



TEKNISTALOUDELLINEN TIEDEKUNTA

TUOTANTOTALOUDEN OSASTO

CS30A9001 Kandidaatintyö ja seminaari – Innovaatio- ja teknologiajohtaminen

# **Rapid prototyping: pikavalmistuksen mahdollisuudet tuotekehityksessä**

## **Rapid prototyping and its opportunities in product development**

Kandidaatintyö

Pontus Huotari

Juho Tarvainen

## TIIVISTELMÄ

**Tekijät:** Pontus Huotari, Juho Tarvainen

**Työn nimi:** Rapid prototyping: pikavalmistuksen mahdollisuudet tuotekehityksessä

Rapid prototyping and its opportunities in product development

**Osasto:** Tuotantotalous

**Vuosi:** 2012

**Paikka:** Lappeenranta

Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

51 sivua, 5 taulukkoa ja 12 kuvaa

Tarkastaja: Tutkijaopettaja, TkT Kalle Elfvengren

**Hakusanat:** Pikavalmistus, tuotekehitys, mahdollisuudet, hyödyt

**Keywords:** Rapid prototyping, rapid tooling, rapid manufacturing, advantages, opportunities, product development

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää miten pikavalmistusta voidaan hyödyntää tuotekehityksessä ja mitä mahdollisuuksia se tarjoaa tuotekehityksen kehittämiseksi ja monipuolistamiseksi.

Työn teoreettisessa osuudessa selvennetään pikavalmistuksen teknistä toimintaa ja sen liittymistä tuotekehitysprosessiin. Tuotekehitysteorioista esitellään yleisimmät teoriat ja niiden menetystekijät sekä ongelmat. Työn jälkimmäisessä osassa esitellään pikavalmistuksen mahdollisuudet ja hyödyt tuotekehityksissä. Pikavalmistuksen hyödyntämisen edellytykset esitellään viimeiseksi.

Tutkielma on toteutettu kirjallisuustyönä ja saadut tulokset perustuvat alan kirjallisuuteen ja artikkeleihin. Tutkimuksessa selvisi, että pikavalmistuksen avulla pystytään pienentämään tuotekehityksen kustannuksia merkittävästi. Tuotekehitykseen kuluva aika voidaan lyhentää huomattavasti. Suunnittelun laatua pystytään parantamaan ja poistamaan suunnittelun rajoituksia. Valmistusteknisesti pikavalmistuksella on joitakin ylivoimaisia ominaisuuksia perinteisiin valmistustekniikoihin nähden.

# SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Tavoitteet ja rajaus .....	1
1.2	Rakenne.....	2
2	PIKAVALMISTUKSEN KÄSITTEET JA TEKNOLOGIA .....	3
2.1	Pikavalmistukseen liittyvä keskeinen käsitteistö .....	3
2.2	Pikavalmistuksen tekninen tausta .....	6
3	TUOTEKEHITYS JA PIKAVALMISTUKSEN LIITTYMINEN SIIHEN .....	11
3.1	Tuotekehitys käsitteenä ja tuotekehitysstrategia .....	11
3.2	Tuotekehitysprosessi .....	13
3.2.1	Perinteinen tuotekehitysprosessi .....	13
3.2.2	Stage-gate-tuotekehitysprosessimalli.....	14
3.2.3	Nykyiset tuotekehitysprosessimallit .....	15
3.3	Pikavalmistuksen rooli tuotekehityksessä.....	17
3.4	Tuotekehityksen kriittiset menestystekijät ja ongelmat .....	18
3.4.1	Menestystekijät .....	19
3.4.2	Ongelmat.....	21
4	PIKAVALMISTUKSEN MAHDOLLISUUDET TUOTEKEHITYKSESSÄ .....	23
4.1	Kustannussäästöt tuotekehityksen aikana .....	23
4.2	Mallien ja tuotteiden valmistamisen nopeutuminen.....	25
4.3	Case Ford: esimerkki kustannus- ja aikahyödyistä .....	27
4.4	Suunnittelun laatu paranee .....	28
4.4.1	Prototyyppien hyödyt tuotekehityksessä.....	29
4.4.2	Suunnittelu on monipuolisempaa.....	29
4.4.3	Suunnittelumuutoksia voidaan tehdä tuotannon aloittamisen kynnyksellä .....	30
4.4.4	Asiakkaiden hyödyntäminen tuotteiden suunnittelussa .....	31
4.4.5	Case käsikonsoli: esimerkki suunnittelun tehostumisesta .....	32
4.5	Valmistustekniset mahdollisuudet.....	32
4.5.1	Kappaleen yksikkökustannus ei riipu sen monimutkaisuudesta.....	32

4.5.2 Kappaleen valmistusnopeus ei riipu sen monimutkaisuudesta.....	33
4.5.3 Case: kustomoidut soittimet.....	34
5 PIKAVALMISTUKSEN TARJOAMIEN MAHDOLLISUUKSIEN TOTEUTUMISEN EDELLYTYKSET.....	37
5.1 Strategiset edellytykset.....	37
5.2 Taloudelliset edellytykset.....	38
5.3 Tekniset ja organisatoriset edellytykset .....	39
6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	41
6.1 Pikavalmistuksen mahdollisuudet .....	41
6.2 Pikavalmistuksen tulevaisuudennäkymät.....	44
7 YHTEENVETO .....	46
LÄHTEET.....	48

## **LYHENNELUETTELO**

2D - Two-dimensional

3D - Three-dimensional

AHP - Analytical Hierarchy Process

CAD - Computer aided design

CAE - Computer aided engineering

CAM - Computer aided manufacturing

CMM - Coordinate measuring machine

CNC - Computerized numerical control

FDM - Fused deposition modeling

IRPRM - Integrated rapid prototyping and rapid manufacturing

IRPRT - Integrated rapid prototyping and rapid tooling

LOM - Laminated object manufacturing

NC - Numerical control

RE - Reverse engineering

RP - Rapid prototyping

RT - Rapid tooling

RTs - Rapid technologies

RM - Rapid manufacturing

SLA - Stereolithography apparatus

SLS - Selective laser sintering

STL - Stereolithography file

# 1 JOHDANTO

Tämä kandidaatintutkielma on kirjoitettu aiheesta ”Rapid prototyping: pikavalmistuksen mahdollisuudet tuotekehityksessä”. Pikavalmistuksen käyttö on yleistynyt viime vuosina nopeaan tahtiin, mutta suomeksi aiheesta on kirjoitettu melko vähän. Pikavalmistuksen avulla pystytään nopeasti valmistamaan tietokonepiirustusten mukainen kolmiulotteinen kappale. Pikavalmistuksen käyttökohteet lisääntyvät jatkuvasti tekniikan kehittyessä ja tällä hetkellä sitä käytetään monilla eri teollisuuden aloilla aina autoteollisuudesta lääketeollisuuteen. Tähän mennessä suurimmat hyödyt on saavutettu tuotekehitysprosessin sekä lopputuotteiden valmistuksen yhteydessä. Kokemukset pikavalmistuksen käyttöönotosta ovat olleet erittäin positiivisia. Sen avulla on saavutettu merkittäviä kustannus-, aika- ja suunnitteluhyötyjä tuotekehityksessä ja myös tuotannon apuvälineiden ja lopputuotteiden valmistuksessa. Lisäksi pikavalmistuksella on joitakin ylivoimaisia teknisiä ominaisuuksia verrattuna perinteisiin valmistusteknologioihin.

## 1.1 Tavoitteet ja rajaus

Tutkielmassa selvitetään pikavalmistuksen käyttöönoton hyötyjä tuotekehityksessä sekä minkälaisia mahdollisuuksia pikavalmistus tarjoaa tuotekehitysprosessin kehittämiseen ja ongelmakohtien poistamiseen. Pikavalmistus käsittää termin laajassa merkityksessä prototyyppien, apuvälineiden, ja lopputuotteiden valmistamisen. Työssä käsitellään pikavalmistuksen mahdollisuuksia tuotekehityksessä näiden kolmen käyttökohteen kautta. Lisäksi selvitetään, mitä näiden mahdollisuuksien toteutuminen edellyttää yritykseltä.

Työssä esitellään pikavalmistuksen mahdollisuuksia ennen kaikkea liiketoiminnan näkökulmasta. Pikavalmistuksen teknisiin ulottuvuuksiin syvennytään siinä määrin kuin ne vaikuttavat pikavalmistuksen mahdollisuuksiin tuotekehityksessä ja liiketoiminnassa. Tekniikan osalta selvitetään myös tärkeimmät termit, joita on huomattavan paljon. Näiden avulla selkeytetään pikavalmistuksen teknistä taustaa. Tekniikan ymmärtäminen on tärkeää, jotta voi täysin ymmärtää pikavalmistuksen hyötyjä ja mahdollisuuksia tuotekehityksen yhteydessä.

Tuotekehityksen osalta käymme läpi yleisimmät teoriat. Tuotekehitykseen liittyviä teorioita on niin paljon, ettei kaikkien läpikäyminen ole mielekäästä. Siksi keskitymme käytetyimpiin teorioihin, sekä erityisesti näissä teorioissa esitettyihin menestystekijöihin ja ongelma-kohtiin.

## 1.2 Rakenne

Tämä tutkielma vastaa seuraaviin kysymyksiin seuraavassa järjestyksessä:

- 1) Mitä pikavalmistus tarkoittaa ja mitä se on?
- 2) Mitä tuotekehitys on, miten pikavalmistus liittyy siihen ja mitä ovat tuotekehityksen menestystekijät ja ongelmat?
- 3) Mitä mahdollisuuksia pikavalmistus tuo tuotekehitykseen?
- 4) Mitä näiden mahdollisuuksien realisoituminen ja hyödyntäminen edellyttää yritykseltä?

Työn alkuosan tavoitteena on tutustuttaa lukija pikavalmistuksen maailmaan ja selventää kyseisen tekniikan perusteet ja yleisimmät termit. Tämän jälkeen luvussa 3 käsitellään tuotekehityksen teoriaa, jonka yhteydessä paneudutaan tuotekehityksen käsitteistöön, tuotekehitysstrategiaan ja -prosessiin sekä tuotekehityksen ongelmiin ja menestystekijöihin. Luvussa 4 paneudutaan pikavalmistuksen hyötyihin ja mahdollisuuksiin liittyen tuotekehitykseen ja valmistukseen. Tässä osiossa esitellään muutamia esimerkkejä, joiden avulla selvennetään käsiteltäviä hyötyjä ja mahdollisuuksia. Mahdollisuuksien osalta käsitellään vielä luvussa 5 sitä, mitä näiden toteutuminen edellyttää yritykseltä. Lopuksi johtopäätökset ja yhteenveto kokoavat tutkielman ydinasiat yhteen.

Tämä tutkimus on kirjallisuustyö. Edellä esitettyihin kysymysten vastaukset perustuvat pääosin kirjallisista lähteistä löydettyyn materiaaliin. Näiden lisäksi joissakin kohdissa on esitetty soveltavia esimerkkejä ja päätelmiä. Tämä tutkielma ei sisällä varsinaista empiiristä tutkimusta, vaan vastaukset ovat kirjallisuusperusteisia.

## 2 PIKAVALMISTUKSEN KÄSITTEET JA TEKNOLOGIA

Tässä kappaleessa selvitetään pikavalmistukseen liittyvää terminologiaa ja sitä, mitä pikavalmistus tarkoittaa yleisellä teknisellä tasolla. Pikavalmistukseen liittyvä terminologia ei ole yksiselitteistä ja erityisesti suomen kielessä käännökset voivat aiheuttaa ongelmia. Tekniikkaan syvennyttään siinä määrin kuin se on mielekästä pikavalmistuksen tarjoamien mahdollisuuksien johtamiseksi.

### 2.1 Pikavalmistukseen liittyvä keskeinen käsitteistö

Suomenkielisessä kirjallisuudessa pikavalmistuksella tarkoitetaan useiden tekniikoiden kokonaisuutta. "Pikavalmistus on käytännössä nimitys useille erilaisille tekniikoille, jotka kattavat mallien, prototyyppien ja työvälineiden valmistuksen. Näille on ominaista, että konkreettinen kiinteä kappale valmistetaan automaattisesti 3D CAD-aineistosta, ilman lastuavaa työstöä tai käsityötä." Pikavalmistuksella voidaan myös nykyisin tarkoittaa pikavalmistuslaitteistolla valmistettavien lopputuotteiden valmistusta. (Tekes, 1997, s. 1)

Englanninkielisessä kirjallisuudessa pikavalmistusterminologia on yksityiskohtaisempaa, muttei silti täysin selvää. Rapid prototypingi-termiä käytetään usein kuvaamaan erilaisia tekniikoita, joilla voidaan valmistaa kolmiulotteisia objekteja CAD-malleista. On olemassa myös useita muita termejä, joilla voidaan kuvata teknologiaa syvemmin, kuten (Gibson, 2005, s. 785):

- "Free form fabrication": tämä termi korostaa sitä, että pikavalmistamalla voidaan valmistaa käytännössä helposti monimutkaisiakin kappaleita
- "Automated fabrication": tämä termi liittyy pikavalmistuksen muihin samankaltaisiin teknologioihin, kuten "numeerisesti kontrolloituun valmistukseen" (NC machining), joilla osia voidaan valmistaa pitkälti ilman ihmisen apua
- "Layer-based additive manufacture": tämä termi taas korostaa pikavalmistuksen teknistä toimintaa, jossa lopullinen malli kootaan ohuista kalvoista lisäämällä niitä päällekkäin ja liittämällä yhteen.

Buswell et al. (2007, s. 225) taas korostavat määritelmässään erilaisten termien samankaltaista teknistä perustaa, ja määrittelevät "solid freeform fabricationin" yleistermiksi. Joskus puhutaan vielä lisäksi "nopeista teknologioista": "Rapid technologies" (RTs) ovat ratkaisuita, joilla voidaan val-



mistaa fyysisiä tuotteita paljon ennen täysimääräistä valmistusta”. (Yan & Gu, 1996, s. 307) Ingole et al. (2009, s. 280) määrittelevät seuraavat teknologiat kuuluviksi nopeiden teknologioiden piiriin:

- Rapid manufacturing (RM) tarkoittaa pikavalmistuksen avulla valmistettavien lopputuotteiden valmistusta (Buswell et al., 2007, s. 226)
- Rapid tooling (RT) tarkoittaa pikavalmistuksella valmistettavien aputyökalujen valmistusta tuotannon tarpeisiin (Ingole et al. 2009, s. 280)
- Rapid prototyping (RP) voi toimia yleisterminä kaikille eri teknologioille, tai sitten tarkoittaa tuotekehityksessä valmistettavien mallien valmistusta (Chin, 1998, s. 570)
- Reverse engineering (RE) tarkoittaa prosessia, josta jonkin kohteen tekniset ominaisuudet, rakenne ja toiminta selvitetään (Eilam, 2005, s. 1)

Kirjallisuudesta on löydettävissä vielä lisää erilaisia määritelmiä, joissa useimmissa yritetään kiteyttää muun muassa RP, RT ja RM yhtenäiseksi kokonaisuudeksi, mitä ne ovatkin. On kuitenkin vielä syytä selventää, mitä yksittäiset termit RP, RT ja RM tarkoittavat erillään toisistaan. Lisäksi teknologioihin liittyy paljon terminologiaa, joista on syytä selventää merkittävimpiä termejä.

Erilaisista termeistä huolimatta, RP oli ensimmäinen termi, jolla pikavalmistamisen teknologiaa popularisoitiin. Täten se on jäänyt ikään kuin yleiseksi teknologiaa kuvaavaksi termiksi. (Gibson, 2005, s. 785) Tämä näkyy useissa lähteissä, sillä siihen viitataan useimmiten puhuttaessa pikavalmistuksesta. Toisaalta, niin kuin nimi prototyping antaa ymmärtää, kytkeytyy RP nimenomaan läheisimmin prototyypin rakentamiseen ja sitä myöten tuotekehitykseen. RP-teknologioilla pyritään nimenomaan automatisoimaan fyysisten mallien rakentamista ja täten nopeuttamaan merkittävästi tuotekehityssykliä ja parantamaan suunniteltavan lopputuotteen laatua. (Kamrani & Nasr, 2006, v - preface)

Myös Chin (1998, s. 570) määrittelee RP:n tuotekehitysteknologiaksi, mutta lisäksi valottaa rajaa RP:n ja RT:n välillä: “RP on teknologia, jolla fyysisiä 3D-osia voidaan rakentaa nopeasti ja tietokoneavusteisesti. Se voidaan määritellä automatisoiduksi ja kaavattomaksi prosessiksi, joka mahdollistaa kovien fyysisten kappaleiden valmistamisen suoraan tietokonedatasta lyhyessä ajassa. RP toimii ‘valmistamisen keskiössä’ ja se liittyy tietokoneavusteisen suunnittelun (‘CAD - computer-aided design’) ja valmistusprosessit toisiinsa. Se sisältää prototyypin valmistamisen lopputuotteen muotoilun varmistamiseksi ja jopa apuvälineiden valmistamisen tuotannon tarpeisiin (rapid tooling).”

RP onkin toiminut ja toimii edelleen teknologisena siltana RT:hen ja RM:ään. RP-prosesseja voidaan käyttää suoraan valumallien valmistukseen, mitä kutsutaan ”suoraksi rapid toolingiksi” (Ingolet al. 2009, s. 280). RM on taas termi, jota käytetään, kun RP-laitteita käytetään tuottamaan lopputuotteita tai niiden osia (Buswell et al., 2007, s. 225).

Oleennaista on, että RP, RT ja RM perustuvat periaatteessa samoihin teknologioihin, ja termien päätteet prototyping, tooling ja manufacturing määrittelevät niiden käyttökohteet. Näiden yhdistelmät ovat myös johdettavissa, ja ne ovat “integrated rapid prototyping and rapid tooling (IRPRT)” (Folkestad & Russell, 2002, s. 97) sekä “integrated rapid prototyping and rapid manufacturing (IRPRM)” (Buswell et al., 2007, s. 225). Nimiensä mukaisesti ne viittaavat RP:n yhdistämiseen RT:hen tai RM:ään. Näitä kaikkia termejä voidaan yleisesti kuvata muun muassa aiemmin mainituilla termeillä solid freeform fabrication, automated fabrication, layer-based additive manufacturing ja rapid technologies.

’Computer-aided design’ (CAD) ja ’Computer-aided manufacturing’ (CAM) tarkoittavat tietokoneavusteista suunnittelua ja valmistusta. Reverse engineering (RE) pikavalmistuksen yhteydessä tarkoittaa fyysisen kappaleen pinnanmuotojen mallintamista CAD-ohjelmistoon. (Chua et al., 2010, s. 11–12)

Tietokoneavusteisella suunnittelulla luotu malli muokataan STL-muotoon (stereolithography). Tämä on pikavalmistuslaitteistojen yleisimmin käyttämä tiedostomuoto (Chua et al., 2010, s. 11-12). Tässä tiedostossa 3D-malli on pilkottu ohuisiin 2D-kalvoihin, ja se sisältää mallin pintageometrian jättäen huomioimatta esimerkiksi värit ja materiaalin. (Chua et al., 1998, s. 146)

Laitteiden ohjaukseen valmistuksen aikana käytetään tietokoneistettua numeerista ohjausta (’computer numerical control’, CNC”) (Chua et al., 2010, s. 25). Tietokoneohjeistettu piirustusten työstö oli pikavalmistuksen varhaisimpia muotoja, ja sen jälkeen tekniikat ovat kehittyneet tarkemmiksi ja monipuolisemmiksi (Chen & Ng, 1997, s. 481). Erilaisia valmistusmenetelmiä on kymmeniä. Valmistustekniikat voidaan jakaa neste-, pulveri- ja kiinteäperusteisiin valmistusmenetelmiin. Neste- ja kiinteäperusteisistä menetelmistä tunnetuimpia ovat SLS (selective laser sintering) ja 3DP (3D-printing eli 3D-tulostus). Pulveriin pohjautuvista menetelmistä käytetyin on SLA (Systems’ stereolithography apparatus). Kiinteään aineeseen pohjautuvista valmistusmenetelmistä nousevat esiin FDM (fused deposition modeling) ja LOM (laminated object manufacturing). (Chua et al., 2010, s. 18–21)

Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto pikavalmistusterminologiasta. Termistö on esitetty oikean puoleisessa sarakkeessa ja vasemman puoleisessa sarakkeessa on termistöä vastaava kategoria.

