneet sketsausta eli luonnostelua. Company et al. (2009) mukaan sketsaus onkin vakiintunut osa tuotekehitystä ja insinöörikulttuuria. Sketsit auttavat tuotesuunnittelijoita suunnittelun luovissa vaiheissa ja helpottavat uusien innovaatioiden kehittämisessä. Sketsauksessa kynä ja paperi ovat olleet kautta aikojen erittäin hyödyllisiä työkaluja. Kuitenkin nykypäivänä kynällä ja paperilla suoritettavan sketsauksen irrallisuus muusta tietokoneavusteisesti suoritettavasta tuotekehitysprosessista on vauhdittanut myös CAD-ohjelmistojen

käyttöä tuotekonseptien hahmottelussa. (Company et al. 2009) Kynällä ja paperilla tehtävän luonnostelun suurin heikkous onkin se, että kun lopullinen konsepti tuotteesta on saatu hahmoteltua, täytyy se vielä erikseen mallintaa CAD-ohjelmistolla. Bryden (2014) esittelee kirjassaan CAD and rapid prototyping for product design case-tutkimuksia, joissa käsitellään tuotekehitysprojekteja ja CAD-ohjelmistojen käyttöä niiden aikana. Lähes jokaisessa kirjan tutkimuksessa tuotteen konseptointivaiheessa sketsit tuotteesta luotiin käsin piirtämällä, jonka jälkeen valitusta konseptista luotiin viimeistellyt ja realistiset kuvat erilaisia kuvanmuokkausohjelmistoja käyttäen. Vasta tämän jälkeen tuotteesta mallinnettiin kuvien pohjalta ensimmäiset 3D-mallit CAD-ohjelmistoilla. (Bryden 2014)

Tyypillisesti tuotekonseptia suunniteltaessa tuotteelle on asetettu tietyt vaatimukset, jotka sen tulisi täyttää. Erityisesti, jos tuote sisältää mekanismeja on niille monesti asetettu vaatimuksia esimerkiksi liikkeiden ja liikeratojen suhteen. Juuri näiden asioiden suunnitteluun nykypäivän parametriset CAD-ohjelmistot tarjoavat ihanteellisia työkaluja. Monet CAD-ohjelmistot sisältävät esimerkiksi ominaisuuksia sekä 2D- että 3D-sketsien tekemiseen. Sketsien avulla mekanismeja suunniteltaessa mekanismin eri osien välille voidaan asettaa geometrisia ehtoja, joita mekanismin tulee toimiessaan noudattaa. Geometristen ehtojen avulla sketsatun mekanismin toimintaa pystytään havainnollistamaan ja suunnittelemaan siten, että esimerkiksi tarkat nivelten pituudet, sijainnit ja suunnat jätetään tuntemattomiksi muuttujiksi. Tämän jälkeen mekanismin toimiessa halutulla tavalla tuntemattomat muuttujat voidaan ratkaista sketsin avulla. (Muelaner 2018)

Tämä menetelmä soveltuu erityisen hyvin tilanteisiin, joissa mekanismin lähtö- sekä päätepisteet tunnetaan, mutta reittiä, jota pitkin mekanismi kulkee ei tiedetä. Sketsin avulla mekanismin liikerata on helposti ratkaistavissa geometrisesti. Ilman CAD-ohjelmistolla suoritettua sketsausta ongelma jouduttaisiin ratkaisemaan muilla menetelmillä, kuten matemaattisesti transformaatiomatriisin avulla. (Muelaner 2018) Myös Tuhola ja Viitanen (2008) mainitsevat kirjassaan sketsien hyödyistä karkeaa mekanismien mitoitusta tehdessä ja liikkeiden ääripäitä etsittäessä. Esimerkkinä tällaisesta tilanteesta he käyttävät sketsien avulla suoritettavaa liikeratatarkastelua, jossa määritetään hydraulisen sylinterin iskunpituutta. (Tuhola & Viitanen 2008, s. 76–77) Sketsattu liikeratatarkastelu soveltuu hyvin myös tilanteisiin, joissa jonkin ennalta valitun komponentin, kuten hydraulisyylinterin mahdollistamia liikkeitä halutaan sovittaa laitteen muuhun toimintaan.

