



LISTAHÁSKÓLI ÍSLANDS
Iceland University of the Arts

Áhrif opins vél- og hugbúnaðar á handverk

Arngrímur Guðmundsson

Lokaverkefni til BA-prófs

Listaháskóli Íslands

Vöruhönnun

Haustönn 2021

Áhrif opins vél- og hugbúnaðar á handverk

Arngrímur Guðmundsson

Lokaverkefni til BA-prófs í vöruhönnun

Leiðbeinandi: Garðar Eyjólfsson

Vöruhönnun

Hönnunardeild

Haustönn 2021

Ritgerð þessi er 8 ECTS eininga lokaverkefni til BA-prófs í vöruhönnun við Listaháskóla Íslands. Óheimilt að afrita ritgerðina á nokkurn hátt nema með leyfi höfundar.

Útdráttur

Í þessari ritgerð verða áhrif tækni á handverk rannsökuð, sér í lagi opinn vél- og hugbúnaður (e. *open source*) sem verkfæri fyrir handverk. Á internetinu hafa skapast samfélög sem vinna að því að gera vél- og hugbúnað aðgengilegan, betri, notendavænni og opinn. Það þýðir að hver sem er getur fundið tölvu teikningar, forritunar-kóða á netinu til þess að búa til, til dæmis verkfæri svo sem þrívíddarprentara.

Þrívíddarprentarar, CNC fræsarar og laser skerar eru þökk sé þessum internet samfélögum orðnir aðgengilegir og ódýrir. Upphaflega var þessi tækni einungis á snærum stórra verksmiðja en nú með útrunnum einkaleyfum og upplýsingaflæðinu á netinu er það að breytast.

Farið verður yfir hvernig handverk er skilgreint, ásamt því hvernig viðhorf til þess hefur breyst og hvaða tækni hefur haft áhrif á þær breytingar. Einnig verður farið yfir hvernig handverksmenn í samtímanum vinna og hvernig það gæti breyst í framtíðinni.

Efnisyfirlit

Inngangur	5
1. Handverk	6
1.1 Áhrif tækni á handverk og framleiðslu	8
1.2 Tölvustýrð framleiðsla	10
2. Opinn vél- og hugbúnaður	11
3. Handverk í samtímanum	14
3.1 Ný tækni	17
Lokaorð	20
Heimildaskrá	21
Myndaskrá	22

Inngangur

Nú er talað um að fjórða iðnbyltingin sé að ryðja sér til rúms, þar sem sjálfvirk tækni og gervigreind eru í fyrirrúmi. Stafræn tækni er í flest allra höndum og upplýsingaflæðið hefur aldrei verið meira. Tækni og verkferlar sem í áratugi voru einungis í höndum verksmiðja og stóriðju er nú hægt að finna leiðbeiningar um á netinu sem opinn vél- og hubúnaður (e. *open source*). Í stuttu máli er *open source* ákveðin leið til þess að gera vörur; raftæki, hugbúnað, vélbúnað og hluti aðgengilega fyrir alla. Það er gert með því að setja þrívíddar-teikningar, rafrása-teikningar og kóða á netið þar sem allir hafa aðgengi að. Þetta á bæði við um nýjar uppfinningar og uppfinningar þar sem einkaleyfi hefur runnið út. Með *open source* nálgun verður oft gríðarleg þróun á vörum á mjög stuttum tíma og varan verður mun aðgengilegri.

Gott dæmi um þetta eru þrívíddarprentarar sem voru með einkaleyfi sem rann út fyrir ekki svo löngu. Í sömu andrá og einkaleyfið rann út kom fyrsti *open source* þrívíddarprentarinn; RepRap. Verkefnið hefur leitt af sér mjög mikla þróun á þrívíddarprenturum sem nú eru aðgengilegir fyrir almenning af öllum stéttum. Það er óhætt að segja að þetta stafi af mikilli hugbúnaðar- og vélvirkri þróun, sem gerir prentarana notendavæna og einnig vegna þess að *open source* gerir það að verkum að hver sem er getur smíðað sinn eigin prentara hvort sem það er til eigin nota eða til að selja. Nú til dags er hægt að kaupa þrívíddarprentara fyrir brot af því sem það hefði kostað áður en einkaleyfið rann út, ásamt því að vera notendavænni og betri.

Skapandi fólk getur þar af leiðandi nýtt sér þessa tækni í sín verkefni án mikils tilkostnaðar. Sama þróun hefur orðið á öðrum verkfærum sem nýta tölvuteikningar í verkferlum svo sem CNC fræsurum og laser skerum. Þessi bylting í verkfærakosti hefur leitt til þess að skapandi fólk hefur farið að tileinka sér verkferla sem stóru verksmiðjurnar höfðu einar á valdi sínu.

1. Handverk

Í stuttu máli er handverk sú iðn sem efnisgerir hugmyndir, oftast á litlum verkstæðum. Handverk getur verið smíði, saumavinna og svo framvegis. Með framförum í tækni nær hugtakið ekki beint yfir kjarnann á því sem skiptir máli í handverki, að búa til. Enska orðið *craft* á betur við í nútímanum, þar sem handverksfólk hefur aðgengi að verkfærum sem leysa hendurnar af að miklu leiti. Í sögulegu samhengi er handverk lifandi hugtak, það er að segja að skilgreiningin hefur sífellt breyst í tímans rás ásamt viðhorfi til handverks og handverksfólks. Til að skilja handverk í samtímasamhengi er ágætt að skoða það í sögulegu samhengi.

Í kvæðabálki Hómers (e. *Homeric Hymns*) má finna kvæði tileinkað Hefæstosi, guði handverksmanna. Kvæðið gefur til kynna hvert viðhorf fólks var til handverks á Grikklandi á snemmgrískum tíma, um það bil 700 árum fyrir Krist, þegar kvæðið var skrifað.

Sing clear-voiced Muse, of Hephaestus famed for skill. With bright-eyed Athena he taught men glorious crafts throughout the world - men who before used to dwell in caves in the mountains like wild beasts. But now that they have learned crafts through Hephaestus famous for his art they live a peaceful life in their own houses the whole year round.¹

Í vísunni kennir Hefæstos mönnum handverk, sem er uppistaða siðmenningar. Sem gerir fólki kleift að búa í sátt og samlyndi í eigin húsum allt árið um kring.² Samkvæmt þessu hefur handverk verið sett á mjög háan stall á þessum tíma. Orðið sem er notað yfir handverk í kvæðinu er *demioergos*. Sem er samsett úr orðunum almenningur (*demios*) og afköst (*ergon*). Fornir handverksmenn, eða *demioergoi*, voru hluti af millistéttinni á þeim tíma. Þeir sem féllu undir þessa skilgreiningu voru auk handverksmanna t.d. læknar. Það var þessi millistétt sem sameinar hug og hendur sem kvæðið var tileinkað.³

Seinna í Grikklandi hinu forna á klassíska tímanum, koma leirkerasmiðirnir Kittos og Bacchios fyrir í leikriti Aristófanesar. Í leikritinu var gefin upp sú mynd að þeir væru heimskir út af starfinu sem þeir gengdu, sem hefur líklega endurspeglad viðhorfið til handverks á þeim tíma. Samtímamaður Aristófanesar, Aritóteles hefur svipað viðhorf. Hann heldur því fram í verki sínu *Frumspekin*: „Við teljum að arkitektar í hverri og einni

¹ Richard Sennett. *The Craftsman*. (London: Penguin Books, 2009), bls. 21

²Sennett. *The Craftsman*. bls. 21

³Sennett. *The Craftsman*. bls. 22

starfsgrein séu virðulegri, viti meira og séu klárari en handverksmennirnir, af því að þeir vita ástæðuna fyrir því hvernig hlutirnir eru gerðir.“⁴ Aristóteles notar ekki orðið *demioergos* eins og það er notað í kvæðinu til Hefæstosar heldur *cheirotechnon*, sem þýðir einfaldlega maður sem vinnur með höndunum⁵; handverksmaður, eins og orðið sem við notum á Íslandi.