Taulukko 1. Yhteenveto pikavalmistukseen liittyvästä terminologiasta.

Kategoria	Termistö
<b>Pikavalmistusteknologiaa kuvaavat käsitteet</b>	Freeform construction, solid freeform fabrication, automated fabrication, layer-based additive manufacturing, rapid technologies (RTs)
<b>Pikavalmistus ja siihen liittyvät käsitteet</b>	Pikavalmistus, rapid prototyping (RP), rapid tooling (RT), rapid manufacturing (RM), integrated rapid prototyping and rapid tooling (IRPRT), integrated rapid prototyping and rapid manufacturing (IRPRM)
<b>Pikavalmistukseen ja tietojenkäsittelyyn liittyvä termistö</b>	Computer-aided design (CAD), computer-aided manufacturing (CAM), stereolithography (STL), computer numerical control (CNC), reverse engineering (RE), virtual prototyping
<b>Pikavalmistusteknologiat</b>	3D-printing (3DP), selective laser sintering (SLS), stereolithography apparatus (SLA), fused deposition modeling (FDM), laminated object manufacturing (LOM), coordinate measuring machine (CMM) ja niin edelleen.

## 2.2 Pikavalmistuksen tekninen tausta

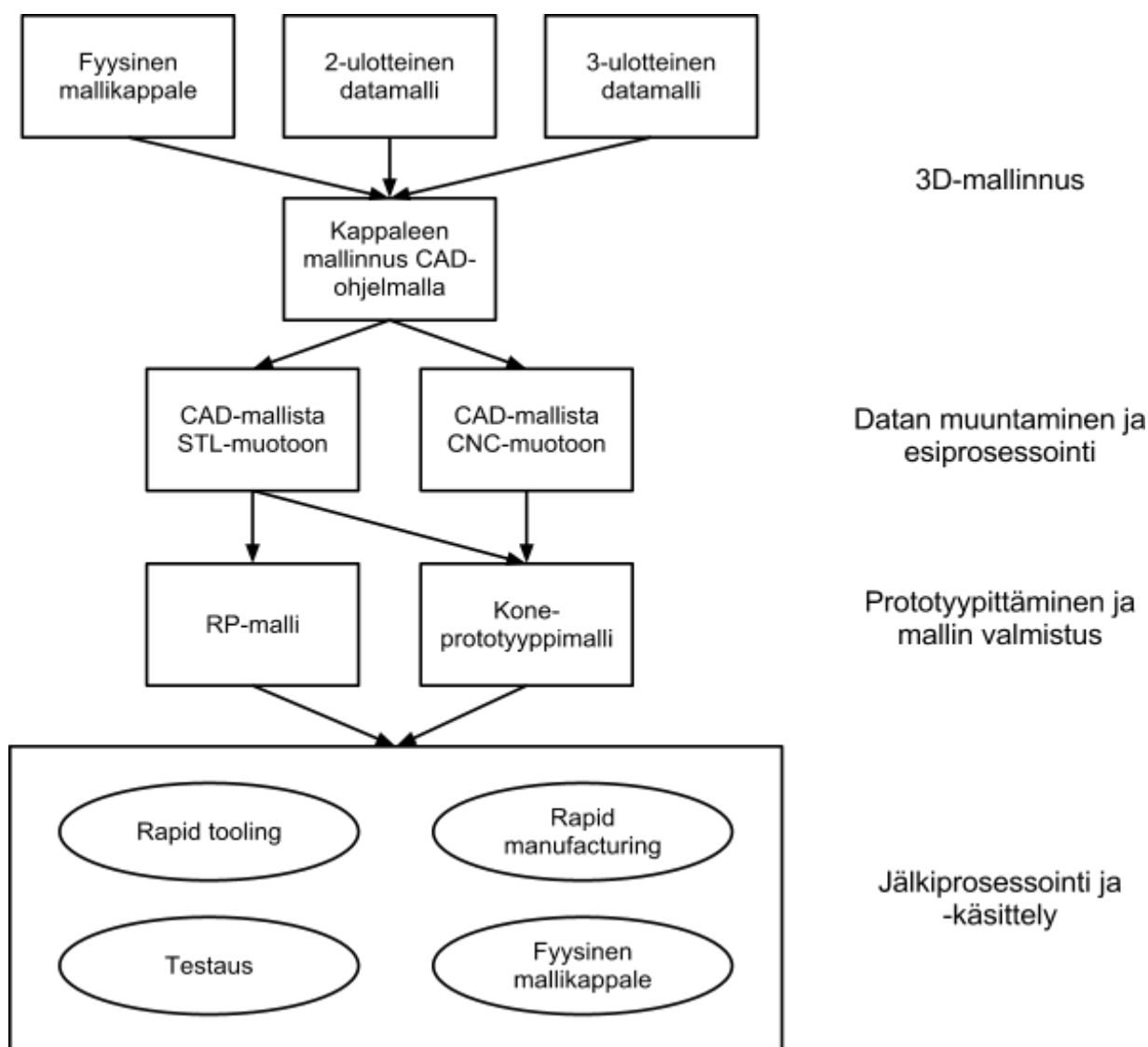
Pikavalmistusteknologioita on tähän päivään mennessä kehitetty useita kymmeniä. Syvällistä teknillistä tarkastelua ei ole tässä tutkimuksessa tehtä, vaan keskitytään yleiseen teknologiseen viitekehukseen, joka auttaa ymmärtämään pikavalmistuksen teknisen toiminnan yleisellä tasolla ja johtamaan pikavalmistuksen mahdollisuuksia tuotekehitykselle.

Erilaisista pikavalmistustekniikoista huolimatta, niille kaikille voidaan johtaa yleinen valmistusprosessi, joka on seuraavanlainen: (Chua et al., 2010, s.10) Malli tai komponentti mallinnetaan tietokoneavusteisesti CAD- tai CAM-ohjelmilla. Malli tulee esittää suljettuina pintoina, jotka yksiselitteisesti määrittävät suljetun kappaleen. Tällä varmistetaan se, että kaikki vaakasuorat pinnat, jotka ovat olennaisia pikavalmistustekniikoille, ovat suljettuja ja täten niitä kasaamalla voidaan luoda kiinteä kappale.

Mallinnettu kappale tai kappaleen pinnat viedään seuraavaksi esimerkiksi STL-tiedostomuotoon. STL-tiedostomuoto aproksimoi pinnat monikulmioina. Mitä pyöreämpiä valmistettavan kappaleen pinnat ovat, sitä enemmän monikulmioita tarvitaan aproksimoimaan pyöreää muotoa, ja täten myös STL-tiedosto voi olla hyvin suuri.

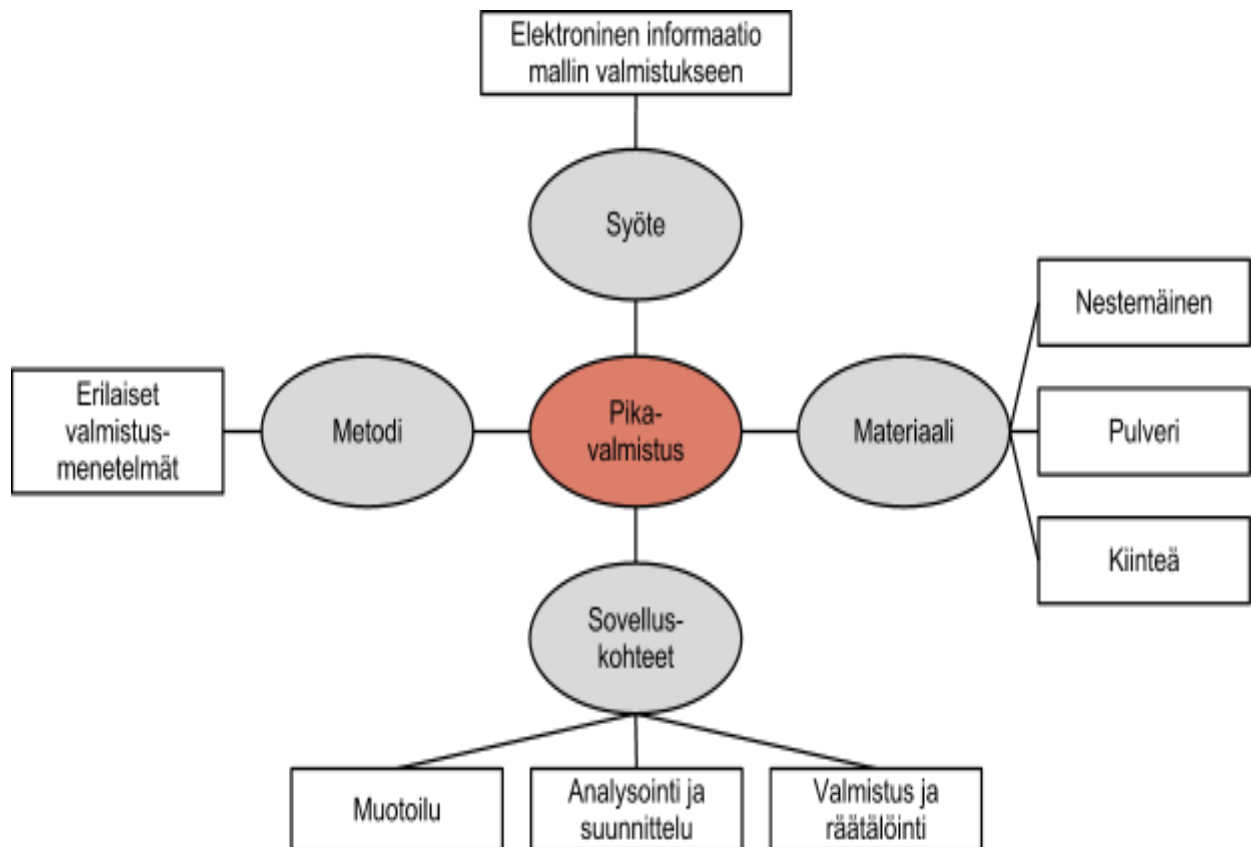
Tietokoneohjelma analysoi STL-tiedoston ja jakaa mallin poikkileikkauksiin. Poikkileikkaukset lisätään valmistuksen aikana systemaattisesti päällekkäin ja kovetetaan kiinteiksi kappaleiksi, jos kyseessä on neste- tai pulveripohjainen laite. Kiinteään aineeseen pohjautuvissa laitteissa liimataan yhteen ohuita ja valmiiksi kiinteinä olevia levyjä. Lopulta kolmiulotteinen malli muodostuu näistä ohuista levyistä. (Chua et al., 2010, s.10-11)

Kuvassa 1 on Kamranin et al. (2006, s. vi - preface) esittämänä pikavalmistusprosessi. Siinä edellä esitetyn kaltainen prosessi on jaettu neljään yksinkertaiseen vaiheeseen, jotka ovat 1) 3D-mallinnus, 2) datan muuntaminen ja esiprosessointi, 3) prototyypittäminen ja mallin valmistus sekä 4) jälkiprosessointi ja -käsittely. Lisänä edeltävään proseduriin on se, että ensimmäisessä 3D-mallinnusvaiheessa mallinnus voidaan tehdä olemassa olevasta fyysisestä kappaleesta käänteisen suunnittelun eli RE:n avulla. Lisäksi jälkiprosessointi- ja käsittelyvaiheessa on kuvattuna valmistuneen mallin myöhemmät käyttötarkoitukset esimerkiksi testauksen, RT:n ja RM:n tarpeissa.



Kuva 1. Pikavalmistuksen prosessikuvaus Kamrani et al., (2006, s. vi - preface) mukaan

Pohjimmiltaan pikavalmistus voidaan nähdä neljän pääalueen valossa. Kuvassa 2 on esitetty yksityiskohtaisesti, mitä kuuluu näihin neljään pääalueeseen, jotka ovat syöte, metodi, materiaali ja sovellukset. (Chua et al., 2010, s. 11)



Kuva 2. Pikavalmistuksen neljä pääulottuvuutta. (Chua et al., 2010, s. 12)

Syötteellä viitataan elektroniseen informaatioon, jota tarvitaan fyysisen kappaleen mallinnukseen, jotta voidaan valmistaa kolmiulotteinen malli. Tämä informaatio voidaan tuottaa tietokonehallina tai mallintamalla olemassa oleva fyysinen kappale. CAD-ohjelmalla rakennettu malli voi olla joko pintamalli tai kolmiulotteinen malli. Fyysisen kappaleen mallinnukseen tarvitaan käänteistä suunnittelua, johon on olemassa erinäköisiä laitteita, joilla fyysinen malli kuvataan. Tämän jälkeen se muunnetaan CAD-malliksi. (Chua et al., 2010, s. 11–12)

Metodit voidaan yleisesti luokitella seuraaviin luokkiin: kovettamiseen (photocuring); leikkaamiseen ja liimaamiseen tai liittämiseen (cutting and gluing or joining); sulattamiseen ja kovettamiseen tai fuusioimiseen (melting and solidifying or fusing); ja liittämiseen tai sitomiseen (joining or binding). Ne kuvaavat siis erilaisia tapoja, joilla pikavalmistuslaitteet toimivat ja rakentavat kolmiulotteisen mallin. (Chua et al., 2010, s. 12)

Ennen kuin fyysinen kappale on valmistettu, sen valmistukseen käytetty materiaali voi olla joko nestemäisessä muodossa, pulverina tai kiinteänä aineena. Kiinteät aineet voivat olla useissa muodoissa, kuten metallipelletteinä, lankoina tai laminaatteina. Tällä hetkellä erilaisia valmistusmateria-

aaleja ovat muun muassa paperi, nylon, vaha, hartsit, metallit ja keramiikka. (Chua et al., 2010, s. 13)

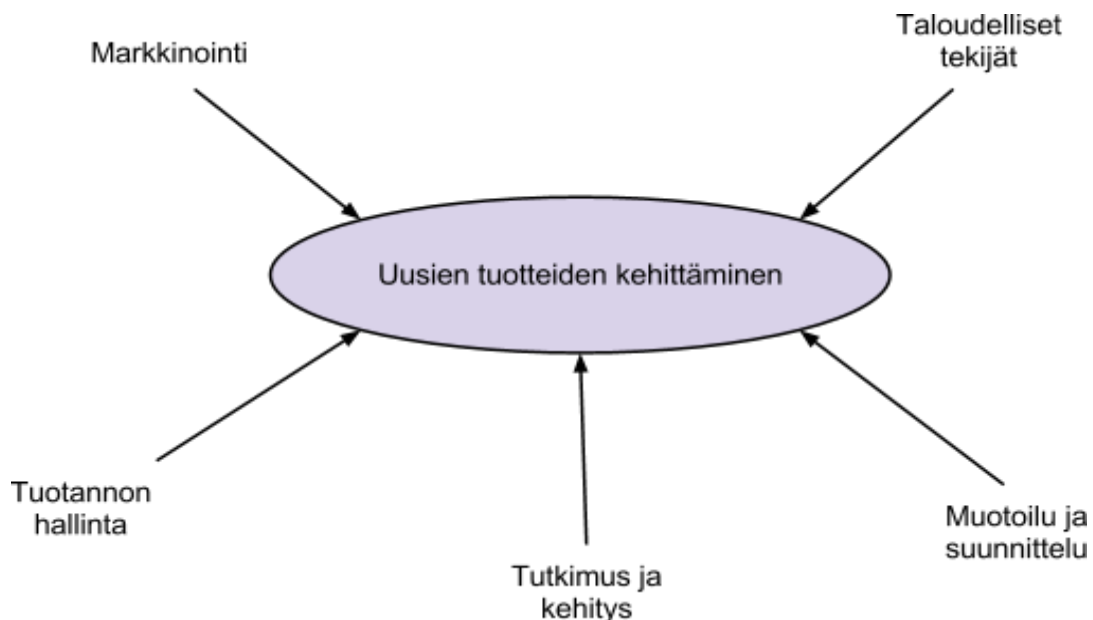
Useimmat pikavalmistamalla tuotetut kappaleet viimeistellään tai käsitellään ennen kuin niitä käytetään myöhemmissä sovelluksissa. Pikavalmistuksen sovelluskohteet voidaan jaotella 1) muotoiluun, 2) analysointiin ja -suunnitteluun ja 3) valmistukseen (RM) ja räätälöintiin (RT). (Chua et al., 2010, s. 13)

### 3 TUOTEKEHITYS JA PIKAVALMISUKSEN LIITTYMINEN SIIHEN

Tässä kappaleessa selvitetään tuotekehitykseen liittyvä käsitteistö ja tuotekehitysprosessi olennaisimmilta osiltaan, ja liitetään pikavalmistus osaksi tätä kokonaisuutta. Lisäksi syvennyttään tuotekehityksen yleisiin menestystekijöihin ja ongelmiin. Täten voidaan myöhemmin johtaa pikavalmistuksen mahdollisuudet tuotekehitykselle.