Konseptointivaiheessa suunniteltavasta tuotteesta tai sen osatoiminnoista luodaan usein erilaisia versioita, joista parhaiten asiakastarpeisiin ja tuotevaatimukseen vastaava vaihtoehto valitaan jatkokehittäväksi. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 15) Näiden eri ratkaisumahdollisuuksien luomiseen, etenkin mekanismien toimintaperiaatteiden suunnittelun

osalta, CAD-ohjelmistot ovat tehokkaita, koska ne mahdollistavat mallien helpon muokkaamisen. Lisäksi samaa mallia muokkaamalla ja tallentamalla se uutena tiedostona, voidaan luoda nopeasti erilaisia toimintaratkaisuja ilman, että tuotetta joudutaan mallintamaan alusta alkaen. Kuitenkin CAD-ohjelmistojen käyttö uusia innovaatioita ja esimerkiksi tuotteiden ulkonäköä hahmoteltaessa on vielä hieman rajoittunutta. Tämä perustuu siihen, että CAD-ohjelmistojen käyttö koetaan usein liian haastavaksi ja näin osaltaan luovuutta rajoittavaksi tekijäksi verrattuna kynän ja paperin käyttöön.

## **4.2 CAD-ohjelmistojen hyödyt systeemi- ja detaljisuunnitteluvaiheessa**

Seuraavat askeleet Ulrichin ja Eppingerin (2012) tuotekehitysprosessimallissa ovat systeemi- ja detaljisuunnittelun vaiheet, joiden tavoitteena on muodostaa suunniteltavasta tuotteesta jo melko tarkat ja yksityiskohtaiset kehitelmät tuotteen valmistusta ja kokoonpanoa varten. Pahlin ja Beitzin (1990) prosessimallista nämä vaiheet vastaavat tuotteen kehitelmä- ja viimeistelyvaiheita. Jokaiseen näihin edellä mainittuun vaiheeseen CAD-ohjelmistot tarjoavat perustavanlaatuisia työkaluja, jotka ovat hyödynnettävissä monissa tehtävissä niiden aikana.

Systeemisuunnitteluvaiheessa lopullista konseptiratkaisua ryhdytään jatkokehittämään. Tässä vaiheessa tuotteesta mallinnetaan yleisesti melko yksinkertaisia 3D-malleja, joilla pyritään havainnollistamaan esimerkiksi tuotteen mekanismien toimintaa (Ulrich & Eppinger 2012, s. 15, 184–204). Mikäli konseptointivaiheessa valitusta konseptiratkaisusta ei ole mallinnettu tuotteen 3D-mallia CAD-ohjelmistoa käyttäen, tehdään se usein systeemisuunnitteluvaiheen aikana, jotta lopuissa tuotekehitysprosessin vaiheissa pystytään hyödyntämään tietokoneavusteista suunnittelua (Bryden 2014). Esimerkiksi Brydenin (2014) esittelemissä case-tutkimuksissa lopulliset konseptiratkaisut mallinnettiin CAD-ohjelmistoilla pääsääntöisesti heti konseptiratkaisun valinnan ja siitä tehdyn visualisoinnin jälkeen, jotta tuotetta voitiin jatkossa suunnitella tietokoneavusteisesti. Case-tutkimuksissa konseptointivaiheessa käsin piirretyistä sketseistä tehtiin usein realistisia kuvia kuvanmuokkausohjelmistojen avulla, kuten Photoshopilla. Realistisien mallikuvien pohjalta tuote oli helpommin mallinnettavissa, koska useisiin CAD-ohjelmistoihin voidaan liittää kuva mallinnuspohjan taustalle, jolloin mallinnuksessa voidaan hyödyntää taustalla olevan kuvan geometriaa. (Bryden 2014)

Lisäksi systeemisuunnitteluvaiheessa tuotteen kehityksessä keskitytään myös usein tuotteen modulaarisuuteen ja tuoterakenteeseen siten, että tuotteesta tehtävien variaatioiden avulla pystytään vastaamaan mahdollisimman moniin asiakasvaatimukseen (Hie-



tikko 2015, s. 48). Myös modulaarisuuden suunnitteluun CAD-ohjelmistot soveltuvat hyvin, sillä niiden avulla tuotteesta on helppo mallintaa erilaisia versioita, joita vaihe vaiheelta pystytään muokkaamaan ja tarkentamaan kohti lopullista tuoteratkaisua.

