



**BS ritgerð**  
**í viðskiptafræði**

**Þrívíddarprentun**  
Framleiðsluaðferð framtíðarinnar?

Gauti Þormóðsson

Örn Daníel Jónsson, Ph.D

Viðskiptafræðideild

Október 2014



**HÁSKÓLI ÍSLANDS**

**Þrívíddarprentun**  
*Framleiðsluaðferð framtíðarinnar?*

Gauti Þormóðsson

Lokaverkefni til BS-gráðu í viðskiptafræði

Leiðbeinandi: Örn Daníel Jónsson, Ph.D

Viðskiptafræðideild

Félagsvísindasvið Háskóla Íslands

Október 2014

Prívíddarprentun

Ritgerð þessi er 6 eininga lokaverkefni til BS prófs við  
Viðskiptafræðideild, Félagsvísindasviði Háskóla Íslands.

© 2014 Gauti Þormóðsson

Ritgerðina má ekki afrita nema með leyfi höfundar.

Prentun: Háskólaprent

Reykjavík, 2014

## Formáli

Þessi ritgerð er BS lokaverkefni í viðskiptafræði sumarið 2014 og er vægi hennar 6 ECTS einingar. Markmið verkefnisins er að kynna þrívíddarprentara, þrívíddarprentun og möguleikana sem sú tækni býður upp á í framleiðslu og hönnun. Fjallað er um framtíðarmöguleika þrívíddartækninnar í þágu byggingariðnaðarins, vísinda, nýsköpunar og umhverfisverndar. Auk þess er fjallað um aukna notkun almennings á þrívíddarprenturum í komandi framtíð.

Leiðbeinandi verkefnisins var Örn Daníel Jónsson og þakka ég honum gott samstarf.

## Útdráttur

Markmið þessarar ritgerðar er að kynna þrívíddarprentara, virkni þeirra og möguleika. Í ritgerðinni er farið lauslega í tæknilegar útskýringar á þrívíddarprenturum þar sem gerður er greinarmunur á tveimur megintegundum.

Fjallað er um sögu og þróun prenttækninnar og sýnt fram á margvíslega möguleika hennar í hönnun og efnisvali. Farið er yfir hugbúnað og staðla sem þrívíddarprentun styðst við og hversu háð hún er tölvu- og hugbúnaðartækninni. Áhrif tækninnar á byggingariðnaðinn og tækifæri á sviði læknavísinda eru rakin. Farið er yfir framfarir sem nú þegar hafa orðið og þær vonir sem læknar og vísindamenn binda við tæknina.

Skoðuð eru áhrif þrívíddarprentara á samfélagið og neysluvenjur okkar, en með aukinni þátttöku almennings í notkun prentaranna opnast nýir möguleikar m.a. í hönnun og nýsköpun.

Farið er yfir hugsanleg jákvæð áhrif þrívíddarprentara á náttúru og umhverfi þar sem m.a. nálægð við markaðinn og betri efnisnýting gæti haft mikil áhrif.

## Efnisyfirlit

Formáli .....	4
Útdráttur .....	5
Efnisyfirlit .....	6
1 Inngangur .....	7
2 Upphaf og saga þrívíddarprentunar .....	9
3 Þrívíddarprentarinn .....	10
3.1 Tvær tegundir þrívíddarprentara .....	12
3.1.1 Þrívíddarprentarar sem sprauta hráefni .....	12
3.1.2 Þrívíddarprentarar sem líma eða binda saman (e. <i>selective binding printers</i> )	13
3.2 Hráefni og efnissamsetningar .....	14
3.2.1 Þrívíddarprentun í byggingariðnaði .....	14
3.2.2 Tækifæri á sviði læknavísinda .....	15
3.3 Tölvu & Hugbúnaður .....	16
4 Umhverfisvænni framleiðsluaðferð .....	18
5 Áhrif á samfélag og nýsköpun .....	19
6 Opið hönnunarferli (e. Open source) .....	21
7 Lokaorð .....	22
Heimildaskrá .....	24

## 1 Inngangur

Á síðustu áratugum hafa orðið gríðarlegar tækniframfarir bæði í fjarskiptabúnaði og tölvutækni. Ekki eru nema fjórir áratugir síðan tölvurísinn Apple setti fyrstu heimilistölvuna á markað og innan við 20 ár síðan farsímar komust í almenna notkun á Íslandi. Síðan þá hefur þróunin í tölvutækni verið ör og breytt algjörlega viðskiptum og samskiptum manna um allan heim. Það er varla hægt að tala um tölvur eða síma sem aðgreinda hluti því nú hafa flestir báða þessa möguleika í snjalltíma nútímans. En það eru ekki bara tölvur og símar sem taka tækniframförum og alltaf finna hugmyndaríkir frumkvöðlar og vísindamenn eitthvað nýtt til að fást við. Margar fjarstæðukennar tæknihugmyndir hafa orðið til sem virðast meira í ætt við vísindaskáldskap eða bíómyndir sem gerast í framtíðinni.

Ein þessara óraunverulegu hugmynda er þrívíddarprentarinn. Þrívíddarprentarinn er tæki sem getur prentað hluti og býr yfir tækni sem notuð hefur verið í áratugi. Ekki hefur tilurð þessa tækis farið mjög hátt en er engu að síður staðreynd sem vert er að veita athygli. Þróun þrívíddarprentara hefur verið mjög hröð á undanförunum árum og eru þeir nú orðnir það fullkomnir að þeir geta prentað úr fjölmörgum efnum og verða ódýrari með hverjum deginum. Þrívíddarprentun hefur ekki náð fullri athygli almennings en notkun hennar hefur hins vegar aukist mikið síðustu ár bæði meðal stórfyrirtækja sem og almennings.

Þrívíddarprentarar geta framleitt hluti sem ekki er hægt með hefðbundnum framleiðsluaðferðum. Þrívíddarprentarinn byggir upp hlutinn sem hann er að búa til með því að sprauta efnum í örþunnum lögum, hverju ofan á annað þar til varan er tilbúin. Hefðbundnar framleiðsluaðferðir byggjast flestar á því að fjarlægja hráefni eða sprauta því í mót.