#### 3.1 Tuotekehitys käsitteenä ja tuotekehitysstrategia

Tuotekehityksellä tarkoitetaan erilaisten toimenpiteiden hallintaa, joilla voidaan vaikuttaa uusien tuotteiden kehitykseen. Yrityksen eri osat tai osastojen näkökulmat vaikuttavat suuresti näihin toimenpiteisiin. Esimerkiksi tuotanto-osasto näkee tuotekehityksen valmistamisen näkökulmasta, eli miten uusia tuotteita kyetään valmistamaan tehokkaasti. Toisaalta, esimerkiksi markkinointiosasto korostaa asiakkaiden tarpeita ja niiden huomioimista kaikilla mahdollisilla tavoilla uuden tuotteen kehittämisessä. Tästä moninäkökulmaisuudesta (kuva 3) johtuen ei ole olemassa yhtä yleistä lähestymistapaa tuotekehitykseen. Eri näkökulmia huomioimalla pystytään tuotekehityksen laatua parantamaan, mutta näkökulmien yhdistäminen ja kaikkien näkökulmien huomioiminen yhtä aikaa on vaikeaa. (Trott, 2012, s. 419)

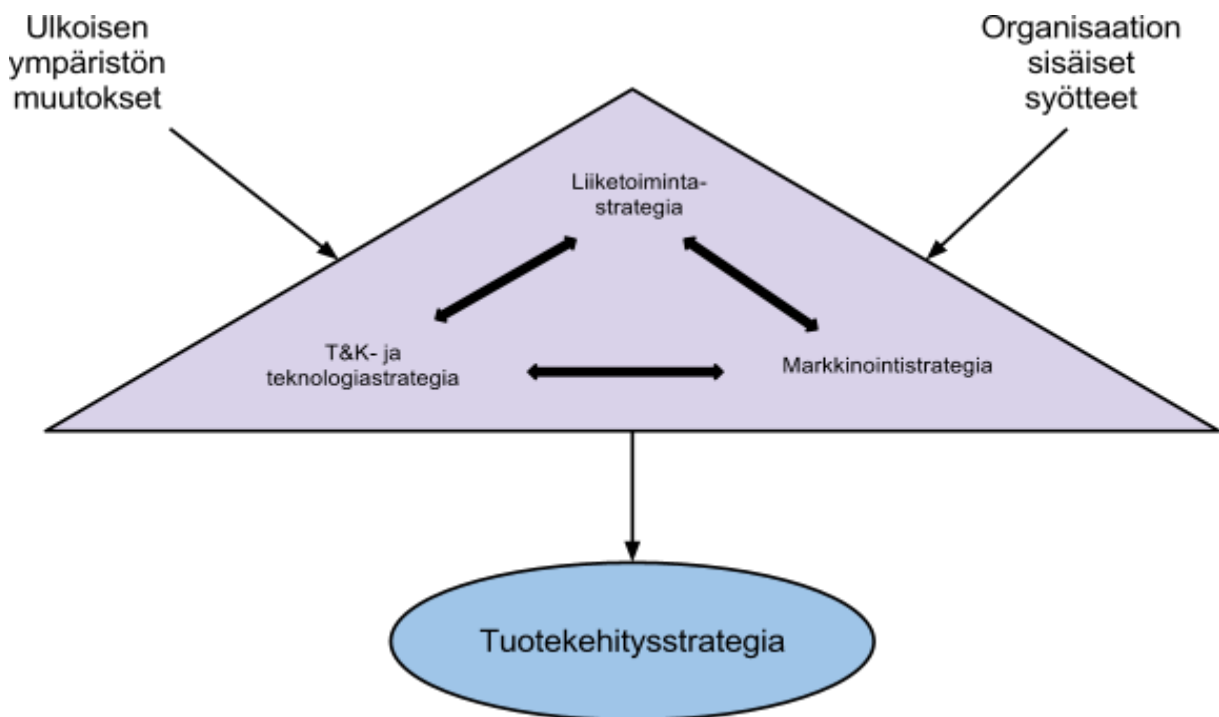


Kuva 3. Erilaisia näkökulmia uusien tuotteiden kehittämiseen. (Trott, 2012, s. 419)



Tulevaisuudessa uusien tuotteiden kehittämisen tärkeys menestykselle vain korostuu, sillä tekniikka kehittyy ja vieläpä kiihtyvällä nopeudella, ja yrityksen on pysyttävä tässä kehityksessä mukana. Eitäloudelliset mittarit, kuten muotoilu, innovatiivisuus ja teknologinen yliveraisuus tulevat olemaan useimmiten taloudellisen suorituskyvyn perusta, ja näihin voidaan vaikuttaa tuotekehityksellä. (Trott, 2012, s. 419-420)

Tuotekehitysstrategian luominen on miltei välttämätöntä potentiaalisten tuotekehitysmahdollisuuksien tunnistamiseksi. Tuotekehitysstrategiaan pääasiassa vaikuttavat yrityksen liiketoimintastrategia, tutkimus- ja kehitysstrategia (T&K) sekä teknologiastrategia sekä markkinointistrategia. Näihin taas vaikuttavat yrityksen sisäiset syötteet ja ulkoisen ympäristön muutokset (kuva 4). Lisäksi tuotekehitykseen ja -strategiaan liittyy olennaisesti tietynlainen epäsystemaattisuus ja kokeellisuus, sillä uusia mahdollisuuksia ei voi aina systemaattisesti löytää ja hyödyntää. (Trott, 2012, s. 420-422)



Kuva 4. Tuotekehitysstrategian ja -päätöksentekoprosessin lähteet. (Trott, 2012, s. 421)

Tuotekehitysstrategian on korreloitava liiketoimintastrategiaan, eli tuotekehityksen on tuotettava liiketoiminnan harjoittamisen ja siinä menestymisen kannalta olennaisia tuotteita. Luonnollisesti myös tutkimus-, kehitys- ja teknologiastrategia vaikuttavat tuotekehitysstrategiaan, koska uusien tuotteiden kehitys nojaa pitkälti teknologiseen kehitykseen. Lisäksi markkinointistrategialla on suuri

merkitys, sillä tuotekehityksellä pyritään loppupeleissä vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin kilpailijoita paremmin. (Trott, 2012, s. 420-421)

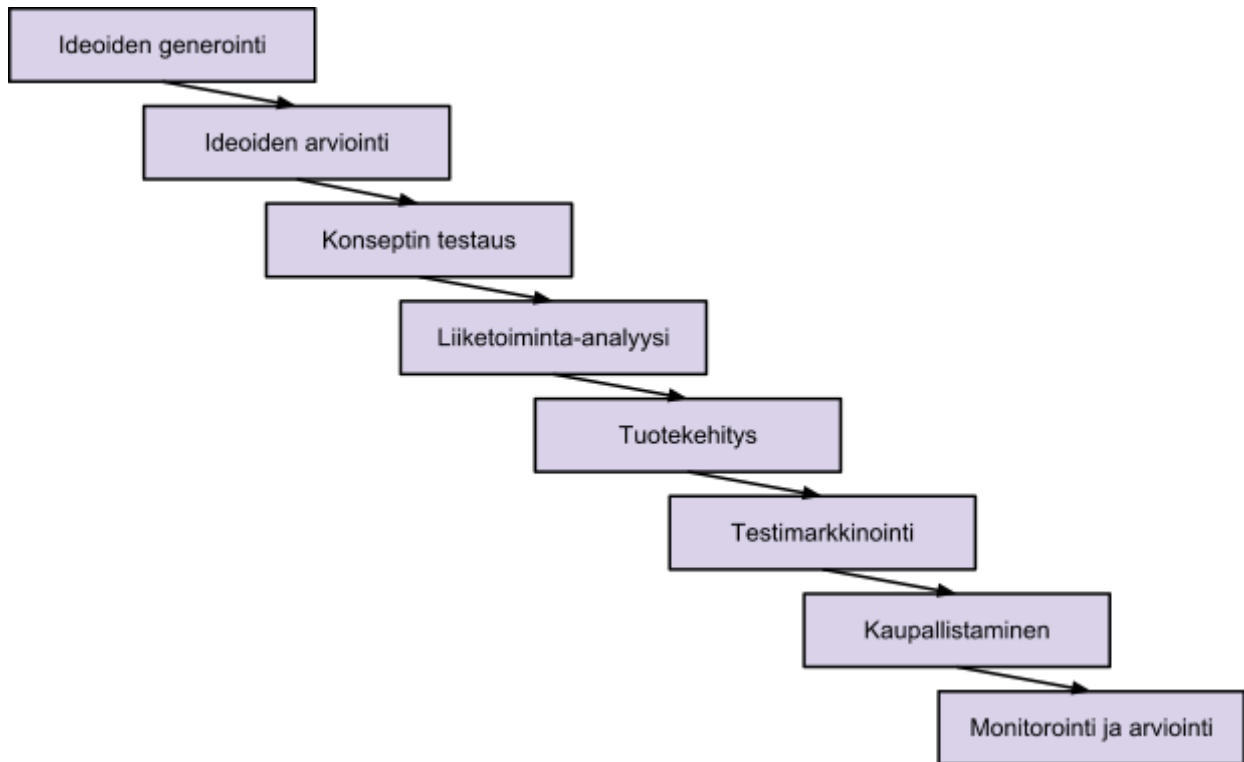
Pikavalmistuksen avulla voidaan saavuttaa hyötyjä, jotka liittyvät läheisesti tuotekehitysstrategioihin ja niiden hyödyntämismahdollisuuksiin. Syvällisemmin näihin hyötyihin paneudutaan pikavalmistuksen mahdollisuuksien esittelyn yhteydessä. Pikavalmistuksen avulla voidaan kuitenkin saavuttaa aika- ja joustavuushyötyjä, jotka ovat tärkeitä ensimmäisenä markkinoille pyrkivälle yritykselle. Kustannusjohtamisstrategiaa suosiva yritys voi hyötyä pikavalmistuksesta kustannushyötyjen muodossa, niin tuotekehityksessä kuin valmistuksessaakin. Differoitumista tavoittelevat yritykset pystyvät hyödyntämään pikavalmistuksen mahdollisuuksia tuotekehityksen nopeuttamisessa ja joustavuudessa, jolloin pystytään nopeasti tarjoamaan erilaisia, asiakaskohtaisia tuotteita. (Gebhardt, 2003, s. 6)

## **3.2 Tuotekehitysprosessi**

Tuotekehityksen perimmäinen tarkoitus on kehittää korkealaatuisia tuotteita pienimmillä kustannuksilla ja nopeimmin. Suuri osa pikavalmistuksen mahdollisuuksista tuotekehitykselle liittyy tuotekehitysprosessin tehostumiseen. Tuotekehitysprosessia on syytä tarkastella syvemmin. (Gebhardt, 2003, s. 1)

### **3.2.1 Perinteinen tuotekehitysprosessi**

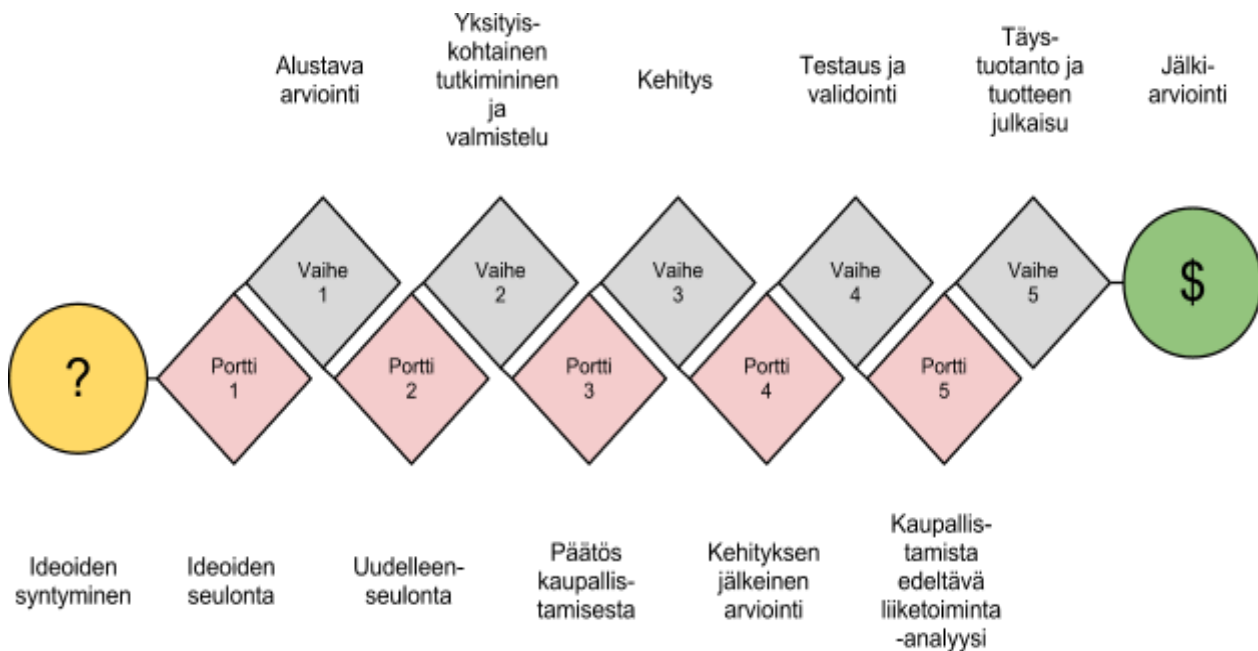
Tuotekehitysprosessin alkupään toimenpiteet määritellään yleensä ideoiden generoinniksi, ideoiden arvioinniksi ja konseptin kehittämiseksi ja testaukseksi. Ne edustavat idean tai ideoiden muodostumista ja kehittymistä ennen mitään fyysistä muotoa. Prosessin alkuvaiheiden jälkeen käynnistyy varsinaisen tuotteen kehittäminen ja muut tuotteen kaupallistamiseen tähtäävät toimenpiteet. Nämä toimenpiteet ovat liiketoiminta-analyysi, itse tuotekehitys, testimarkkinointi, kaupallistaminen ja monitorointi ja arviointi. Toimenpiteet esitetään kirjallisuudessa useasti yhtenevästi ja lineaarisena prosessina, vaikka eri tutkimusten välillä on paljonkin eroja. Tuotekehitysprosessi on pikemminkin epälineaarinen prosessi. Usein nämä tuotteen kaupallistamiseen tähtäävät prosessivaiheet tapahtuvat rinnakkain tai toisessa järjestyksessä kuin miten ne usein esitetään (kuva 5). Erilaisia tuotekehitysmalleja onkin kehitetty paljon tämän perinteisen mallin lisäksi ja niistä käsitellään vielä yleisimpiä. (Trott, 2012, s. 433-434)



Kuva 5. Yleisesti esitetty perinteinen lineaarinen tuotekehitysprosessi. (Trott, 2012, s. 433)

### 3.2.2 Stage-gate-tuotekehitysprosessimalli

Yksi yleisimmistä tuotekehitysprosessikuvauksista on “stage-gate”-järjestelmä. Sen kehitti Robert Cooper. Stage gate-mallissa tuotekehitysprosessi on jaettu niin kutsuttuihin portteihin ja vaiheisiin, jotka täytyy läpäistä, jotta tuotekehitys voi jatkaa seuraavaan vaiheeseen (kuva 6).

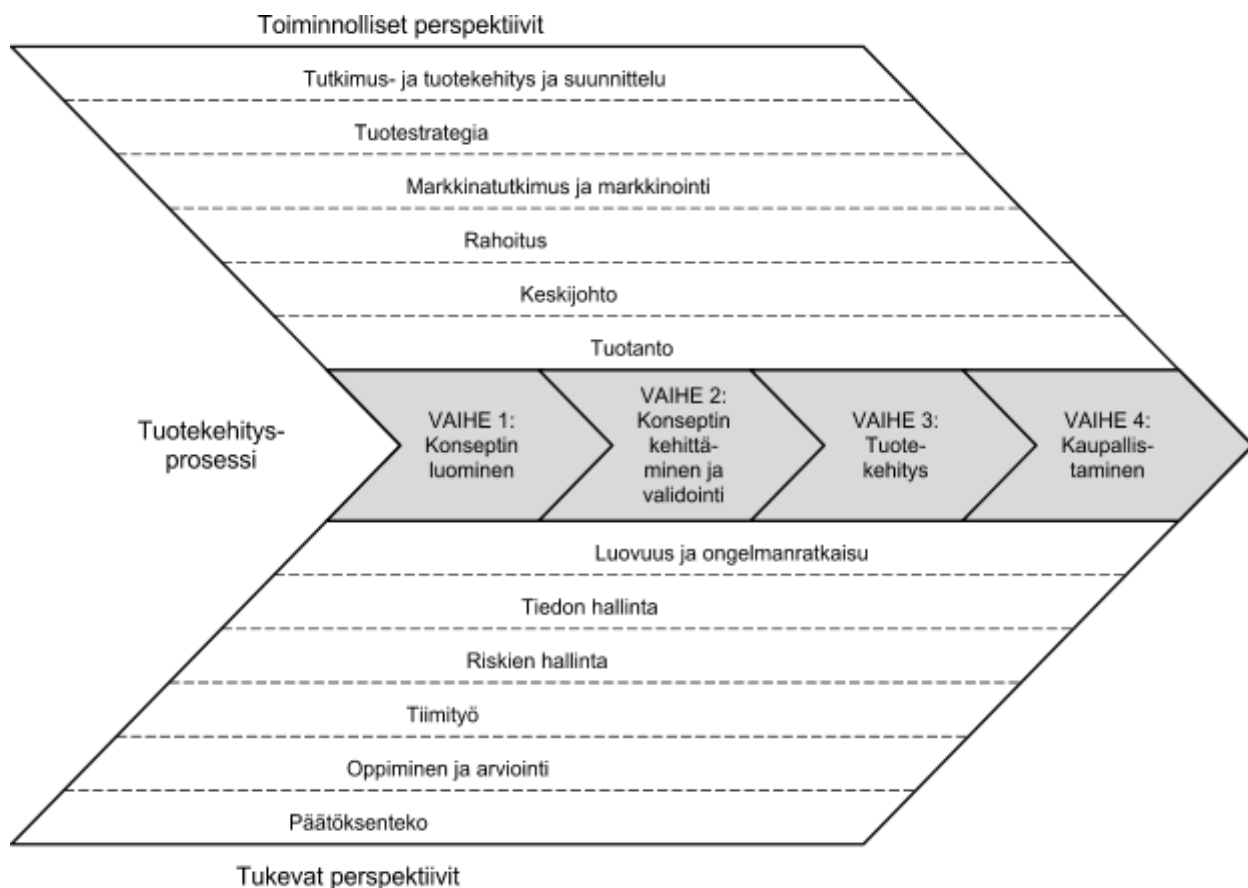


Kuva 6. Stage-gate-tuotekehitysjärjestelmän yleiskatsaus. (Cooper, 1990, s. 46)

Kuvan alareunassa ovat näkyvillä eri portit, jotka toimivat päätöksentekopisteinä, joissa päätetään joko jatkaa projektia tai hylätä se. Yläreunassa ovat tuotekehityksen eri vaiheet, jotka suoritetaan vain kun edellinen portti on läpäisty. (Cooper, 1990, s. 46) Prosessivaiheet ovat lähes yhtenevät aiemmin esitettyyn perinteiseen malliin nähden.

### 3.2.3 Nykyiset tuotekehitysprosessimallit

Myöhemmin stage-gate-mallia on jatkojalostettu useiden tutkijoiden toimesta. Tuotekehitysvaiheet ja portit ovat muuttuneet sekä sisällöllisesti että määrällisesti. Tämä korostaa sitä tosiseikkaa, ettei tuotekehityksestä tietynlaisena prosessina ole yhtenäistä näkemystä ja prosessi voi muuttua tilanteesta riippuen. (de Waal & Knott, 2010, s. 257) Kuvassa 7 on esitetty de Whaalin ja Knottin näkemys tuotekehitysprosessista, jonka he ovat rakentaneet perustuen sekä stage-gate-järjestelmään ja sen kirjallisuudesta löytyviin muunnelmiin, että muuhun tuotekehitystutkimukseen ja -tietoon.