Plató var einn af klassísku akademísku heimspekingunum sem hafði snemmgrískt viðhorf til handverks. Hann hélt því fram að handverk (e. Craftsmanship) væri drifin áfram af hugmyndinni um gæði. Að þráin eftir því að gera eitthvað vel fái handverksmanninn til að betrumbæta sig, verða betri í staðinn fyrir að vilja aðeins ná endum saman. Á árunum frá því að kvæðið til Hefæstusar var skrifað hafði viðhorf samfélagsins breyst. Handverk var enn stundað en fékk litla viðurkenningu. Plató hafði þar af leiðandi áhyggjur af minnkandi gæðum handverks. Hann notaði orðið *poiein* sem þýðir einfaldlega að búa til og á líka við um kvæðaskap. Hann segir „Handverksmenn (e. *craftsmen*) eru allir ljóðskáld (e. *poets*) ... þeir eru ekki allir kallaðir ljóðskáld, þeir hafa önnur starfsheiti“⁶

Af því að þeir *poiein* fást við mismunandi hluti skilur almenningur ekki hvað það er sem þeir eiga sameiginlegt.⁷

Orðin sem við notum geta breytt því gríðarlega hvernig við skynjum hluti. Orðið handverk sem er notað á Íslandi er eins og *cheirotechnon*, sem Aristóteles notar þegar hann talar niður til handverks. Það má því draga þá ályktun að hugtakið hafi haft áhrif á viðhorf samfélagsins til handverks. Í Grikklandi hinu forna voru til hugtök yfir handverk sem eiga ekki bara við um höndina af því að handverk er samspil á milli hugar og handa. Á ensku eru einnig víðtækari hugtök yfir handverk t.d *craft* og *artisan*. *Craft* er iðn sem er framkvæmd af mikilli fullkomnun⁸, en iðnin þarf ekki að vera handiðn, það getur átt við um forritun, lækningar og svo framvegis. Þess vegna er handverk að einhverju leiti gildishlaðið orð.

Burt séð frá hugtökum sem eru notuð yfir handverk er eðlilegt að það verði breytingar á tíðaranda og þar af leiðandi breytt viðhorf til handverks. Það er ljóst að á tíma Grikklands hið forna hafði tíðarandinn bæði breyst milli snemmgríska tímans og klassíska

⁴Sennett. *The Craftsman*. bls. 23

⁵Sennett. *The Craftsman*. bls. 23

⁶ Sennett. *The Craftsman*. bls. 24

⁷ Sennett. *The Craftsman*. bls. 24

⁸ Sennett. *The Craftsman*. bls. 9

tímans og einnig að akademían hafi verið ósammála um mikilvægi handverks. Þessi togstreita á milli akademíu og handverks hefur síðan haldið áfram í gegnum tíðina.

Nærtækasta dæmið fyrir mig sem nemanda í Listaháskóla Íslands er viðhorf skólans til handverks. Listaháskólinn var stofnaður árið 1998 upp úr Myndlista- og handíðaskólanum. Við stofnun Listaháskólans var mikil áhersla á tækninýjungar tölvunnar, þrívíddarteikningar, renderingar o.s.frv. Þótti ekki við hæfi að leggja áherslu á handverkstækni þar sem um var að ræða háskóla. Verkstæði voru lögð niður og tækjum og tólum sem í þeim voru annaðhvort hent eða gefin öðrum. Í námi sem kallaðist þrívíð hönnun og sem er nú kallað vöruhönnun þótti oft nóg að teikna hluti upp í tölvu og prenta út mynd af hönnuninni. Viðhorfið hefur þó breyst og núna er lögð áhersla á að efnisgera hugmyndirnar sínar.⁹

1.1 Áhrif tækni á handverk og framleiðslu

Árið 1766 heimsótti vefari að nafni James Hargreaves frá Lancashire í Brentlandi vin sinn. Þar tók hann eftir að hjól á snúningi hafði dottið á hliðina og hélt þar áfram að snúast. Út frá þessu fékk hann hugmynd að spunavél með röð af snældum hlið við hlið sem spinna saman marga þræði á sama tíma. James sem var vel að sér í handverki, smíðaði margar frumgerðir, þangað til að hann var kominn með vél sem virkaði eins og hann sá fyrir sér. Vélin kallaði hann *spinning jenny*, hún gerði notandanum kleift að spinna 8 þræði á sama tíma. Vélin, sem var í byrjun knúin með fótstigi gat því margfaldað afköst vinnumannskju áttfalt og gat auðveldlega orðið afkastameiri en það. Vélar til að vinna textíl voru ekki nýjar af nálinni. Egyptar hinir fornu voru með vefstóla og Kínverjar með ramma til að spinna silki 1000 árum fyrir Krist. Og á elleftu öld kom fram handknúin rokkur til að spinna, og fótknúinn rokkur um 1500. Þessar vélar komu þó ekki af stað iðnbyltingu. En *spinning jenny* og tilkoma gufuvélarinnar gerðu það. Þó að upphaflega hafi fótstigi verið notað var auðvelt að



Mynd 1: Spinning jenny

⁹ (Tinna Gunnarsdóttir, munnleg heimild, 16. nóvember 2021)

tengja *spinning jenny* við vatnsafl eða gufuafl. Þar sem að snældurnar voru tengdar saman með röð af reimum og reimhjólum.

Það voru ekki allir ánægðir með uppfinningu Hargreaves. Aukin framleiðslugeta á þræði varð til að verðið lækkaði. Handverksmenn í spunaiðninni voru ekki ánægðir með þetta, hópur þeirra fór að húsi Hargreaves og brenndu ramma fyrir 20 nýjar vélar. En það var ekki aftur snúið, James Watt fann upp gufuvélina árið 1776 og í kjölfarið fór stórum verksmiðjum að fjölga. Upp úr 1790 voru áhrifin augljós, fólksfjölgunin vegna iðnbyltingarinnar var gríðarleg og samfélagið tók miklum breytingum.