Systemisuunnitteluvaiheessa mekanismien suunnittelun osalta oleellista on myös varmistaa mekanismien toimivuus. On tärkeää, että konseptointivaiheessa sketsaten, mahdollisesti rautalankamalleja hyödyntäen, suunnitellut mekanismit toimivat todellisessa kokoluokassaan sekä muodossaan halutulla tavalla ja sopivat muuhun tuotteen rakenteeseen suunnitellusti. Tämä onnistuu hyvin CAD-ohjelmilla tuotteen kokoonpanoa mallinnettaessa. Monissa CAD-ohjelmistoissa kokoonpanoja pystytään analysoimaan hyvinkin kattavasti. Ne esimerkiksi havaitsevat, jos joidenkin kokoonpanon osien välillä tapahtuu törmäyksiä, joita mallin ulkopuolelta tarkasteltaessa ei voida havaita. CAD-ohjelmistoilla mallia pystytään myös kääntelemään vapaasti haluttuun asentoon ja zoomata lähelle yksityiskohtia. Näin mallia pystytään tutkimaan monista eri näkökulmista ja jopa sen sisäpuolelta erilaisia leikkauksia hyödyntäen. (Tuhola & Viitanen 2008, s. 89–109, 122–127)

Detaljisuunnitteluvaiheessa tuotteen jokainen osa saa lopullisen muotonsa (Hietikko 2015, s. 48). Nykyään lähes poikkeuksetta tuotteen osat mallinnetaan CAD-ohjelmistoilla siihen muotoon, missä ne halutaan lopullisessa tuotteessa olevan. Osat voidaan mallintaa joko erillisinä kappaleina tai suoraan kokoonpanoon sen oikealle paikalle. Tuotteesta voidaan myös muodostaa erillisiä osakokoonpanoja esimerkiksi tietyn toiminnallisuuden toteuttavien osien kokonaisuuksia. Kokoonpanojen avulla tuotteen toimintaa voidaan tutkia hyvinkin kattavasti. Esimerkiksi Tuholan ja Viitasen (2008) mukaan kokoonpanot ovat se suunnittelutyön osa-alue, josta 3D-mallien ja CAD-ohjelmistojen käytöllä saadaan eniten hyötyä. Kokoonpanojen ja niille suoritettavien kinemaattisten tarkastelujen sekä erilaisten analyysien avulla mallista voidaan helposti tarkastella sen ominaisuuksia, kuten lujoustarkasteluita, mekanismin liikeratoja sekä mahdollisia komponenttien törmäyksiä. Lisäksi, jos kokoonpanon kaikille osille on asetettu valmistusmateriaalit, voidaan myös esimerkiksi tuotteen painoa tarkastella. (Tuhola & Viitanen 2008, s. 98, 122–127) Etenkin mekanismeja suunniteltaessa kokoonpanojen ja osakokoonpanojen avulla pystytään helposti tarkastelemaan mekanismien osien liikeratoja ja toimintaa lopullisessa muodossaan. Mikäli analyysien avulla mekanismien toiminnassa havaitaan ongelmia, on ne helposti korjattavissa nykypäivän CAD-ohjelmistoilla, sillä kokoonpanon muodostavia osia pystytään muokkaamaan alkuperäisissä tiedostoissa siten, että muutokset päivittyvät samalla myös kokoonpanoon.

### 4.3 CAD-ohjelmistojen hyödyt testaus- ja parannusvaiheessa sekä tuotannossa

Ulrihin ja Eppingerin (2012) tuotesuunnitteluprosessimallin toiseksi viimeisessä eli testaus- ja jatkokehitysvaiheessa CAD-ohjelmistoilla on myös nykypäivänä suuri merkitys. Tässä vaiheessa suunniteltua tuotetta testataan esimerkiksi erilaisten prototyyppien avulla. Mikäli tällöin tuotteen toiminnassa havaitaan ongelmia, palataan prosessissa aikaisempiin vaiheisiin ratkaisemaan ne. Ongelman ratkettua täytyy tuotteen prototyyppiä päivittää ja testata sen toimintaa uudestaan. Vasta laitteen toimiessa halutulla tavalla voidaan sen tuotanto aloittaa. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 15, 290–307) Tämän takia testaus- ja parannusvaiheen merkitys osana tuotesuunnitteluprosessia on tärkeässä asemassa.