Framleiðsla með þrívíddartækni gæti haft mikil áhrif á nútímasamfélög og gæti hugsanlega orðið framfaraskref í umhverfisvernd, haft áþreifanleg áhrif á þróun læknavísinda, breytt hönnunar og framleiðsluferli vöru, minnkað kostnað við að koma nýjum vörum á framfæri, gert almenningi kleift að hrinda hugmyndum sínum í

framkvæmd og ýtt með því undir nýsköpun og sjálfbærni. Þrívíddarprentun er spennandi tækni sem gæti með áframhaldandi þróun orðið bylting í allri vöruhönnun og framleiðslu.



## 2 Upphaf og saga þrívíddarprentunar

Þrívíddarprentun er í hugum flestra fjarstæðukennd háþrúð nútímataækni en er í raun áratuga gömul. Hvenær þrívíddarprentun hófst er erfitt að segja nákvæmlega en árið 1981 gaf Hideo Kodama út rit (Beaman, 1997) sem innihélt lýsingar og teikningar af þrívíddartækni sem er líkast til einn af upphafspunktum tækninnar (Hull, 8 ágúst 1984). Charles W. Hull er af mörgum talinn upphafsmaður þrívíddarprentunar en hann sótti um einkaleyfi fyrir hugtakið þrívíddarprentun árið 1984.

Síðan þessir frumkvöðlar voru að störfum hafa margir vísindamenn og þó nokkur frumkvöðlafyrirtæki reynt fyrir sér í þróun mismunandi gerða af prenturum. Joe Beaman og Carl Deckard hjá Háskólanum í Texas smíðuðu fyrsta prentarann árið 1986 (Lipson & Kurman, 2013). Á upphafsárunum voru menn stórhuga og sáu fyrir sér gríðarleg tækifæri. Tæknin hefur verið til í áratugi en fékk ekki þær undirtektir sem frumkvöðlarnir vonuðust til. Mörg fyrirtæki sem reyndu fyrir sér í þróun og sölu þrívíddarprentunar urðu gjaldþrota. Á síðustu áratugum hafa stórfyriræki á borð við 3D Systems verið leiðandi á markaðnum. Þau hafa framleitt mjög dýra hágæða prentara sem undanfarin ár hafa verið notaðir í flugvélaframleiðslu, bílaframleiðslu og öðrum hátækniiðnaði.

Það var árið 1999 sem tilraunir við prentun líffæra hófust og árið 2002 prentuðu vísindamenn nýra úr lífefnum og þó svo líffærið hafi ekki verið starfandi lögðu þeir hinsvegar grunninn að miklum möguleikum í þrívíddarprentun líffæra. Í janúar 2012 var prentaður gervi-kjálki í manneskju í fyrsta sinn og hefur þróun líffæraprentunar og gervilima verið mikil síðastliðinn áratug, læknar sjá fyrir sér miklar framfarir í lækniþjónustu með tækni sem þessari (Lipson & Kurman, 2013).

Árið 2005 kom á markað prentari sem var upphaf nýrra kynslóða prentara. Það var ódýr plastprentari sem var hugsaður fyrir almenning og markaði upphaf tæknibyltingar í þrívíddarprentun nútímans. Hann var ekki hannaður í hagnaðarskyni, en allt hönnunarferlið var gagnsætt og opið, þannig að hver sem er gæti nálgast gerð hans og hönnun á netinu. Frumeintakið var hannað og smíðað af *RepRap* teyminu, sem var hópur fólks úr nokkrum breska háskólanum *University of Bath*. (Lipson & Kurman,

2013) Það var svo árið 2008 sem sömu aðilar kynntu prentarann *Darwin* sem getur prentað alla þá íhluti sem hann þarfnast og þ.a.l. „fjölgað“ sér (3dprinterprices.net, á.á.). *RepRap* verkefnið ýtti undir þróun á ódýrum prenturum sem höfðu til einstaklinga frekar en stórfyrirtækja og þá kom fyrirtæki á borð við bandaríska fyrirtækið *Makerbot* inn á markaðinn. Í dag er *Makerbot* leiðandi í framleiðslu á þrívíddarprenturum til einkanota. Fyrirtæki á þessum markaði keppast við að hanna og framleiða ódýra og góða prentara og með tilkomu þeirra hefur notkunin meðal almennings stóraukist (Lipson & Kurman, 2013).

### 3 Þrívíddarprentarinn

Þrívíddarprentarinn prentar örþunnt lag af hráefninu sem unnið er með hvort ofan á annað og byggir þannig upp hlutinn í þrívídd. Flestir prentarar geta einungis prentað úr einu efni í einu og efninu er komið fyrir í prentaranum með mismunandi leiðum eftir tegundum prentara. Ýmist á spólum, með dufti eða vökva.

Hefðbundnar framleiðsluaðferðir miðast af því að fjarlægja hráefni, hvort sem verið er að saga tré eða skera plast með lasergeisla. Í dag er líka notast við mót við framleiðslu þar sem hráefni er sprautað í mót til að ná fullkominni lögun. Grundvallarmunur á þrívíddarprentun og núverandi framleiðsluaðferðum er sú að hráefni er bætt við lag fyrir lag í stað þess að það sé fjarlægt. (Hopkinson, Hague, & Dickens, 2006)

Þessi aðferð til framleiðslu gefur hönnuðum áður óþekkta möguleika bæði hvað varðar efnisnotkun, efnisnýtingu og hugsanlega blöndun efna sem ekki hefur verið hægt að gera með hefðbundnum framleiðsluaðferðum (Lipson og Kurman, 2013).