Kuva 7. Useamman portin ja liiketoimintanäkökulman mukainen tuotekehitysprosessiviitekehys. (de Waal et al., 2010, s. 258)

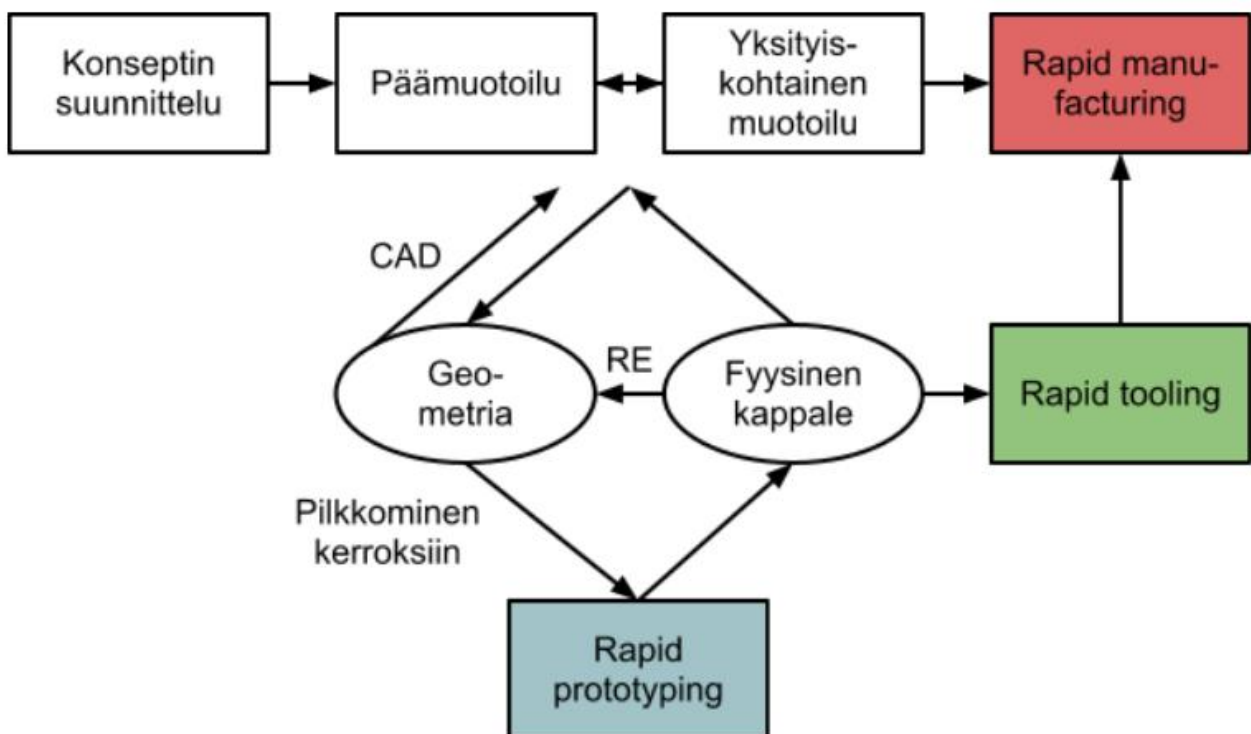
Toiminnolliset ja tukevat perspektiivit korostavat tuotekehityksessä huomioonotettavia asioita. Toiminnollisen perspektiivit tuovat esiin yrityksen eri sisäisten ryhmien näkökulmia. Tukevat perspektiivit korostavat tuotekehitysprosessin käytännön toteutuksen ongelmia ja haasteita. (de Waal et al., 2010, s. 259-260)

Edellä esitetty malli liittää tuotekehitysprosessin, stage-gate-ajattelun ja yrityksen muut perspektiivit yhteen. Se sisältää yleisesti kirjallisuudessa esitetyt tuotekehitysprosessivaiheet: konseptin luomisen ('fuzzy front end'), konseptin kehittämisen ja validoinnin, tuotekehityksen ja kaupallistamisen. Se ei ole täysin lineaarinen, vaan prosessivaiheet voivat olla eri järjestyksessä ja ne voivat tapahtua limittäin. Kaikki projektit eivät välttämättä läpäise kaikkia prosessivaiheita. Jokaisessa projektissa tiettyjä toimintoja voidaan jättää tekemättä tai ohittaa. Menestyksekkään tuotekehityksen kannalta olisi silti hyvin olennaista pohtia erilaisia perspektiivejä jokaisessa prosessin vaiheessa. (de Waal et al., 2010, s. 258-259)

### 3.3 Pikavalmistuksen rooli tuotekehityksessä

Pikavalmistuksella on suuri vaikutus etenkin tuotekehityksen suunnittelu- ja kehitysvaiheissa, jotka esiintyvät kaikissa tuotekehitysprosessimalleissa. Pikavalmistuksen avulla voidaan suunnitella tuotemalleja aiemmin luotujen ideoiden pohjalta ja testata näitä nopeasti valmistamalla prototyyppijä. Mallin suunnittelun ja valmistuksen helppous sallii useita iteraatiokierroksia, joiden aikana mallia voidaan kehittää palautteen ja testauksen perusteella, ja valmistaa jälleen uusia prototyyppijä. Pika- valmistuksen edellyttämien CAD-ohjelmien avulla voidaan jopa ideoida tuotteita tuotekehityksen alkuvaiheista lähtien. (Lopez & Wright, 2002, s. 116)

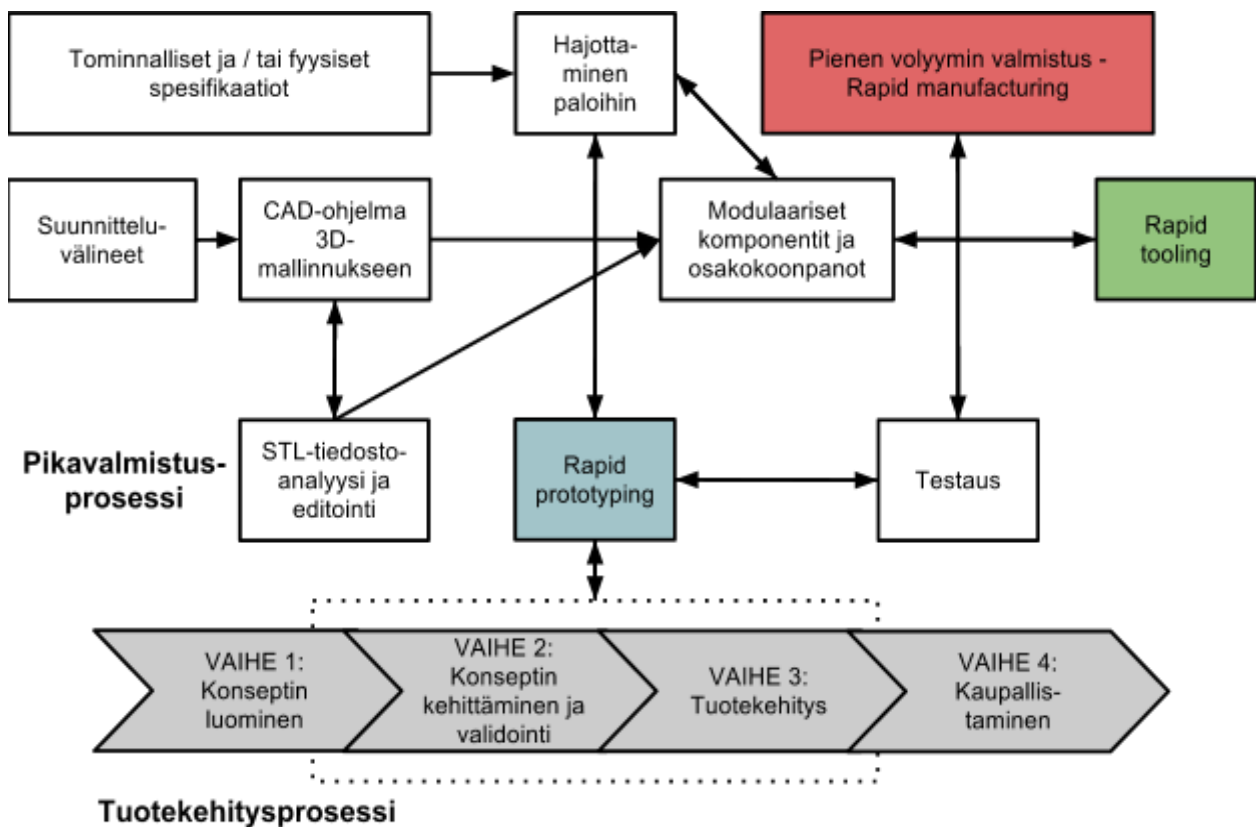
Kuvassa 8 on esitetty tuotekehitysjärjestelmä, joka perustuu pikavalmistukseen. Olennaista on huomata, että pikavalmistus mahdollistaa epälineaarisen suunnittelun tuotekehitysprosessissa. Pika- valmistuksen avulla voidaan toteuttaa useita iteraatiokierroksia ja tuotemalleja suunnittelu- ja kehitysvaiheiden aikana (RP). Tämä on mahdollista sekä nopean valmistusmenetelmän, että myös käänteisen suunnittelun avulla. Käänteinen suunnittelu on yksi nopean tuotemallinnuksen kulmakivistä (Sokovic & Kopac, 2006, s. 398). Lisäksi malleja voidaan mahdollisesti hyödyntää myöhemmässä kehitysvaiheessa tuotannon apuvälineinä (RT), tai suoraan valmistaa malleja lopputuotteiksi (RM). (Kochan et al., 1999, s. 5-6)



Kuva 8. Tuotekehitysjärjestelmä perustuen pikavalmistukseen (Kochan et al., 1999, s. 5)

Pikavalmistuksen rooli tuotekehityksessä sijoittuu suunnitteluun, tuotekehitykseen ja kaupallistamiseen. Lisäksi pikavalmistuksella on luonnollisesti rajoitteita, joita käsitellään myöhemmin pikavalmistuksen tarjoamien mahdollisuuksien ja niiden toteutumisen edellytysten yhteydessä.

Kuvassa 9 on esitetty yksinkertaistetut prosessikuvaukset pikavalmistuksesta ja tuotekehityksestä yhteen liitettynä. Se kokoaa yhteen tähän asti käsitellyt pikavalmistuksen ja tuotekehityksen aihealueet.



Kuva 9. Integroitu pikavalmistus- ja tuotekehityssykli (Kamrani et al., 2006, s. vii - preface)

### 3.4 Tuotekehityksen kriittiset menestystekijät ja ongelmat

Nyt kun tuotekehityksen yleinen viitekehys on esitetty, on vielä tärkeää nostaa esiin olennaisimmat tuotekehityksen menestystekijät ja ongelmat. Kun pohditaan pikavalmistuksen mahdollisuuksia tuotekehityksestä, tulee niitä pohtia tuotekehityksen menestystekijöiden ja ongelmien kautta. Myöhemmin palataan siihen, miten pikavalmistus vastaa tuotekehityksen ongelmiin ja mitä menestystekijöitä se tarjoaa yritykselle.

Puhuttaessa tuotekehityksen suorituskyvystä, kannattavuus ja vaikuttavuus liiketoimintaan ovat tärkeimmät suorituskyvyn mittarit. Muitakin suorituskyvyn mittareita on, kuten esimerkiksi uusien tuotteiden osuus myynnistä, menestys markkinoilla ja uusien tuotteiden tekninen suorituskyky. Nämä mittarit kuitenkin kiteytyvät lopulta kannattavuuteen ja vaikuttavuuteen. Tuotekehityksen suorituskykyä voidaan siis analysoida näiden kahden dimension avulla. (Cooper & Kleinschmidt, 2007, s. 13-14)

Tuotekehityksen kannattavuudella tarkoitetaan sitä, kuinka kannattavia yrityksen uudet tuotteet ovat kilpailijoihin nähden; kuinka onnistuneita yrityksen tuotelanseeraukset ylipäättään ovat; kuinka hyvin kannattavuustavoitteet saavutetaan; kuinka kannattavaa tuotekehitys on kustannuksiin nähden; ja mikä uusien tuotteiden vaikutus on koko yrityksen kannattavuudelle. (Cooper et al., 2007, s. 14)

Tuotekehityksen vaikuttavuudella tarkoitetaan sitä, kuinka suuri osa myynnistä koostuu uusista tuotteista; kuinka paljon uudet tuotteet vaikuttavat yrityksen myyntiin ja kannattavuuteen; kuinka moni tuotekehitysprojekti onnistuu; ja kuinka laadukas on tuotekehityksen tekninen taso. (Cooper et al., 2007, s. 14)

### **3.4.1 Menestystekijät**

Tuotekehityksen kannattavuuden ja vaikuttavuuden kannalta kolme merkittävintä tekijää ovat selvästi määritelty tuotekehitysstrategia, riittävät resurssit eli työvoima ja raha sekä korkealuokkainen tuotekehitysprosessi. Muitakin tekijöitä on, mutta näillä kolmella tekijällä on selvästi suurin vaikutus suorituskykyyn. (Cooper et al., 2007, s. 14)

Tuotekehitysstrategian on oltava kytköksissä liiketoimintastrategiaan. Tämä tarkoittaa sitä, että yrityksen tulee luoda tuotekehitysstrategia, jolla voidaan omalta osaltaan saavuttaa liiketoimintatavoitteet. Siinä määritellään selkeästi tuotekehityksen keskittymiskohteet ja strategian on oltava kommunikoitavissa kaikille. (Cooper et al., 2007, s. 13-15)

Oleennaista on myös huomata, ettei tuotekehityksen suorituskykyä voida luoda ilman riittäviä resursseja. Esimerkiksi tutkimus- ja kehityspanoksen suuruudella on suurin vaikutus tuotekehityksen vaikuttavuuteen, vaikka se ei välttämättä takaakaan hyvää kannattavuutta. Tuotekehityspanostusten on oltava siis riittävän suuria, kehitykseen on irrotettava riittävä määrä ihmisiä ja heille on annetta-



va riittävä määrä aikaa tuotekehitystavoitteiden saavuttamiseen. (Cooper et al., 2007, s. 13-15) Uudet laadukkaat innovaatiot vaativat laadukasta osaamista eli tuotekehitysihmisten osaaminen on yksi tärkeimmistä laatuun vaikuttavista tekijöistä (Leonard-Barton, 1992, s. 114). Erityisesti suunnitteluosaamisella ja -strategialla on suurta vaikutusta tuotekehityksen suorituskykyyn (Roper et al., 2012, s. 3).

Korkealuokkaisella tuotekehitysprosessilla ei välttämättä tarkoiteta muodollista ja tarkoin määriteltyä prosessia, koska se ei automaattisesti johda positiiviseen suorituskykyyn. Korkealuokkaisen tuotekehitysprosessin ominaisuuksia ovat: markkinoiden ja teknologioiden kehityksen analysointi ja ymmärtäminen ennen tuotekehityksen etenemistä; tuotteen tarkka määrittely ennen tuotekehityksen aloittamista; tiukat jatka / hylkää -pisteet, joiden kohdalla projektit voidaan oikeasti hylätä; laadukas ja ammattimainen projektijohtaminen; prosessin jokainen osa-alue käydään läpi riittävällä tarkkuudella ja aikataululla; ja prosessi on joustava eli sen eri vaiheet ja päätöspisteet voidaan ohittaa tai yhdistää projektin luonteesta ja riskistä riippuen. (Cooper et al., 2007, s. 13-15) Joustavuudesta on erityistä hyötyä etenkin korkean epävarmuuden ja teknologian aloilla, joilla joustavuudesta voi tulla yritykselle erittäin merkittävä kilpailuetu (Thomke, 1997, s. 12).

Kuten edellä mainittiin, tuotekehitysprosessin kannalta markkinoiden tuntemus on äärettömän tärkeää. Gebhardt (2003, s. 4-5) on listannut seuraavat markkinatrendit, jotka vaikuttavat läheisesti tuotekehitykseen:

- asiakastarpeet ja -toiveet tulee pystyä integroimaan tuotekehitykseen nopeasti
- muotoiluun ja toimivuuteen tulee panostaa heti tuotekehityksen alusta lähtien
- tuotteet tulee suunnitella siten, että eri asiakasryhmien mieltymykset pystytään täyttämään mahdollisimman helposti
- tuotteen tulee olla ympäristöystävällinen koko elinkaaren osalta
- lyhyen elinkaaren aikana tulisi saavuttaa hyvä myynti
- hyvät kateprosentit ovat niin pitkään mahdollisia kunnes kilpailija tuo vastaavan tuotteen markkinoille
- erilaiset säädökset ja lait tulee huomioida tuotekehityksen aikana

Tuotekehityksen suorituskykyyn vaikuttavat toki muutkin tekijät kuin edellä mainitut asia. Näitä ovat muun muassa laadukkaat tuotekehitystiimit, ylemmän johdon sitoutuminen, innovatiivinen yritysilmapiiri ja -kulttuuri, poikkifunktionaaliset tiimit ja ylemmän johdon palkitsemisen sitominen tuotekehityksen suorituskykyyn. Näillä tekijöillä on kuitenkin huomattavasti pienempi vaikutus

suorituskykyyn kuin tuotekehitysprosessilla, -strategialla ja -panostuksilla. (Cooper et al., 2007, s. 14-15)

### **3.4.2 Ongelmat**

Tuotekehitykseen liittyy paradoksi, jonka mukaan yrityksen ydinkyvykkyudet tuotekehityksessä ovatkin ongelmien lähteitä. Tällä tarkoitetaan sitä, että yrityksen kilpailuedun lähteet väärin hyödynnettyinä muodostuvat tuotekehityksen ongelmiksi. Jotkin ongelmat ilmenevät satunnaisesti ja niitä ei voida ennustaa, mutta osa ongelmista toistuu projektista toiseen. Nämä ongelmat ovat hyvin usein jäljitettävissä nimenomaan ympäristön vaatimusten ja yrityksen ydinkyvykkyysien väliseen kuiluun. Tämä johtuu usein siitä, että ennen kilpailueduiksi mielletyt kyvykkyudet muuntuvat ajan saatossa ongelmien lähteiksi, koska niiden koetaan automaattisesti pysyvän kilpailuedun lähteinä myös tulevaisuudessa. (Leonard-Barton, 1992, s. 119)

Aiemmin esitetyt tuotekehityksen tärkeimmät suorituskykytekijät voivat siis toimia seuraavina ongelma-kohtina tuotekehityksessä: tuotekehitysprosessi on liian muodollinen, eikä se tue innovaatioiden luomista; tuotekehitysstrategia on ammattimainen, mutta sen avulla ei päästä asetettuihin tavoitteisiin; ja tuotekehitysresurssit ovat riittävät, mutta niitä ei osata hyödyntää oikein. (Cooper et al., 2007, s. 6-12)

Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 2 on esitetty ympäristön muutoksia. Asiakaslähtöisten tuotteiden tuottaminen vaatii ympäristön seuraamista ja ainaista prosessien kehittämistä. Taulukossa on siis esitetty ympäristön asettamia vaatimuksia, jotka tulee täyttää menestyksekkään tuotekehityksen onnistumiseksi ja ongelmien välttämiseksi. (Gebhardt, 2003, s. 1)

Taulukko 2. Tuotekehitykseen vaikuttavat ympäristömuutokset. (Gebhardt, 2003, s. 2-4)

<b>Ympäristön muutos</b>	<b>Kuvaus</b>
Nopeasti muuttuvat / epämääräiset asiakatarpeet	Tuoteominaisuudet eivät pelkästään vaikuta asiakatarpeisiin, vaan trendeillä on myös nykyisin vaikutusta. Trendit tulee havaita hyvissä ajoin ja uusien tuotteiden pitää olla valmiita silloin kun trendi vaihtuu.
Muotoilun merkitys korostuu	On entistä tärkeämpää tarjota toimivia tuotteita, jotka on muotoiltu houkuttelevasti. Ihmiset pyrkivät ilmaisemaan elämäntyyliään ostamalla tiettyjä tuotteita.
Tuotteiden yksilöllistäminen	Asiakkaat haluavat yhä yksilöllisempiä ja erikoislaatusempia tuotteita.
Ympäristövaatimukset	Tuotteiden tulee olla kierrätettävissä ja ympäristöystävällisiä.
Tuotteiden elinikä lyhenee	Tuotteiden elinikä on lyhentynyt merkittävästi viime vuosien aikana ja elinikien odotetaan lyhenevän entisestään jatkossa.
Tuotteiden hintataso alenee	Markkinoiden globalisoituminen ja nopeat tietoliikenneyhteydet ovat mahdollistaneet kansainvälisen hintavertailun. Tämän seurauksena hinta nousee merkittävämmäksi tekijäksi ostopäätöstä tehdessä.
Tuotteiden monimutkaisuus lisääntyy	Tuotteet tulevat entistä monimutkaisemmiksi ja asiantuntijoiden käyttö tuotesuunnittelussa tulee lisääntymään.
Yritysten kansainvälistyminen	Erilaiset ympäristötekijät (sosiaalikulut, verot jne.) ajavat yritykset hajauttamaan toimintonsa.
Tiukentuvat säädökset	Kansainväliset säädökset ja lainsäädäntö tiukkenevat ja lisääntyvät.

## 4 PIKAVALMISTUKSEN MAHDOLLISUUDET TUOTEKEHITYKSESSÄ

Tässä osiossa käsitellään pikavalmistuksen mahdollisuuksia tuotekehityksessä, eli sitä kuinka pikavalmistus voi ratkaista tuotekehityksen ongelmakohtia ja kehittää tuotekehitysprosessia. Mahdollisuuksien käsittelyjärjestys on seuraava: ensin käsitellään kustannussäästöjen, seuraavaksi valmistusnopeuden, kolmanneksi suunnittelun laadun parantumisen ja lopuksi teknisten kyvykkyyksien tuottamat mahdollisuudet tuotekehitykselle. Mahdollisuuksista on esitetty myös havainnollistavia esimerkkejä. Lisäksi on huomattava, että osa tuotekehitykseen liittyvistä mahdollisuuksista on myös johdettavissa pikavalmistuslaitteiden kahdelle muulle käyttötarkoitukselle eli aputyökalujen valmistukselle (RT) ja lopputuotteiden valmistukselle (RM), sekä päinvastoin. Kun yritys hankkii pikavalmistuslaitteen, se voi tietyin rajoituksin käyttää sitä mihin tahansa kolmesta käyttötarkoituksesta (RP, RT ja RM). Tässä kappaleessa käsitelläänkin myös universaaleita mahdollisuuksia, jotka liittyvät näihin kaikkiin kolmeen käyttötarkoitukseen.