Fyrsta iðnbyltingin hafði mikil áhrif á textíliðnina og önnur iðnbyltingin á málmiðnina, þar sem fundin var upp leið til að vinna stál í miklu magni og kallaðist *Bessemer* aðferðin. Tækniframfarir höfðu síðan áhrif á allar iðngreinar í tímanna rás, handverk var því ekki jafn nauðsynlegt lengur. Hlutir sem höfðu verið búnir til á minni verkstæðum færðust nánast alfarið yfir í verksmiðjur. Með þéttingu byggðar, framförum á tækni í framleiðslu og vísindum hafa lífsgæði almúgans aukist til muna þó að handverksmenn hafi þurft að lúta í lægra haldi.¹⁰

Nú er talað um þriðju og fjórðu iðnbyltingarnar. „Þriðja iðnbyltingin hófst með samþættingu fjarskipta- og tölvutækni á sjöunda og áttunda áratug 20. aldar og lagði hún grundvöll að upplýsingatækni samtímans. [...] Fjórða iðnbyltingin er framhald fyrri þróunar – öflugri tækni leysir af hólmi þá sem fyrir var og umbreytir efnahagslífi og samfélagi með ört vaxandi hraða.“¹¹ Það er kannski ekki jafn augljóst hvaða áhrif þriðja og fjórða iðnbyltingin hafa haft á iðnframleiðslu, en tölvur og fjarskiptatækni hafa haft gríðarleg áhrif á allt.

Árið 1985, kom Apple með LaserWriter á markað, sem var fyrsti eiginlegi skrifborðs (e. *desktop*) prentarinn. Með Mac tölvunni frá Apple kom hann af stað skrifborðs bókaútgáfu. Þetta var mjög fjarstæðukennd hugmynd fyrir fólk á þessum tíma, það sem okkur finnst nú í dag alveg sjálfsagt að sameina bókaútgáfu og skrifborð.¹² Þarna er gömul iðn sem upphaflega var handverk og síðan verksmiðju-vædd, orðin aðgengileg öllum, þökk sé tækninýjungum og þá helst einkatölvunni.

¹⁰ Chris Anderson, *Makers: The New Industrial Revolution*. (New York: Crown Business, 2012), bls. 33-40

¹¹ Huginn Freyr Þorsteinsson, Guðmundur Jónsson, Ragnheiður Hrefna Magnúsdóttir, Lilja Dögg Jónsdóttir og Kristinn R. Þórisson, *Ísland og fjórða iðnbyltingin* (Stjórnarráð Íslands, 2019), bls. 12

¹² Anderson, *Makers*, bls. 56-57

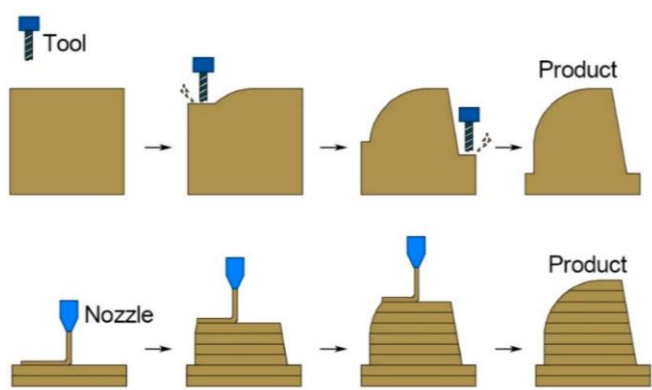
Svipað hefur gerst með tónlistarframleiðslu. Þessi iðn eru orðin mikið aðgengilegri en hún var, þökk sé stafrænni tækni, og er einkatölvun þar fremst í flokki. Eins og þú getur skrifað bók í tölvunni og prentað út getur þú nú tekið upp lag á tölvuna þína, fullunnið það og gefið út fyrir brot af því sem það hefði kostað fyrir tíma einkatölvunnar.

1.2 Tölvustýrð framleiðsla

Tölvutæknin hefur haft mikil áhrif á iðnaðarframleiðslu, nú eru flest allar vörur teiknaðar í tölvu í svokölluðum CAD (hönnun með aðstoð tölvu, e. *computer-assisted design*) forritum, sem gera mjög nákvæm tvívíddar eða þrívíddarmódel sem eru síðan notuð í framleiðslunni sjálfri. Tæknin á bak við CAD forrit má rekja til verkfræðingsins Ivan Sutherland, sem árið 1963 fann út hvernig setja mætti hluti myndrænt fram í tölvu.¹³ Samspil CAD og CAM (framleiðsla með aðstoð tölvu, e. *computer-assisted manufacturing*), sem er til dæmis þrívíddarprentun og CNC fræsing, hefur breytt framleiðsluferli verksmiðja gríðarlega eftir að tæknin breiddist út.

Þrívíddarprentarar, virka svipað og venjulegir bleksprautuprentarar, nema að þeir eru með einn auka ás. Bleksprautuprentari er venjulega með haus sem sprautar bleki sem færir fram og til baka á x-ási og blað sem rúlla færir fram og til baka á y-ási. Þrívíddarprentarar eru af ýmsum toga en þeir vinsælustu nú til dags eru FDM (*fused deposition modeling*) prentarar. FDM prentarar eru með haus sem úðar út bráðnu plasti lag fyrir lag. Þá er hausinn vanalega færður fram og til baka á x-ási, platan sem prentað er á (e. *build platform*) færð fram og til baka á y-ási og síðan bætist z-ásinn við sem færir hausinn upp og niður.

CNC (*computer numerical control*) fræsarar virka á svipaðan hátt og þrívíddarprentarar, nema að í staðinn fyrir að úða út efni í því sem er kallað *additive manufacturing* virka CNC fræsarar þannig að þeir skera út í efnið sem þú vinnur í, einhversskonar



Mynd 2: Munurinn á subtractive og additive manufacturing

¹³Sennett. *The Craftsman*. bls. 39

tölvustýrður útskurður, sem er kallað *subtractive manufacturing*. Þá er hægt að nota nánast hvaða efni sem er; við, málma, steina og svo framvegis. CNC fræsarar geta verið 3. ása eins og þrívíddarprentarar en eru einnig til með fleiri ásum jafnvel 5, til þess að ná mjög flóknum formum. Í framleiðsluferli búa þeir til mót fyrir framleiðslu eða skera út Macbook tölvur úr álkubbum.¹⁴

Þrívíddarprentun er frábær aðferð til þess að búa til plasthluti í litlu upplagi, þar sem að ekki þarf að smíða mót sem getur kostað háa summu. Aðferðin sem er mest notuð í fjöldaframleiðslu plasthluta er *Injection moulding*, sem virkar þannig að bráðnu plasti er sprautað í mót.¹⁵ Með þessari aðferð er hægt að fjöldaframleiða hluti á mjög svo ódýran máta. Þar sem plastið er ódýrt og auðvelt að vinna með. Dæmi um hluti sem eru framleiddir með þessari aðferð eru stólar, leikföng, hnífapör og skeljar utan um raftæki.¹⁶ Mótin eru vanalega gerð úr áli eða stáli. Upphaflega voru mótin gerð af handverksmönnum sem skáru mótin út af mikilli nákvæmni með fræsrum sem þarf að stjórna handvirk (e. *manual mill*). En nú eru þau nánast í öllum tilfellum gerð í CNC fræsrum.¹⁷