Stórfyrirtæki á borð við *Boeng* og *BMW* hafa í mörg ár notað þessa aðferð við framleiðslu frumgerða og í hönnunarvinnu. (Lipson & Kurman, 2013) Bandaríska fyrirtækið *3D systems* sem framleiðir þrívíddarprentara hefur séð fjölmörgum stórfyrirtækjum fyrir hágæðaprenturum í áratugi. Þrívíddarprentarar geta prentað allt frá öreindum úr lífefnum upp í hluti á stærð við bíla. Með því að setja prentara á brautir, sem hægt er að lýsa með því að líkja þeim við byggingarkrana á járnbrautarteinum er hægt að búa til hluti sem eru stærri en prentararnir sjálfir og eru rannsóknir og prófanir á þeim vel á veg komnar. Prentarar sem geta prentað úr steypu og geta framleitt

meðalstór einbýlishús á innan við sólarhring þróast hratt. Slík tækni gæti umturnað byggingariðnaðinum og þar með lækkað byggingarkostnað umtalsvert (Khoshnevis, 2004).

Það er óvíst hvernig tæknin mun þróast og erfitt að segja nákvæmlega hvaða áhrif þetta mun hafa, en þó eru nokkur atriði sem vert er að nefna. Í fyrsta lagi hefur flækjustig hönnunar hlutanna sem á að prenta þærlítil sem engin áhrif á verð en í hefðbundinni framleiðslu þarf að aðlaga hönnunina að framleiðsluferlinu svo hægt sé að framleiða vöruna. Í sumum tilfellum bitnar það á gæðum hennar og kostnaði. Þar sem prentararnir framleiða allar vörur eins, byrja neðst og vinna sig upp lag fyrir lag, þá breytir engu hvort hönnunin er flókin eða einföld. Þrívíddarprentararnir munu því hafa mikil áhrif á útreikninga og mat á framleiðslukostnaði. Í öðru lagi hefur það engin áhrif hvort þrívíddarprentarinn prentar fjölmörg eins stykki eða prentar þau öll á mismunandi hátt, kostnaðurinn við framleiðsluna verður í báðum tilfellum nánast sá sami. Í þriðja lagi mun þrívíddarprentarinn minnka þörf á samsetningu hluta og jafnvel eyða henni alveg með fullprentuðum vörum. Hægt er að framleiða hluti sem eru með virkni á við samsetta hluti. Þrívíddarprentun mun stytta framleiðsluferlið þar sem flóknir samsettir hlutir munu kosta það sama í framleiðslu og einfaldir hlutir (Anderson, 2012). Í fjórða lagi eru prentararnir sjálfvirkir og ekki þarf sérhæft starfsfólk til að stjórna prentaranum sjálfum.

Þrívíddarprentun býður upp á mun sveigjanlegri framleiðsluhætti en áður hefur þekkst. Framleiðendur geta auðveldlega breytt áherslum í framleiðslunni og eiga því ekki á hættu að sitja uppi með lítið notaða og sérhæfða framleiðsluvél þar sem ekki er markaður fyrir þá vöru lengur. Framleiðendur geta tekið áhættu og fíkrað sig inn á nýja markaði án þess að eiga á hættu að verða fyrir miklu fjárhagslegu tjóni. Tæknin mun leiða til þess að fyrirtæki geti minnkað lager og þar með kostnað, þar sem framleiðsluferlið tekur mun skemmri tíma en áður. Áhættan við að fara með nýjar vörur á markað minnkar, því framleiðslumagn hennar mun haldast í hendur við söluna (Anderson, 2012). Þrívíddarprentun er á frumstigi varðandi almenna notkun en mun líklega breyta því hvernig við högum framleiðsluferlum og reiknum framleiðslukostnað í framtíðinni (Lipson & Kurman, 2013).

### 3.1 Tvær tegundir þrívíddaprentara

Þrívíddarprentararnir sem nú eru á markaði eru af ýmsum stærðum og gerðum. Þeir skiptast niður í tvær tegundir hvort sem um er að ræða hágæða prentara eða einfalda prentara til einkanota. Þeir eiga það allir sameiginlegt að vera stjórnað af tölvuforritum og nota hita á einhvern hátt til að móta efnið sem þeir vinna með (Lipson & Kurman, 2013).

Prentararnir sem notaðir eru í dag nota ólíka tækni, annars vegar þeim sem sprauta hráefninu og hins vegar þeim sem festa litlar agnir saman með lími eða lasergeisla. Ekki verður farið út í nákvæmar tæknilegar útskýringar á þeim hér en eftirfarandi kaflar gera greinarmun á tegundunum. Eins og áður hefur komið fram eru flestir prentarar takmarkaðir við prentun úr einu hráefni í einu. Með tækniframförum á næstu árum ættum við að sjá prentara sem geta prentað út flókna hluti og úr mismunandi efnum (Lipson & Kurman, 2013). Í komandi framtíð munu þrívíddarprentarar að öllum líkingum að geta prentað nánast hvað sem er.

#### 3.1.1 Þrívíddarprentarar sem sprauta hráefni

Algengasta tegund þrívíddarprentara sprautar hráefninu út um prenthaus. Örpunnu lagi af efninu er sprautað, fyrst útlínurnar af neðsta laginu og svo fyllir prentarinn út í útlínurnar. Síðan sprautast annað lag af útlínum og fyllir út í koll af kolli þar til hluturinn er tilbúinn. Áður en prentun hefst reiknar tölvan út og skipar prentaranum hvar hann á að byrja, hve mikið efni fer á hvern stað og eftir hvaða leið prenthausinn ferðast. Slíkir prentarar hita hráefnið og sprauta því eftir fyrir mælum tölvuforritsins (Lipson & Kurman, 2013).

Flestir einfaldir þrívíddarprentarar sem framleiddir eru til einkanota eru af þessari gerð. Helsti eiginleiki þeirra er einfaldur tæknibúnaður og þess vegna er hægt að framleiða ódýra prentara fyrir almennan markaða. Þeir notast við frekar lágan hita sem gerir þá ekki eins hættulega í notkun. Hins vegar hafa þeir ákveðnar takmarkanir eins og t.d. að geta einungis notast við efni sem hægt er að bræða og sprauta. Ódýr prentari líkt og *Makerbot* framleiðir prentar úr plasti og notast við þessa tækni. Plastið kemur á spólu líkt og suðuvír, prentarinn bræðir efnið og sprautar því svo lag fyrir lag eins og

áður hefur komið fram þangað til varan eða hluturinn er tilbúinn. Tækni á borð við þessa hefur verið notuð við prentun á matvöru og einnig eru hafnar tilraunir með prentun á lífefnum og gera læknar og vísindamenn sér miklar vonir um framfarir á sviði læknavísinda með þessari tækni (Lipson og Kurman, 2013).