### 4.1 Kustannussäästöt tuotekehityksen aikana

Ignole et al. (2009, s. 281, 288) käsittelevät artikkelissaan pikavalmistuksen hyötyjä valuteollisuudessa. Alla olevassa taulukossa 3 on esitetty pikavalmistuksen kustannukset ja kustannussäästöt verrattuna perinteisiin valmistusmenetelmiin pikavalmistusta hyödyntämällä.

Taulukko 3. Pikavalmistuksen kustannukset ja säästöt valuteollisuudessa. (Ingole et al., 2009, s. 288)

Nro.	Pikavalmistuksen kustannukset	Pikavalmistuksen säästöt	Säästöt
1	Koneen tekemä työstö	Ei prosessisuunnittelua	95–98
2	Materiaali	Ei aputyökalujen työstöä	90–95
3	Henkilöstö	Ei sekundaaria tai uudelleen työstöä	90–98
4	Esi- ja jälkityöstö	Ei kokoonpanoa	100
5	-	Henkilöstö	80–90
6	-	Asetuskustannukset	90–95
7	-	Läpimenoaika	80–95
8	-	Kustomoidut tuotteet	80–90

Kustannussäästöt ovat valtavia. Kustannuksia pystytään pienentämään, koska pikavalmistus on työkalutonta valmistamista. Perinteinen valmistus vaatii kallista työkalujen valmistusta, asetusten te-

kemistä ja koeajoja ennen prototyyppien valmistamista. Nämä vaiheet jäävät pois pikavalmistusta käytettäessä. Perinteisillä prototyyppien valmistusmenetelmillä valmistettaessa tehtävät suunnittelumuutokset vaativat uusien työkalujen suunnittelun, valmistamisen ja testaamisen ennen uuden valmistuksen aloittamista. Suurin ajallinen säästö tuotekehityksessä syntyykin näiden eri työvaiheiden poisjäännillä. (Hague et al., 2004. s. 4700)

Voidaan helposti ymmärtää, että edellä esitetyn kaltaiset erittäin mittavat kustannussäästöt itse valmistusprosessissa mahdollistavat säästyneiden varojen kohdentamisen erinäisiin tuottavimpiin käyttötarkoituksiin. Pikavalmistus mahdollistaa siis pääoman tehokkaan käytön aivan uudella tavalla verrattuna perinteisiin menetelmiin. Seuraavaksi käsitellään vielä kustannussäästöjä yksityiskohtaisesti.

Henkilöstöstä realisoituu suuria kustannussäästöjä, koska henkilökuntaa voidaan vähentää mallien valmistuksen, työstön ja kokoonpanon osalta. Mallien ja prototyyppien valmistus hoidetaan pikavalmistuslaitteiston avulla. Pikavalmistuslaitteiden käyttö on yksinkertaista, eikä se vaadi erityistaitoja. Itse pikavalmistusprosessi ei myöskään vaadi erityistä huomiota tai valvontaa. Tämän johdosta työvoimakustannuksia voidaan pienentää. (Ingole et al., 2009, s. 288) Pikavalmistukseen siirryttäessä koneet ovat myös monikäyttöisempiä, jolloin koneisiin sitoutuva pääoma ja ylläpitokustannukset pienevät. Tuotannosuunnittelu on myös yksinkertaisempaa. (Chua et al., 2010, s. 16–17)

Kustannushyötyjä voidaan myös saavuttaa aputyökalujen teossa, mikä auttaa myös tuotekehitystä, sillä aputyökaluille on usein tarvetta. Tuotekehitysprosessin aikana joudutaan suunnittelemaan mallin ja prototyyppien tekemiseen aina uudelleen tarvittavat aputyökalut. Näiden suunnittelu ja tekeminen on kallista ja aikaa vievää. Pikavalmistuksen avulla aputyökalujen valmistus onnistuu nopeasti ja edullisesti suunnittelumuutoksen tullessa eteen. Pikavalmistuksen käyttö työkalujen tai lopputuotteiden valmistuksessa mahdollistaa kappaleen valmistuksen yhtenäisestä kappaleesta. Tämä antaa vapauksia tuotesuunnittelijoille, koska eri komponentteja ei tarvitse suunnitella erikseen ja yhteensopiviksi. (Chua et al., 2010, s. 16–17) Tuotekehityksen kannalta tämä mahdollisuus on ongelmallinen, koska pikavalmistuksen avulla suunniteltua mallia ei voida enää välttämättä valmistaa perinteisin menetelmin yhdestä kappaleesta.

Pikavalmistusprosessissa materiaalin käyttö on tehokkaampaa ja syntyvän sekundan määrä on vähäistä, mikä pienentää tuotekehityksen osalta varastointi- ja kuljetuskustannuksia (Ingole et al., 2009, s. 288). Materiaalin tehokas käyttö edistää myös ympäristöystävällisyyttä ja luonnonvarojen

kestävää käyttöä. Myös varastoja romutetaan vähemmän, koska riskit suunnittelumuutoksille ovat pienemmät nopean ja tehokkaan tuotekehitysprosessin ansiosta. (Chua et al., 2010, s. 16–17)

Pikavalmistuksen tehokas materiaalin käyttö ja pienet virhemarginaalit helpottavat tuotekehityksen alkuvaiheessa kustannusten arviointia, koska jokaisen mallin kustannus on jo hyvin varhaisessa vaiheessa selvillä. Tästä johtuen pystytään tuotteen liiketoiminta- ja ansaintamahdollisuuksia arvioimaan jo hyvissä ajoin.

Käytettäessä pikavalmistusta lopputuotteiden valmistukseen poistuu tuotannon apuväkalujen valmistustarve, mikä pienentää näin ollen radikaalisti kustannuksia. Prosessin suunnittelun tarve poistuu myös ja kustannusvähennykset ovat merkittäviä tälläkin osalla. Pikavalmistuksen hyvä valmistarkkuus ja mahdollisuus valmistaa suoraan lopputuotteita ehkäisevät sekundaaria ja poistavat kokoonpanon tarvetta. (Ingole et al., 2009, s. 288)

Ingole et al. (2009, s. 288) toteaa myös pikavalmistuksen tarjoaman vapauden hyödyt. Tuotannossa pystytään tuottamaan entistä pienempiä eräkokoja, joten tuotteet pystytään suunnittelemaan paljon paremmin asiakkaiden mukaan ja toimintaa ja tuotekehitystä voidaan viedä asiakaskohtaisen kustomoinnin suuntaan.

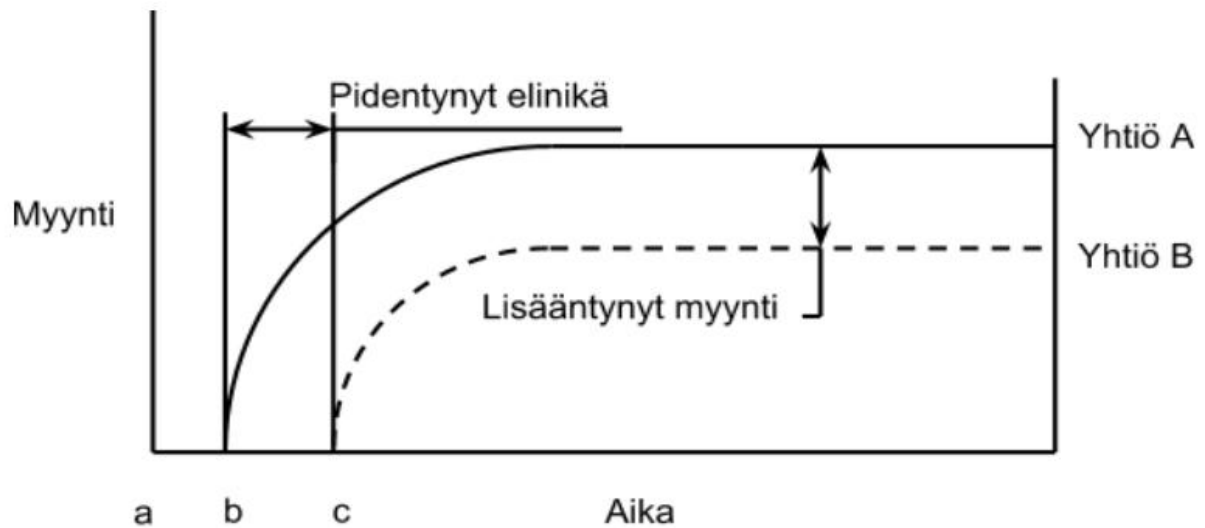
## **4.2 Mallien ja tuotteiden valmistamisen nopeutuminen**

Pikavalmistuksen nimikin jo kertoo, että sen avulla voidaan valmistaa malleja erittäin nopeasti. Tämä nopeuttaa omalta osaltaan tuotekehitysprosessia, minkä johdosta voidaan pyrkiä tuomaan tuotteet markkinoille mahdollisimman nopeasti ennen kilpailijoita. Kun tuote on vielä hyvä ja innovatiivinen, pystytään saavuttamaan seuraavia etuja (Folkestad et al., 2002, s. 97-98):

- Tuotteen elinkaari pitenee
- Saavutetaan hinnoitteluetua
- Tekniikoita hyödyntävä yritys pystyy tekemään nopeammin muutoksia tuotteeseen ja näin ollen hyödyntämään viimeisintä teknologiaa
- Ensimmäisenä markkinoilla toimiva yritys saa paljon asiakkaita ja näistä voi tulla myöhemmin uskollisia asiakkaita
- Aikainen kaupallistaminen lyhentää hankkeen / tuotteen takaisinmaksuaikaa
- Pystytään reagoimaan paremmin kysynnän muutoksiin ja epäonnistumisien kustannukset ovat pienemmät

Nopeutuneen tuotekehityksen avulla tuotteet pystytään kaupallistamaan nopeasti. Tämän seurauksena tuotekehityksen riskit pienenevät huomattavasti, koska enää ei tarvitse ennustaa asiakastarpeita ja -käyttäytymistä useita vuosia etukäteen. Internetin ja verkkokauppojen yleistymisen myötä asiakkaista on tullut entistä vaativampia tuotteiden suhteen, myös asiakkaiden hinta- ja laatu-tietoisuus on kehittynyt. (Kamrani et al., 2006, s. 133, 137) Pikavalmistuksen avulla tuotteet pystytään myös suunnittelemaan asiakastarpeita paremmin tyydyttäväksi ja tarjoamaan viimeisen teknologian avulla parasta hinta-laatu-suhdetta. (Chua et al., 2010, s. 17) Yritys voi näin ollen saavuttaa kilpailuetua tuomalla markkinoille innovatiivisia tuotteita kilpailijoitaan nopeammin ja pienemmillä kustannuksilla.

Gebhardt (2003, s. 6) käsittelee kirjassaan tuotekehityksen pitkittymisen kustannuksia. Hänen mukaansa parhain tuotto pystytään saavuttamaan silloin, kun tuotekehityksen aloittamisen ja tuotteen lanseeraamisen välinen aika on mahdollisimman lyhyt. Tuotteen elinkaaren pituus vaikuttaa merkittävästi markkinoille pääsyyn kuluvan ajan lyhentymisen aiheuttamiin lisätuloihin. Tämä näkyy kuvassa 10, jossa yhtiö A hyödyntää pikavalmistusteknologiaa ja täten aikaisemman markkinoille pääsynsä ansiosta saavuttaa suuremman myynnin kuin perinteistä valmistusteknologiaa hyödyntävä yhtiö B. Mitä lyhyempi tuotteen elinkaari on, sitä tärkeämpää on saada tuote ensimmäisenä markkinoille. Tuotantokustannusten merkitys korostuu vastaavasti tuotteen elinkaaren pidetessä. Viime vuosina on havaittu tuotteiden elinkaarien lyhentyneen jatkuvasti, joten tuotekehityksen nopeuden merkitys korostuu.



- a = Tuotekehityksen aloittaminen
- b = Tuotteen julkaisu yhtiö A
- c = Tuotteen julkaisu yhtiö B

Kuva 10. Hyöty yritykselle (A) siitä, että se pääsee markkinoille nopeammin kuin kilpailija (B). (Folkestad et al., 2002, s. 98)

Pikavalmistus mahdollistaa myös nopean sopeutumisen markkinoihin nopeamman tuotekehitysprosessin ansiosta. Asiakkaille tämä näkyy laajentuneena tarjoomana ja entistä räätälöityneimpinä tuotteina. Valmistajilla on myös mahdollisuus vastata paremmin tilauksesta valmistettavien tuotteiden kysyntään ja laajentaa toimintaa ulkomaille nopeasti. (Chua et al., 2010, s. 17)

Hyödynnettäessä pikavalmistusta tuotannon apuvälineiden valmistukseen, valmistusnopeus sallii monien apuvälineiden valmistuksen liki lennosta ja täten apuvälineitä voidaan pitää jopa kertakäyttöisinä. Perinteisillä valmistustekniikoilla valmistettavien apuvälineiden kustannukset voivat nousta korkeaksi ja niiden valmistamiseen kuluva aika on huomattavasti pidempi. Tuotekehitysprosessin mallien valmistamisessa saavutetaan samat hyödyt. (Folkestad et al., 2002, s. 97-100)

### 4.3 Case Ford: esimerkki kustannus- ja aikahyödyistä

Ford Motor Company oli ensimmäisiä laser sintrauksen (SLS) ja 3D-tulostuksen kehittäjiä autoteollisuudessa. Ford kehitti yhdessä yliopistojen kanssa kyseisiä teknologioita eteenpäin. Perinteisillä tekniikoilla Ford käytti satoja tuhansia dollareita aina prototyyppien työstämiseen vaadittavien työkalujen tekemiseen. Jos prototyyppiin piti tehdä muutoksia, se lisäsi aina kustannuksia, koska piti



tehdä uusi työkalu. Prosessi oli hyvin pitkä ja prototyypin kehittäminen saattoi kestää vuoden. (Fossen, 2005, s. 3)

Pikavalmistuksen käyttöönoton jälkeen prototyypin työstäminen kestää muutamia päiviä ja iteraatioajat ovat lyhentyneet radikaalisti. Prototyyppien työstämiseen ei enää tarvita myöskään työkaluja, mikä säästää kustannuksia huomattavasti. Pikavalmistuksen käyttöönoton jälkeen kyseiset kaksi pikavalmistustekniikkaa ovat tuoneet Fordille miljoonien dollareiden säästön vain noin puolen vuoden käytön aikana. Tähän säästöön ei ole laskettu muita hyötyjä, joita olivat nopeampi tuotekehitysprosessi ja parempi ymmärrys tuotantoprosessista, mitä vaaditaan massatuotannon aloittamiseksi. Tuotteet pystytään myös tuomaan markkinoille nopeammin ja suunnitteluvaiheessa tapahtuvien muutosten aiheuttamat kustannukset pienenevät huomattavasti. (Fossen, 2005, s. 3)

#### **4.4 Suunnittelun laatu paranee**

Pikavalmistus tarjoaa monia mahdollisuuksia parantaa suunnittelun laatua ja näin ollen tyydyttää asiakastarpeita paremmin. Nämä mahdollisuudet liittyvät lopputuotteiden valmistamiseen pikavalmistuksella ja prototyyppien valmistamiseen, jota käsitellään seuraavassa luvussa tarkemmin. Internetin ja verkkokauppojen yleistymisen myötä asiakkaiden tuote- ja laatu-tietoisuus on lisääntynyt. He eivät enää ole tyytyväisiä perinteisiin massakustomoihinkin tuotteisiin, vaan ovat alkaneet vaatia entistä enemmän asiakaskohtaisia tuotteita ja nopeampia toimitusaikoja. (Kamrani et al., 2006, s. 133, 137)

Pikavalmistus helpottaa tuotesuunnittelijoiden työtä, koska valmistustekniikoiden asettamat rajoitukset poistuvat. Pikavalmistuksella voidaan valmistaa käytännössä minkä tahansa muotoinen geometria lopputuotteeseen. Suunnittelijat voivat siis suunnitella entistä veistoksellisempia tai esteettisempiä muotoja. Asiakkaiden vaatimuksia voidaan kuunnella entistä tarkemmin ja suunnittelussa voidaan hyödyntää yhdestä kappaleesta valmistetun tuotteen hyötyjä. Tuotteiden valmistuksessa voidaan minimoida materiaalin käyttö, jolloin tuotteiden lujuus-paino-suhde pysyy hyvänä. (Chua et al., 2010, s. 15–16) Seuraavissa kappaleissa käsitellään suunnittelun laadun parantumisen tarjoamia mahdollisuuksia tarkemmin.