2. Opinn vél- og hugbúnaður

Open source er yfirheiti yfir opinn hugbúnað (e. *open source software*), opinn vélbúnað (e. *open source hardware*), frjáls hönnun (e. *open source design*) ofl. *Open source*, þýðir að teikningar, forritunar kóði, rafrása-hönnun og annað tengist vörinni, sé aðgengilegt fyrir alla á netinu. Það hafa eflaust flestir heyrt um opinn hugbúnað, dæmi um hann er t.d. Firefox vafrinn, Linux stýrikerfið, Android stýrikerfið og svo mætti lengi telja. Forritunar kóðinn í heild sinni ásamt öðrum gögnum er settur á netið. Hver sem er getur notað kóðann, eða breytt honum og notað í gróðaskyni þess vegna, með því skilyrði að deila honum aftur sem opnum hugbúnaði. Ástæðan fyrir því að fyrirtæki í hugbúnaði hafa notað þessa aðferðafræði er að í kringum opinn hugbúnað skapast oft gríðarlega stórt samfélag af fólki sem hjálpar til með forritunina og skapar umræðu sem hefur áhrif á dreifingu „vörunnar“ út í samfélagið. Það er óhætt að tengja þá gríðarlegu þróun síðustu ára á hugbúnaði og internetinu beint saman við þessa nálgun.¹⁸

¹⁴ Anderson, *Makers*, bls. 90

¹⁵ Anderson, *Makers*, bls. 87

¹⁶ Bill Hammack, „Plastic Injection Molding“ Myndband, 9:36. sótt 18. nóvember 2021 á <https://www.youtube.com/watch?v=RMjtmr3CqA>

¹⁷ „Plastic Injection Mold Making“, *CS Tool Engineering*. sótt 18. nóvember 2021 <https://www.cste.com/services/plastic-injection-mold-making>

¹⁸ Anderson, *Makers*, bls. 107-108

Nú er þessi nálgun í meira mæli farin að koma fram í vélbúnaði, þar með talið verkfærum sem nýtast í handverk og hönnun. Opinn vélbúnaður er af svipuðum toga og opinn hugbúnaður, þ.e. forritunar kóði er settur á netið, ásamt CAD teikningum, rafrásateikningum og öðru sem kemur vörunni við. Arduino örtölvun er gott dæmi um opinn vélbúnað. Mikið af öðrum opnum vélbúnaði er byggður á henni, þar sem hún gerir fólki kleift að stjórna mótorum og skynjurum auðveldlega. Arduino verkefnið byrjaði í ítölskum skóla í gagnvirkri hönnun, Interaction Design Institute Ivrea. Þar fannst kennurunum örtölvurnar sem voru í boði of dýrar og ákváðu að taka málin í eigin hendur og komu verkefninu af stað. Þar sem verkefnið er opinn vélbúnaður er stanslaus þróun í gangi, bæði á hugbúnaðinum og vélbúnaðinum. Sem *open source* verkefni getur hver sem er framleitt tölvuna sem hefur áhuga á því og selt, eða breytt henni og selt hana. Það gerir aðgengi að tölvunni gríðarlegt, það er því hægt að fá mjög ódýrar Arduino eftirlíkingar og einnig kaupa beint frá Arduino fyrirtækinu, fyrir aðeins meiri pening. Margir kjósa það frekar til þess að styðja við Arduino samfélagið og frekari þróun. Tölvun er mikið notuð í gagnvirka hönnun en einnig í annan opinn vélbúnað t.d. þrívíddarprentara, CNC fræsara o.fl. verfæri.¹⁹



Mynd 3: Arduino örtölvun

Í Listaháskólanum, á verkstæðinu í stafrænni vinnslu og módelsmíði, eru verkfæri sem eru byggð á Arduino. Til dæmis Makerbot þrívíddarprentarar og X-Carve CNC fræsari. X-Carve er *open source* og Makerbot var upphaflega *open source*.

Einkaleyfi Stratasys á FDM þrívíddarprenturum rann út árið 2009²⁰. Í sömu andrá og einkaleyfið rann út kom út fyrsti *open source* 3D-prentarinn; RepRap. Hugmyndafræðin í kring um RepRap er að prentarinn geti sjálfur fjölfaldað sig, eins og nafnið RepRap gefur til kynna; Sjálf-eftimyndandi skjótvirk frumgerðar-vél (e. *replicating rapid prototyper*).²¹ Þetta verkefni hefur leitt af sér mjög mikla þróun á 3D-prenturum. Zach Smith, einn af stofnendum Makerbot sem var einnig meðlimur í RepRap teyminu, segir að það fyrsta sem hann hafi gert með Arduino tölvu var að stjórna þrívíddarprentara með henni.²² Hann fékk vini sína með sér til að stofna fyrirtæki í kringum það og úr varð MakerBot, sem var gríðarlega vinsæll *open source* þrívíddarprentari. Þökk sé greiðu

¹⁹ Rodrigo Calvo og Raúl Alaejos. „Arduino The Documentary“ Myndband, 28:16. sótt 18. nóvember 2021 á https://www.youtube.com/watch?v=D4D1WhA_mi8

²⁰ Schoffer, Filemon. „How expiring patents are ushering in the next generation of 3D printing“ TechCrunch. 15. maí 2016. <https://techcrunch.com/2016/05/15/how-expiring-patents-are-ushering-in-the-next-generation-of-3d-printing>

²¹ „About.“ *RepRap*. sótt 18. nóvember 2021. <https://reprap.org/wiki/About>

²² Rodrigo Calvo og Raúl Alaejos, *Arduino The Documentary*.

aðgengi að notendavænum Arduino örtölvum var auðvelt að breyta og bæta prentarana þannig að það varð algjör sprenging í framboði á þrívíddarprenturum. Árið 2012 var Zach Smith bolað úr starfi sínu hjá MakerBot fyrirtækinu vegna deilna við aðra stjórnendur fyrirtækisins um framtíð fyrirtækisins. Seinna sama ár þegar orðrómur fór á kreik um að MakerBot yrði lokaður vél/hugbúnaður (e. close source) skrifaði Smith blogg færslu.

I do not support any move that restricts the open nature of the MakerBot hardware, electronics, software, firmware, or other open projects. MakerBot was built on a foundation of open hardware projects such as RepRap and Arduino, as well as using many open software projects for development of our own software. [...] For me, personally, I look at a move to closed source as the ultimate betrayal. [...] Moving from an open model to a closed model is contrary to everything that I stand for, and as a co-founder of MakerBot Industries, it makes me ashamed to have my name associated with it.²³

Árið 2013 keypti Stratasys, sem var upphaflega með einkaleyfi á þrívíddarprenturum, MakerBot fyrirtækið og gerði það *close source*. *Open source* samfélagið tók auðsjálega ekki vel í þessa breytingu og hafa vinsældir MakeBot hríðfallið.²⁴ Þetta er gott dæmi um hvað félagsauðurinn í kring um open source hreyfinguna er mikilvægur. Burt séð frá þessu, eru, þökk sé RepRap og Makerbot, nú hundruðir tegunda af þrívíddarprenturum á markaði. Þeir eru af öllum verðskala ásamt leiðbeiningum á netinu um hvernig hægt er að búa til sinn eigin prentara með Arduino.