### **3.1.2 Þrívíddaprentarar sem líma eða binda saman (e. *selective binding printers*)**

Þegar þrívíddartæknin kom fyrst fram í kringum 1980 voru prentararnir af þeirri gerð, að í stað þess að sprauta efnum var það bundið eða hitað saman með lasertækni. Sú aðferð gerir mönnum kleift að prenta úr fleiri efnum eins og járn og gleri. Þeir eru enn sem komið er mun dýrari og flóknari í smíðum. Þessi gerð prentara skiptist í þrjá flokka.

SL (e. Sintering lasering) prentararnir vinna þannig að hráefnið er í vökvaformi og lasersgeisli bræðir neðsta lagið, hluturinn sekkur svo smám saman ofan í vökvann á meðan laserinn hitar vökvann brot úr millimeter í einu. Þessi tækni er nokkuð frumstæð og mikil vinna eftir þegar hluturinn hefur verið prentaður út. Þá á oft eftir að pússa hann og jafnvel setja í ofn og hita svo hann náí fullum styrk. SL prentarar geta bara notað eitt efni í einu.

LS (e. Laser sintering) prentararnir nota svipaða tækni og SL prentararnir en notast er við duft í stað vökva. Lasertækni bræðir svo duftið þar sem við á, lag fyrir lag þar til prentuninni er lokið. Hægt er að prenta úr járn og gleri ásamt fleiri efnum sem erfitt er að prenta með öðrum aðferðum. Í dag geta LS prentarar einungis prentað úr einu efni í einu og henta illa til einkanota þar sem mikla tæknilega kunnáttu þarf til þess að vinna á þá (Lipson og Kurman, 2013).

Þriðja tegundin af þessum prenturum heitir 3DP (e. Three dimensional printing) og notar hann einnig duft en þó á annan hátt en LS prentararnir. 3DP er tækni sem varð til í MIT háskólanum seint á áttunda áratugnum og notar lím til þess að líma saman hlutinn. Það sem þessi tækni hefur fram yfir hinar er að ekki þarf að notast við lasertækni eða hættuleg efni, og auk þess getur hann prentað í lit. Það myndast hins vegar ákveðin vandamál þegar ekki er notast við lasertækni þess vegna geta 3DP prentarar ekki skilað af sér eins nákvæmum hlutum og aðrir prentarar (Lipson og Kurman, 2013).

## 3.2 Hráefni og efnissamsetningar

Þrívíddarprentun býður upp á mikla möguleika við efnissamsetningar og aukið úrval á efnisvali í almennri framleiðslu. Flestir prentarar prenta úr plasti, þeir prentarar sem eru í boði fyrir almenning prenta nánast eingöngu úr plasti. Kolefni, plastblöndur, ál, járn, kopar, vax, steypa, matur og lífefni eru allt efni sem hafa verið notuð við prentun en miklar vonir eru bundnar við fjölgun og samsetningu þeirra á næstu árum.

Þrívíddarprentun hefur gríðarlegt forskot á aðrar framleiðsluaðferðir þegar kemur að blöndun efna. Vísindamenn og hönnuðir prentaranna eru sannfærðir um að prentarar í nánustu framtíð geti blandað saman efnum sem ekki er mögulegt í dag (Lipson & Kurman, 2013). Hægt verði að framleiða heilsteypta hluti sem gerðir eru úr mismunandi efnum og hafa fulla virkni á við samsetta hluti.

### 3.2.1 Þrívíddarprentun í byggingariðnaði

Flestir þrívíddarprentarar hafa ákveðið prentsvæði og takmarkast stærð framleiðslunnar við það en með prentsvæði er átt við þann flöt sem prentarinn getur prentað á. Dr. Behrokh Khoshnevis hjá Háskólanum við Suður Karólínu hefur gert tilraunir til þess að að hanna prentara sem eru á brautum sem stækka prentsvæðið umtalsvert (Khoshnevis, 2004).

Með því að setja prentara á brautir er hægt að búa til hluti sem eru stærri en prentararnir sjálfir og eru rannsóknir og prófanir vel á veg komnar. Þessir prentarar prenta úr steypu og geta framleitt meðalstór einbýlishús á innan við sólarhring. Slík tækni gæti gjörbreytt byggingariðnaðinum og lækkað byggingarkostnað. Verkefni Dr. Behrokh Khoshnevis hefur það að leiðarljósi að lækka húsnæðisverð umtalsvert og einnig gæti slík tækni gert arkitektum kleift að hanna byggingar sem erfitt eða óhagkvæmt væri að byggja með þeim aðferðum sem við þekkjum í dag. Ef hugmyndir Khoshnevis verða að veruleika munu prentararnir framleiða húsinn með öllum íhlutum eins og raflögnum, vatnslögnum, skólpi, gólfefnum o.fl.. Fullbyggt hús frá grunni á klukkustundum í stað mánaða og þarf engan að undra að bylting yrði í byggingariðnaði ef úr þessu yrði. Mun færri hendur þyrfti til að reisa hús og slysatíðni við byggingarvinnu myndi minnka. Mætti þá gera ráð fyrir minnkandi launakostnaði í byggingariðnaði og eftirspurn eftir verkfræðimenntuðu fólki myndi aukast. (Khoshnevis, 2004)

Þrívíddarprentarar geta skapað form sem ekki eru möguleg með núverandi aðferðum og það á eins við um hús eins og aðra hluti, tæknin gæti því haft mikil áhrif á hönnun og útlit bygginga í framtíðinni.