#### **4.4.1 Prototyyppien hyödyt tuotekehityksessä**

Mallien ja prototyyppien käyttäminen tuotekehityksessä nopeuttaa tuotekehitystä. Hyödyntämismahdollisuuksiin vaikuttaa mallien saatavuusaika ja se missä tuotekehityksen vaiheessa mallia voidaan hyödyntää. Mallien kysyntä ja vaatimukset muuttuvat tuotekehityksen edetessä. Tuotekehityksen alkuvaiheessa malleilla on yleensä jokin tietty ominaisuus, jota halutaan mallintaa. Tällaiset mallit tähtäävät mittasuhteiden ja yleisen olemuksen visualisointiin. Tuotekehityksen edetessä halutaan testata käsiteltävyyttä, toimintoja ja käyttöä. Näiden mallien tarkoituksena on visualisoida tarkat muodot ja pinnan laadut ja materiaali. Tuotekehityksen loppuvaihetta lähestyessä mallit ovat kehittyneet siten, että erilaisia toiminnallisuuksia voidaan testata. Malleista on myös koettu olevan hyötyä, kun eri mielipiteitä ja suunnitelmia visualisoidaan muille. (Gebhardt, 2003, s. 17)

Mallin kehittämiseen käytettävän ajan lyhentäminen pikavalmistuksen keinoin helpottaa tuotekehitystä. Tällöin tehtävien suunnittelumuutoksien ja -päätöksien riskit pienenevät ja päätöksen voidaan aina tehdä mallin perusteella, jolloin päätöksien tueksi on enemmän tietoa. Pikavalmistaminen mahdollistaa myös nopeiden muutosten tekemisen mallin rakenteeseen, jolloin voidaan nopeasti luoda malli tietyn ongelman ratkaisemiseksi. (Gerbhardt, 2003, s. 19)

#### **4.4.2 Suunnittelu on monipuolisempaa**

Pehmeät muodot ja kaaret ovat yleistyneet suunnittelussa, ja erityisesti monimutkaiset kappaleen sisäiset muodot voidaan pikavalmistuksen avulla valmistaa helpommin. Koska osien valmistus ei enää aseta rajoitteita suunnittelulle, pystytään osat suunnittelemaan siten, että kokoonpano on mahdollisimman yksinkertaista. Osien määrä pystytään myös pitämään pienenä ja vähentämään rakennetta heikentäviä saumoja ja liitoksia. Myös tuotteiden käytettävyyteen ja esteettisyyteen pystytään panostamaan. (Buswell et al. 2008, s. 925)

Mekaaniset koneet kootaan usein useammista komponenteista. Eri komponenttien välillä on liitoksia, jotka heikentävät rakennetta. Liitoksien heikkouksien ongelmat on tiedostettu jo pitkään ja kokoonpanon yhteydessä suoritetaan tarkastuksia ja rasisuskokeita, jotta koneen kestävyys voidaan taata. Pikavalmistuksen avulla voidaan koneet valmistaa siten, että ne koostuvat vain muutamista tai vain yhdestä osasta. Jopa kappaleen sisälle voidaan valmistaa liikkuvia osia saman tien, kun runko-kappale valmistetaan. Tuotekehityksen kannalta tämä mahdollisuus on merkittävä, sillä näin tuotteita heikentäviä liitoksia pystytään vähentämään tai ne pystytään poistamaan kokonaan. Tämän seu-

rauksena tuotteista pystytään suunnittelemaan kestävämpiä ja luotettavampia. (Kamrani et al., 2006, s. 134–136)

Pikavalmistus perustuu tuotteen digitaaliseen piirrokseen, jonka siirtäminen on verrattain yksinkertaista ja helppoa. Tästä seuraa useita mahdollisuuksia. Suunnittelu- ja valmistusosastojen ei tarvitse sijaita fyysisesti lähekkäin, vaan suunnitelmapiirrokset voidaan siirtää verkon yli sinne, jossa mallit halutaan varsinaisesti valmistaa. Suunnittelijan ja valmistajan ei myöskään tarvitse olla sama yritys, vaan toinen osapuoli voi suunnitella mallin ja toinen osapuoli valmistaa sen pikavalmistuskoneella. Mallien suunnitteluun ja valmistukseen erikoistuneita yrityksiä onkin jo olemassa. Yritykset voivat myös hyödyntää ulkopuolista suunnitteluapua tai suunnitelmia voidaan jakaa ja myydä eteenpäin, mikä edistää innovaatioiden avoimuutta. Suunnitelmat voidaan jakaa myös yrityksen eri päätöksentekotasolle, jolloin suunnitelmien validointiin osallistuu useampi taho eli tehtävät päätökset ovat todennäköisesti parempia. (Buswell et al. 2008, s. 925–926)

#### **4.4.3 Suunnittelumuutoksia voidaan tehdä tuotannon aloittamisen kynnyksellä**

Perinteisesti tuotekehityksessä tehtävien muutoksien kustannukset ovat sitä pienemmät mitä aikaisemmin muutos tehdään. Mitä pidemmälle tuotekehitys on edennyt, sitä vaikeampia muutokset ovat toteuttaa, koska muutettavan tiedon (dokumentit, piirustukset jne.) ja työn määrä on jo niin suuri. Tuotekehityksen myöhäisessä vaiheessa tehtävät muutokset vaikuttavat myös valmistukseen, jakeeluun ja pakkaamiseen. Nämä kustannukset kasvavat nopeasti tuotekehityksen edetessä. (Folkestad et al., 2002, s. 98)

Tuotekehityksessä tapahtuvien muutosten määrä yleensä lisääntyy juuri ennen tuotannon apuvälineiden valmistuksen ja varsinaisen tuotannon aloittamista. Näillä hetkillä päätökset tehdään yleensä kiireellä ja kovan paineen alla. Pikavalmistusta hyödyntämällä voidaan apuvälineiden kustannuksia pienentää huomattavasti, mikä vähentää suunnittelijoille aiheutuvaa painetta ja näin ollen huonojen päätöksien määrää. (Folkestad et al., 2002, s. 98)

Pikavalmistuksen avulla pystytään apuvälineitä valmistamaan edullisesti ja hallitsemaan näin paremmin tuotekehityksen aikana eteen tulevia muutoksia ja näiden muutosten aiheuttamia kustannuksia. Periaatteena on se, että muutokset tulee tehdä silloin kun ne ovat halvimpia tehdä, eli tuotekehityksen alkuvaiheessa. Pikavalmistuksen hyödyntämisellä voidaan tehdä enemmän muutoksia

pienemmillä kustannuksilla ja myös vaikuttaa tehtävien muutosten laatuun. (Folkestad et al., 2002, s. 98)

Pikavalmistusta hyödynnettäessä tuotekehitysprosessista poistuu piste, jossa suunnittelun tulee olla täysin määriteltyä. Perinteisesti tämä piste on ollut aputyökalujen valmistuksen aloitus, jonka jälkeen suunnittelumuutoksia ei ole pystytty tekemään kustannustehokkaasti ja nopeasti. Pikavalmistus tarjoaa mahdollisuuden tehdä näitä muutoksia suhteellisen edullisesti ja nopeasti. Lopputuotteiden tai aputyökalujen valmistaminen pikavalmistuksen avulla mahdollistaa materiaalin vaihtamisen myöhäisessäkin vaiheessa, jos pikavalmistuksen menetelmät ja tuotteen vaatimukset sen sallivat. Perinteisillä työstömenetelmillä tällaiset muutokset olisivat vaikeampia toteuttaa. (Folkestad et al., 2002, s. 101)

#### **4.4.4 Asiakkaiden hyödyntäminen tuotteiden suunnittelussa**

Nykypäivänä yksi erittäin merkittävä tuotekehityksen suorituskykyä parantava tekijä on asiakkaiden tuominen mukaan tuotteiden kehitykseen. Tämä on mahdollista pikavalmistuksen avulla, koska CAD-mallit voidaan suunnitella missä tahansa paikassa, jossa on suunnitteluohjelmisto ja varsinaisen valmistuslaitteen ei tarvitse sijaita samassa paikassa. Valmistettavan mallin piirustukset voidaan lähettää sähköisesti esimerkiksi internetin välityksellä minne tahansa. (Hongbo, 2009, s. 643)

Edellä mainitulla mahdollisuudella on erittäin pitkälle meneviä vaikutuksia. Yritys voi saada merkittävää kilpailuetua, mikäli se pystyy sitouttamaan asiakkaitaan tuotekehitykseen ja saamaan heidät suunnittelemaan parempia tuotteita.

CAD-ohjelmistot ovat toki verrattain raskaita ja vaativat täten tehokkaita tietokoneita toimiakseen. Tämä ei ole kuitenkaan nykypäivänä ongelma edellä esitettyjen mahdollisuuksien saavuttamiseksi. Esimerkiksi suomalainen yritys Tinkercad on toteuttanut samaa nimeä kantavan verkkopohjaisen pikavalmistussmallien suunnittelupalvelun kuluttajille (<https://tinkercad.com/home/>). Kuluttajat voivat palvelun avulla suunnitella yksinkertaisessa verkkoselainpohjaisessa käyttöliittymässä pikavalmistussmalleja, jakaa niitä muille ihmisille verkossa ja halutessaan tulostuttaa kehittämänsä mallit pikavalmistuspalveluntarjoajalla. Muitakin vastaavanlaisia palveluita on kehitetty. (Remes, 2012, s. 36–39) Toinen esimerkki Tinkercadin kaltaisesta kuluttajille suunnatusta palvelusta on Autodesk (Connolly, 2011, s. 38-40).

#### **4.4.5 Case käsikonsoli: esimerkki suunnittelun tehostumisesta**

Lopez et al. (2002, s. 116-125) hyödynsivät tutkimuksessaan pikavalmistusta tuotekehityksessä ja -suunnittelussa monilla tavoilla, jotka kuvastavat hyvin pikavalmistuksen tarjoamia suunnitteluhyötyjä ja -mahdollisuuksia. He hyödynsivät pikavalmistusta käsikonsolien suunnittelussa.

Pikavalmistus mahdollisti erilaisten käsikonsoliprototyypin valmistamisen nopeasti virtuaalisista piirustuksista. Näiden prototyyppien avulla pystyttiin arvioimaan lopputuotteen ergonomiaa, näppäimien sijoittelua, näytön paikkaa ja erilaisia oteratkaisuita. Lisäksi aikaisemmin pikavalmistusprototyyppiä oli hyödynnetty laitteen elektronisten osien sijoittelun suunnittelussa. Asiakkaita sitoutettiin tuotekehitysprosessiin antamalla heille mahdollisuus arvioida valmistettuja prototyyppikonsoleita ja näiden ergonomiaa. Asiakkaiden kommentteja hyödynnettiin parhaan mahdollisen ergonomian löytämisessä. Prototyyppien valmistamisessa pikavalmistuslaitteella kului aikaa kolmesta tunnista 24 tuntiin, mikä mahdollisti useita iteraatiokierroksia ja suunnittelumuutoksia ennen oikean mallin löytymistä. Kaiken kaikkiaan pikavalmistuksen avulla käsikonsolin suunnitteluprosessi oli erittäin tehokas ja se auttoi merkittävästi parhaan mahdollisen konsolimuotoilun valinnassa. (Lopez et al., 2002, s. 125)

### **4.5 Valmistustekniset mahdollisuudet**

Verrattuna perinteisiin valmistustekniikoihin, pikavalmistuksella on joitakin ylivoimaisia teknisiä ominaisuuksia, jotka mahdollistavat täysin uusia sovelluskohteita ja mahdollisuuksia. Näitä ominaisuuksia korostetaan vielä erikseen, vaikka niitä on jo osittain sivuttu aikaisemmin, mutta niillä on erityistä merkitystä pikavalmistuksen mahdollisuuksien joukossa. Seuraavat hyödyt ovat ominaisia pikavalmistustekniikoille.

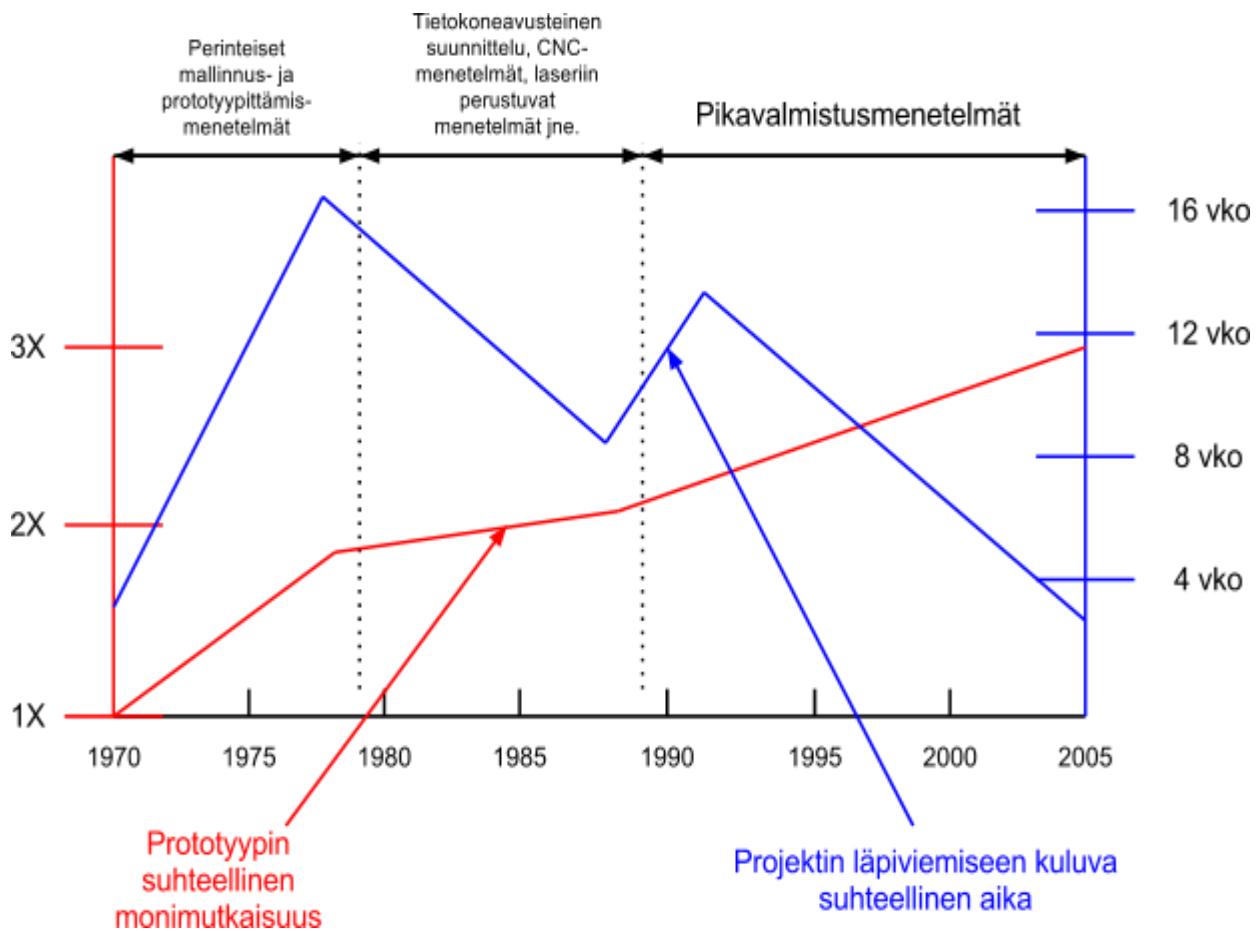
#### **4.5.1 Kappaleen yksikkökustannus ei riipu sen monimutkaisuudesta**

Buswell et al. (2007, s. 229) käsittelevät artikkelissaan suuren kokoluokan pikavalmistuksen mahdollisuuksia rakennusteollisuudessa. Heidän tutkimuksensa mukaan perinteisillä valmistusmenetelmillä valmistettävien komponenttien hinta nousee, kun kappaleen monimutkaisuus lisääntyy. Pikavalmistusta hyödynnettäessä kappaleen monimutkaisuus ei taas vaikuta valmistuskustannuksiin. Tästä seuraa se, että pikavalmistuksen hyödyt korostuvat monimutkaisia komponentteja valmistet-

taessa, jolloin kustannusero perinteisiin valmistusmenetelmiin kasvaa. Rakennusteollisuudessa tällaiset kohteet ovat esimerkiksi seinäkomponentteja, joiden monimutkaisuus voi vaihdella käyttökohteen mukaan. Normaalit seinät ovat hyvin yksinkertaisia rakentaa, mutta esimerkiksi keittiöissä tarvitaan esimerkiksi seinän sisään rakennettuja läpivientejä ja sähkörakenteita, jotka nostavat seinän toiminnallisuutta ja hyödyntämismahdollisuuksia. Tällaisen seinän rakentamisessa pikavalmistuksen hyödyntämismahdollisuudet ovat suurimmat. Sitä hyödyntämällä voidaan tarvittavat seinän sisäiset ominaisuudet suunnitella etukäteen ja tulostaa valmis seinäelementti. Tuotekehitykselle tämä tarjoaa monia mahdollisuuksia, koska nyt voidaan suunnitella seinän sisään monipuolisesti ominaisuuksia ja toiminnallisuuksia, riippumatta kustannuksista. Monimutkaisten kappaleiden edullinen valmistus lisää myös tuotekehityksessä mallien ja prototyyppien käyttömahdollisuuksia ja pienentää mallin rakentamisen kustannuksia.

#### **4.5.2 Kappaleen valmistusnopeus ei riipu sen monimutkaisuudesta**

Pikavalmistus tarjoaa mahdollisuuden valmistaa ja tarkastella tuotetta hyvin nopeasti suunnittelun jälkeen riippumatta tuotteen monimutkaisuudesta. Viimeisen 35 vuoden aikana tuotteiden monimutkaisuus on kasvanut huomattavasti. Esimerkiksi autoteollisuutta tarkastellessa huomataan, että autojen muotoilu on monimutkaistunut huomattavasti, mutta projektien läpivientiajat eivät ole kasvaneet. Autoteollisuutta käsittelevästä kuvasta 11 huomataan, että 1980-luvulla muotoilun kehittyessä projektien läpivientiajat kasvoivat 16 viikkoon. Kuitenkin tietokoneavusteisen suunnittelun ja valmistuksen yleistyttyä läpivientiajat tippuivat kahdeksaan viikkoon ja pikavalmistuksen käyttöönoton jälkeen läpivientiajat tippuivat kolmeen viikkoon vuonna 2005 (kuva 11). (Chua et al., 2010, s. 13 -14)



Kuva 11. Projektiin kuluva aika ja tuotteen monimutkaisuus suhteessa toisiinsa autoteollisuudessa 1970-luvulta 2000-luvun puoliväliin saakka. (Chua et al., 2010, s. 14)

Pikavalmistusta hyödynnettäessä valmistumisnopeus on tasainen riippumatta kappaleen monimutkaisuudesta ja valmistumisaika pystytään ennustamaan. Verrattuna perinteisiin prototyyppien valmistusmenetelmiin, joissa monimutkaisten rakenteiden valmistaminen on erittäin aikaa vievää tai jopa mahdotonta, pikavalmistuksen hyödyt ovat ylivoimaiset. (Buswell et al., 2007, s. 230)

#### 4.5.3 Case: kustomoidut soittimet

Seuraava esimerkki perustuu sekä lähteisiin että omaan kokemukseen ja tietämukseen soitinten valmistuksesta. Se valottaa pikavalmistuksen erittäin suurilla mahdollisuuksilla asiakkaan toiveiden mukaan kustomoitujen tuotteiden suunnittelussa ja valmistuksessa. Pikavalmistus voi mullistaa soitinten suunnittelun, räätälöinnin, testauksen ja valmistamisen.

Asiakkaan toiveiden mukaisten soitinten rakentaminen on eräänlaista salatiedettä - asiakkaat haluavat käytännössä 'täydellisen' soittimen, kun he tilaavat sen itse määrittämiensä mittojen ja haluami-

ensa ominaisuuksien mukaan. Soittimen mittojen on vastattava täysin asiakkaan esittämiä vaatimuksia. Lisäksi soittimen 'soundin', joka korostuu etenkin akustisissa soittimissa, on oltava uniikki ja ilmaisullinen. (Zoran & Maes, 2008, s. 1)

Vaatimuksista johtuen esimerkiksi kustomoidun kitaran tilausprosessi voi kestää perinteisillä käsityömenetelmillä kuudesta kuukaudesta jopa vuoteen. On selvää, että mitä monimutkaisempia muotoja ja ominaisuuksia soittimelta odotetaan, sitä pidempään sen valmistaminen kestää perinteisillä menetelmillä, ja sitä kalliimpaa se on asiakkaalle. Kaikkia ideoita ei voida edes toteuttaa perinteisin menetelmin, esimerkiksi soitinta ei voida valmistaa täysin yhdestä kappaleesta. Tämä parantaisi soittimen resonointia ja sointia huomattavasti.

Pikavalmistus muuttaa radikaalisti edellä mainittua tilannetta. Pikavalmistamalla voidaan valmistaa soitin, joka vastaa täysin asiakkaan haluamia soittimen mittoja. Lisäksi soitin voidaan valmistaa yhdestä kappaleesta ja se voi olla käytännössä minkä muotoinen tahansa. Asiakas voi suunnitella soittimen alusta asti itse aiemmin tutkielmassa esitettyjen verkkopohjaisten ja helppokäyttöisten suunnitteluvälineiden avulla. Pikavalmistuspohjaisiin materiaaleihin ei ole esteitä, sillä esimerkiksi puupohjaista komposiittimateriaalia käytetään jo nyt esimerkiksi kitaran valmistuksessa ja se on todettu hyväksi soitinmateriaaliksi. Soittimen valmistus maksaa huomattavasti vähemmän ja vie erittäin paljon vähemmän aikaa kuin perinteisillä menetelmillä valmistettaessa.

Edellä esitetty voi muuttaa olemassa olevia kustomoitujen soitinten rakentamiseen erikoistuneiden yritysten liiketoimintamalleja. Soitinvalmistajien tehtäväksi voi jäädä tarjota asiakkaalle tuotesuunnittelun avustamista ja soitinten tulostuspalvelua pikavalmistuslaitteilla, koska perinteinen valmistus ei pysty kilpailemaan pikavalmistuksen kanssa. Tosin nykyiset soitinrakentajat voivat myös tarjota aivan uudenlaista palvelua pikavalmistuksen avulla: he voivat tarjota asiakkaalle fyysisen prototyypin ennen varsinaisen tuotteen rakentamisen aloittamista, koska esimerkiksi muovipohjaisen prototyypin valmistaminen on niin edullista. Soitinprototyypin avulla asiakas voi varmistua siitä, että valmistettava soitin vastaa täysin sitä muotoilua, jota asiakas soittimelta odottaa. Tämä olisi taatusti kilpailuetu soitinrakentajalle, sillä palvelulle olisi varmasti kysyntää ja nykyisin tällainen toimintatapa ei ole mitenkään mahdollista toteuttaa kustannustehokkaasti.