²³ Zach Smith. „MakerBot vs. Open Source,“ *Hoektronics*, 12. september 2012. <http://www.hoektronics.com/2012/09/21/makerbot-and-open-source-a-founder-perspective/>

²⁴ Brian Benchoff. „The MakerBot Obituary,“ *Hackaday*, 28. apríl 2016. <https://hackaday.com/2016/04/28/the-makerbot-obituary/>

3. Handverk í samtímanum

Það má segja að samspil opins hugbúnaðar og opins vélbúnaðar hafi haft mikil áhrif á handverk og hönnun. Þökk sé open source tækni, geta sjálfstætt starfandi handverksmenn nú notað tækni sem var áður einungis í höndum stórra verksmiðja.

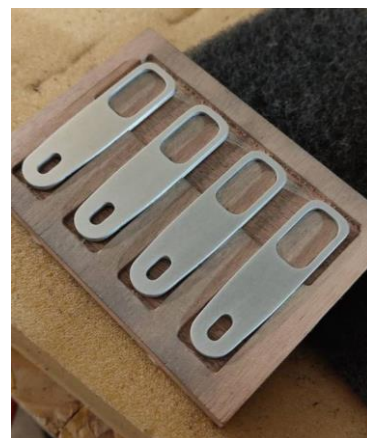
Ég tók mér árspásu úr námi mínu í vöruhönnun til þess að fara í starfsnám hjá Halldóri Úlfarssyni, sjálfstætt starfandi listamanni/hönnuði/handverksmanni. Hann er með verkstæði í Aþenu þar sem hann smíðar hljóðfærið sitt Dórófón (e. *halldorophone*), sem hefur hlotið mikla athygli síðustu árin meðal annars vegna velgengni tónlistarkonunnar Hildar Guðnadóttur. Hún hefur notað hljóðfærið í mörg ár, til dæmis í tónlistina fyrir kvikmyndina *The Joker* sem hún hlaut Óskarsverðlaun fyrir. Á verkstæði Halldórs fékk ég svolitla innsýn í hvernig nútíma handverksmaður vinnur. Á verkstæðinu eru tveir CNC fræsarar, þrívíddarprentari ásamt hefðbundnum handverkfærum. CNC fræsararnir einn X-Carve og Open-



Mynd 4: Dórófón

Builds, sem er einnig *open source*, báðir 3-ása, notuðum við mikið bæði í frumgerðir, skapalón og í parta fyrir hljóðfærin sjálf. Þrívíddarprentarann meira í frumgerðir, og skapalón, þar sem þeir geta auðveldlega búið til flókin form sem er erfiðara að búa til með CNC fræsara.

Dæmi um ferli sem við notuðum bæði þrívíddarprentara og CNC fræsara í er þegar við bjuggum til festingar á hljóðfærið fyrir pickup, sem eru rafsegjar sem magnast upp þegar strengir sveiflast sem eru til dæmis notaðir til að búa til hljóð fyrir rafmagnsgítara. Fyrst gerði Halldór frumgerð með þrívíddarprentaranum, til þess að finna form sem virkaði. Síðan skárum við út fullt af prufum í ál á CNC fræsaranum og skárum einnig út beygju mót til að beygja álið. Þegar ferillinn var tilbúinn, mótið og rétt form komið á ál-pickup haldarana, þá var auðvelt fyrir okkur að fjöldaframleiða þá mjög nákvæmlega.



Mynd 5: Óbeygðir pickup haldarar

Í framleiðsluferlinu hjá Halldóri fann ég út hvað það er mikilvægt að geta gert prufur og frumgerðir, þó að maður teikni eitthvað í CAD forriti og það líti út fyrir að virka, þá virkar það ekki endilega í raunveruleikanum. Þá er gott að hafa verkfæri sem vinnur skjótvirkt eins og þrívíddarprentari eða CNC fræsari til að gera prufur.

Misræmi á milli CAD teikninga og raunveruleika hefur verið vandamál í gegnum tíðina. Í *The Craftsman* er tekið dæmi um þetta varðandi hönnunina á Peachtree Center,

sem er skógur skrifstofuturna, bílastæðakjallara, hótela og verslana í útjaðri Atlanta. Verkefnið hefði ekki verið hægt að teikna upp á blað, þetta var of stórt og flókið. Það þurfti að nota CAD forrit í það. Stór partur hönnunarinnar er frábær en það var sumt sem leit vel út á tölvugerðum myndum sem átti sér ekki stoð í raunveruleikanum. Þar var fjöldi fallegra utanhúss kaffihúsa á gangstéttunum. En hönnuðirnir tóku ekki tillit til veðurfarsins, sólarinnar og hitans. Megnið af deginum er því ólíft á kaffihúsunum og sætin standa auð, frá miðmorgni til síðdegis.²⁵

Björn Steinar Blumenstein og Brynjólfur Stefánsson reka fyrirtækið Plastplan sem sérhæfir sig í plastendurvinnslu, ég var þar í Rannísverkefni síðustu 2 sumur að vinna að því að búa til rísa stóran þrívíddarprentara sem prentar úr endurunnu plasti. Plastplan byggir á Precious Plastic sem er hreyfing sem vinnur að því að gera plastendurvinnslu aðgengilega með *open source* verkfærum. Plastplan er í dag með nokkrar *injection* vélar (sem úða endurunnu plasti inn í mót), tvo hakkara (sem tæta niður plast, svo það verður að kurli), plötupressu (sem bræðir plastkurl og pressar, til þess að búa til plastplötur) og *extruder* (úðar út plastþræði, sem hægt er að búa til form með). Öll þessi verkfæri hafa



Mynd 6: Precious Plastic vélar

Björn Steinar og Brynjólfur smíðað frá grunni með *open source* leiðbeiningum frá Precious Plastic. Björn Steinar fór í starfsnám hjá Precious Plastic eftir að hann lauk námi sínu í vöruhönnun við Listaháskóla Íslands. Markmið Precious Plastic er að reyna að fá eins marga og hægt er í plastendurvinnslu.

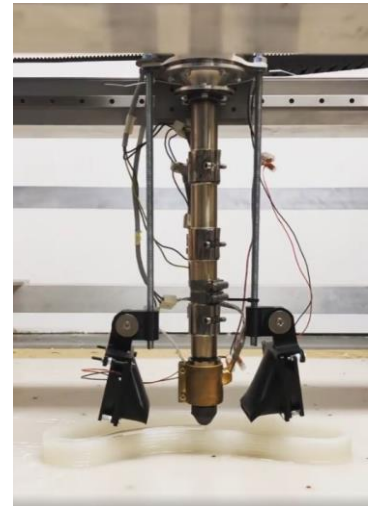
Dave Hakkens heitir frumkvöðull verkefnisins, sem byrjaði að vinna að verkefninu árið 2012 þegar hann var í námi við Hönnunar Akadémíuna í Eindhoven. Árið 2013 sem lokaverkefni í skólanum kláraði hann fyrstu útgáfu af vélunum og strax árið 2014 voru 3 manns búnir að endurgera vélar.²⁶ Á vefsíðu Precious Plastic kemur fram að í hreyfingunni séu núna yfir 80.000 manns, sem vinna saman að því að minnka plastsóun, þar á meðal er Plastplan. Á vefnum er fjallað um það af hverju verkefnið er *open source*. „Precious Plastic er *open source* verkefni. [...] Við trúum því að fróðleikur eigi að vera ókeypis. Eign sem á ekki að hafa verðmiða. Við deilum öllum útkomum úr okkar rannsóknum á netið. Fyrir fólk. Fyrir plánetuna. Við erum *open source* að því leiti að við deilum öllum upplýsingum, kóða, teikningum og frumheimildum. Ó ókeypis.“²⁷