### 3.2.2 Tækifæri á sviði læknavísinda

Læknar og vísindamenn sjá mikla möguleika í þrívíddarprentun því þessi nýja tækni gæti hraðað framförum í læknavísindum á nánast öllum sviðum. Á allra síðustu árum hefur mikil þróun orðið á sviði lífeindaprentunar og hafa vel heppnaðar tilraunir með prentun úr lífefnum þegar átt sér stað. Þrátt fyrir að hafnar séu rannsóknir er mikið verk enn óunnið og þó tæknin bjóði upp á fjöldann allan af möguleikum til framfara í læknavísindum hefur ekki tekist að prenta líffæri sem þurfa að flytja blóð né líffæri sem liggja djúpt í líkamanum og þurfa að aðlagast milljónum fruma (Lipson & Kurman, 2013). Þótt tæknin sé ekki komin á það stig að hún geri læknum kleift að prenta virk líffæri úr stofnfrumum einstaklinga nýtist þrívíddarprentunin mjög vel á öðrum sviðum heilbrigðisþjónustu. Þrívíddarprentuð stoðtæki eru nú þegar í notkun og býður tæknin upp á mun fleiri möguleika í hönnun þeirra (Anderson, 2012). Með framförum á sviði þrívíddarprentunar er hægt að framleiða á auðveldari hátt sérhönnuð og notendavænni stoðtæki en áður. Í dag eru yfir tíu milljón þrívíddarprentuð heyrnartæki í notkun og hægt er að sérhanna heyrnartæki eftir eyra hvers einstaklings. Það gerir þau mun þægilegri og betri í notkun. Sama tækni hefur einnig verið notuð við gerð tannspanga og tannskinna því hægt er að prenta nákvæmlega eftir skönnuðum myndum af gómum hvers og eins. Þessum íhlutum er mun auðveldara að koma þeim fyrir og framleiðsla þeirra er hagkvæmari (Lipson & Kurman, 2013).

Vísindamenn og læknar sjá enn fleiri tækifæri í þrívíddarprentun og eru rannsóknir á prentun ígræðslna fyrir sjúklinga hafnar (Banham, 2012). Nokkrir einstaklingar hafa nú þegið þrívíddarprentaða títaníumliði í tilraunaskyni. Þrívíddarprentaðar beinígræðslur úr títaníum hafa einnig verið samþykktar af heilbrigðisyfirvöldum í Bandaríkjunum. Hins vegar hafa beinígræðslur úr plasti og öðrum gerviefnum ekki fengið samþykki og eru enn á rannsóknarstigi. Ígræðslur úr gerviefnum gætu verið mun betri en títaníum ígræðslur þar sem auðveldara er að meðhöndla þau

efni. Læknar hafa bent á að hægt væri að húða plastið með sýklalyfjum og koma þannig í veg fyrir hugsanlegrar sýkingar eftir slíkar ígræðslur (Lipson & Kurman, 2013).

Rannsóknir hafa verið gerðar á prentun úr stofnfrumum og líklegast eru slíkar rannsóknir grunnurinn að líffæraprentun sem margir sjá fyrir að sér að geti leyst af hólmi hefðbundnar líffæragjafir. Þúsundir sjúklinga deyja á ári hverju vegna þess að þeir hafa ekki aðgang að líffærum sem gætu bjargað lífi þeirra. Rannsóknir á prentun úr stofnfrumum hafa gengið vel og nú þegar er hægt að prenta þunn húðlög úr stofnfrumum einstaklinga og hefur sú tækni t.d verið notuð við meðferð á brunasárum (Lipson & Kurman, 2013). Prentun á flóknari líffærum er enn ekki möguleg. Erfitt er að prenta blóðrásir en það sem stendur helst í vegi fyrir prentun fullvirkra líffæra er sú staðreynd að vísindamenn geta ekki kveikt líf. Flókin líffæri eins og nýru og lifur geta því ekki tengst líkamanum líkt og húðfrumur. Prentun líffæra, tauga og æða gæti orðið að veruleika í framtíðinni. Hinsvegar er óhætt að halda því fram að þrívíddarprentun muni gjörbreyta læknavísindum á næstu árum þegar hægt verður að prenta nákvæmar eftirlíkingar af líffærum og læknar geta æft flóknar aðgerðir. Mun hagkvæmara er að sérhanna ígræðslur í einstaklinga og sérsníða stoðtæki þar sem stærðarhagkvæmni er hverfandi með þrívíddarprentun (Lipson & Kurman, 2013).

### **3.3 Tölvu- & hugbúnaður**

Hugbúnaður sem gerir hönnuðum kleift að teikna í þrívídd er undirstaða allrar vöruhönnunar og framleiðslu. Að baki flestra hluta sem framleiddir eru liggja teikningar á tölvutæku formi. Teikningar og forrit sem aðstoða hönnuði við að teikna upp hugverkið og koma því á tölvutækt form eru nauðsynlegur hluti af framleiðslu með þrívíddarprentun. Tölvan gefur þrívíddarprenturum skipanir með þrívíddarteikningum hvernig á að prenta og án tölvunnar væri þrívíddarprentun ómöguleg (Lipson & Kurman, 2013).

Teikniforritin sem notuð eru samhliða þrívíddarprenturum eru annars vegar hefðbundin hönnunarforrit þar sem notandinn raðar saman mismunandi formum og hinsvegar yfirborðsforrit, en sú tækni kemur úr tölvuleikjahönnun og stafrænni kvikmyndagerð. Í fyrri flokknum eru hefðbundin forrit sem bjóða upp á safn mismunandi forma sem raðað er saman en seinni tegundin býður upp á algjört hönnunarfrelsi á



yfirborði hlutarins. Með hefðbundnum forritum er hægt að raða saman hvaða formum sem er og auðvelt er að hanna hluti sem hægt er að framleiða á nokkuð auðveldan hátt. Þessi tækni á uppruna sinn að rekja til hefðbundinnar framleiðslu og sætir ákveðnum takmörkunum varðandi hönnun, sérstaklega þegar litið er til hversu flókna hluti hægt er að framleiða með þrívíddarprentun. Í yfirborðshönnun er hægt að ímynda sér net sem lagt er ofan á hlut og myndar yfirborð, yfirborðinu er svo hægt að breyta að vild og hönnuðurinn fær algjört frelsi til skapandi hönnunar. Þessi tækni býður einungis upp á yfirborðshönnun og því erfitt og tímafrekt að aðlaga hönnunina svo hægt sé að prenta út í hluti með stöðugan kjarna t.a.m hlut sem stendur í raunveruleikanum. Forritin sem notuð eru í þrívíddarprentun eru í stöðugri þróun og líklega munu fullkomnustu forritin notast við blöndu af hvorri gerð, þ.e.a.s hefðbundnum framleiðsluforritum og yfirborðsforritum (Anderson, 2012).