Tämä kustomoitujen soitinten esimerkki on yleistettävissä lähes kaikille teollisuudenaloille, joilla asiakkaat haluavat erittäin räätälöityjä tuotteita halvalla ja nopeasti. Pikavalmistamalla ei voida toteuttaa ihan mitä tahansa, koska esimerkiksi älykkäiden sähköteknisten laitteiden pikavalmistus ei



vielä onnistu. Kuitenkin monilla aloilla, joissa itse tuote koostuu yhdestä tai muutamasta materiaalista, kuten soitinten tapauksessa, pikavalmistamalla voidaan valmistaa ennennäkemättömiä tuotteita. Seuraavassa kuvassa 12 on vielä esimerkki futuristisesta kitarasta, jota ei olisi voitu toteuttaa perinteisin valmistusmenetelmin. Kitaran runko on avonainen ja rakenne on monimutkainen sekä läpinäkyvä.



Kuva 12. 3D-tulostimella valmistettu kitara. (McCue, 2012)

## **5 PIKAVALMISTUKSEN TARJOAMIEN MAHDOLLISUUKSIEN TO- TEUTUMISEN EDELLYTYKSET**

Kaikilla mahdollisuuksilla on luonnollisesti aina kääntöpuolensa eli mahdollisuuksien toteutumiseen liittyy riskejä ja edellytyksiä. Tässä kappaleessa perehdytään pikavalmistuksen mahdollisuuksien toteutumisen edellytyksiin. Pikavalmistuksen käyttöönoton oikeutukseen vaikuttavat neljä tekijää eli strateginen, taloudellinen, teknologinen ja organisatorinen näkökulma. (Chin, 1998, s. 574) Investoimisen oikeutuksen määrittämiseen on olemassa erilaisia metodeja, mutta on huomattava, että investoiminen edistyneisiin teknologioihin on subjektiivinen tehtävä eli investointipäätös on aina tilannekohtainen (Kamrani et al., 2006, s. 299).

### **5.1 Strategiset edellytykset**

Pikavalmistuksen strateginen hyväksyntä tarkoittaa sitä, että pikavalmistuksesta on oltava hyötyä toteutettaessa yrityksen strategiaa. Yrityksen tulee määrittää itselleen liiketoimintastrategia ja toteuttaa sitä saavuttaakseen liiketoiminnalliset tavoitteensa. Jotta pikavalmistus olisi strategisesti hyväksyttävissä, sen täytyy auttaa yritystä toteuttamaan strategiaa ja täyttämään liiketoimintatavoitteita. (Kamrani et al., 2006, s. 256)

Strategisesti kriittisiä tekijöitä pikavalmistusteknologian käyttöönotossa ovat johdon sitoutuminen ja asenne. Johdon sitoutuminen tarkoittaa yrityksen strategian muuntamista sellaiseksi, että siinä annetaan painoarvoa ennakoivaan tuotekehitykseen, nopeaan markkinoille pääsyyn, suunnitteluun ja muihin pikavalmistuksen tarjoamiin mahdollisuuksiin. Lisäksi johdon on sitouduttava sietämään riskiä lyhyellä tähtämellä, jotta verrattain suuri investointi pikavalmistusteknologiaan voidaan hyväksyä. (Chin, 1998, s. 574)

Myös strateginen fokus on tärkeää. Mikäli yrityksen strateginen fokus ei ole innovatiivisten tuotteiden valmistus, pikavalmistuksesta on tuskin hyötyä tuotekehityksessä. Johdon on siis oltava valpas ympäristön muutoksille, sitoutunut teknologiaan ja innovaatio-orientoitunut. Sen on kyettävä suunnittelemaan ja löytämään ja ratkaisemaan ongelmia, jotka liittyvät teknologian käyttöönottoon. Heidän on kyettävä hallitsemaan prosessin ja työvoiman lisäksi myös muutosta, ja luotava yritykseen muutosmyönteinen yrityskulttuuri. (Chin, 1998, s. 574)

Yrityksen mitä tahansa strategiaa määritettäessä yksi strategian tärkeimmistä elementeistä on kilpailuetu ja kuinka sitä ylläpidetään. Valmistavalle yritykselle keskeisiä kilpailuedun kriteereitä ovat laatu, joustavuus, tuottavuus, aika, kustannukset, asiakastyytyväisyys, markkinaosuus, rahoitus ja toimitukset. Ilman näiden tekijöiden huomioimista investointipäätöksessä voi käydä niin, että yritys valitsee väärän pikavalmistusteknologian tai valitsee ylipäättään pikavalmistuksen vaikkei se tuo yritykselle kilpailuetua. Yrityksen tulee siis luoda päätöksentekohierarkia, jossa nämä kilpailuetutekijät jaetaan yrityksen eri päätöksentekotasolle, ja tarkasteltava jokaista tekijää sekä määrällisillä että laadullisilla mittareilla, jotta voidaan selvittää tuottaako tarkasteltava teknologia kilpailuetua. (Kamrani et al., 2006, s. 302-303)

Yksi olennainen tekijä tuotekehityksen nopeuttamiseksi on saattaa yhteen yrityksen tuotekehitys- ja teknologiastrategia. Tämä ei ole ollenkaan niin helppoa kuin voisi olettaa, sillä usein yritysten tehostamistoimet eivät koske samanaikaisesti molempia näistä strategioista. Nopeuden saavuttamiseksi näiden välinen synergia on kuitenkin tärkeää, mikä tarkoittaa sitä, että pikavalmistuksen tulee sopia näihin molempiin strategioihin eli tukea näiden strategioiden toteutumista. (Vinodh et al., 2010, s. 678)

## **5.2 Taloudelliset edellytykset**

Investoiminen mihin tahansa teknologiaan vaatii taloudellista kannattavuustarkastelua. Ellei hankkeella ole muuta erittäin merkittävää syytä tulla toteutetuksi, on sen joka tapauksessa oltava kannattava. On kuitenkin huomattava, että pelkästään taloudellisilla mittareilla ei voida hyväksyä tai hylätä investointeja, koska pikavalmistuksenkin hyödyt ovat sekä taloudellisia että laadullisia. Laadulliset hyödyt ja mahdollisuudet vaativat ei-taloudellisia hyväksymiskriteereitä. (Kamrani et al., 2006, s. 296)

Pikavalmistus tarjoaa tuotekehitykselle eritoten nopeutta, joustavuutta ja kykyä luoda malleja, joita ei perinteisillä menetelmillä pystytä tekemään. Näiden hyötyjen arvon määrittäminen etenkin korvausinvestoinnin tapauksessa on ratkaisevassa osassa investointipäätöksessä. Lisäksi pikavalmistuksen käyttökustannuksia on verrattava olemassa olevaan teknologiaan (Chin, 1998, s. 576-577). Esimerkkinä tuotekehitysprosessin lyheneminen, jonka osalta on mietittävä yrityksestä ja liiketoiminnasta riippuen, mikä näiden aikasäästöjen arvo on, ja oikeuttavatko nämä säästöt investoimaan pikavalmistusteknologiaan. Tehtävänä on siis laskea aikasäästölle rahallinen arvo ja verrata tätä

pikavalmistusteknologian investointikustannuksiin. Jos säästöjen arvo on suurempi kuin investointikustannus, on investoiminen taloudellisesti järkevää. (Smith, 1999, s. 179)

Lyhyellä tähtämellä suurin pikavalmistuksen käyttöönottoa rajoittava tekijä on alkuinvestoinninrahoittaminen. Huolimatta selvistä kustannushyödyistä pitkällä tähtämellä, ainakin aiemmin verrattain suuret alkuinvestoinnit pikavalmistustekniikan hankinnassa ovat usein estäneet hankinnan toteutumisen. (Chin, 1998, 576-577) Nykyisin laitteiden hinnat riippuvat teknologiasta: halvimmat pikavalmistuslaitteiksi kutsutut laitteet maksavat alle 1000 euroa, kun taas kalleimmat metallia sint-raavat laitteet maksavat vähintään 200 000 euroa (Tervola, 2012, s. 20). Hinnat ovat kuitenkin tulleet reilusti alaspäin takavuosista ja teknologian yleistyessä kehitys lienee edelleen samanlainen.

### **5.3 Tekniset ja organisatoriset edellytykset**

Pikavalmistustekniikan valinnalla on ratkaiseva merkitys tuotekehityksen nopeuden, tehokkuuden ja suorituskyvyn kannalta. Tekniikan valinta lukuisista vaihtoehdoista voi kuitenkin osoittautua vaikeaksi tehtäväksi, koska teknologioiden soveltuvuudessa erilaisiin käyttötilanteisiin on eroja, ja päätösmuuttujia on useita. Teknisistä ominaisuuksista huomioitavia muuttujia ovat laitteen käyttöönottoon kuluva aika, valmistusnopeus, kustannukset ja laatu, joka koostuu valmiin kappaleen pinnan laadusta ja tarkkuudesta sekä mallin lujuudesta. (Khrais et al., 2011, s. 10286)

Valmistusteknologioiden valintaan on olemassa useita erilaisia metodeja. Yksi yleisesti käytetty metodi on analyyttinen hierarkiaprosessi (AHP). Myös sumeaan logiikkaan perustuva joukko-oppi (fuzzy logic set theory) tarjoaa tehokkaat työkalut parhaan mahdollisen pikavalmistustekniikan valintaan eri tilanteissa. Olennaista on, että käytettävä metodi ottaa huomioon sekä määrällisiä että laadullisia tekijöitä. (Khrais et al., 2011, s. 10286–10287)

Pikavalmistustekniikatkin tarvitsevat tietyissä prosessin vaiheissa ihmistä. Siksi henkilökunnan koulutukseenkin täytyy panostaa, jotta muun muassa suunnittelutehtävät, laitteen alustaminen ja kalibrointi ja jälkikäsitteily pystytään hoitamaan. Lisäksi pikavalmistuksen ollessa mekaaninen teknologia, vaatii se täten ajoittain huoltoa ja päivittämistä. (Chin, 1998, s. 575)

Pikavalmistuksen tarjoamaa nopeutta tuotekehityksessä ei pystytä hyödyntämään ilman asianmukaisia tietojärjestelmiä, koska ilman niitä syntyy kommunikaatiovirheitä tietokoneavusteisten oh-

jelmien ja laitteiden välillä, uudelleen tehtävää työtä ja päällekkäisyyksiä tehtävissä ja toiminnoissa. Pikavalmistuksen mahdollisuuksien hyödyntämiseksi onkin kehitettävä asianmukaiset tietojärjestelmät, joissa olennaista on tuotekehitystietojen käsittely ja pikavalmistuksen vaatimien sovellusten välinen kommunikaatio. Lisäksi tietojärjestelmillä täytyy pystyä hallitsemaan tuotekehitysprosessia. (Tu & Xie & Kam, 2006, s. 508)

Pikavalmistuksen käyttäminen voi asettaa joitakin rajoitteita valmistettavalle tuotteelle. Ensinnäkin valmistusmateriaalin pitää olla soveltuvaa loppukäyttöä ajatellen. Myös kappaleiden koolle on joitakin rajoituksia. Materiaalien kestävyys ja käyttäytyminen voivat asettaa rajoituksia suunnittelulle, mikä muuten pikavalmistuksessa on hyvin vapaata. (Buswell et al. 2008, s. 925-926) Lisäksi on huomattava, että nimestään huolimatta pikavalmistus ei tarkoita sitä, että sen avulla pystyttäisiin valmistamaan nopeaa sarjatuotantoa. Pikavalmistamalla pystytään valmistamaan nopeasti yksittäisiä tai muutamia malleja, mutta isomman määrän kohdalla prosessi hidastuu. Pikavalmistus ei siis ainakaan vielä korvaa perinteisiä menetelmiä sarjatuotannossa, mutta yksittäisten mallien ja kustomoitujen tuotteiden valmistus on erittäin nopeaa. (Buswell et al. 2007, s. 225-226)

Organisatorisia vaikutuksia ei voida jättää huomiotta muutettaessa strategiaa ja investoitaessa uuteen teknologiaan. Pikavalmistus vaatii tuekseen tietynlaisia suunnittelu- ja valmistusvälineitä, jotka voivat olla tuntemattomia olemassa oleville työntekijöille. Lisäksi pikavalmistus pienentää usein työvoiman tarvetta ylipäätään ja muuttaa työntekijöiden toimenkuvia. Nämä tekijät ovat omiaan aiheuttamaan muutosvastarintaa, ja johdon tuleekin osata johtaa muutosta teknologian implementoimiseksi. Niin kuin sanottu, ihmisen tarve ei poistu myöskään kokonaan valmistusprosessissa, joten koulutukseen tulee panostaa uuden teknologian käyttöönotossa. (Chin, 1998, s. 575)

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Seuraavaksi kootaan ja esitetään tutkielman pääargumentit yhdessä ja vedetään johtopäätökset pikavalmistuksen mahdollisuuksista. Tuotekehityksen ja sen menestystekijät ja ongelmakohdat kootaan yhteen pikavalmistuksen tarjoamien mahdollisuuksien kanssa, ja pohditaan onko näillä mahdollisuuksilla edellytyksiä toteutua tuotekehityksessä. Tuotekehitykseen liittyvät ongelmat ovat eritelty taulukoissa 4 ja 5. Taulukoissa on esitelty myös pikavalmistuksen mahdollisuuksia tai vastauksia kyseisiin ongelmiin. Taulukoiden jälkeen on vielä pohdittu mitä edellytyksiä tulee olla, jotta pikavalmistuksen avulla kyseiset ongelmat voidaan ratkaista. Valtaosa pikavalmistuksen hyödyistä ja mahdollisuuksista painottuu tuotteen kehittämiseen ja tuoteominaisuuksien parantamiseen, joten ne käsitellään taulukossa 5 erillään yleisistä hyödyistä.

### 6.1 Pikavalmistuksen mahdollisuudet

Taulukko 4. Tuotekehityksen toteutuksen ja strategiset ongelmat ja pikavalmistuksen mahdollisuudet

<b>Tuotekehityksen menestystekijät ja ongelmakohdat</b>	<b>Pikavalmistuksen tarjoamat mahdollisuudet tuotekehityksessä</b>
Strateginen yhteensopivuus (tuotekehitys-, markkinointi- ja liiketoimintastrategia)	Suunnittelu- ja aikahyödyt mahdollistavat hyvän liikkuvuuden ja nopean reagoinnin ympäristön muutoksiin. Erityisesti innovaatio- ja teknologiafokusoituneet yritykset voivat hyötyä pikavalmistuksesta.
Eri osastojen (markkinointi, tuotanto jne.) näkökantojen huomiointi	Eri osastot voivat osallistua tuotesuunnitteluun tietokoneavusteisten välineiden avulla. Mallien nopea saatavuus ja niistä saatava informaatio tuo kunkin osaston mielipiteitä paremmin esille.
Teknisessä kehityksessä mukana pysyminen ja innovatiivisuus.	Nopeutunut tuotekehitysprosessi mahdollistaa teknologioiden nopean kehittämisen ja testaamisen sekä nopean reagoinnin ympäristön muutoksiin.
Kustannustehokkuus	Kustannussäästöt erittäin merkittäviä, mikä parantaa tuotekehityksen kannattavuutta ja mahdollistaa pääomien tehokkaamman kohdentamisen.
Riittävät resurssit	Pikavalmistuslaitteistot ovat hyvin monikäyttöisiä ja säästävät kustannuksia. Kustannussäästöt mahdollistavat resurssien tehokkaamman käytön.
Alkuvaiheen ideoiden luonti sekä luovuus- ja ongelmanratkaisu	Prototyypin nopea saatavuus ja hyödyntäminen ideoinnissa sekä suunnittelussa. Ideoita voidaan testata ja ongelmia ratkaista mallien avulla.
Riskien hallinta	Riskit pienenevät merkittävästi. Mallien kustannukset vaihtelevat vähän ja materiaalitehokkuus on hyvää. Suunnittelumuutoksista aiheutuvat lisäkustannukset pysyvät pieninä. Erilaisia prototyyppijä voidaan testata. Aikasäästöjen vuoksi asiakastarpeita ei tarvitse ennustaa pitkälle tulevaisuuteen.
Oppiminen ja arviointi sekä päätöksenteko	Useiden mallien ja prototyyppien käyttäminen informaation lähteenä parantaa oppimista ja päätöksenteon laatua.
Joustavat prosessit	Pikavalmistuslaitteiden monipuolinen käyttö. Prosessien nopeutuminen ja muutokustannuksien pienentäminen.

Hyödyt ja mahdollisuudet kiteytyvät kustannus- ja aikahyötyihin, sekä näiden tarjoamaan hyvään liikkuvuuteen. Suunnittelumuutosten kustannuksien pysyessä pieninä pystytään muutoksia tekemään enemmän. Nopeutunut tuotekehitysprosessi mahdollistaa nopeiden muutosten tekemisen sekä antaa mahdollisuuden reagoida nopeasti ympäristön muutoksiin.

Taulukko 5. Tuoteominaisuuksien kehittämiseen liittyvät ongelmat ja mahdollisuudet.

<b>Tuotekehityksen menestystekijät ja ongelmakohdat</b>	<b>Pikavalmistuksen tarjoamat mahdollisuudet tuotekehityksessä</b>
Asiakastarpeisiin vastaaminen	Huomattavasti parempi vastaaminen asiakkaiden tarpeisiin. Asiakkaita voidaan hyödyntää tuotekehityksessä tuotemallien arvioinnissa ja kehittämisessä. Asiakkaille voidaan tuottaa halvalla yksilöllisiä tuotteita.
Trendien huomiointi	Tuotekehitysprosessin kustannus- ja aikasäästöt mahdollistavat nopeasti uusien tuotteiden kehittämisen.
Muotoilu ja toimivuus	Mallien avulla voidaan kustannustehokkaasti suorittaa useita iteraatiokierroksia ja valita paras malli jatkokehitykseen. Lisäksi voidaan toteuttaa lähes minkälaisia malleja tahansa.
Ympäristöystävällisyys	Pikavalmistusprosessit ovat materiaalitehokkaita, hukkaa ei juuri synny.
Nopeus / kaupallistamisaika	Pikavalmistuksen avulla tuotekehitysprosessia pystytään nopeuttamaan, jolloin tuotteet pystytään kaupallistamaan nopeammin ja saavuttamaan ensimmäisen toimijan hyödyt markkinoilla.
Hintataso	Tuotekehitysprosessin kustannuksia voidaan pienentää. Mallien yksikkökustannukset ovat pienet, ne eivät riipu kappaleen monimutkaisuudesta ja ne ovat täysin ennustettavissa ja laskettavissa.

Pikavalmistusteknologia antaa suunnittelijoille ja tuotekehitykselle mahdollisuuksia suunnitella entistä esteettisempiä, toimivampia ja asiakasystävällisempiä tuotteita. Nopeutunut mallien ja prototyyppien valmistus lisää niistä saatavaa informaatiota ja takaa, että päätöksenteon tueksi on nopeasti saatavilla malli. Tämä lisää iteraatiokierrosten määrää ja tehostaa näin suunnittelua ja tuotekehitystä.