²⁵ Sennett. *The Craftsman*. bls. 42-43

²⁶ „History,“ *Precious Plastic*. sótt 18. nóvember 2021. <https://preciousplastic.com/about/history.html>

²⁷ „Open Source,“ *Precious Plastic*. sótt 18. nóvember 2021. <https://preciousplastic.com/about/open-source.html>

Þrívíddarprentarinn sem Plastplan er að þróa getur prentað metra á x-ás, metra á y-ás og tæplega metra á z-ás. Þar sem ég var í hönnunar og smíðuferlinu, fann ég hvað það eru ótrúlega mikið af upplýsingum á netinu um þrívíddarprentun. Við notuðum Duet móðurborð til að stjórna mótorum, hiturum, skynjurum og öllu öðru sem tengist prentaranum. Duet er *open source*,²⁸ með stórt samfélag í kring um sig sem vinnur að allskonar verkefnum í tengslum við þrívíddarprentara, CNC fræsara ofl. Allar upplýsingar um kóða og tengingar til að setja upp Plastplan prentarann voru því auðfundnar á vefnum.



Mynd 7: Plastplan þrívíddarprentarinn

Þrívíddarprentarinn er enn í vinnslu, en þegar hann virkar eins og hann á að gera, er orðinn notendavænn og öruggur, þá er planið að gera hann *open source*. Þá gefur Plastplan þekkingu aftur til *open source* Precious Plastic samfélagsins. Björn Steinar þekkir vel til *open source* nálgunarinnar þar sem hann var í starfsnámi hjá Precious Plastic að vinna að *open source* verkefnum og þegar hann var í Listaháskólanum skrifaði hann ritgerð um Andkapitalíska hönnun. Þar fjallar hann um frjálsa hönnun (e. *open source design*) sem á einnig við um opinn vélbúnað.

Frjáls-hönnun hefur hrundið af stað tímabæru samtali: hvaða aðrir möguleikar eru til staðar? Stefnan hefur gengið lengra og jafnvel gefið svör í verki. Ein mesta breytingin sem stefnan hefur valdið hingað til er ekki hvernig hlutir eru búnir til, heldur hver það er sem gerir það. Framleiðsluáferð (e. *mode of production*) er undirstaða kapítalísma en vegna sérþekkingar og kostnaðar hafa stórfyrirtæki nær haft einokun á framleiðslu. Frjáls-hönnun grefur undan stoðum kapítalísma með því að taka völd frá miðstýrðu framleiðsluvaldi og breyta því í opinn vettvang þar sem framleiðsluvald er í auknu mæli í höndum almennings.²⁹

Í Listaháskólanum er farið að leggja meiri áherslu á stafrænu verkfærin, þá er það helst vöruhönnun sem nýtir þau í sínum verkefnum, þar sem það hefur skapast ákveðin menning í kringum verkferlana. Vöruhönnun fær bæði kennslu á því að nýta stafrænu tæknina á verkstæði Hreins Bernharðssonar í stafrænni vinnslu og módelsmíði ásamt kennslu í gagnvirkni á verkstæði Samuel Thornton Rees. Þar sem er kennt á Arduino, sem er hægt að nýta til þess að búa til sín eigin verkfæri til dæmis.

Menningin fyrir notkun verfaranna verður til út frá kennslunni, nú hefur nýlega bæst við áfangi í fatahönnun þar sem farið er yfir ferlana á stafrænu verkfærin. Um leið

²⁸ „Contributing to development,“ *Duet3D*. sótt 18. nóvember 2021. https://duet3d.dozuki.com/Wiki/Contributing_to_firmware_development

²⁹ Björn Steinar Blumenstein. *And-kapítalísk hönnun: Hönnun byggð á hugsjón*. (Listaháskóli Íslands, 2015), bls. 25

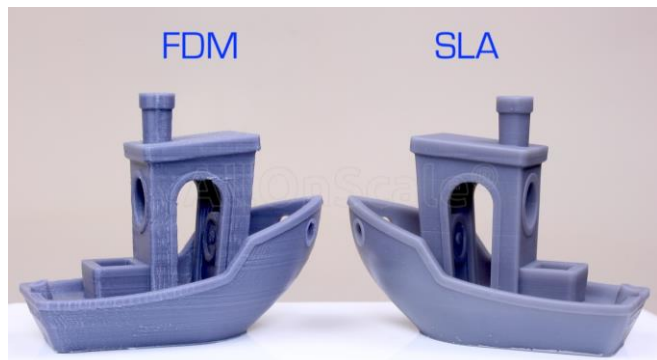
skapast menning fyrir fatahönnun að nýta sér tæknina. Þar sem eftir áfangann, hafa nemendur sóst í verkfærin.

Í áföngunum er oft lagt áherslu á ákveðið verkfæri, sem er nauðsynlegt til þess að nemendurnir fái góðan grunn til að geta nýtt sér tæknina í framtíðinni. En þá hafa sum verkfæri ekki fengið mikla athygli, þar sem ekki gefst tími til þess að fara yfir verkferlana. Til dæmis hefur X-Carve fræsarinn ekki verið notaður mikið, þar sem áfangarnir leggja ekki áherslu á nýtingu á honum, sem er skiljanlegt þar sem að er flóknara að nota hann en laser skerann og það tekur lengri tíma fyrir hann að vinna.³⁰ Aftur á móti er hægt að gera flóknari hluti í honum og skera út fleiri efni, bæði Plastplan og Halldór eru með CNC fræsara sem eru gríðarlega mikið notaðir í þeirra verkefnum.

3.1 Ný tækni

Þrívíddarprentarar eru mest notaðir í frumgerðir eins og staðan er í dag en það er að breytast. FDM prentarar sem hafa mest verið notaðir eru ekki fullkomnir. Á hlutum sem eru prentaðir í þeim sjást prent-lögin greinilega, sem rákir (e. *layer lines*). Aftur á móti eru nú SLA prentarar, eða kvoðu

prentarar (e. *resin printers*) orðnir opinn vélbúnaður og þar af leiðandi mjög aðgengilegir, sem geta prentað mjög fínt, þar sem varla sést í neinar rákir.³¹ Ásamt kvoðu prenturum, sem eru orðnir aðgengilegir, er margskonar önnur þróun í gangi í þrívíddarprentun.