Þau forrit sem notuð eru í dag nota hnit til að segja prenturunum til, hnit sem tölvan reiknar fyrir hvern punkt og kemur upplýsingunum áfram til prentarans. Hröð framþróun tölvunnar hefur hjálpað í þróun þrívíddartækninnar. Þrívíddarteikning sem áður tók ofurtölvu frá árinu 1980 nokkrar mínútur að vinna úr, tekur ekki nema sekúndubrot fyrir lófatölvu að leysa í dag. Tölvubúnaður nútímans hefur ákveðnar takmarkanir og ef fjölga ætti hnitapunktunum verulega, auk þess að bæta inn möguleikanum um að hver punktur yrði prentaður með mismunandi efni, má gera ráð fyrir að tölvutæknin yrði fljótt þröskuldur í örri framþróun þrívíddarprentunar (Lipson & Kurman, 2013).

Þrívíddarprentarar og teikniforrit sem notuð eru í framleiðslu eru háð hvoru öðru, hinsvegar eru prentararnir mun háðari forritunum en forritin prenturunum. Teikniforritin hafa þróast mikið en alls ekki í takt við prentarana, heldur sem tæki fyrir alla hönnun og framleiðslu. Vegna þessa aftrar hugbúnaðurinn sem til er í dag framþróun þrívíddarprentara. Ef prenta á t.a.m. nothæfa rafmagnshluti, með innbyggðum rafleiðslum, þarf forritið að geta sagt prentaranum hvað er undir yfirborðinu á teikningunni. Teikniforritin og þrívíddarskannar eru ekki enn komnir á það stig að hægt sé að prenta hvað sem er, en með áframhaldandi framþróun í þrívíddarprentun munu framleiðendur þurfa að skrifa mun öflugri forrit en völ er á í dag.

Forritin sem notuð eru í dag nota svokallaðar STL skrár. STL staðallinn er gamall og virkaði mjög vel á árum áður, þegar draga þurfi úr magni upplýsinga til að koma til móts við kraftlausar tölvur. Í dag er STL staðallinn orðinn flöskuháls þar sem tölvurnar sem stýra framleiðslutækjunum eru orðnar mun fullkomnari en áður. Því getur STL staðallinn ekki lengur brúað bilið á milli tölvutækninnar og þrívíddarprentaranna. *Additive Manufacturing Format (AMF)* er nýr staðall sem hannaður var af aðilum sem framleiða þrívíddarprentara í samráði við ASTM alþjóðlegt staðlaráð (Lipson & Kurman, 2013). Staðallinn býður upp á miklu meira gagnamagn milli tölvu og prentara og getur sagt til um mismunandi efni og liti ásamt því að gefa prentaranum betri skipanir um innri uppbyggingu. AMF staðallinn er margfalt betri en gamli STL staðallinn en þó hefur markaðurinn ekki sagt skilið við hann. Framleiðendur bíða eftir að AMF staðallinn verði viðurkenndur sem hinn almenni staðall, en á meðan enginn tekur af skarið og skiptir um staðal myndast vítahringur. Vegna þess getur reynst erfitt að innleiða staðal sem þennan.

#### **4 Umhverfisvænni framleiðsluaðferð**

Þrívíddartæknin og notkun hennar er ekki sérlega umhverfisvænn kostur í dag en tækifærin eru til staðar. Hugsanlega gæti þrívíddarprentun vöru orðið mun vænni kostur í framtíðinni en önnur framleiðsla þegar litið er til umhverfisáhrifa. Hönnun vörunnar getur farið fram hvar sem er þar sem teikningar eru sendar á tölvutæku formi ásamt því að framleiðslan færir nær markaði og minnkar þannig vöruflutning til muna. Hægt verður með markvissum hætti að framleiða magn eftir þörf markaðarins á hverjum stað fyrir sig.

Hefðbundnar framleiðsluaðferðir eru flestar taldar óumhverfisvænar og ógna umhverfinu með öllu því sem hent er og fellur til við framleiðsluna. Sífelld er verið að leita leiða til að þess að gera framleiðslu og vöruflutninga umhverfisvænni.

Þrívíddarprentarar sem nú eru ætlaðar almenningi prenta nær eingöngu úr plasti en hvort sem vara er framleidd í þrívíddarprentara eða fjöldaframleidd skilur hún eftir sig slóð mengunar. Með notkun þrívíddarprentunar gæti efnisnýting hins vegar orðið mun betri og úrgangur vegna framleiðslu því minni. Má þar benda á að prentarar sem

nota járn og önnur efni ná nánast fullkominni efnisnýtingu. Hins vegar eru mörg atriði sem koma í veg fyrir að hægt sé að tala um þrívíddarprentun sem umhverfisvæna framleiðslu. Hægt er að prenta út frumgerðir af vörum margoft með litlum breytingum og hanna vöruna þannig í stað þess að fullteikna vöruna áður en hún fer í prentun (Lipson & Kurman, 2013). Þau rök má einnig nota í þágu prentaranna og setja fram þá staðhæfingu að betra sé að prófa sig áfram á frumgerðum og koma þannig í veg fyrir að gölluð eða slæm hönnun fari í fjöldaframleiðslu með tilheyrandi sóun og umhverfisspjöllum. Annað atriði sem gerir þrívíddarprentun óumhverfisvæna er mikil rafmagnsnotkun en víða hefur rafmagnsframleiðsla skaðleg áhrif á umhverfið. (Anderson, 2012)

Möguleikar þrívíddarprentunar til að verða umhverfisvæn framleiðsluaðferð eru miklir og ef reiknað er með tækniframförum, væri hægt að nota umhverfisvænni efni, endurnýta efni og nota sólarorku til að knýja prentarana áfram. Í dag er þrívíddarprentun ekki umhverfisvænni en hefðbundnar framleiðsluaðferðir en ef unnið verður að þróun prentaranna með umhverfisvernd í huga er auðveldlega hægt að minnka úrgang, minnka flutninga og nánast gera framleiðsluna sjálfbæra (Anderson, 2012).