Nykypäivänä CAD-ohjelmistojen ehkä yksi merkittävimmistä eduista tuotesuunnitteluprosessin kannalta onkin tuotteiden testaus- ja parannusvaiheissa hyödynnettävät simulaatiot sekä digitaaliset prototyypit. Moniin nykypäivän CAD-ohjelmistoihin on valmiiksi integroituna työkaluja, joiden avulla mallin toimintaa pystytään simuloimaan. CAD-ohjelmistoilla tehtyjen digitaalisten prototyyppien ja simulaatioiden avulla tuotekehityksen tehokkuutta ja tuottavuutta on parannettu huomattavasti. (Bryden 2014)

Digitaalisten prototyyppien avulla tuotekehittäjät pystyvät analysoimaan suunnittelemiin ratkaisuihin ilman, että tuotteesta tarvitsee valmistaa kalliita ja aikaa vieviä fyysisiä prototyyppieitä. Yksi digitaalisten prototyyppien suurimmista eduista fyysisiin prototyyppien verrattuna on niiden muokattavuus. Mikäli prototyyppiä testatessa tuotteen toiminnassa havaitaan ongelmia, on mahdolliset korjaukset huomattavasti helpommin tehtävissä digitaaliseen kuin fyysiseen prototyyppiin. Näin CAD-ohjelmistojen avulla tehtävillä prototyypeillä säästetään huomattavasti aikaa ja fyysisiin prototyyppien rakentamiseen uppoavia resursseja. Lisäksi hyvin suunnitellun digitaalisen prototyypin pohjalta tuotteesta on helppo valmistaa piirustukset fyysisen prototyypin rakentamista varten, jos tuotteen testausta halutaan jatkaa konkreettisen tuotteen avulla. Mikäli tuote osoittautuu riittävän hyväksi jo digitaaliselle prototyyppille tehtyjen analyysien pohjalta, voidaan sitä hyödyntää suoraan fyysisen tuotteen piirustuksien valmistuksessa. (Sclater 2011; Bryden 2014)

Varsinaisesti tuotekehitysprosessin tuotannon käynnistysvaiheeseen CAD-ohjelmistoista ei ole suoranaista hyötyä. CAD-ohjelmistoja voidaan kuitenkin hyödyntää yleisesti tuotteen valmistuksessa ja tuotannossa, esimerkiksi edellisessä kappaleessa mainitulla tavalla tuotteen piirustuksia valmistettaessa. Lisäksi tuotteen 3D-mallien ja piirustuksien avulla pystytään muodostamaan helposti työstöohjeet CNC-laitteilla tai esimerkiksi 3D-

tulostamalla valmistettaville osille. CAD-ohjelmistoja hyödynnetään myös tuotteen valmistuksen apuna käytettävien jigien ja muottien suunnittelussa. (Hietikko 2015, s. 139) Nykypäivänä tuotteiden valmistuksessa käytetään laajasti myös erilaisia robotteja sekä muita mekaanisia laitteita, joiden avulla tuotteiden valmistusta ja kokoonpanoa on automatisoitu. Esimerkiksi monilla teollisuuden aloilla erilaisia robotteja hyödynnetään useissa hitsaus- sekä kokoonpanotehtävissä. Mikäli tuotantoa varten täytyy suunnitella kokonaan uusia robotteja, voidaan CAD-ohjelmistoja hyödyntää niiden suunnittelussa yhtä lailla kuin muissakin tuotekehitysprojekteissa. Tämän lisäksi CAD-ohjelmistoilla voidaan suunnitella robottien toimintamekanismien ohella myös niiden liikeratoja, joita ne toimiessaan toteuttavat. (Larkin et al. 2016)

## 5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kandidaatintyön tavoitteena oli tuoda esille kirjallisuuskatsauksen muodossa, miten tuotekehitysprosessissa mekanismeja suunniteltaessa CAD-ohjelmistoja voidaan hyödyntää. Tuotekehitystä tarkasteltiin kahden eri kirjallisuudessa tunnetun tuotekehitysprosessimallin perusteella ja näin pystyttiin erittelemään tuotekehityksen eri vaiheita toisistaan. Tämän avulla CAD-ohjelmistojen tarjoamat hyödyt mekanismien suunnitteluun olivat myös helpommin sidottavissa tuotekehitysprosessiin.