Pikavalmistuksen tarjoamien mahdollisuuksien toteutuminen edellyttää yritykseltä neljän eri näkökulman läpikäymistä: strategisen, taloudellisen, teknisen ja organisatorisen. Pikavalmistuksen on sovittava yrityksen liiketoimintaan näiden neljän näkökulman valossa, muuten pikavalmistuksesta ei ole edellä esitettyä hyötyä yritykselle ja luonnollisesti sen tarjoamat mahdollisuudet eivät voi toteutua.

Pikavalmistuksen on sovittava yrityksen tuotekehitysstrategiaan, joka on kytköksissä liiketoimintastrategiaan. Pikavalmistuksen on siis sovittava yrityksen liiketoimintaan. Yrityksen on oltava innovaatio- ja teknologiaorientoitunut, jotta se voi saavuttaa kilpailuetua pikavalmistuksen avulla. Hittaamman muutoksen aloilla, kuten esimerkiksi kuluttajatarvikkeiden jälleenmyynnissä, ei tuotekehityksen suorituskyvyllä luonnollisesti ole niin suurta merkitystä ja ei täten pikavalmistuksestaakaan. Nopeamman kehityksen aloilla, kuten älypuhelimenteollisuudessa, tuoteominaisuuksilla on ratkaisevaa merkitystä tuotteiden menestymisen kannalta, ja pikavalmistus voi tarjota ratkaisevaa kilpailuetua tällaisten innovatiivisten tuotteiden kehittämisessä. Lisäksi strategisessa sopivuudessa on olennaista johdon sitoutuminen uuteen teknologiaan.

Kaikkien teknologioiden on oltava kustannustehokkaita ja kannattavia hankkia. Pikavalmistuksen implementointi edellyttää samankaltaista kannattavuustarkastelua kuin muutkin teknologiat merkittävistä mahdollisuuksistaan huolimatta. Pikavalmistuksen tarjoamia mahdollisuuksia on verrattava sekä taloudellisiin että ei-taloudellisiin mittarein sen aiheuttamiin investointi- ja ylläpitokustannuksiin. Varsinkin innovaatio-orientoituneissa yrityksissä pikavalmistuksen mahdollisuudet ovat kuitenkin niin merkittäviä ja arvokkaita, että investoiminen on mitä todennäköisimmin erittäin kannattavaa. Sen sijaan aloilla, joissa tuotekehityksen rooli ei ole niin tärkeää menestykselle, on vaarana, että pikavalmistusteknologia ei tuota yritykselle lisäarvoa vaan ainoastaan kustannuksia.

Yrityksen tulee olla selvillä erilaisista pikavalmistusteknologisista vaihtoehdoista, kun se harkitsee investoimista niihin. Teknologian valinnalla on ratkaisevaa merkitystä esimerkiksi kustannuksiin, valmistusnopeuteen ja suunnittelun tehokkuuteen. Tässä tutkielmassa ei ole esitetty erilaisten teknologioiden ominaisuuksia, koska niitä on niin paljon, ja investoiminen tiettyyn teknologiaan riippuu aina täysin tilanteesta. Yrityksen tulee luoda päätöksentekoaikataulu, jonka avulla se pystyy selvittämään parhaan mahdollisen pikavalmistusteknologian sen loppukäyttöä ajatellen. Lisäksi pikavalmistuksen integroimisessa yrityksen prosesseihin tulee kiinnittää erityistä huomiota myös tietojärjestelmiin, joiden täytyy mahdollistaa sekä pikavalmistusperusteinen tuotekehitysprosessi että tehokas tuotekehitysprojektijohtaminen.

Lisäksi pikavalmistus aiheuttaa merkittäviä muutoksia suunnittelu- ja tuotekehitysprosesseihin, ja etenkin työvoiman tarpeeseen näissä prosesseissa. Työntekijöiden tarve todennäköisesti vähenee ja työtehtävät muuttuvat radikaalisti. Tämä aiheuttaa varmasti muutosvastarintaa, ja johdon on kyettävä johtamaan muutosta oikein. Epäonnistunut muutosjohtaminen voi johtaa epätehokkaisiin proses-



seihin, ihmisten katkeroitumiseen ja jopa yrityksen maineen menetykseen. Tällaisessa tilanteessa on luonnollisesti vaikeampaa enää hyötyä teknologian tarjoamista mahdollisuuksista.

## **6.2 Pikavalmistuksen tulevaisuudennäkymät**

Pikavalmistustekniikka kehittyy tulevaisuudessa entisestään. Laitteistojen tekninen kehitys määrittääkin pitkälti tulevaisuuden käyttökohteet ja mahdollisuudet. Tällä hetkellä suurimmat tekniset ongelmat liittyvät valmistustarkkuuteen, käytettävien materiaalien valikoimaan ja laitteiden kokoluokkaan. Valmistusmateriaalien osalta mahdollisuus käyttää useampia materiaaleja samassa mallissa on kiehtova. Kehitystä voidaan odottaa myös valmistusnopeuden puolella. Nämä kehityskohdat voivat avata monia ovia valmistusteknisesti.

Tuotekehitykseen liittyvät kehityskohteet ovat mallintamisen nopeus ja tarkkuus. Myös valmistusmateriaalien tarjoamat mahdollisuudet tulee käyttää hyödyksi, koska lopullisesta materiaalista valmistetulla prototyypillä voidaan tehokkaasti testata ominaisuuksia ja myös materiaalien sopivuus ja ongelmakohdat saadaan testattua. Tällä hetkellä esimerkiksi muovista valmistetuilla malleilla ei pystytä testaamaan lämpölaajenemisen tai muiden fysikaalisten ominaisuuksien käyttäytymistä.

Pikavalmistuslaitteita käytetään tulevaisuudessa entistä enemmän myös muihin tarkoituksiin kuin tuotekehityksen apuvälineenä. Tuotekehityksen apuvälineeksi hankittu laite soveltuu myös aputyökalujen ja lopputuotteiden valmistamiseen. Yritys pystyy täten hyödyntämään yhtä laitetta erittäin tehokkaasti moniin tarkoituksiin.

Pikavalmistuksen hyödyntäminen etenkin lopputuotteiden valmistukseen tulee mitä todennäköisimmin lisääntymään. Jos pikavalmistaminen viedään teknisesti sille asteelle, että sen avulla voidaan valmistaa isoja sarjoja kustannustehokkaasti, ovat mahdollisuudet huikeat. Periaatteessa koneiden kapasiteetin kasvattaminen mahdollistaa useiden samanlaisten tuotteiden valmistamisen yhtä aikaa, jolloin ison sarjan valmistusnopeus kasvaa. Tämä voi mahdollistaa pikavalmistuksen laajemman käyttämisen lopputuotteiden valmistamiseen.

Lopputuotteiden pikavalmistaminen omaan käyttöön sisältää monia muitakin kiehtovia mahdollisuuksia. Esimerkiksi yritys voisi valmistaa omat varaosansa, jolloin säästyttäisiin varaosien varas-

tointi- ja riskikustannuksilta. Varaosa voitaisiin valmistaa aina tarpeeseen, eikä tarvitsisi käyttää pitkään hyllyssä seisonutta osaa, jonka ominaisuudet ovat jo huonontuneet valmiiksi.

Laitteistojen tullessa edullisemmiksi ja valmistusmahdollisuuksien lisääntyessä myös pikavalmistuksen kotikäyttö saattaa lisääntyä. Tulevaisuudessa voikin syntyä tilanne, jossa kuluttaja ostaa tuotteen piirustukset palveluntarjoajalta ja tulostaa tuotteen itse kotona. Tällöin tuotteen rikkoutuessa voidaan uusi tuote tulostaa heti vanhoista piirustuksista. Lisäksi kuluttajat voisivat myös suunnitella tuotteensa itse, jolloin he eivät tarvitse enää ulkopuolista apua prosessissa. Pikavalmistuksen kotisovellukset tulevat varmasti kehittymään huimasti.

## 7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli esitellä pikavalmistuksen mahdollisuuksia tuotekehityksessä ja tuotekehityksen ongelmien ratkaisemisessa. Työssä on esitelty mahdollisuuksien kartoittamisen tueksi pikavalmistuksen terminologisen ja teknisen perustan sekä tuotekehitykseen liittyvät yleisimmät teoriat. Lopuksi pohditaan, mitä pikavalmistuksen tarjoamien mahdollisuuksien toteutuminen edellyttää.

Pikavalmistuksesta on suomeksi kirjoitettu hyvin vähän, vaikka teknologia on maailmalla yleistynyt nopeaan tahtiin. "Pikavalmistusta" voidaan pitää yleiskäsitteenä ja englanninkielinen termistö on huomattavasti monipuolisempaa. Englanninkielisessä kirjallisuudessa vastaava yleistermi on rapid prototyping. Pikavalmistukselle eri käyttötarkoituksissa on eri termit. Rapid prototyping tarkoittaa mallien ja prototyyppien tekemiseen käytettävää pikavalmistusta. Tuotannon tai tuotekehityksen aputyökalujen valmistamiseksi käytettäviä pikavalmistustekniikoita kuvataan termillä rapid tooling. Rapid manufacturing tarkoittaa pikavalmistuksen avulla valmistettavien lopputuotteiden valmistusta. Työssä käsiteltävät pikavalmistuksen hyödyt ja mahdollisuudet käsiteltiin kaikista kolmesta näkökulmasta.

Pikavalmistuksen avulla voidaan elektronisesta informaatiosta (CAD-piirros) luoda kolmiulotteinen kappale tulostamalla. Kappale muodostuu useista erittäin ohuista kerroksista, jotka liitetään päällekkäin eri valmistusmetodien avulla. Erilaisia pikavalmistustekniikoita on olemassa erittäin paljon. Käytettävät materiaalit voidaan jakaa neste-, pulveri- ja kiinteäpohjaisiin materiaaleihin. Valmistunut kappale on geometrialtaan käytännössä rajoittumaton.

Eri tuotekehitysteorioita on olemassa hyvin monia, mutta käytetyimmistä malleista ja teorioista löytyy samankaltaisia piirteitä. Tuotekehityksen käsitteistö kiteytettiin tuotekehitysstrategiaan ja -prosessiin. Tuotekehitysstrategia on keskeinen tuotekehityksen suorituskyvyn tukipilari. Yleensä tuotekehitysprosessin kulku on seuraavanlainen: ensiksi on konseptin luomisvaihe, jolloin haetaan ideoita ja testataan niitä. Sitä seuraa konseptin kehittämisvaihe, jonka jälkeen siirrytään varsinaiseen tuotekehitysvaiheeseen. Tuotekehityksen jälkeen seuraa kaupallistaminen. Pikavalmistus liittyy läheisesti suunnitteluun ja tuotekehitykseen ja näiden suorituskyvyn parantamiseen. Lopuksi selvensimme keskeisiä tuotekehityksen menestystekijöitä ja ongelmakohtia.

Pikavalmistuksen käyttöönotolla tuotekehityksessä voidaan saada monia hyötyjä ja säästöjä. Kustannuksia pystytään säästämään henkilöstöstä, materiaaleista ja suunnittelusta. Aikasäästöt ovat

myös merkittävät ja ne voivat parhailaan olla jopa noin 90 prosenttia. Nopeutunut tuotekehitysprosessi on myös huomattavasti joustavampi ja nopeampi reagoimaan ympäristön muutoksiin. Kustannus- ja aikasäästöistä esitimme Ford-yritysesimerkin. Suunnittelun laatu paranee huomattavasti, koska malleja voidaan suunnitella ja valmistaa helposti, nopeasti ja kustannustehokkaasti, ja myös asiakkaita voidaan hyödyntää suunnittelussa. Suunnittelun parantumisesta esimerkkinä oli käsikonsolin suunnittelun parantuminen. Pikavalmistus poistaa myös valmistamisen rajoituksia ja kustannuksia, jolloin monimutkaisten ja vaativien kappaleiden valmistus on mahdollista ja edullista. Pika- valmistuksen avulla on myös mahdollista tarjota hyvin räätälöityjä tuotteita, koska valmistusprosessi ei ole sidottu eräkokoihin tai kalliisiin yksikkökustannuksiin. Tällä voi olla suuria liiketoiminnallisia seurauksia, ja siitä esitimme kustomoitujen soitinten suunnitteluun ja valmistamiseen liittyneen esimerkin.

Pikavalmistuksen tarjoamien mahdollisuuksien toteutuminen edellyttää strategisen, taloudellisen, teknisen ja organisatorisen näkökulman läpikäymistä. Näiden näkökulmien läpikäynnillä varmistetaan se, että pikavalmistuksesta on todellisuudessa hyötyä yritykselle ja mahdollisuudet voidaan saavuttaa. Pikavalmistuksesta on hyötyä erityisesti aloilla, joissa uusien tuotteiden kehittäminen on keskeistä kilpailukyvyllä. Hitaamman kehityksen aloilla investoiminen pikavalmistukseen ei ole välttämättä kannattavaa.

Edellä esitetyt tulokset perustuvat alan kirjallisuuteen. Mielenkiintoinen jatkotutkimuksen aihe olisi pikavalmistuksen käyttöönoton aiheuttamien tulojen määrittäminen. Kuinka paljon siis yritys voisi hyötyä nopeutuneesta ja tehokkaammasta tuotekehityksestä ja mikä on kehittyneen suunnittelun arvo? Myös pikavalmistuksen implementointia yritykseen olisi mielenkiintoista pohtia. Näitä voitaisiin tutkia esimerkiksi diplomityön yhteydessä, jos se toteutettaisiin pikavalmistusta hyödyntävälle yritykselle.

## LÄHTEET

Buswell, R.A., Soar, R.C., Gibb, A.G.F. & Thorpe, A. 2007. Freeform Construction: Mega-Scale Rapid Manufacturing for Construction. *Automation in Construction*. Vol 16, s. 224-231.

Buswell, R.A., Thorpe, A., Soar, R.C. & Gibb, A.G.F. 2008. Design, Data and Process Issues for Mega-Scale Rapid Manufacturing Machines Used for Construction. *Automation in Construction*. Vol 17, s. 923-929.

Chen, Y. H. & Ng, C. T. 1997. Integrated Reverse Engineering and Rapid Prototyping. *Computers & Industrial Engineering*. Vol 33, s. 481-484.

Chin, K. 1998. Implementation of Rapid Prototyping Technology - a Hong Kong Manufacturing Industry's Perspective. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol 14, s. 570-579.

Chua, C. K., Chou, S. M. & Wong, T. S. 1998. A Study of the State-of-the-Art Rapid Prototyping Technologies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol 14, s. 146-152.

Chua, C. K., Leong, K. F. & Lim, S. 2010. *Rapid Prototyping: Principles and Applications*. 3. p. Singapore, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 512 s.

Connolly, P.J. 2011. Autodesk Puts 3D Design Tools in Consumers' Hands. *eWEEK*. December, s. 38-40.

Cooper, R.G. 1990. Stage-Gate Systems: a New Tool for Managing New Products. *Business Horizons*. Vol 33, nro 3, s. 44-54.

Cooper, R. B. & Kleinschmidt, E. J. 2007. Winning Businesses in Product Development: the Critical Success Factors. *Stage-Gate International*. Vol. May-June, s. 1 - 16.

de Waal, G.A. & Knott, P. 2010. Product Development: an Integrative Tool and Activity Research Framework. *Human Systems Management*. Vol 29, s. 253-264.

- Eilam, E. 2005. *Reversing: Secrets of Reverse Engineering*. Indianapolis, Wiley Publishing Inc. 589 s.
- Folkestad, J.E. & Russell, L.J. 2002. Integrated Rapid Prototyping and Rapid Tooling (IRPRT). *Integrated Manufacturing*. Vol 13, nro 2, s. 97-103.
- Fossen, J. 2005. No-Tools prototyping technology saves Ford millions. *Automotive Industries*. Vol 185, nro. 12, s. 3.
- Gebhardt, A. 2003. *Rapid prototyping*. Munich, Hanser Publishers. 385 s.
- Gibson, I. 2005. *Rapid Prototyping: a Tool for Product Development*. *Computer-Aided Design & Applications*. Vol 2, nro 2, s. 785-793.
- Hague, R., Mansour, S. & Saleh, N. 2004. Material and design considerations for Rapid Manufacturing. *International Journal of Production Research*. Vol 42, nro 22, s. 4691-4708.
- Hongbo, L. 2009. Web-Based Rapid Prototyping and Manufacturing Systems: a Review. *Computers in Industry*. Vol 60, s. 643-656.
- Ingole, D. S., Kuthe, A. M., Thakare, S. B. & Talankar, A. S. 2009. Rapid Prototyping - a Technology Transfer Approach for Development of Rapid Tooling. *Rapid Prototyping Journal*. Vol 15, nro 4, s. 280-290.
- Leonard-Barton, D. 1992. Core Capabilities and Core Rigidities: a Paradox in Managing New Product Development. *Strategic Management Journal*. Vol 13, s. 111-125.
- Lopez, S. M. & Wright, P. K. 2002. The Role of Rapid Prototyping in the Product Development Process: a Case Study on the Ergonomic Factors of Handheld Video Games. *Rapid Prototyping*. Vol 8, nro 2, s. 116-125.
- Kamrani, A. K. & Nasr, E. A. (Eds.) 2006. *Rapid Prototyping: Theory and Practice*. United States of America, Springer Science+Business Media, Inc. 323 s.

Khrais, S., Al-Hawari, T. & Al-Araidah, O. 2011. A Fuzzy Logic Application for Selecting Layered Manufacturing Techniques. *Expert Systems with Applications*. Vol 38, s. 10286 - 10291.

Kochan, D., Chua, C.K. & Zhaohui, D. 1999. Rapid Prototyping Issues in the 21st Century. *Computers in Industry*. Vol 39, s. 3-10.

McCue, T.J. 2012. 3D Printed Guitar Takes Instrument Design to New Level. [WWW-dokumentti]. [viitattu 6.4.2012]. Saatavissa: <<http://www.forbes.com/sites/tjmccue/2012/04/02/3d-printed-guitar-takes-instrument-design-to-new-level/>>

Remes, M. 2012. Hiiri haastaa dinosaurukset - Tinkercad uskoo 3d-tulostamisesta tulevan massojen huvia. *Tietokone*. S. 36-39.

Roper, S., Love, J. H. & Vahter, P. 2012. The Value of Design Strategies for New Product Development: Some Econometric Evidence. S. 3-26.

Smith, P.G. 1999. The Business of Rapid Prototyping. *Rapid Prototyping Journal*. Vol 5, nro 4, s. 179-185.

Sokovic, M. & Kopac, J. 2006. RE (Reverse Engineering) as Necessary Phase by Rapid Product Development. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol 175, s. 398-403.

Tekes (toim.) 1997. Rapid prototyping - Mallien, protyyppien ja työkalujen valmistus. *Teknologia-katsaus*. 52. p. Sipoo, Paino-Center Oy. 75 s.

Tervola, J 2012. Pikavalmistus: valmista mitä haluat. *Tekniikka & Talous*. Talentum Media Oy. Nro 13, s. 20-23.

Thomke, S.H. 1997. The Role of Flexibility in the Development of New Products: an Empirical Study. *Research Policy*. Vol 26, s. 105-119.

Trott, P. 2012. *Innovation Management and New Product Development*. 5. p. Hampshire, Pearson Education. 620 s.

Tu, Y.L., Xie, S.Q. & Kam, J.J. 2006. Rapid One-of-a-Kind Production. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol 29, s. 499-510.

Vinodh, S., Devadasan, S. R., Maheshkumar, S., Aravindakshan, M., Arumugam, M. & Balakrishan, K. 2010. Agile Product Development Through CAD and Rapid Prototyping Technologies: an Examination in a Traditional Pump-Manufacturing Company. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol 46, s. 663-679.

Yan, X. & Gu, P. 1996. A Review of Rapid Prototyping Technologies and Systems. *Computer-Aided Design*. Vol 28, nro 4, p. s. 307-318.

Zoran, A. & Maes, P. 2008. Considering Virtual & Physical Aspects in Acoustic Guitar Design. *S.* 1-4.