Mynd 8: Munurinn á FDM og SLA

Málmprentarar eru einnig að verða aðgengilegri, ein af mörgum aðferðum til að prenta málma er að bræða málmduft með leysigeisla. Fyrirtækið One Click Metal er að vinna að því að gera þessa tækni aðgengilega. Í viðtali segir einn stofnenda fyrirtækisins að einkaleyfið fyrir aðferðina hafi runnið út árið 2017 eða 2018 og nú séu margir að vinna að ódýrum og aðgengilegum málmprenturum. Það má því áætla að það sama gerist í málmprentun og gerðist þegar Stratasys einkaleyfið á FDM prentun. Það mun verða mikil þróun og aðgengið mun aukast til muna. Þá munu hönnuðir og handverksmenn geta nýtt sér þessa tækni, sem hefur til þessa helst verið notuð í flugvéla og eldflauga iðnaðinum.³²

³⁰ (Hreinn Bernharðsson, munnleg heimild, 17. nóvember 2021)

³¹ „Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing,“ *Formlabs*. sótt 18. nóvember 2021. <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>

³² Sanladerer, Thomas. „Finally cheap* Direct Metal 3D Printing - from One Click Metal!“ Myndband, 10:13. sótt 18. nóvember 2021 <https://www.youtube.com/watch?v=up32bx1Eleo>

Aguahoja er verkefni á vegum Mediated Matter innan MIT háskólans í Bandaríkjunum. Sem vinnur að því að búa til efni sem líkist náttúrulegum efnum.

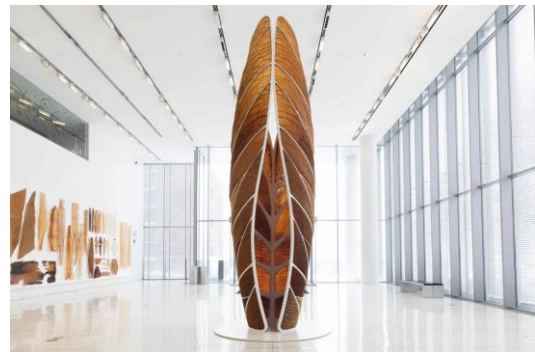
Aguahoja is an exploration of nature's design space. A collection of natural artifacts were digitally designed and robotically fabricated from the molecular components found in tree branches, insect exoskeletons, and our own bones. Here, we propose a novel water-based design approach and fabrication platform that enable tight integration between material synthesis, digital fabrication, and physical behavior, at scales that approach—and often match—those of natural ecologies.³³



Mynd 9: Þrívíddarprentun Aguahoja

Helmur mannlíkamans er vatn. Með vatni, gróðri og grotnun hefur náttúran tók á breytingum á efnislegum eiginleikum lífvera. Aftur á móti er manngert umhverfi og hlutir óbreytanlegir, gert til þess þjóna ákveðnum tilgangi. Þegar hlutirnir verða óþarfir, fara hlutirnir flestir á ruslahauga eða út á haf. Aguahoja notar sellulósa, kítósan, pektín, og kalsíumkarbónat, sem eru efnin sem lífverur í náttúrunni eru byggðar á, til þess að búa til efni með notkun þrívíddsprentara. Með því að blanda efnunum á mismunandi hátt er hægt að stjórna, styrkleik, sveigjanleika, hversu þétt, og hversu gegnsætt efnið er. Efnin eru niðurbrotanleg eins og efnin í náttúrunni.³⁴

Standing five meters tall, the Aguahoja I pavilion is composed of biocomposites constructed with varying degrees of stiffness, flexibility, and opacity acting as façade or "structural skin" manufactured without components, the surface area of which is limited only by the robotic gantry—a continuous construction modeled after human



Mynd 10: Aguahoja I

skin—with regions that serve as structure, window, and environmental filter. At the end of its life cycle, when no longer useful, the structure can be programmed to degrade in water (e.g., the rain), thereby restoring its constituent building blocks to their natural ecosystem, augmenting the natural resource cycles that enabled its creation. This level of "environmental programming" can in the future enable the construction of structures that modify their properties relative to the season: even

³³ „Aguahoja,“ MIT Media Lab. sótt 18. nóvember 2021. <https://www.media.mit.edu/projects/aguahoja/overview/>

³⁴ „Aguahoja,“

small alterations to the molecular composition of biocomposites can have a dramatic impact on their design and their decay.

Ásamt nýsköpun á efnisnotkun, geta stafræn verkfæri unnið listilega vel með efnin sem við þekkjum nú þegar. Í bókinni *Postdigital Artisans* eru dæmi um stafræn tól notuð í listsköpun. Barry X Ball er listamaður sem þrívíddarskannar fræga skúlptúra og efnisgerir þá með CNC fræsorum.



Mynd 11: Ball skannar *Sleeping Hermaphroditus*



Mynd 12: Endurgerð Ball í belgískan svartan marmara

Ball was originally drawn to the complexity of the human form, seeing the body as a worthy challenge for the 3D scanning technology that was emerging in the 1990s. Initially using his own body as a model, [...] His subjects have come a long way since these initial self-portraits, and Ball now has an archive packed with anything from contemporary artist Matthew Barney to Umberto Boccioni's *Unique Forms of Continuity of Space* (1913). [...] Using CNC mills to execute digital files, the final sculptures also bear the diagonal flutes associated with the mechanical process.³⁵

Tæknin er komin það langt að það er erfitt að greina muninn á upphaflega skúlptúrnum og þeim endurgerða, fyrir utan að það er annars konar steintegund notuð ásamt tannförunum (e. *flute marks*) sem fræsarinn skilur eftir sig sem ákveðið handbragð CNC fræsaranna. Þetta verkefni sýnir vel hvað tæknin er fær um að gera nákvæma hluti.

³⁵ Jonathan Openshaw. *Postdigital Artisans*, (Amsterdam: Frame Publisher, 2015), bls. 88

Lokaorð

Það má færa rök fyrir því að notkun *open source* tölvustýrðra verkfæra flokkist ekki undir handverk, að tæknin sé að gera alla vinnuna. En það er ekki rétt, það er mikil hugsun á bakvið alla ferlana sem vélin vinnur eftir, sem manneskja þarf að búa til. Það tekur tíma að læra á kosti og galla hvers og eins verkfæris og velja út frá því hvaða verkfæri henta hverju verkefni fyrir sig. Þetta er eins með handverkfæri, það er ekki hægt að nota sama verkfærið í öll verkefni. Þú notar til dæmis ekki trésög til að saga málm. En það sem skiptir máli er að efnisgera og búa til, sem er kjarni handverks.

Handverk er sífellt að breytast með nýrri tækni. Það koma tímabil þar sem það þykir ómerkilegt og önnur tímabil þar sem það þykir áhugavert. Handverk nútímans tengist hendinni minna en það gerði áður fyrr, þar sem tækni hefur leyst hana af að mörgu leiti. Nú þegar skapandi fólk hefur aðgengi að verkfærum sem stórfyrirtæki höfðu aðeins á sínum snærum, vegna einkaleyfa sem renna út og opinn vél- og hugbúnaður tekur við, eru möguleikar í sköpun þeirra að aukast gríðarlega.