CAD-ohjelmistot ovat tuotekehitysprosesseihin liittyvässä suunnittelussa hyödynnettäviä tietokoneavusteisia suunnitteluohjelmistoja. Tuotekehityksen tavoitteena on ylläpitää ja parantaa tuotteita valmistavan yrityksen kilpailukykyä kehittämällä olemassa olevia tuotteita sekä luomalla uusia innovaatioita siten, että tuotteet vastaavat jatkuvasti muuttuviin asiakasvaatimuksiin. Jotta tuotekehitystoimintaa voidaan tarkastella prosessina ja siihen liittyviä tekijöitä tunnistaa, tulee ensiksi tutustua erilaisiin tuotekehitysprosessimalleihin. Nämä teoreettiset mallit ohjaavat tuotekehityksen kulkua organisaatiossa ja jäsentävät projektien etenemistä. Usein organisaatioissa kuitenkin sovelletaan erilaisia prosessimalleja ja räätälöidään ne omaan toimintaan sopiviksi. Tuotekehitysprosessimallit toimivat siis viitekehityksenä ohjaamassa ja selkeyttämässä tuotekehitysprojehtien kulkua ja johtamista, mikä on tärkeää, sillä projekteissa on usein osallisena paljon eri henkilöitä yrityksen eri liiketoimintaosa-alueilta.

Kirjallisuuskatsauksen tuloksena huomattiin, että CAD-ohjelmistoja hyödynnetään paljon nykypäivän tuotekehityksessä, ja niillä on suuri merkitys miltei jokaisessa tuotekehitysprosessin vaiheessa. Kuitenkin tietyissä prosessin vaiheissa CAD-ohjelmistojen käytöllä voidaan saavuttaa merkittävämpiä hyötyjä kuin toisissa. Esimerkiksi tuotteen testausvaiheessa CAD-ohjelmistolla mallinnettujen prototyyppien avulla pystytään tuotekehityksessä säästämään huomattavia määriä resursseja, kun taas konseptointivaiheessa uusia ideoita generoitaessa CAD-ohjelmistoilla ei saavuteta niin konkreettisia ja helposti mitattavia hyötyjä. Kuitenkin nykypäivän kehittyneet CAD-ohjelmistot tarjoavat useita hyödyllisiä työkaluja, joita mekanismeja suunniteltaessa tuotekehitysprosessin eri vaiheissa voidaan hyödyntää. Taulukossa 1 on esitetty keskeisimmät CAD-ohjelmistojen käytöllä saavutettavat hyödyt Ulrichin ja Eppingerin tuotekehitysprosessimallin vaiheisiin sitoen.

**Taulukko 1. CAD-ohjelmistojen käyttötapauksia tuotekehitysprosessin vaiheissa**

Tuotekehitysprosessin vaihe	Esimerkki CAD:n käyttötapaus	Saavutettava hyöty
Konseptointi	Mekanismien hahmottelu sketsien avulla	Sketsattujen mekanismien toimintaperiaatteiden helppo ja nopea testaus sekä muokkaaminen
Systeemisuunnittelu	Valitun konseptiratkaisun alustava 3D-mallinnus	3D-mallit ovat havainnollistava tapa mekanismien toimintaratkaisujen esittämiseen, lisäksi ne ovat monipuolisesti muokattavissa tuotteen jatkokehitystä ajatellen
Detaljisuunnittelu	Suunniteltavan tuotteen osien ja kokoonpanojen mallinnus lopulliseen muotoonsa	Mallinnettujen osien ja kokoonpanojen pohjalta piirustukset mekanismien/tuotteen valmistusta ja kokoonpanoa varten
Testaus ja parannus	Mallinnetuille mekanismien kokoonpanoille tehtävät kinemaattiset tarkastelut sekä simulaatiot	Mallinnetun mekanismin/tuotteen testaus ja simulointi ilman fyysisistä prototyyppejä
Tuotanto	Tuotantojärjestelmien ja tuotannossa käytettävien apuvälineiden suunnittelu	Tuotteen valmistuksessa käytettävien apuvälineiden, kuten robottien, muottien ja jigien suunnittelu niiden rakenteen ja mekanismien osalta