## 5 Áhrif á samfélag og nýsköpun

Þrívíddarprentarinn á eflaust eftir að hafa mikil áhrif á samfélagið, bæði á framleiðsluferla og neysluhegðun. Því er gott að leiða hugann að þeim breytingum sem gætu orðið. Flestar meiriháttar tækniframfarir hafa mikil áhrif á vinnumarkaðinn, einhver störf hverfa og önnur verða til. Það verður að teljast ólíklegt að prentun sem þessi hafi neikvæð áhrif á lífsgæði fólks, þvert á móti er líklegra að tæknin hafi mikil jákvæð áhrif á samfélagið. Vissulega fylgir allri nýrri tækni ákveðin hætta á misnotkun og hafa stjórnvöld víða um heim áhyggjur af því þar sem erfitt er að hafa eftirlit með framleiðslunni. Þrívíddarprentuð vopn valda t.a.m stjórnvöldum áhyggjum og líklegt þykir að aðlaga þurfi lagaumhverfið að þeim möguleika (Lipson & Kurman, 2013).

Samkvæmt kenningum Joseph Pine og James Gilmore skiptir upplifun neytandans miklu máli í þjónustuhagkerfi eins og við búum við í dag. (Pine & Gilmore,

1999) Neytendur geta hannað vörur sjálfir með aðstoð tölvuforrita, valið liti, efni og jafnvel breytt útliti eða hönnun, fengið vöruna prentaða og senda til sín á skömmum tíma. Þetta ferli gefur neytandanum mikla nánd við framleiðsluferlið og upplifun hans á vörunni verður að öllum líkindum mun meiri en á fjöldaframleiddri vöru. Fyrir þessa upplifun og gæði vörunnar eru neytendur tilbúnir að borga meira. Vara sem neytandi hannar sjálfur er líklegri til að vera honum kærari og endast lengur (Anderson, 2012).

Prívíddarprentarinn ýtir undir nýsköpun þar sem flókin tölvuforrit og hátækniþrengingar munu standa almenningi til boða í gegnum þjónustufyrirtæki þar sem samskiptin fara fram í gegnum tölvu. Hver sem er getur hannað vöru og sent teikningarnar til prentþjónustuaðila og síðan fengið hana fullunna senda heim til sín skömmu síðar, hvort sem um er að ræða eitt eintak eða mörg (Anderson, 2012).

Með auknu aðgengi almennings að tækninni getur hann framkvæmt hugmyndir sínar án mikilla fjárhagslegra hindrana og þannig eykur þessi nýja tækni nýsköpun og vöruþróun. Í hefðbundinni framleiðslu er vöruhönnun að mestu í höndum stórfyrirtækja sem oftast en ekki er kostnaðarsöm og hæg, það getur komið niður á nýsköpun og þróun. Í dag eru starfandi prentþjónustur sem gera fólki keift að hanna vörur í hugbúnaði sem þeir bjóða upp á, má þar nefna fyrirtæki á borð við internet fyrirtækið Shapeways. Fyrirtækið sér um framleiða vöru með þrívíddarprentun sem ýmsir aðilar hafa hannað. Shapeways prentar vöruna og kemur henni til kaupanda en hönnuðurinn fær greidda umbun fyrir hverja einingu sem seld er. Þetta er því nokkurs konar markaðstorg fyrir hönnuði og áhugamenn um þrívíddarprentun. (Anderson, 2012)

Einn af helstu kostum þrívíddarprentunar er að fjölmargar litlar verksmiðjur tengdar saman gegnum internetið geta áorkað jafn miklu og hefðbundin sérhæfð verksmiðja með mikla framleiðslugetu. Með notkun margra lítilla verksmiðja eykst sveigjanleikinn og fjölbreytileikinn í framleiðslunni. Kostnaður nýrra aðila á markað verður í lágmarki þar sem hver sem er getur nýtt sér þetta net framleiðsluaðila, hvort sem það eru stórfyrirtæki eða áhugamenn með lítinn prentara í bílskúrnum sem sjá um prentunina (Lipson & Kurman, 2013).

## 6 Opið hönnunarferli (e. Open Source)

Lýðræðislegt hönnunarferli hefur verið notað með góðum árangri á internetinu í fjölda ára og mörg tölvuforrit sem við notum á hverjum degi eru sótt án greiðslu, hægt er að nefna vafrann *Firefox* og *VLC* spilarann sem dæmi ásamt mörgum öðrum þekktum forritum. Ef engin einkaleyfi eru til staðar og fyrirtæki ekki á varðbergi gagnvart höfundarrétti er hönnunarferlið talið lýðræðislegt eða opið. Hver sem er gætur breytt vörunni og reynt að bæta hana. Stöðugar litlar breytingar enda á betri hönnun og í raun yrðu vörur alltaf í þróun (Anderson, 2012).

Þegar og ef fyrirtæki myndu opna hönnunarferlið og gefa hverjum sem er aðgang að bæði teikningum og forritum sem tengjast vörunni myndum við sjá á ferli sem væri mun líkara internetinu en hefðbundnu framleiðsluferli. Taka má dæmi um einfalda vöru sem er breytt á þann hátt að hún geti tengst internetinu og hugbúnaðurinn væri öllum opin. Flestir neytendur myndu kaupa vöruna og nota hana á þann hátt sem til er ætlast, en hluti neytenda myndi vilja reyna að bæta vöruna og prófa sig áfram. Í raun væru þeir að hanna vöruna, hvort sem þeir gera sér grein fyrir því eða ekki og gera það í sínum eigin frítíma. Til lengri tíma litið mun það hjálpa bæði vörunni og fyrirtækinu sem framleiðir hana. Hægt verður að markaðsetja betri útgáfur af vörunni sem koma beint frá neytendum. Gæðavörur í dag eru verðlagðar hátt og það kemur m.a. til vegna mikils hönnunarkostnaðar. Oft á tíðum kostar ekki meira að framleiða gæðavöru þar sem mesti kostnaðurinn liggur oft í hönnunarferlinu. Stórfyrirtæki eyða miklum fjárhæðum í hönnunardeildir og er því augljóst að sameiginlegir kraftar fjölda hönnuða geti náð betri árangri fyrir minna fé í opnu hönnunarferli.