Fyrir nemendur í hönnun er mikilvægt að fá yfirsýn yfir bæði stafrænu verkfærin og það sem er á bak við þau eins og á verkstæðinu í gagnvirkni, sem er mikilvægt til að fá enn frekari skilning á tækninni. Þannig hafa nemendurnir einnig færi á því að hanna sín eigin verkfæri. Það munu í auknum mæli koma fram á sjónarsvið stafræn verkfæri sem hönnuðir búa til sjálfir til, til að ná ákveðnu yfirbragði. Þetta er nú að verða auðveldara og auðveldara þökk sé miklum upplýsingum á netinu vegna *open source* hreyfingarinnar og stjórn tölvum eins og Arduino og Duet sem gera það auðvelt að stjórna mótorum, skynjurum og svo framvegis.

Það er augljóst að mannkynið hefur haft mikil áhrif á náttúruna og því er mikilvægt að skapandi fólk hugsi í lausnum. Nú er hægt að búa til sín eigin efni með hjálp stafrænnar tækni sem eru umhverfisvæn með eiginleika sem hafa ekki sést áður í manngerðum efnum. Einnig þegar verkferlar og verkfæri eru í höndum minni verkstæða en þau voru, er hægt að vinna vörur í minna upplagi en áður sem er sniðaðar að minni markhópum, seldar á netinu. Það verður vonandi til þess að það verði minni sóun en hefur verið, þar sem stórar verksmiðjur hafa framleitt of mikið sem fer til spillis.

Ásamt nýjum möguleikum, er tæknin einnig að gera hefðbunið handverk auðveldara í framkvæmd, með CNC fræsrum, sem geta skorið við og stein út á listilegan máta, eins og högglistamenn fortíðar gerðu. Það má því áætla að handverk, eða að búa til verði vinsælla fyrir listafólk og hönnuði en það hefur verið. Þegar Listaháskólinn var stofnaður og lagði áherslu á tækninýjungar, voru verkfærin fyrir handverk ekki komin á sama plan og tölvubúnaðurinn. Nú er það þó ekki raunin, þar sem tölvustýrð verkfæri eru til taks og bíða eftir að vera notuð, eins og X-Carve fræsarinn í Þverholti.

Heimildaskrá

Prentaðar heimildir:

Anderson, Chris. *Makers: The New Industrial Revolution*. New York: Crown Business, 2012.

Björn Steinar Blumenstein. *And-kapítalísk hönnun: Hönnun byggð á hugsjón*. Listaháskóli Íslands, 2015. Sótt 12. október 2021 af <https://skemman.is/bitstream/1946/25319/1/BA%20RITGERD%20BJORN.pdf>

Huginn Freyr Þorsteinsson, Guðmundur Jónsson, Ragnheiður Hrefna Magnúsdóttir, Lilja Dögg Jónsdóttir og Kristinn R. Þórisson. *Ísland og fjórða iðnbyltingin*. Stjórnarráð Íslands, 2019. Sótt 16. október 2021 af <https://www.stjornarradid.is/library/04-Raduneytin/ForsAetisraduneytid/Framtidarnefnd/Fjorda-idnbyltingin-skyrsla.pdf>

Openshaw, Jonathan. *Postdigital Atrisans*. Amsterdam: Frame Publisher, 2015.

Sennett, Richard. *The Craftsman*. London: Penguin Books, 2009.

Vefheimildir:

Benchoff, Brian. „The MakerBot Obituary“ *Hackaday*, 28. apríl 2016. Sótt 14. október 2021 af <https://hackaday.com/2016/04/28/the-makerbot-obituary/>

Calvo, Rodrigo og Raúl Alaejos. „Arduino The Documentary“ Myndband, 28:16. Sótt 18. nóvember 2021 af https://www.youtube.com/watch?v=D4D1WhA_mi8

Hammack, Bill. „Plastic Injection Molding.“ Myndband, 9:36. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://www.youtube.com/watch?v=RMjtmsr3CqA>

Sanladerer, Thomas. „Finally cheap* Direct Metal 3D Printing - from One Click Metal!“ Myndband, 10:13. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://www.youtube.com/watch?v=up32bx1Eleo>

Schoffer, Filemon. „How expiring patents are ushering in the next generation of 3D printing“ *TechCrunch*. 15. maí 2016. Sótt 12. október 2021 af <https://techcrunch.com/2016/05/15/how-expiring-patents-are-ushering-in-the-next-generation-of-3d-printing>

Smith, Zach. „MakerBot vs. Open Source.“ *Hoektronics*, 12. september 2012. Sótt 14. október 2021 af <http://www.hoektronics.com/2012/09/21/makerbot-and-open-source-a-founder-perspective/>

„About.“ *RepRap*. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://reprap.org/wiki/About>

„Aguahoja.“ *MIT Media Lab*. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://www.media.mit.edu/projects/aguahoja/overview/>

„Contributing to development.“ *Duet3D*. Sótt 18. nóvember 2021 af https://duet3d.dozuki.com/Wiki/Contributing_to_firmware_development

- „Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing.“ *Formlabs*. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>
- „History.“ *Precious Plastic*. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://preciousplastic.com/about/history.html>
- „Open Source.“ *Precious Plastic*. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://preciousplastic.com/about/open-source.html>
- „Plastic Injection Mold Making.“ *CS Tool Engineering*. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://www.cste.com/services/plastic-injection-mold-making>

Myndaskrá

- Mynd 1: Bassen, Milena. *Spinning Jenny*. Mynd. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://www.environmentandsociety.org/mml/spinning-jenny>
- Mynd 2: Tao, Yubo. *Subtractive manufacturing (SM) and additive manufacturing (AM)*. Mynd. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/1/144/htm>
- Mynd 3: Arduino. *Arduino*. Mynd. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://www.conrad.com/p/arduino-a000073-uno-rev3-smd-microcontroller-board-191789>
- Mynd 4: Halldór Úlfarsson. *Halldorophone*, Mynd. Sótt 18. nóvember 2021 af https://www.instagram.com/p/CTucL_kgeky/
- Mynd 5: Halldór Úlfarsson. *Aluminum tidbits*, Mynd. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://www.instagram.com/p/CP0Ix-ngMU0/>
- Mynd 6: Precious Plastic, *Basic Machines*, Mynd. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://preciousplastic.com/solutions/machines/basic.html>
- Mynd 7: Plastplan. *Industrial 3-D printing from recycled plastic*. Myndband. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://www.instagram.com/p/CWBCIaDAoPR/>
- Mynd 8: All on scale. *FDM vs SLA*, Mynd. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://allonscale.com/fdm-vs-sla/>
- Mynd 9: The Mediated Matter group. *The Aguahoja project*. Mynd. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://www.media.mit.edu/projects/aguahoja/overview/>
- Mynd 10: The Mediated Matter group. *The Aguahoja project*. Myndband. Sótt 18. nóvember 2021 af <https://www.media.mit.edu/projects/aguahoja/overview/>
- Mynd 11: Nasher Sculpture Center. *Remaking Sculpture: Artist Barry X Ball*. Myndband. Sótt 19. nóvember 2021 af <https://www.youtube.com/watch?v=JnsluUxpH4Y>

Mynd 12: Juxtapoz. *Sleeping Hermaphrodite, Black Marble Sculpture by Barry X Ball*.
Mynd. Sótt 19. nóvember 2021 af <https://www.juxtapoz.com/news/sleeping-hermaphrodite-black-marble-sculpture-by-barry-x-ball/>