Ulrichin ja Eppingerin malli koostuu kuudesta vaiheesta, joista ensimmäinen eli tuoteohjelman suunnitteluvaihe jätettiin kuitenkin pois taulukosta, koska se sisältää varsinaisen tuotekehitysprosessin valmistelevia toimenpiteitä ja strategista suunnittelua, eikä CAD-ohjelmistoille ole varsinaista käyttöä tässä vaiheessa. Seuraavat viisi vaihetta sisältävät useita eri mahdollisia käyttökohteita CAD-ohjelmistojen hyödyntämiseen. Etenkin systeemi- ja detaljisuunnitteluvaiheissa CAD-ohjelmistoista on paljon hyötyä. Voidaankin ajatella, että näissä vaiheissa olevia tehtäviä varten CAD-ohjelmistot ovat alun perin kehitetty.

Taulukon mukaisesti ensimmäinen vaihe, jossa CAD-ohjelmista saadaan hyötyä mekanismien suunnittelua ajatellen, on konseptointi. Konseptoinnissa CAD-ohjelmistojen avulla sketsatut rautalankamallit ovat helppo ja visuaalinen tapa mekanismien karkean tason suunnitteluun. Sketseihin lisättävien parametrien ja geometrisien ehtojen avulla mekanismin toimintaperiaatteiden ja liikeratojen suunnittelu on huomattavasti kynällä ja paperilla tehtyä hahmottelua tehokkaampaa. Lisäksi CAD-ohjelmistoilla sketsien muokaus on nopeaa ja vaivatonta kumittamiseen tai kokonaan uuden hahmotelman piirtämiseen verrattuna.

Konseptointi on tuotekehitysprosessin eniten luovuutta vaativa vaihe. Tähän mennessä CAD-ohjelmistot eivät ole olleet kovin merkittävässä asemassa uusien ideoiden luomisessa. Kuitenkin uusimpien CAD-ohjelmistoihin integroitavien ominaisuuksien, kuten topologisen optimoinnin sekä erilaisten AR- ja VR-teknologioiden (Augmented reality, Virtual reality) avulla CAD-ohjelmistoja voidaan hyödyntää yhä monipuolisemmin ja yhä aikaisemmissa vaiheissa tuotesuunnittelussa. Jo nykypäivänä topologista optimointia voidaan hyödyntää uusien ideoiden generoinnissa tiettyjen alkuehtoien avulla. Tulevaisuudessa topologian merkitys tulee kasvamaan osana tuotekehitystä.

Systeemi- ja detaljisuunnitteluvaiheisiin CAD-ohjelmistot tarjoavat melko samankaltaisia ja perustavanlaatuisia etuja suunnittelun tueksi. Näissä vaiheissa suunniteltava tuote, oli kyseessä mekanismi tai koko laite, mallinnetaan sen lopulliseen muotoonsa. Nykypäivänä tuotesuunnittelussa hyödynnetään lähes poikkeuksetta tietokoneita ja systeemisuunnittelu onkin usein se vaihe, jossa viimeistään käsin kynällä ja paperilla hahmotelluista sketseistä siirrytään tietokoneavusteiseen suunnitteluun. Systeemisuunnittelussa suurin CAD-ohjelmistoista saatava hyöty onkin tuotteen perinteinen mallinnus. Tämä on myös ensimmäinen vaihe, jossa tuotteen toimintaa päästään arvioimaan mallinnettujen osien ja niistä luotujen kokoonpanojen avulla. Kuitenkin lopullisia ratkaisuja päästään testaamaan vasta detaljisuunnitteluvaiheen jälkeen, jolloin tuotteen osat ovat mallinnettu lopulliseen muotoonsa. Detaljisuunnitteluvaiheen päätteeksi viimeistellyn mallin avulla saadaan tuotettua myös piirustukset tuotteen valmistamista varten. CAD-ohjelmistoilla suoritettava mallinnus on erittäin visuaalinen ja tehokas tapa tuotteen suunnitteluun. CAD:n avulla suunnittelija näkee kädenjälkensä hetkessä, on kyseessä sitten mekanismien suunnittelu tai tuotteen ulkomuotojen viimeistely ilman, että fyysisiä rakennelmia täytyy rakentaa. Lisäksi tulevaisuudessa CAD-ohjelmistoihin integroidun VR-teknologian kehittyessä tuotteita voidaan suunnitella vielä visuaalisemmilla tavoilla ja esimerkiksi mitasuhteiden hahmottaminen helpottuu tietokoneen ruudulla tapahtuvaan mallintamiseen verrattuna.