Opið hönnunarferli hefur mikla kosti fram yfir hefðbundið einkaleyfi sem við búum að mestu leyti við dag. Fyrirtæki sem nýta sér opin forrit eða opið hönnunarferli koma sér upp sterkum viðskiptatengslum og mikilli hollustu notenda sinna. Fyrirtæki sem fara þessa leið fá mikið af hönnunar- og tilraunavinnu án kostnaðar. Hægt er að fara þá leið að fá einkaleyfi á vörumerki en gefa vöruna annars út á opin hátt (heimild). Rannsóknir sýna að viðskiptavinir vilja heldur kaupa upprunalega vörumerkið og halda tryggð við það, þrátt fyrir að aðrir aðilar séu á markaði með svipaða vöru og í sumum tilfellum nákvæmlega eins vöru (Anderson, 2012).

## 7 Lokaorð

Þrívíddarprentun er tækni sem hefur verið til í fjölda ára, þó svo margir haldi að hana megi aðeins finna í skáldsögum og kvikmyndum. Staðreyndin er hins vegar sú að hafa stórfyrirtæki hafa nýtt sér tæknina á margvíslegan hátt í áratugi og á allra síðustu árum hafa þrívíddarprentarar í einfaldri útgáfu staðið almenningi til boða á viðráðanlegu verði.

Þrívíddarprenturum er hægt að skipta í tvo flokka, annars vegar prentarar sem sprauta efni og hinsvegar prentarar sem binda efnið saman, í flestum tilfellum með lasergeisla. Fjölmargar tegundir prentara eru til og hafa þeir bæði kosti og galla, sumir þeirra geta prentað með háþróaðri nákvæmni en aðrir ekki.

Framleiðendur eru sífellt að leita leiða til að auka gæði prentarana og fjölga efnum sem þeir geta prentað úr. Flestir prentarar prenta úr plasti, en þó eru til prentarar sem prenta úr járn, gleri, kolefnum og jafnvel timbri. Þrívíddartæknin er nú þegar byrjuð að ryðja sér rúms innan læknisfræðinnar og hafa sérprentuð stoðtæki og heyrnatæki þegar hjálpað milljónum manna. Miklar væntingar eru gerðar til tækninnar meðal lækna og vísindamanna og vonast er til að hægt verði að prenta lifandi vefi og jafnvel fullvirk líffæri í framtíðinni.

Nokkrir aðilar hafa nú þegar þróað prentara sem prenta úr steypu og hugsanlega gætu slíkir prentarar framleitt heilu húsin. Tíminn sem færi þá í að reisa hús yrði þá talinn í klukkustundum í stað mánaða með hefðbundnum aðferðum byggingariðnaðarins.

Útilokað er að spá fyrir um áhrif þessarar tækni á hegðun manna í framtíðinni en þrívíddarprentun mun án efa hafa mikil áhrif á samfélagið hvort sem horft er á framleiðsluferla eða neysluhegðun. Þegar og ef prentararnir ná hylli almennings mun aðfangakeðjan stytta til muna. Vöruúrval mun aukast þar sem hægt verður að sérprenta vörur á nánast sama verði og fjöldaframleiddar vörur kosta.

Hver sem er getur fjárfest í þrívíddarprentara, sótt teikningu á veraldarvefinn, breytt hönnun hennar, aðlagð að eigin hugmyndum og hafið vöruframleiðslu. Vöruhönnun

mun þannig færast úr höndum stórra framleiðslufyrirtækja til almennings og auðveldara verður að komast inn á markað þar sem stofnkostnaður minnkar.

Með auknu aðgengi almennings að þrívíddartækninni, betri hönnun með opnu hönnunarferli og umhverfisvænni framleiðslu nær markaði, mun neysluhegðun að öllum líkindum breytast. Allt eru þetta þættir gætu bætt samfélagið, stuðlað að aukinni neytendavitund, aukið lífsgæði og skapandi hugsun og síðast en ekki síst dregið úr mengun. Engin leið er að ímynda sér áhrif þrívíddarprentunar á samfélagið, frekar en fáa óraði fyrir mikilvægi snjallsíma í daglegu lífi fólks fyrir fáeinum árum. Þrívíddarprentun er spennandi tækni sem eflaust á eftir að gjörbreyta bæði framleiðslu og allri hönnun í framtíðinni.

## Heimildaskrá

- 3dprinterprices.net. (á.á.). History of 3D printing. Retrieved 24 apríl, 2014, from <http://www.3dprinterprices.net/history-of-3d-printing/>
- Anderson, C. (2012). *MakersThe new industrial revolution*. . United States of America.: Crown business.
- Banham, R. (2012). *Printing a Medical Revolution*.: Connections.T.Rowe Price.
- Beaman, J. J. (1997). Historical Perspective. *Rapid Prototyping in Europe and Japan*, 1, 26.
- Hopkinson, N., Hague, R. J. M., & Dickens, P. M. (2006). *Rapid Manufacturing* Chichester, West Sussex PO19 8SQ England.: John Wiley & Sons, Ltd,.
- Hull, C. W. (8 ágúst 1984). United States of America Patent No. 4,575,330.
- Khoshnevis, B. (2004). Automation in construction. (13), 5-19.
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *FabrcatedThe new world of 3D printing* Indianapolis, Indiana: John Wiley & sons, inc.
- Pine, J., & Gilmore, J. (1999). *The Experience Economy*. Boston,MA: Harvard Business School Press.