Detalji- ja systeemisuunnitteluvaiheiden lisäksi tuotteen testausvaiheessa pystytään saavuttamaan merkittäviä hyötyjä tuotekehitysprosessin kannalta. Testaus- ja parannusvaiheessa nämä CAD-ohjelmistojen hyödyt realisoituvat huomattavina säästöinä, sillä tässä vaiheessa voidaan vaikuttaa kehitystyöhön kuluvien resurssien käyttöön. Tämä on mahdollista, koska nykypäivän CAD-ohjelmistojen avulla mallinnettuja osia ja kokoonpanoja voidaan testata erittäin kattavasti erilaisin kinemaattisin tarkasteluin ja simulaatioiden avulla. Näiden niin kutsuttujen digitaalisten prototyyppien avulla tuotteen toimintaa voidaan testata saman mallin pohjalta, joka tuotteen valmistusta varten mallinnetaan.

CAD-ohjelmistojen ansiosta tuotteesta ei välttämättä tarvitse siis rakentaa fyysisiä prototyyppijä ja näin säästetään huomattavasti aikaa ja rahaa. Tuotantovaiheessa CAD-ohjelmistojen avulla saavutettavat hyödyt ovat hieman toissijaisia. Kuitenkin CAD-ohjelmistot soveltuvat hyvin myös erilaisten tuotantolaitteiden suunnitteluun, kuten robottikäsien mekanismien mallintamiseen. CAD-ohjelmistojen avulla voidaan myös suunnitella tuotteen valmistuksessa ja kokoonpanossa hyödynnettäviä muotteja ja jigijä.

Yhteenvedona voidaan todeta, että CAD-ohjelmistojä pystytään hyödyntämään tuotekehityksessä ja etenkin mekanismien suunnittelussa jo hyvin monipuolisesti. Teknologian kehittyessä jatkuvasti eteenpäin myös CAD-ohjelmistojä pystytään rikastuttamaan uusilla ominaisuuksilla ja esimerkiksi VR-tekologian avulla ohjelmistot kykenevät visuaalisempiin mallinnustapoihin, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi demotessa tuotteita asiakkaille. Keskeisimmät hyödyt, joita CAD-mallinnuksella saavutetaan ovat kuitenkin kustannussäästöt ja nopea suunnittelutyöhön liittyvä iterointi. Jatkotutkimusaiheena voitaisiinkin selvittää, millä tavalla VR-tekologiaa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää CAD-ohjelmistoissa, ja millaisia uusia hyötyjä VR-tekologialla voidaan saavuttaa tuotekehitysprosessissa. Työn rajoitteeksi muodostui se, kuinka tarkasti ja yksityiskohtaisesti tuotekehitysprosessin vaiheita pystyttiin tarkastelemaan. Jotta kandidaatintyön laajuus pysyi oikeissa mitoissa, työssä ei voitu käsitellä täysin yksityiskohtaisesti kaikkia CAD-ohjelmistojen hyötyjä prosessin eri vaiheissa. Työssä onnistuttiin kuitenkin vastaamaan tutkimuskysymyksiin ja esittämään tulokset konkreettisina käyttötapauksina prosessin vaiheisiin liittäen.

# LÄHTEET

- Blom S. et al. (2001). Koneenelimet ja mekanismit, 5. painos, Edita Oyj, Helsinki. 328 s.
- Bryden D. (2014). CAD and rapid prototyping for product design. Laurence King Publishing, London. 176 p.
- Company P., Contero M., Varley P., Alexios N. & Naya F. (2009). Computer-aided sketching as a tool to promote innovation in the new product development process, Computers in Industry, Vol. 60, (8), pp. 592-603. Saatavissa (viitattu 26.4.2021): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016636150900133X>
- Forsberg K., Mooz H., Cotterman H. & Arola J. (2003). Projektinhallinta : malli kaupalliseen ja tekniseen menestykseen, Edita Oyj, Helsinki. 350 s.
- Hayes R. H., Wheelwright S. C. & Clark K. B. (1988). Dynamic manufacturing : creating the learning organization, Free Press, New York. 429 p.
- Hietikko E. (2015). Tuotekehitystoiminta, 3. painos, Books on Demand, Helsinki. 204 s.
- Hietikko E. (2020). Solidworks 2020, 8. painos, Books on Demand, Helsinki. 318 s.
- Jokinen T. (2001). Tuotekehitys, 6. painos, Otatieto Oy, Helsinki. 200 s.
- Kivistö-Rahnasto J. & Vuori M. (1998). Viestintä tuotekehityksessä, VTT Automaatio, Tampere. 24 s. Saatavilla (viitattu 26.4.2021): <https://www.mattivuori.net/julkaisuluettelo/liitteet/viestin2.pdf>
- Larkin N., Short A., Pan Z. & van Duin S. (2016). Automatic program generation for welding robots from CAD, IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Banff, Canada pp. 560–565. Saatavissa (viitattu 26.4.2021): <https://ieeexplore.ieee.org/document/7576827>
- Lempiäinen J. & Savolainen J. (2003). Hyvin suunniteltu - puoliksi valmistettu : lyhyt johdatus tuotteiden valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen, 2. painos, Suomen robotiikkayhdistys, Helsinki. 180 s.
- Martinsuo M., Aalto T. & Artto K. (2003). Projektisalkun johtaminen : tuotekehitysprojektien valinta ja strateginen ohjaus, Metalliteollisuuden Kustannus, Helsinki. 177 s.
- Mostafa M. A. (2013). Mechanics of machinery, CRC Press, New York. 459 p. Saatavissa (viitattu 26.4.2021): <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/reader.action?docID=1447158>
- Muelaner J. (2018). Using CAD to Synthesize Mechanisms. Engineers Rule – Technology for Design and Engineering. Saatavissa (viitattu 1.5.2021): <https://www.engineers-rule.com/using-cad-synthesize-mechanisms/>
- Pahl G. & Beitz W. (1990). Koneensuunnitteluoppi, 2. painos, Springer Verlag ja Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Porvoo. 608 s.
- Pohjonen R. (2002). Tietojärjestelmien kehittäminen, Docendo, Jyväskylä. 178 p.



Salorinne S. & Laamanen K. (1994). Tuotekehityksen mittaaminen, Metalliteollisuuden kustannus, Helsinki. 54 s.

Sclater N. (2011). Mechanisms and mechanical devices sourcebook, 5<sup>th</sup> ed., McGraw Hill, New York. Saatavissa (viitattu 26.4.2021): <https://www.accessengineering-library.com/content/book/9780071704427>

Simón Mata A. et al. (2016). Fundamentals of Machine Theory and Mechanisms, Springer International Publishing, Cham. 409 p. Viitattu (saatavilla 26.4.2021): <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-31970-4>

Slocum A. (2008). Fundamentals of Design, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

Tan C. L. & Vonderembse M. A. (2006). Mediating effects of computer-aided design usage: From concurrent engineering to product development performance. *Journal of Operations Management*, Vol 24 (5), pp. 494–510. Saatavissa (viitattu 26.4.2021): <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1016/j.jom.2005.11.007>

Tuhola E. & Viitanen K. (2008). 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä, Tammer-tekniikka, Tampere. 175 s.

Ulrich K. T. & Eppinger S. D. (2012). Product design and development, 5<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill Irwin, New York. 415 p.

Villanen J. (2016). Tuotteista tähtituotteita : tarinoita, tehtävää, teoriaa, Kauppakamari, Helsinki. 331 s.